

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**“DISEÑO DE LA CADENA DE DESHIDRATACIÓN POST-COSECHA  
PARA CONSERVAR FRUTAS DE EXPORTACIÓN”**

**COMPONENTE DEL TRABAJO:**

**“DISEÑO DE HORNO DESHIDRATADOR DE GLP PARA REMOVER  
EL CONTENIDO DE AGUA ANTES DE LA EXPORTACIÓN”**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO REQUISITO  
PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

**MAURICIO ALEJANDRO GANCHALA CATOTA**

**mauricio.ganchala@epn.edu.ec**

**DIRECTOR:**

**Ing. WASHINGTON SALVATORE REINA GUZMAN. PhD**

**salvatore.reina@epn.edu.ec**

**DQM, marzo 2023**

## CERTIFICACIONES

**Yo, Mauricio Alejandro Ganchala Catota declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se Incluyen en este documento.**



**Mauricio Alejandro Ganchala Catota**

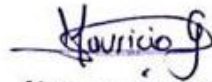
**Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por Mauricio Alejandro Ganchala Catota, bajo mi supervisión.**



**Ing. Salvatore Reina. PhD  
DIRECTOR**

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.



Alejandro Ganchala



Salvatore Reina

## **DEDICATORIA**

**El presente trabajo lo dedico a mi familia mis abuelos, mis tías y tío, mis primos y en especial mis a padres Mery Catota y Sergio Aingla, mis hermanos Darío Ganchala, David Aingla y mi novia Karen Acosta, quienes me han apoyado incondicionalmente en estos largos años de estudio y trabajo, a la EPN por brindarme la oportunidad de aprender de mis errores, además de la experiencia que me ayudará en mi vida profesional.**

## **AGRADECIMIENTO**

**Mi más sincero agradecimiento a la empresa Agroapoyo, por ayudarme con mi tema de estudio, a mi tutor el PhD. Salvatore Reina por su guía y consejos, al PhD. Cesar Ayabaca por recibirme en el laboratorio de máquinas herramientas, y al Ing. José Yumbra quien confió en mi conocimiento y me abrió las puertas al mundo laboral. A todos mis compañeros que, de una u otra forma con su ayuda he llegado a este punto de mi vida.**

## ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES.....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
ÍNDICE DE FIGURAS .....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS .....	XI
ÍNDICE DE ECUACIONES .....	XIII
RESUMEN .....	XIV
ABSTRACT .....	XIV
1 INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 OBJETIVO GENERAL .....	2
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
1.3 ALCANCE:.....	3
1.4 MARCO TEÓRICO .....	3
Estado del arte .....	3
Características de la fruta .....	4
Procesos de deshidratación.....	4
1.5 BENCHMARKING .....	6
Disponibilidad de maquinaria en el mercado. ....	7
1.6 DISEÑO MECÁNICO .....	8
Diseño a condiciones estáticas.....	9
1.7 DISEÑO TÉRMICO .....	10
Diseño por conducción.....	10
Diseño por convección.....	11
1.8 DISEÑO COMPUTACIONAL .....	13
2 METODOLOGÍA .....	14
2.1 PARÁMETROS NECESARIOS PARA PROCESOS.....	14

2.2 DETERMINACIÓN DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS. ....	15
2.3 CASA DE LA CALIDAD.....	15
Voz del cliente.....	15
Voz del ingeniero .....	16
Resultados casa de la calidad .....	17
2.4 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS .....	18
2.5 ANÁLISIS FUNCIONAL .....	18
Simbología del análisis funcional .....	19
Función Global y estructural .....	20
Nivel cero de la función global .....	20
Nivel 1 de la función global .....	20
Análisis modular.....	21
Modulo1. Ingreso de materia prima.....	22
Modulo 2. Deshidratado .....	26
Módulo 3. Controlador.....	36
2.6 MODELAMIENTO MATEMÁTICO .....	39
Modelo térmico. Transferencia de masa y calor .....	39
Controlador. Función transferencia.....	43
Consumo energético del deshidratador .....	45
2.7 SIMULACIÓN COMPUTACIONAL DEL MODELO MATEMÁTICO .....	45
Función de transferencia.....	45
Simulación del esfuerzo en la estructura .....	46
Simulación del modelo térmico .....	47
<b>3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>49</b>
3.1 ESTABILIZACIÓN DE TEMPERATURA DENTRO DEL HORNO .....	49
3.2 ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA .....	50
3.3 ANÁLISIS Y RESULTADOS TÉRMICOS .....	52
3.4 TIEMPO DE SECADO DE FRUTAS .....	57
<b>4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>59</b>
4.1 CONCLUSIONES.....	59
4.2 RECOMENDACIONES .....	60
<b>5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>62</b>

6 ANEXOS .....	65
Anexo I.....	65
Anexo II.....	77



## Índice de figuras

<b>FIGURA 1.1.</b> FRUTAS DESHIDRATADAS DE EMPRESA AGROAPOYO.....	4
<b>FIGURA 1.2.</b> HORNO DESHIDRATADOR A GLP .....	5
<b>FIGURA 1.3.</b> HORNO DE DESHIDRATADO ELÉCTRICO.....	5
<b>FIGURA 1.4.</b> HORNO DE DESHIDRATACIÓN SOLAR.....	6
<b>FIGURA 1.5</b> DESHIDRATADOR 80 BANDEJAS .....	7
<b>FIGURA 1.6.</b> DESHIDRATADOR PARA 200 KG .....	7
<b>FIGURA 1.7.</b> DESHIDRATADOR MAQORITO .....	8
<b>FIGURA 1.8.</b> DESHIDRATADOR AGHD-120ELC .....	8
<b>FIGURA 1.9.</b> ARMADURA DE HORNO .....	9
<b>FIGURA 1.10.</b> COCHES PARA INGRESO DE PRODUCTO .....	10
<b>FIGURA 1.11.</b> PARED TÉRMICA .....	11
<b>FIGURA 1.12.</b> DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES SOBRE PLACA .....	13
<b>FIGURA 2.1.</b> CASA DE LA CALIDAD .....	17
<b>FIGURA 2.2.</b> ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.....	18
<b>FIGURA 2.3.</b> PRINCIPIO FUNDAMENTAL DEL PROCESO DE DESHIDRATADO .....	20
<b>FIGURA 2.4.</b> MODULARIDAD DEL PROCESO DE DESHIDRATADO.....	21
<b>FIGURA 2.5.</b> DIVISIÓN MODULAR DEL PROCESO DE DESHIDRATADO.....	22
<b>FIGURA 2.6.</b> BANDEJA CON MALLA ENTRETEJIDA .....	23
<b>FIGURA 2.7.</b> BANDEJA CON MALLA DE LÁMINA PERFORADA.....	24
<b>FIGURA 2.8.</b> BANDEJA CON MALLA EXPANDIDA .....	24
<b>FIGURA 2.9.</b> DISTRIBUIDOR DE AIRE POR MEDIO DE FLAUTAS.....	27
<b>FIGURA 2.10.</b> DISTRIBUIDOR DE CALOR CON TOLVAS OPUESTAS .....	27
<b>FIGURA 2.11.</b> DISTRIBUIDOR DE CALOR CON TOLVA HORIZONTAL.....	28
<b>FIGURA 2.12.</b> LANA DE VIDRIO .....	30
<b>FIGURA 2.13.</b> LANA DE ROCA.....	31
<b>FIGURA 2.14.</b> PANEL DE POLIISOCIANURATO .....	31
<b>FIGURA 2.15.</b> DIFUSOR DE AIRE ROTACIONAL .....	33

<b>FIGURA 2.16.</b> DIFUSOR DE AIRE POR MEDIO DE REJILLAS.....	34
<b>FIGURA 2.17.</b> DIFUSOR DE TECHO .....	34
<b>FIGURA 2.18.</b> DIAGRAMA DE BLOQUES PARA CONTROLADOR .....	36
<b>FIGURA 2.19.</b> CONTROLADOR CNI8C .....	36
<b>FIGURA 2.20.</b> CONTROLADOR N323RHT .....	37
<b>FIGURA 2.21.</b> CONTROLADOR DPITH .....	38
<b>FIGURA 2.22.</b> FLUJOGRAMA DE MODELO TÉRMICO PROPUESTO.....	42
<b>FIGURA 2.23.</b> DIAGRAMA DE FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA.....	45
<b>FIGURA 2.24.</b> TIEMPO HASTA TEMPERATURAS DE OPERACIÓN.....	46
<b>FIGURA 2.25.</b> CARGAS IMPUESTAS EN LA ESTRUCTURA.....	46
<b>FIGURA 2.26.</b> DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURA EN PARED TÉRMICA.....	47
<b>FIGURA 2.27.</b> FLUJO DE CALOR POR METRO CUADRADO .....	48
<b>FIGURA 2.26.</b> DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURA EN LA RECAMARA .....	48
<b>FIGURA 2.27.</b> DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDAD DENTRO DE LA RECAMARA.....	49
<b>FIGURA 3.1.</b> TENSIÓN DE VON MISES .....	50
<b>FIGURA 3.2.</b> DESPLAZAMIENTO DE LA ESTRUCTURA.....	51
<b>FIGURA 3.3.</b> COEFICIENTE DE SEGURIDAD.....	51
<b>FIGURA 3.4.</b> TEMPERATURA DE OPERACIÓN VS TIEMPO DE EVAPORACIÓN.....	53
<b>FIGURA 3.5</b> VELOCIDAD DE AIRE EN DIFUSOR VS TIEMPO DE EVAPORACIÓN .....	53
<b>FIGURA 3.6.</b> HUMEDAD INICIAL DEL PRODUCTO VS MASA DE GAS CONSUMIDO ....	54
<b>FIGURA 3.7.</b> HUMEDAD INICIAL DEL PRODUCTO VS TIEMPO DE OPERACIÓN.....	54
<b>FIGURA 3.8.</b> DISTRIBUCIÓN DE FLUJO DE AIRE DENTRO DEL DIFUSOR .....	55
<b>FIGURA 3.9.</b> DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURA DENTRO DEL DIFUSOR.....	56
<b>FIGURA 3.10.</b> DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURA EN LAS BANDEJAS .....	56
<b>FIGURA 3.11.</b> DISTRIBUCIÓN DE CALOR EN BANDEJAS Y DIFUSOR .....	57
<b>FIGURA 3.12.</b> DESEMPEÑO DE DESHIDRATADOR ACTUAL Y NUEVO .....	58
<b>FIGURA 3.13.</b> TIEMPO DE EVAPORACIÓN EN FUNCIÓN DE HUMEDAD RELATIVA DEL AMBIENTE .....	59

<b>FIGURA 6.1</b>	<b>CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS DE VENTILADORES CENTRÍFUGOS .....</b>	<b>76</b>
<b>FIGURA 6.2</b>	<b>CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS DE PANELES.....</b>	<b>77</b>

## Índice de tablas

TABLA 1.1. PROPIEDADES TÉRMICAS DE FRUTAS Y VEGETAL .....	4
TABLA 2.1. SIMBOLOGÍA.....	19
TABLA 2.2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE MALLA ENTRETEJIDA .....	23
TABLA 2.3. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LÁMINA PERFORADA.....	24
TABLA 2.4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE MALLA EXPANDIDA.....	24
TABLA 2.5. RESULTADO DE SOLUCIONES DE MÓDULO 1 .....	25
TABLA 2.6. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE DISTRIBUIDOR DE FLAUTA.....	27
TABLA 2.7. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE TOLVAS OPUESTAS.....	28
TABLA 2.8. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE TOLVAS HORIZONTALES. ....	28
TABLA 2.9. RESULTADO PARA LA DISTRIBUCIÓN DEL FLUJO DE CALOR .....	29
TABLA 2.10. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LANA DE VIDRIO.....	30
TABLA 2.11. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LANA DE ROCA.....	31
TABLA 2.12. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE POLIISOCIANURATO.....	32
TABLA 2.13. RESULTADO DE SOLUCIONES PARA AISLANTE.....	32
TABLA 2.14. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE DIFUSOR ROTACIONAL.....	33
TABLA 2.15. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE REJILLA DE ALETAS.....	34
TABLA 2.16. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE DIFUSOR DE TECHO.....	35
TABLA 2.17. RESULTADO DE SOLUCIONES PARA SALIDA DE AIRE SATURADO .....	35
TABLA 2.18. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE CONTROLADOR CNI8C.....	37
TABLA 2.19. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE CONTROLADOR N323RHT.....	37
TABLA 2.20. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE CONTROLADOR DPITH.....	38
TABLA 2.21. RESULTADO DE SOLUCIONES PARA CONTROLADOR .....	39
TABLA 2.22. PROPIEDADES CLIMÁTICAS PARA LA ZONA DE PUEMBO .....	40
TABLA 2.23. PARÁMETROS INICIALES DEL SISTEMA Y PRODUCTO .....	40
TABLA 2.24. PARÁMETROS DE CÁLCULO .....	41
TABLA 2.25. PARÁMETROS PARA LA FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA .....	43
TABLA 2.26. MATERIALES UTILIZADOS EN LA ESTRUCTURA. ....	47

<b>TABLA 3.1.</b>	<b>RESUMEN DE RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA.</b>	<b>50</b>
<b>TABLA 3.2.</b>	<b>RESULTADOS PARA DISTINTAS HUMEDADES INICIALES</b>	<b>52</b>
<b>TABLA 3.3.</b>	<b>DATOS PROPORCIONADOS Y RESULTADOS OBTENIDOS.</b>	<b>58</b>
<b>TABLA 6.1.</b>	<b>EVALUACIÓN POR PONDERACIÓN DE CADA CRITERIO DE MÓDULO 1</b>	<b>65</b>
<b>TABLA 6.2.</b>	<b>EVALUACIÓN PARA MONTAJE MÓDULO 1</b>	<b>65</b>
<b>TABLA 6.3.</b>	<b>EVALUACIÓN PARA MANTENIMIENTO MÓDULO 1</b>	<b>66</b>
<b>TABLA 6.4.</b>	<b>EVALUACIÓN PARA PESO MÓDULO 1</b>	<b>66</b>
<b>TABLA 6.5.</b>	<b>EVALUACIÓN PARA REGULACIÓN MÓDULO 1</b>	<b>66</b>
<b>TABLA 6.6.</b>	<b>EVALUACIÓN PARA COSTO DE FABRICACIÓN MÓDULO 1</b>	<b>67</b>
<b>TABLA 6.7.</b>	<b>EVALUACIÓN PARA CAPACIDAD MÓDULO 1</b>	<b>67</b>
<b>TABLA 6.9.</b>	<b>EVALUACIÓN PARA MONTAJE DE DISTRIBUIDOR DE AIRE</b>	<b>68</b>
<b>TABLA 6.10.</b>	<b>EVALUACIÓN PARA MANTENIMIENTO DE DISTRIBUIDOR DE AIRE</b>	<b>68</b>
<b>TABLA 6.11.</b>	<b>EVALUACIÓN PARA PESO DE DISTRIBUIDOR DE AIRE</b>	<b>68</b>
<b>TABLA 6.12.</b>	<b>EVALUACIÓN PARA FLUJO DE DISTRIBUIDOR DE AIRE</b>	<b>69</b>
<b>TABLA 6.13.</b>	<b>EVALUACIÓN PARA TAMAÑO DE DISTRIBUIDOR DE AIRE</b>	<b>69</b>
<b>TABLA 6.14.</b>	<b>EVALUACIÓN PARA RUIDO Y VIBRACIÓN DE DISTRIBUIDOR DE AIRE</b>	<b>69</b>
<b>TABLA 6.15.</b>	<b>EVALUACIÓN PARA COSTO DE DISTRIBUIDOR DE AIRE</b>	<b>70</b>
<b>TABLA 6.16.</b>	<b>EVALUACIÓN PARA AISLANTES</b>	<b>70</b>
<b>TABLA 6.17.</b>	<b>EVALUACIÓN DE CONDUCTIVIDAD DE CALOR PARA AISLANTE</b>	<b>70</b>
<b>TABLA 6.18.</b>	<b>EVALUACIÓN DE MANTENIMIENTO PARA AISLANTE</b>	<b>71</b>
<b>TABLA 6.19.</b>	<b>EVALUACIÓN DE PESO PARA AISLANTE</b>	<b>71</b>
<b>TABLA 6.20.</b>	<b>EVALUACIÓN DE ESPESOR PARA AISLANTE</b>	<b>71</b>
<b>TABLA 6.21.</b>	<b>EVALUACIÓN DE ESPESOR PARA AISLANTE</b>	<b>72</b>
<b>TABLA 6.22</b>	<b>EVALUACIÓN PARA SALIDA DE AIRE SATURADO</b>	<b>72</b>
<b>TABLA 6.23.</b>	<b>EVALUACIÓN DE CAUDAL PARA SALIDA DE AIRE SATURADO</b>	<b>72</b>
<b>TABLA 6.24.</b>	<b>EVALUACIÓN DE TAMAÑO PARA SALIDA DE AIRE SATURADO</b>	<b>73</b>
<b>TABLA 6.25.</b>	<b>EVALUACIÓN DE PESO PARA SALIDA DE AIRE SATURADO</b>	<b>73</b>
<b>TABLA 6.26</b>	<b>EVALUACIÓN DE PESO PARA SALIDA DE AIRE SATURADO</b>	<b>73</b>

<b>TABLA 6.27.</b> EVALUACIÓN DE COSTO PARA SALIDA DE AIRE SATURADO.....	74
<b>TABLA 6.28.</b> EVALUACIÓN POR PONDERACIÓN PARA CONTROLADOR .....	74
<b>TABLA 6.29.</b> EVALUACIÓN DE RANGO DE OPERACIÓN PARA CONTROLADOR .....	75
<b>TABLA 6.30</b> EVALUACIÓN DE TIEMPO DE RESPUESTA PARA CONTROLADOR .....	75
<b>TABLA 6.31.</b> EVALUACIÓN DE COMPLEJIDAD PARA CONTROLADOR .....	75
<b>TABLA 6.32.</b> EVALUACIÓN DE MANTENIMIENTO PARA CONTROLADOR.....	76
<b>TABLA 6.33.</b> EVALUACIÓN DE COSTO PARA CONTROLADOR.....	76

## Índice de ecuaciones

<b>ECUACIÓN 1.1.</b> FACTOR DE SEGURIDAD .....	9
<b>ECUACIÓN 1.2.</b> PESO DE CADA BANDEJA .....	10
<b>ECUACIÓN 1.3.</b> PESO TOTAL EN EL COCHE .....	10
<b>ECUACIÓN 1.4.</b> LEY DE FOURIER .....	11
<b>ECUACIÓN 1.5.</b> RESISTENCIAS TÉRMICAS EN SERIE .....	11
<b>ECUACIÓN 1.6.</b> RESISTENCIAS TÉRMICAS DE CONDUCCIÓN Y CONVECCIÓN .....	11
<b>ECUACIÓN 1.7.</b> LEY DE ENFRIAMIENTO DE NEWTON .....	12
<b>ECUACIÓN 1.8.</b> LEY DE FICK .....	12
<b>ECUACIÓN 1.9.</b> FLUJO DE CALOR.....	13
<b>ECUACIÓN 1.10.</b> COEFICIENTE DE CONVECCIÓN .....	13
<b>ECUACIÓN 1.11.</b> CRITERIO DE VON MISES.....	13
<b>ECUACIÓN 2.1.</b> BALANCE DE MASA.....	43
<b>ECUACIÓN 2.2.</b> BALANCE DE ENERGÍA.....	43
<b>ECUACIÓN 2.3.</b> BALANCE DE MASA Y HUMEDAD. ....	43
<b>ECUACIÓN 2.4.</b> TASA DE FLUJO DE CALOR.....	44
<b>ECUACIÓN 2.5.</b> LEY DE CONDUCCIÓN DE FOURIER .....	44
<b>ECUACIÓN 2.6.</b> MODELADO MATEMÁTICO TÉRMICO .....	44
<b>ECUACIÓN 2.7.</b> DOMINIO DE LAPLACE.....	44
<b>ECUACIÓN 2.9.</b> CÁLCULO PARA MASA DE COMBUSTIBLE .....	45

## **Resumen**

La conservación de frutas y verduras en el Ecuador es un tema de gran relevancia cuando se desea exportar productos de calidad, durabilidad y de precios accesibles. Por tal motivo empresas como Agroapoyo, buscan mejorar su producción y actualización de hornos antiguos. Por tal motivo se genera y detalla la implementación de un nuevo diseño de deshidratador mecánico para los diferentes productos que la empresa procesa. Con el objetivo de reducir los tiempos empleados en el secado, la reducción del consumo de combustible fósil y manteniendo la inocuidad de los alimentos en el proceso de deshidratación. Para mantener la inocuidad es necesario utilizar materiales permitidos por la industria alimenticia como el acero inoxidable AISC 304, paredes aislantes con recubrimientos inertes, resistentes al calor y humedad, además, deben ser amigables con el medio ambiente. El diseño cumple con los objetivos planteados, se aumentó la eficiencia energética reduciendo el consumo de GLP, brinda seguridad y confort al momento de ser manipulado por los operarios, cuenta con características como: funcionamiento automático del control de temperatura, paro de emergencia y control de humedad de la recámara.

Finalmente se priorizó en realizar un diseño atractivo y funcional, tanto para la empresa como para los consumidores, el nuevo diseño de deshidratador mecánico para frutas y verduras es crucial para mantener la calidad, durabilidad y competitividad de los productos agrícolas del Ecuador. Al considerar la capacidad de procesamiento, la eficiencia energética, la seguridad y la estética en el diseño, se puede lograr un proceso eficiente y seguro.

Palabras clave: Deshidratado, cámara de secado, transferencia de masa, inocuidad, humedad.

## **ABSTRACT**

The preservation of fruits and vegetables in Ecuador is a highly relevant issue when it comes to exporting quality, durable, and affordably priced products. That's why companies like Agroapoyo are seeking to improve their production and upgrade their old drying ovens. This leads to the creation and detailing of a new mechanical dehydrator design for the various fruits and vegetables that the company processes, with the aim of reducing drying times, reducing fossil fuel consumption, and maintaining food safety in the dehydration process. To maintain food safety, it's necessary to use materials permitted in the food industry such as AISC 304 stainless steel, heat and moisture-resistant insulated walls with inert coatings. The design meets the proposed objectives by increasing energy efficiency and reducing LPG consumption, providing safety and comfort when handled by operators, and featuring automatic temperature control, emergency stop, and humidity control in the chamber.

Finally, a priority was placed on making the design both attractive and functional, for both the company and consumers. The new mechanical dehydrator design for fruits and vegetables is crucial for maintaining the quality, durability, and competitiveness of Ecuador's agricultural products. By considering processing capacity, energy efficiency, safety, and aesthetics in the design, an efficient and safe process can be achieved.

Keywords: Dehydrated, drying chamber, mass transfer, safety, humidity.



# 1 INTRODUCCIÓN

El crecimiento de la demanda por alimentos saludables y no perecibles se vio reflejado en la postpandemia, la exportación del sector de conservas de frutas aumentó el 23.6% respecto al 2021, mientras que la exportación de frutas decreció en 16.8% (Evolución de la Balanza Comercial por productos., 2022). Adicionalmente en el país según la FAO el Ecuador desperdicia alrededor de 45% de la producción de fruta debido a factores como sobreproducción, procesos de producción, transporte y conservación. Esto representa un fuerte gasto debido al costo de producción, los recursos que se emplean como energía, agua, fertilizantes, mano de obra, maquinaria, suelo, entre otros. Por lo cual promueven el aumento del impacto ambiental por el aumento de suelos de cultivo (deforestación) y contaminación de agua (FAO, 2017).

El aumento de productos como las frutas, verduras y legumbres deshidratadas se debe a que estas conservan las mismas propiedades alimenticias que las frutas frescas. Con ciertas diferencias como los nutrientes, ya que estos están más concentrados debido a la remoción del contenido de agua; el aumento de vida útil del producto debido a que las bacterias causantes de la descomposición requieren altos niveles de humedad proporcionados por la misma fruta para proliferar. El fácil almacenado y comercialización de productos deshidratados conlleva a que otros métodos de conserva de alimentos se vean menos rentables. Como la refrigeración el cual es un proceso costoso y medianamente duradero, donde, sí se rompe la cadena de frío el producto puede echarse a perder. Por último, la reducción del problema de la sobre producción de fruta y verdura en diferentes épocas del año. (Cabrera, Jurado, & Vera, 2021)

Por otra parte, el deshidratado además de contribuir en gran manera a la conservación de alimentos, por medio de la reducción del contenido de agua, también se reduce el peso del producto debido a que varias frutas y verduras concentran gran cantidad de agua en ellas. (Changoluiza & Deivy, 2022)

Con el crecimiento de las exportaciones en conservas de frutas y verduras, ha impulsado la reducción de desperdicios alimenticios, dando paso a métodos económicos de almacenaje. Como ejemplo las industrias alimenticias como Agroapoyo requieren un proceso que no sea costoso, sea eficiente, de fácil montaje y mantenimiento para aumentar sus márgenes de producción, ventas y fundamentalmente el apoyo a la agricultura orgánica y de pequeños

productores de todo el país. Dicho deshidratador será diseñado en base a este enfoque, el cual, al ser alimentado por GLP, impulsará la reducción en el tiempo que le toma a las frutas y verduras, eliminar el contenido de agua. Mediante la convección forzada en un margen óptimo de temperatura, es decir, sin afectar sus concentraciones de nutrientes y vitaminas. El diseño del horno será implementado para deshidratar (400 Kg) de fruta o vegetales, para el cual se realizará su respectiva simulación computacional para la verificación de tiempo de secado y temperatura óptima, así como el consumo de combustible.

### **1.1 Objetivo general**

- Diseñar y simular un horno deshidratador en el cual se reduzca el tiempo de secado de frutas y verduras.

### **1.2 Objetivos específicos**

- Determinar los requisitos y normas técnicas para el diseño del deshidratador en el cual la fruta conserve sus propiedades alimenticias.
- Seleccionar alternativas para reducir el tiempo de secado dependiendo del consumo de GLP, temperatura de operación, así como, los productos a secar.
- Implementar un análisis de elementos finitos para obtener las propiedades mecánicas óptimas que cumplan con la selección de la mejor alternativa elegida.
- Desarrollo de los planos mecánicos para el deshidratador de acuerdo con la simulación realizada.

### **1.3 Alcance:**

El presente Trabajo de Integración Curricular inicia con la recopilación bibliográfica para determinar la información indispensable relacionada al estudio de la cadena de deshidratación postcosecha, luego se va a definir las especificaciones del horno deshidratador de energía solar para el pre secado y el horno a gas para la deshidratación de la fruta antes de la exportación y se va a plantear, analizar y seleccionar la más adecuada y se va a proceder a realizar el diseño de los componentes del sistema de pre secado y deshidratación de los hornos, así como seleccionar el ventilador, termostato y controlador. Una vez que se tenga el diseño se va a realizar un modelado 3D y simulación térmica y elaboración de planos.

### **1.4 Marco teórico**

En el presente capítulo, se expondrá las principales ideas, principios, ecuaciones y componentes que describen y detallan el proceso de deshidratación de frutas y verduras, para lo cual se inicia con el estado del arte, donde determinamos las principales características del producto a deshidratar, dichas características son de criterio técnico, como sus propiedades termodinámicas, posterior a su descripción se detalla los principales componentes de un horno deshidratador que son los que intervendrán en la elección de las soluciones para su diseño además, la disponibilidad de estos elementos en el mercado nacional por medio del benchmarking y la alimentación energética del horno es por GLP.

Para el modelado matemático y computacional, se propone las ecuaciones generales que rigen los procesos termodinámicos de transferencia de temperatura y masa, las cuales determinaran una función de transferencia que describa el comportamiento del horno y como la variación de parámetros afectan su desempeño; para la simulación del comportamiento térmico y mecánico del horno, se lo realiza bajo criterios técnicos de diseño como son cargas la cargas de cada comportamiento, los límites de fronteras, las condiciones iniciales y las propiedades del sistema.

#### **Estado del arte**

En esta sección se recopila y analiza la información obtenida de los principales procesos de deshidratación, las propiedades térmicas de frutas y vegetales, así como una visión clara y actualizada del proceso a diseñar.

## Características de la fruta

Los principales frutos y vegetales que se deshidratan en la empresa Agroapoyo, son los planteados en la tabla 1.1 (ASHRAE, 2017), de los cuales se requiere conocer ciertas propiedades térmicas para su análisis.

**Tabla 1.1.** Propiedades térmicas de frutas y vegetal

Frutas	Contenido agua (%)	Densidad ( $Kg/m^3$ )	Conductividad térmica ( $W/mK$ )	Calor Específico ( $kJ/KgK$ )
Plátano (Banano)	76	980	0.481	3.59
Piña	85	1010	0.549	3.69
Naranja	87	1030	0.580	3.75
Manzana	85	840	0.418	3.81
Mora	92	1050	0.545	3.99
Zanahoria	90	1040	0.605	3.94

## Procesos de deshidratación.

La deshidratación es un proceso mayormente usado para conservar alimentos, consiste en la remoción de la mayor cantidad de agua libre que se encuentra en frutas y verduras, que es alrededor del 75 al 90% (ASHRAE, 2017). Por medio de la transferencia de masa y calor, este proceso reduce el deterioro de la fruta debido a la reducción del ambiente de proliferación de bacterias y actividad enzimática. Además, como se observa en la figura 1.1, se reduce su peso y volumen para un fácil almacenaje y transporte, el proceso prioriza mantener sus valores nutricionales, vitaminas, sabores, color de la fruta.



**Figura 1.1.** Frutas deshidratadas de empresa AGROAPOYO.

**Fuente:** (Agroapoyo, 2022)

Existen varios procesos de deshidratado para frutas, los principales involucran el uso de GLP y GN que requieren de instalación de tubería, quemadores, ventiladores y controlador para el ingreso de calor, extracción de vapor de agua como se observa en la figura 1.2. (Lobo, 2022)



**Figura 1.2.** Horno deshidratador a GLP

**Fuente:** (Lobo, 2022)

Hornos de resistencias eléctricas que son alimentados por energía de la red eléctrica, como método de generación de calor, estas resistencias pueden ser cerámicas o metálicas y requieren un sistema de control de temperaturas, como se observa en la figura 1.3 .



**Figura 1.3.** Horno de deshidratado eléctrico.

**Fuente:** (IKE, 2022)

Los hornos de energía solar se dividen en dos grupos, primero los directos, son los que menos recursos necesitan, reciben la energía directo del sol ya que calienta el aire interno del horno por medio de tubos o colectores solares. La forma indirecta es alimentar resistencias eléctricas por medio de paneles solares como lo indica la figura 1.4, en el cual el producto

alcanza valores entre 50% y 60% de contenido de agua en la fruta, por lo que es considerado como un pre secado.



**Figura 1.4.** Horno de deshidratación solar

**Fuente:** (ERC, 2022)

Entre las opciones planteadas, se desarrollará el secado alimentado por gas licuado de petróleo, ya que su montaje y construcción no depende de factores externos como el clima, la hora de trabajo (día o noche), apagones y sustancias adicionales como es el caso de la deshidratación por osmosis. Se ocupa aire y combustible, por lo que es un equipo económico y de fácil mantenimiento, eso sí, su diseño y construcción debe estar regulado bajo norma ya que representa un mayor peligro en comparación con los otros métodos de deshidratado.

La norma que rige y establece los requisitos técnicos, medidas de seguridad, tanto para el diseño, instalación, mantenimiento y modificaciones de una red de uso de GLP es la NTE INEN 2260 (INEN, 2015). En la cual se detalla el tipo de material que se debe usar para la tubería, dependiendo de la presión que se requiera, para el caso del deshidratador a construir, se utiliza un rango de presiones entre 200kPa hasta 500kPa.

## 1.5 Benchmarking

En esta sección se compara los deshidratadores para fruta que funcionan con GLP disponibles para la industria, con el fin de identificar oportunidades de mejora y desarrollo. Al realizar el benchmarking, se pueden observar aspectos como la eficiencia energética, la velocidad de deshidratación, la calidad del producto final y la durabilidad del equipo. Además, permite establecer estándares para la mejora continua, y permitir la adopción de tecnologías

innovadoras y prácticas eficaces para lograr una mayor eficiencia y rentabilidad en la producción de frutas deshidratadas.

### **Disponibilidad de maquinaria en el mercado.**

En el mercado nacional se encuentra dos tipos de proveedores, el primero, que realiza la maquinaria dependiendo del requerimiento del cliente o bajo pedido y el segundo, el cual dispone de un pequeño catálogo y descripción. Los equipos disponibles en el mercado nacional son de pequeña capacidad como se observa en la figura 1.5, alrededor de 100 Kg y 480 L de volumen



**Figura 1.5** Deshidratador 80 bandejas

**Fuente:** (Ocompra, 2023)

En el mercado internacional en cambio, se encuentra hornos de mayor capacidad volumétrica, las bandejas son grandes 600x1000 [mm], pero de igual forma su construcción es bajo pedido. El horno es más grande que la opción del mercado nacional, como lo indica la figura 1.6, pero no satisface la demanda de la empresa.



**Figura 1.6.** Deshidratador para 200 Kg.

**Fuente:** (Deshidratadoras-Peru, 2023)

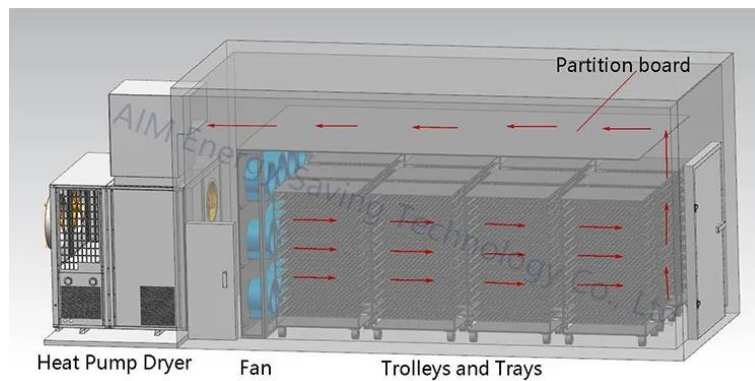
También se pueden encontrar deshidratadores pequeños de 12 bandejas, de baja potencia de consumo (1.5kW), livianos y de fácil transporte como se evidencia en la figura 1.7.



**Figura 1.7.** Deshidratador Maqorito

**Fuente:** (MAQORITO, 2023)

Los deshidratadores que mejor se adaptan a la necesidad de la empresa, son de origen chino, ya que disponen de una alta gama de equipos, tanto eléctricos como solares. En el caso de los equipos que funcionan con GLP, se encuentran cámaras de secado de hasta 2000 kg, como se aprecia en la figura 1.8, cuentan con un equipo de ventilación de 20A y 380 V, con una potencia nominal de entrada de 11.5 kW/h. Se puede observar cómo circula el aire en la recámara, la unidad de calor y ventilador está separada y aislada del compartimiento de deshidratado.



**Figura 1.8.** Deshidratador AGHD-120ELC

**Fuente:** (Technology, 2023)

## 1.6 Diseño mecánico



Esta es la etapa de creación y desarrollo de la estructura física, en este proceso se incluyen las ecuaciones que permiten determinar resultados a analizar, especificaciones técnicas, los materiales a utilizar y requisitos de funcionamiento.

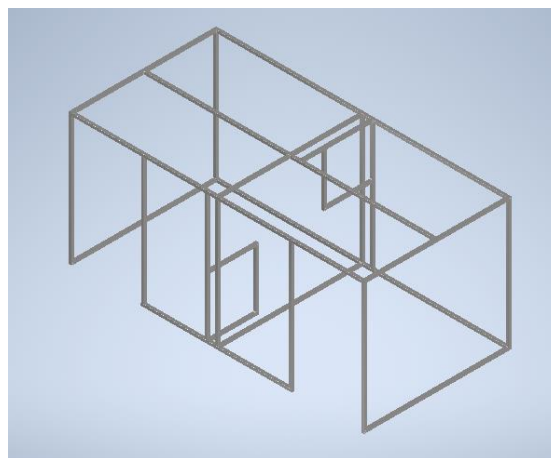
### **Diseño a condiciones estáticas.**

El horno deshidratador estará compuesto por una estructura metálica tipo reticular, donde el principal esfuerzo estará concentrado en las columnas, ya que son las que soportarán el peso de las paredes aislantes. La estructura trabajará en condiciones estáticas a tensión y compresión, según la AISC (AISC, 2011), el factor de seguridad será determinado mediante la ecuación 1.1.

$$F.S = \frac{S_y}{\sigma}$$

**Ecuación 1.1.** Factor de seguridad

Los marcos para la armadura del horno observada en la figura serán de acero inoxidable AISC 304, de dimensiones de 40x40x2 mm, los cuales dispone la empresa de alimentos y serán unidos mediante soldadura E308L. (AISC, 2011)



**Figura 1.9.** Armadura de Horno

**Fuente:** Propia

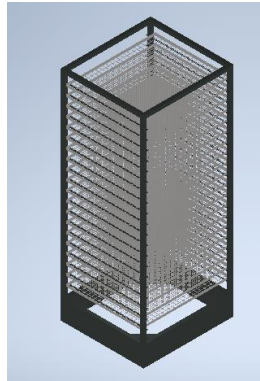
Para el caso de las bandejas, de igual forma serán diseñadas a condiciones estáticas con una longitud de 645 x 700 [mm], con una separación de 70 [mm] entre ellas y una disposición de 20 bandejas en cada coche como se bosqueja en la figura 1.10. Se usarán las ecuaciones 1.2 y 1.3 para determinar el peso por bandeja y peso total de coche respectivamente. Siendo la masa, la cantidad de producto que se coloca y n el número de bandejas

$$P = masa * gravedad$$

**Ecuación 1.2.** Peso de cada bandeja

$$P_t = n * \sum P$$

**Ecuación 1.3.** Peso total en el coche



**Figura 1.10.** Coches para ingreso de producto

**Fuente:** Propia

## 1.7 Diseño Térmico

En esta etapa se propone 2 tipos de análisis térmico para el diseño, en la primera se tiene la conducción térmica en las paredes del horno, donde se genera las pérdidas de calor y la convección, la cual permite el secado del producto.

### **Diseño por conducción.**

Las paredes del horno de deshidratado están formadas por una estructura tipo sándwich, en la cual se tiene un aislante térmico contenido por dos planchas de acero o material polimérico. La lámina de acero interior al ser delgada y estar expuesta por un prolongado tiempo y conservará la misma temperatura en todo el proceso. Por lo que el flujo de calor será descrito por la ley de Fourier observada en la ecuación 1.4. Donde se trabaja con las temperaturas ambiente ( $T_{\infty 1}$ ) y de operación ( $T_{\infty 2}$ ). Además, en el diseño se realizará los cálculos con el coeficiente global de transferencia de calor de las resistencias en serie, utilizando el inverso de la ecuación 1.6. (Cengel & Ghajar, 2011). Con  $k_1$ ,  $k_2$  y  $k_{ais}$ , las conductividades de los

materiales a utilizar,  $L_1$ ,  $L_2$  y  $L_{ais}$  los espesores, el área es la misma para toda la pared.  $h_1$  y  $h_2$  coeficientes de convección externa e interna.

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{tot}}$$

**Ecuación 1.4.** Ley de Fourier

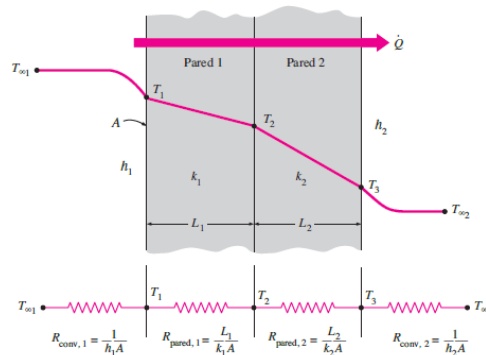
$$R_{tot} = R_{conv1} + R_{pared1} + R_{asilante} + R_{pared2} + R_{conv2}$$

**Ecuación 1.5.** Resistencias térmicas en serie

$$R_{tot} = \frac{1}{h_1 A} + \frac{L_1}{k_1 A} + \frac{L_{ais}}{k_{ais} A} + \frac{L_2}{k_2 A} + \frac{1}{h_2 A}$$

**Ecuación 1.6.** Resistencias térmicas de conducción y convección

El caso que se tiene es conducción de calor en estado estacionario similar a la figura 1.11, ya que la variación de la temperatura en el tiempo está contemplada entre  $\pm 5^\circ\text{C}$  para cada producto. El tiempo de exposición de las paredes estará cuantificado en horas, dependiendo de la carga de producto a ingresar.



**Figura 1.11.** Pared Térmica

**Fuente:** (Cengel & Ghajar, 2011)

El objetivo es reducir al mínimo el calor disipado hacia la atmósfera, el combustible consumido y el tiempo de secado de los alimentos. Para lograr este objetivo se modificará el espesor del aislante, reduciendo la conductividad térmica.

**Diseño por convección.**

La cámara de deshidratado estará modelada bajo la acción de la convección forzada, el aire caliente es el que removerá el contenido de agua de la fruta en forma de vapor de agua, por lo que se tiene transferencia de masa y temperatura. El modelo está contemplado bajo la primera ley de la termodinámica. El principal factor por contemplar es la tasa o transferencia de calor entre un fluido ( $h$ ) y un sólido (producto: Fruta) con la siguiente ecuación 1.7 denominada, ley de enfriamiento de Newton (Cengel & Ghajar, 2011)

$$\dot{Q} = h * A_s * (T_s - T_\infty)$$

#### **Ecuación 1.7.** Ley de enfriamiento de Newton

La ley de enfriamiento de Newton, al tener un área de superficie constante, temperatura de operación constante, el factor a modificar para aumentar la transferencia de calor será el coeficiente de transferencia de calor. El cual al ser convección forzada se lo analizará mediante el número de Nussel, Reynolds, bajo condiciones de frontera de paredes para el caso de productos en bandejas, dependiendo de estos factores se establecerán las correlaciones pertinentes.

La transferencia de masa ( $\dot{m}_{conv}$ ) esta modelada por la ley de Fick presentada en la ecuación 1.8, conocida como difusión, la cual es análoga a la ley de enfriamiento de Newton, expresada de la siguiente forma:

$$\dot{m}_{conv} = h_{masa} * A_s * (C_s - C_\infty)$$

#### **Ecuación 1.8.** Ley de Fick

Donde se observa que el área superficial es la misma que la ecuación 1.7, el coeficiente de transferencia de masa ( $h_{masa}$ ) se lo obtiene mediante la difusividad térmica del agua en el aire, el número de Schmidt y número de Sherwood. De los cuales según el número de Reynolds y Prantl, se determinará la analogía a usar. Las concentraciones ( $C_s$  y  $C_\infty$ ) son adimensionales y están en función del producto a secar y el fluido de operación respectivamente. Al aplicar la condición de no deslizamiento observada en la figura 1.12, dado que la capa de fluido adyacente al producto está en condición pura por su velocidad relativamente lenta y constante.

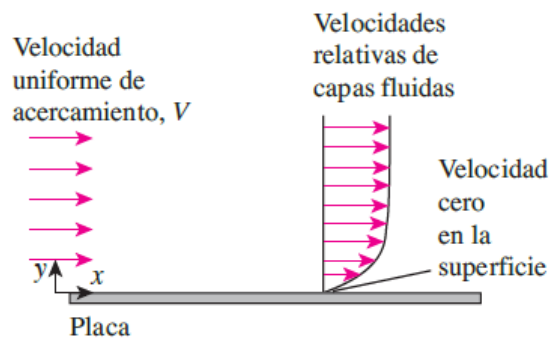
El modelo matemático se resolverá utilizando la ecuación diferencial presentada en la ecuación 1.9, para el flujo de calor ( $\dot{q}$ ), obteniendo el coeficiente de convección ( $h$ ) mediante la ecuación diferencial 1.10.

$$\dot{q} = -k_f * \frac{\partial T}{\partial y} \text{ con } y = 0$$

**Ecuación 1.9.** Flujo de calor

$$h = \frac{-k_f * \frac{\partial T}{\partial y}}{T_s - T_\infty}$$

**Ecuación 1.10.** Coeficiente de convección



**Figura 1.12.** Distribución de velocidades sobre placa

**Fuente:** (Cengel & Ghajar, 2011)

## 1.8 Diseño Computacional

Para el diseño computacional, se lo usó en 3 programas diferentes, para el modelo térmico se lo realizó en EES obteniendo gráficas sobre el comportamiento de los elementos térmicos. El programa ANSYS, para evidenciar la distribución de calor y velocidad del aire en la recámara. El programa INVENTOR para realizar el análisis estructural de la recámara. Donde según la ecuación 1.11 del criterio de Von Mises, observará que la estructura trabaje tanto en el rango elástico, así como un factor de seguridad adecuado.

$$\sigma_{vM} = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}} \geq \sigma_Y$$

**Ecuación 1.11.** Criterio de Von Mises

## **2 METODOLOGÍA**

En el presente capítulo se describe el proceso a seguir para el diseño del deshidratador. Por medio del uso de herramientas analíticas como el desarrollo de la casa de la calidad, parámetros de mayor relevancia en el diseño, especificaciones técnicas según el cliente requiera y su disponibilidad en el mercado nacional. Se realiza las funciones modulares y evaluación de soluciones para los diferentes módulos; con lo cual se procede a realizar la elección de los componentes para el diseño del horno, su simulación, función de transferencia y planos mecánicos.

### **2.1 Parámetros necesarios para los procesos**

El desarrollo del proyecto contempla cuatro parámetros esenciales para la evaluación y desempeño del deshidratador el primero es la temperatura. Es el parámetro principal para tomar en cuenta, ya que será el encargado de reducir el porcentaje de agua en el producto. Estará sujeto a variaciones dependiendo de la fruta y el tiempo que debe deshidratarse, así como del caudal de combustible. Como segundo parámetro se tiene el tiempo de arranque. Es el tiempo por considerar desde el encendido de los quemadores y el ventilador, hasta que la se obtiene una temperatura estable requerida, dependiendo del tipo de fruta y carga que se ingrese. Como tercer parámetro se tiene el tiempo de deshidratado, es el tiempo que considera desde la estabilidad del arranque hasta la finalización del deshidratado que es cuando se tienen los niveles de humedad bajos, requeridos por el cliente. Por último, el flujo de combustible, este parámetro será el encargado de medir el consumo energético del horno en todo el proceso y se optimizará el uso de GLP. Con estos parámetros obtenidos y calculados, se comparará este consumo con los datos proporcionados por la empresa y con producto pre secado para brindar un análisis comparativo de las mejoras implementadas.

## **2.2 Determinación de especificaciones técnicas.**

El diseño del proyecto tiene como fin preservar la fruta por mayor tiempo posible, evitando generar desechos y desperdicios por cuestiones de almacenamiento y tiempo de vida útil de las frutas cosechadas. Para ello se toma como lugar de estudio y referencia a la empresa Agroapoyo, la cual brindará información acerca del proceso de deshidratado.

La maquinaria disponible en el mercado nacional es deficiente, ya que su capacidad es limitada y baja, su consumo energético es principalmente energía eléctrica. Para lo cual se opta por el desarrollo de una maquinaria personalizada de acuerdo con los requerimientos de la industria alimenticia. Dicha máquina cumplirá con los requerimientos de tiempos y temperaturas necesarias de cada producto, así como, reducir el impacto ambiental por medio de la optimización del recurso energético fósil.

## **2.3 Casa de la calidad**

Las especificaciones técnicas del horno deshidratador son determinadas mediante el análisis QFD de la casa de la calidad, con los requerimientos del cliente para sus productos se planifica y asegura la calidad en todo el ciclo de vida del producto. Con la voz del cliente, se plantea un criterio ingenieril para cada requerimiento solicitado, dándole una calificación o peso a los ítems de mayor a menos importancia, identificando los requerimientos técnicos más importantes.

### **Voz del cliente**

Son los requerimientos más importantes del cliente (Agroapoyo), que necesitan ser atendidos, entre los cuales se tiene:

- La temperatura debe permanecer estable en todo el proceso.
- Que tenga buena capacidad de procesamiento de producto.
- El consumo o alimentación sea con GLP.
- Que sea fácil de usar.

- Sus válvulas y control de temperaturas sean seguras.
- El mantenimiento del horno y sus coches de ingreso sean sencillos.
- El ingreso de producto debe ser por medio de coches.
- El producto será colocado en bandejas en cada coche de fácil montaje.
- La temperatura no debe ser mayor a 90°C.

## **Voz del ingeniero**

Una vez establecida la voz del usuario, se plantea las alternativas ingenieriles que son las características o requerimientos técnicos solicitados, de los cuales se tienen los siguientes:

- Tiempo de proceso de deshidratado
- Capacidad volumétrica
- Combustible
- Temperatura
- Controlador automático
- Aislante térmico
- Distribución de aire caliente
- Material
- Ruido
- Peso
- Sistema modular
- Tiempo de arranque de deshidratado

Con los requerimientos técnicos propuestos, se emplea el método de QFD planteado en la figura 2.1, mediante el cual se le da un peso a cada característica, dependiendo de la importancia solicitada por el cliente. En esta figura 2.1 de la casa de la calidad, se deben establecer límites o rangos en los que se va a operar dependiendo del requerimiento. No se contempla un análisis de competidores, ya que la mayoría de los productos se realiza bajo pedido y el producto es específico para cada cliente.



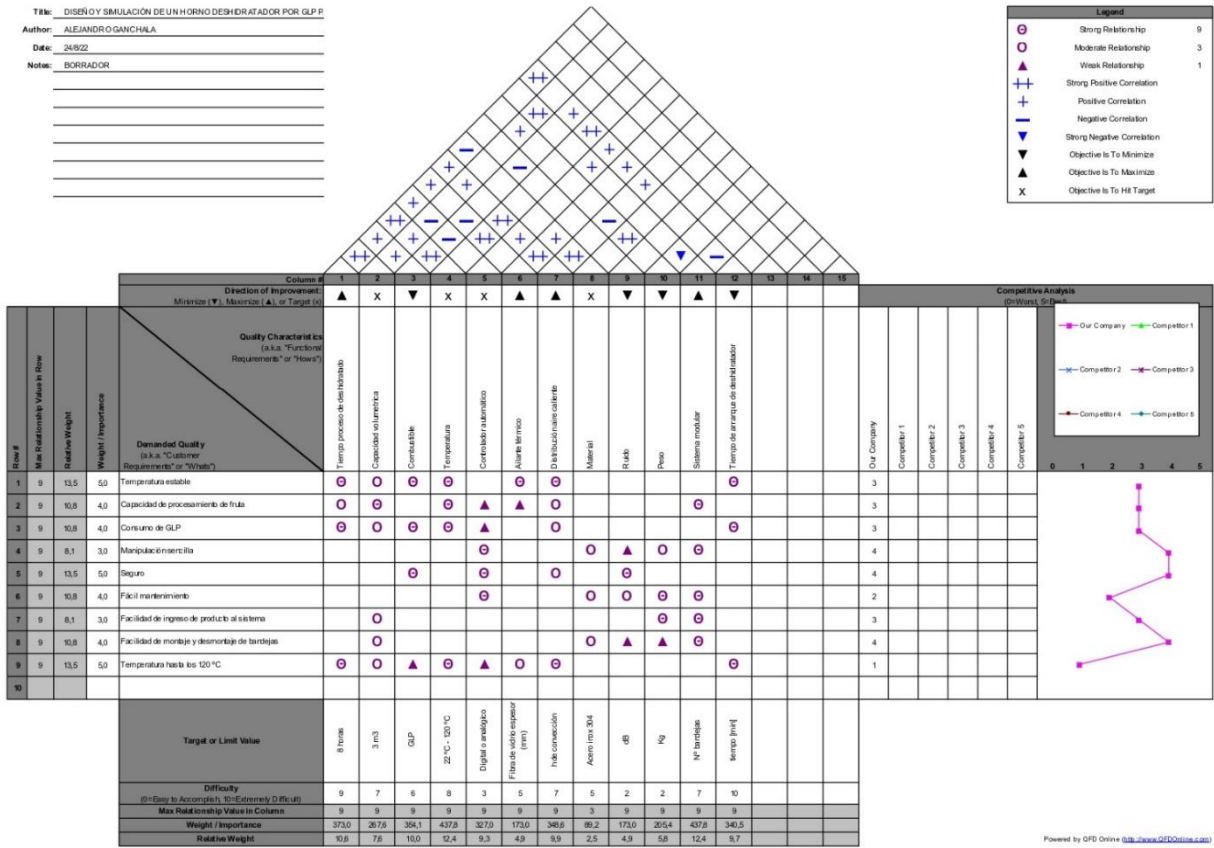


Figura 2.1. Casa de la calidad

Fuente: (QFD online)

## Resultados casa de la calidad

La casa de la calidad fue elaborada mediante los requisitos de usuario e ingeniero para este proyecto en el cual no se ha realizado el análisis de mercado ya que no existe maquinaria de esta capacidad y dimensión. La figura 2.1 arroja la información de mayor valor importancia, en la cual se fundamentará el diseño del horno, donde los requerimientos técnicos ordenados de forma descendente en importancia son. Primero la temperatura, seguido por el sistema modular, Tiempo de operación, consumo de GLP y como último, el tiempo de estabilización de la temperatura. Estos serán los parámetros que se desarrollarán y evaluarán en las secciones posteriores para brindar el cumplimiento de los objetivos.

## 2.4 Especificaciones Técnicas

Las especificaciones técnicas se han establecido en base a los resultados de la casa de la calidad y se presentan en la figura 2.2, describiendo su función y los tiempos estimados para su realización.

Empresa - Cliente: Agroapoyo S.A	Producto: deshidratadora de frutas y hortalizas		Máquina	Fecha inicial:	
Diseñador: Alejandro Ganchala				Segunda revisión	
Especificaciones Técnicas					
Concepto	Fecha	Propone	R/D	Descripción	
Función	semana 1	C	R	Deshidratar varios tipos de frutas y verduras, en el cual el peso y volumen, esté dentro de la capacidad de la maquina y no exceda el tiempo necesario dependiendo de la fruta	
Materiales	semana 1	D+H	R	De uso en la industria alimenticia, resistente a la corrosión por humedad, altas temepaturas, que mantenga la inocuidad de los alimentos	
Energía	semana 1	C	R	La maquina será alimentada por medio de GLP, suministrado mediante una bombona de gas	
	semana 1	C	R	Motor electrico 220V y 60 Hz para ventilador	
Seguridad	semana 1	D+H	R	Paros de emergencia en la maquinaria	
Automatización	semana 1	D+H	D	Controladores, medidores de temperatura, presión y caudal	
Mantenimiento	semana 2	C+D	R	Limpieza de maquinaria y tubería, coches de ingreso, entrada de aire y quemador	
Ergonomía	semana 1	C+D	D	Facil accesibilidad del producto y del operario, bajo nivel de ruido, baja transmisión de calor al exterior	
PROPONE: M=Marketing, D=Diseño, P=Producción, F=Fabricación, I=Ingeniería, C=Cliente.					
R/D: R=Requerimiento, D=Deseo, MR=Modificación de Requerimiento					

**Figura 2.2.** Especificaciones Técnicas

**Fuente:** Propia

## 2.5 Análisis Funcional


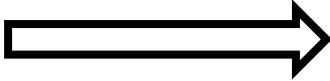



Se analizará el deshidratador por medio de una estructura de módulos con el propósito de obtener las funciones principales y secundarias del deshidratador. Se define como funciones

principales a las características que el usuario solicita en este tipo de máquinas, así como el objetivo principal del proyecto. Por otro lado, las funciones secundarias son las que complementan el objetivo principal, con estos antecedentes, se propone un desglose por módulos explicando de manera clara y detalla la realización del diseño del horno. La máquina será dividida en módulos para su desarrollo, para la comprensión se propone una serie de diagramas de flujo partiendo del nivel cero en adelante.

## Simbología del análisis funcional

Los diagramas de flujo están representados por símbolos de fácil lectura y representación de funciones, para lo cual se hace uso de la normal VDI 2222 la cual permite estructurar de manera fácil, funcional y articulada una guía del desglose de los módulos. Dicha simbología está representada en la tabla 2.1, en la que se observa de forma detallada la función o proceso, una breve descripción y el símbolo que lo representa.

**Tabla 2.1.** Simbología.

<b>Función</b>	Rectángulo con línea continua	
<b>Dirección y flujo del material</b>	Una flecha sin relleno	
<b>Dirección y flujo de energía</b>	Una flecha con relleno	
<b>Dirección de señal</b>	Flecha entrecortada	
<b>Sistema, subsistema y módulo</b>	Rectángulo con línea entrecortada	

Los Módulos, sistemas y subsistemas se ubican al lado izquierdo y arriba del rectángulo que los encierra. El flujo se ubica arriba de las flechas de dirección o flujo, por ejemplo, el caso de

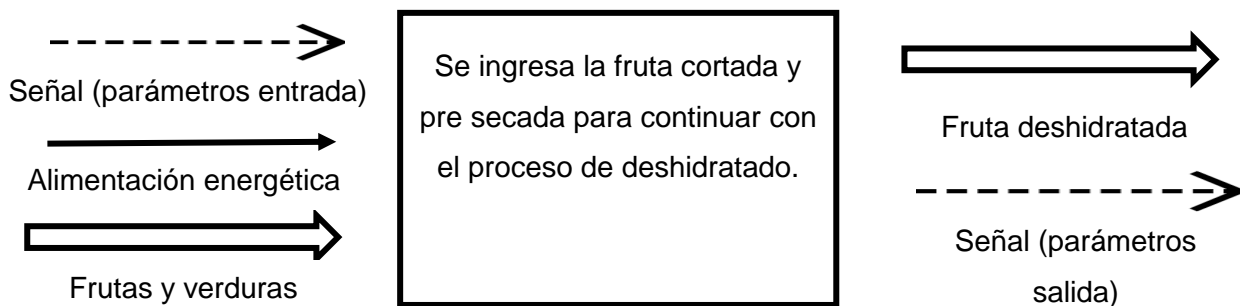
ingreso de materia prima, energía o señales. Las funciones se ubican dentro del rectángulo en el cual se detalla la orden principal.

### **Función Global y estructural**

La función global representa todo el sistema planteado por medio de la simbología establecida en la tabla 2.1, la cual debe presentar una estructura secuencial.

### **Nivel cero de la función global**

El nivel fundamental o resumido del proyecto se lo denominará función cero, la cual debe presentar los factores relevantes para la maquinaria como lo es, la alimentación, la señal de control, el producto a procesar y el producto final. Los cuales se detallan en la figura 2.3, en la cual se observa las entradas y las salidas que tiene el sistema. Como entradas se tienen el producto ya sea fresco o pre secado, señales de control o de sensores y la alimentación de la máquina, que es por GLP y energía eléctrica. A la derecha se tiene las salidas del sistema en el cual se obtiene el producto final ya seco con la humedad requerida y parámetros como el tiempo de operación. El cuadro central presenta un breve resumen sobre el proceso.



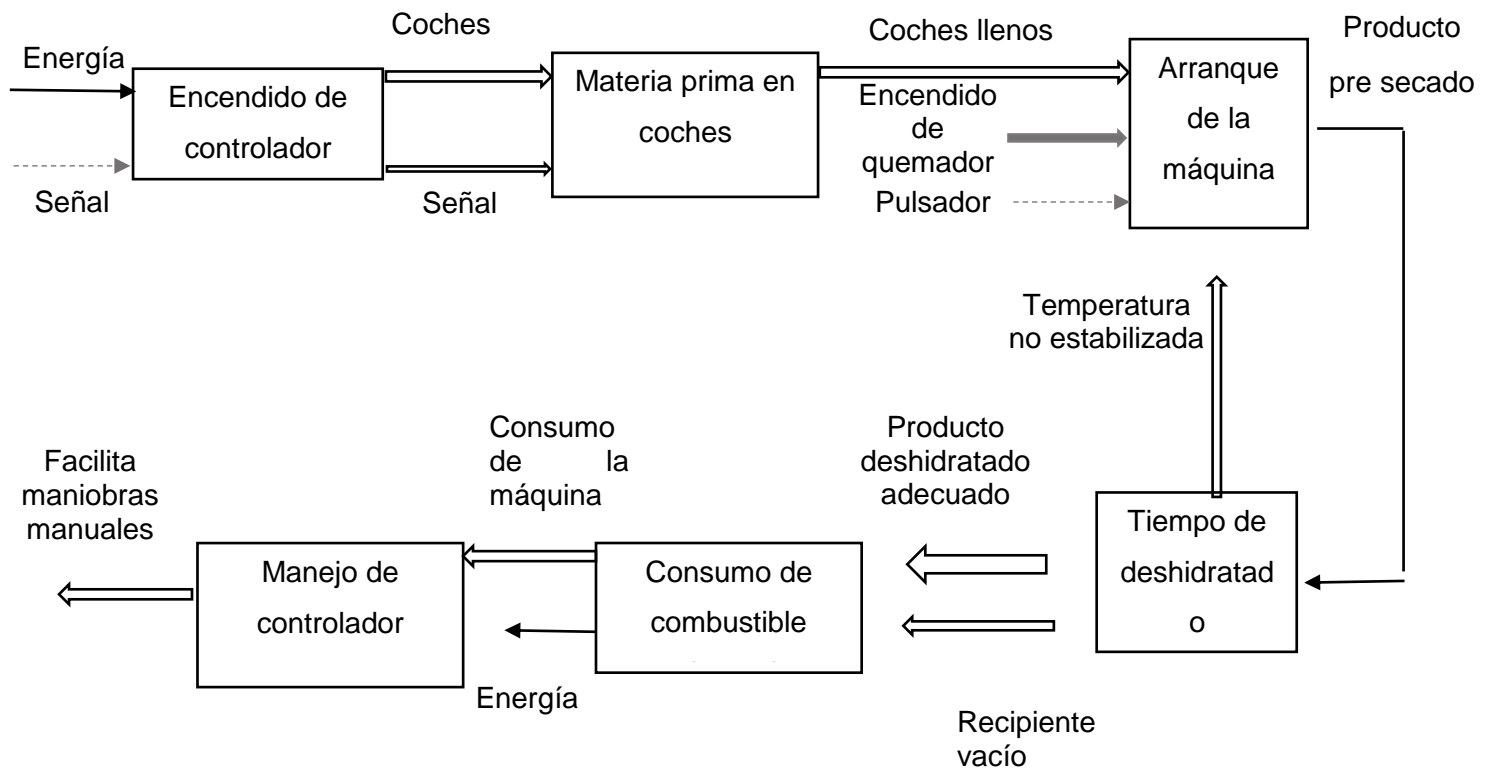
**Figura 2.3.** Principio fundamental del proceso de deshidratado

**Fuente:** Propia

### **Nivel 1 de la función global**

En este nivel, se presenta el desglose de las funciones que describen la obtención del producto final. Como se observa en la figura 2.4, se divide la función global en subfunciones,

lo que permite un observar y analizar la función global con más detalle. Desde que ingresa el producto a las bandejas, se enciende el horno, se calienta la recamara en un tiempo establecido, ingresa el producto o materia prima, se seca y mediante sensores la temperatura es controlada.



**Figura 2.4.** Modularidad del proceso de deshidratado

**Fuente:** Propia

### Análisis modular

Dividir el proyecto por módulos, facilitara su trabajo ya que se desarrolla paralelamente cada módulo, facilita la obtención de soluciones independientes. Se reduce el tiempo de montaje, costos, mantenimiento y brinda una mejora sobre el reemplazo de componentes a futuro. El módulo 1 corresponde al ingreso de producto pre – secado o de la materia prima por medio de la colocación de producto en las bandejas de los coches. Encendido del controlador del horno para medir temperatura y caudal. El módulo 2 es el proceso de deshidratación, una vez colocado el producto previamente pre – secado en las bandejas y transportadas en coches hacia el interior del horno deshidratador. Se cierra las compuertas, se enciende los quemadores y ventilador, empieza el tiempo de estabilización de la temperatura y posterior

el deshidratado. Se verifica que la temperatura sea la correcta, caso contrario se regula el caudal de combustible y se espera a que la temperatura se estabilice en el valor requerido. Finalmente se obtiene el producto con los niveles de humedad y propiedades alimenticias requeridas. El módulo 3 que es el control de la temperatura, una vez obtenido el producto final, se procede a la verificación del consumo de GLP para su comprobación posterior con el deshidratador sin materia prima pre - secada. El manejo del sistema se lo realiza por medio del controlador, el cual permite realizar paros de emergencia, maniobras manuales y maniobras donde no es posible acceder manualmente como el caso de las altas temperaturas. Con los módulos establecidos, se procede a detallar en la figura 2.5 su distribución.

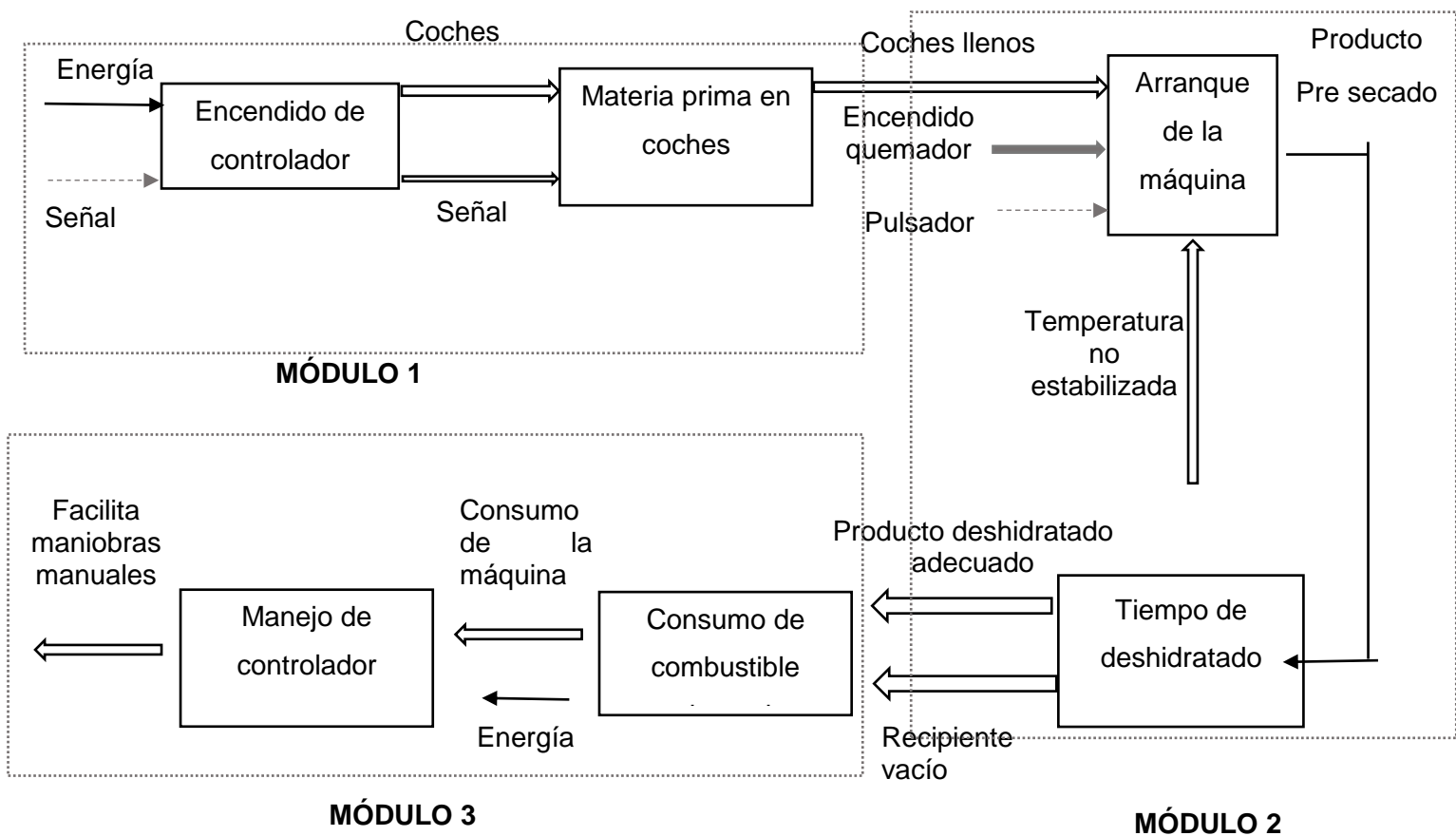


Figura 2.5. División modular del proceso de deshidratado

Fuente: Propia

### Modulo1. Ingreso de materia prima

En el módulo 1 correspondiente al ingreso de la materia prima se lo realizará por medio de coches, los cuales serán diseñados en programa CAD. El producto para deshidratar es

colocado en bandejas las cuales dependiendo del tipo de fruta influenciará en su forma para la distribución de calor. El coche esta dimensionado para 20 bandejas de acuerdo con la capacidad del horno y las especificaciones del cliente. Para lo cual las bandejas definirán las dimensiones de los coches, por lo que se presentan tres soluciones para las bandejas, dichas soluciones están fundamentadas en el material que se dispone en el mercado

La primera solución es de malla entretejida, de acero inoxidable ASTM 304 como se observa en la figura 2.6, para el cual se presenta ventajas y desventajas al momento de usar esta malla detalladas en la tabla 2.2.



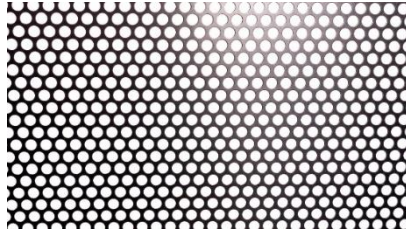
**Figura 2.6.** Bandeja con malla entretejida

**Fuente:** (DIPROIN, 2022)

**Tabla 2.2.** Ventajas y desventajas de malla entretejida

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Permite una mayor circulación del aire caliente a través del producto.	No se puede ingresar frutas y hortalizas de dimensiones menores a una pulgada.
El producto deshidratado es de fácil remoción, no se pega fuertemente a la bandeja.	El contenido de agua que desprende la fruta cae a la bandeja inferior.
Menor uso de material en la fabricación de las bandejas.	Dependiendo de la cantidad de producto contenido, esta bandeja presenta flexión al momento de transportarla.

Para la siguiente solución de malla se tiene el tipo perforadas como se observa en la figura 2.7, del mismo material que la anterior, con sus ventajas y desventajas presentadas en la tabla 2.3



**Figura 2.7.** Bandeja con malla de lámina perforada

**Fuente:** (VALLE, 2022)

**Tabla 2.3.** Ventajas y desventajas de lámina perforada

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Mayor rigidez al momento de llenado con materia prima.	Se incrementa el peso de la bandeja
Permite colocar materia prima de menores dimensiones.	Los productos deshidratados se pegan con mayor fuerza en la bandeja.
Menor cantidad de agua hacia la bandeja inferior	El aire caliente no se distribuye bien entre bandejas, se disminuye su circulación.

Para la malla expandida observada en la figura 2.8, de igual material que las anteriores, también presenta sus desventajas y ventajas presentada en la tabla 2.4.



**Figura 2.8.** Bandeja con malla expandida

**Fuente:** (DIPROIN, 2022)

**Tabla 2.4.** Ventajas y desventajas de malla expandida

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
-----------------	--------------------



Permite una adecuada circulación del aire caliente.	Difícil mantenimiento en el caso de rotura.
Proporciona rigidez a la bandeja.	Precio superior con respecto a las otras soluciones
Menor adhesión del producto con la malla	Difícil limpieza.

Las ventajas y desventajas de las soluciones están basadas en su disponibilidad, tiempo de fabricación, durabilidad, mantenimiento, transporte y su materia prima a deshidratar. Cabe recalcar que las dimensiones de las bandejas están basadas en el tamaño de planchas que se encuentran en el mercado, es decir 1220 x 2440 [mm]. Por lo cual la dimensión de cada bandeja es de 700 x 645 [mm]. Para reducir el problema con el producto que se adhiere a la bandeja, es recomendable colocar un recubrimiento tipo siliconado de grado alimenticio.

### **Evaluación y selección del módulo 1.**

Para la evaluación se utilizará el “método de ordinal corregido de criterios ponderados” cuyos resultados son propuestos en la tabla 2.5 y su evaluación situada en los anexos parte 1 (Riba, 2002). Los criterios de evaluación más representativos a considerar son los siguientes:

- Montaje, ya que su acceso al ingresar y retirar la bandeja debe ser fácil, rápido y debe ser realizado por un operario.
- Mantenimiento, al tener un recubrimiento polimérico, este puede desprenderse con el tiempo por acciones mecánicas o térmicas, por lo cual debe ser reemplazado. Además, debe ser lavado después de cada operación.
- Peso, debe ser ligero de transportar por un operario, de fácil maniobrabilidad y colocación en cada coche.
- Regulación, se especifica el tamaño mínimo para las perforaciones o la malla en función del producto con menor dimensión.
- Costo de fabricación, dependerá de las características de la bandeja, su material y el recubrimiento a colocarse.
- Capacidad, la cantidad de materia prima que ingresa por bandeja.

**Tabla 2.5.** Resultado de soluciones de módulo 1

<b>Conclusiones</b>	<b>Mont</b>	<b>Mant.</b>	<b>Peso</b>	<b>Reg</b>	<b>Costo</b>	<b>Cap</b>	<b>Σ</b>	<b>Prioridad</b>
<b>Sol. 1</b>	0.024	0.060	0.048	0.079	0.119	0.056	0.385	1
<b>Sol. 2</b>	0.024	0.024	0.016	0.079	0.048	0.056	0.246	3
<b>Sol. 3</b>	0.024	0.060	0.032	0.079	0.119	0.056	0.369	2

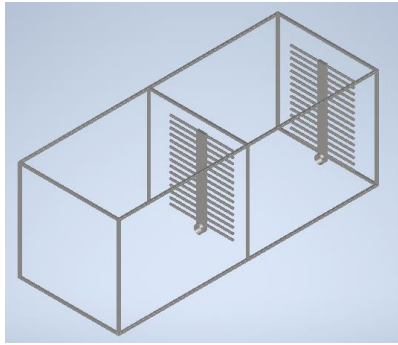
Con el resultado de la tabla 2.5, la solución 1 correspondiente a la bandeja de malla es la de mayor prioridad, por lo que se elige esta solución ya que el mantenimiento para la malla es de mayor facilidad tanto en limpieza como en el reemplazo de partes dañadas, caso contrario con la malla perforada se debe reparar por medio de soldadura o reemplazar toda la plancha.

## **Modulo 2. Deshidratado**

En este módulo se evaluará las diversas soluciones para el funcionamiento del horno como son: la distribución del aire caliente para el deshidratado, la salida de aire con vapor de agua y el aislante que se usará para mantener la temperatura interna estable y evitar grandes pérdidas de calor. Primero se evalúan las soluciones para la distribución de aire, en el cual el flujo tiene la función de distribuir uniformemente el calor por toda la cámara de deshidratado. Permite facilitar la remoción de humedad en menos tiempo, con un menor consumo de GLP y energía eléctrica.

### **Distribución de aire.**

Para este módulo se proponen 3 soluciones de distribución del flujo caliente. La primera es la distribución de calor por flauta, como se observa en la figura 2.9 la salida se distribuye por múltiples tubos perforados. Con la finalidad de distribuir el calor en toda la cámara, se plantean las ventajas y desventajas en la tabla 2.6 para este tipo de distribución de aire.



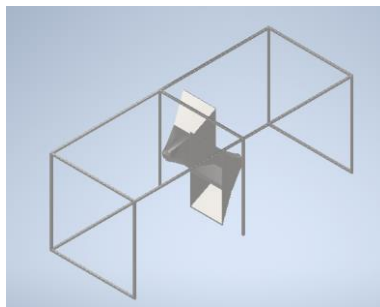
**Figura 2.9.** Distribuidor de aire por medio de flautas

**Fuente:** Propia

**Tabla 2.6.** Ventajas y desventajas de distribuidor de flauta.

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Ocupa menos espacio en la recámara.	Tiempo largo hasta estabilización de la temperatura.
Costo de fabricación pequeño.	Perdida de flujo de aire.
Fácil mantenimiento y reemplazo en el caso de que algún tubo presente avería.	La salida de aire no es uniforme, por ende, la distribución en la cámara es irregular.

Para la segunda solución, se plantea el uso de difusores, realizados de acero inoxidable AISC 304, en el cual su orientación opuesta observada en la figura 2.10, facilita la circulación del aire, se plantea sus ventajas y desventajas en la tabla 2.7.



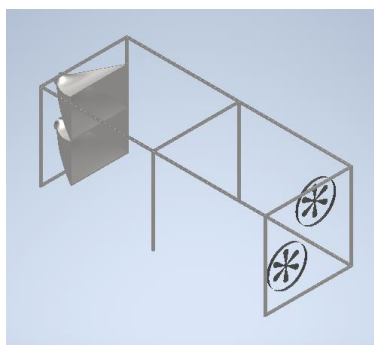
**Figura 2.10.** Distribuidor de calor con tolvas opuestas

**Fuente:** Propia

**Tabla 2.7.** Ventajas y desventajas de tolvas opuestas.

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Distribución uniforme del calor, ya que el aire caliente circula por toda la recámara.	Ocupa un mayor espacio dentro de la recámara.
Fácil mantenimiento, las tolvas van ancladas al pórtico central de la estructura.	Mayor costo de fabricación,
Facilita la extracción del aire saturado de vapor de agua.	Tolvas representan un mayor peso para la estructura.

Para la solución 3, se propone una distribución de calor tolva horizontal y ventilador (Figura 2.11), en el cual se presentan sus ventajas y desventajas en la tabla 2.8



**Figura 2.11.** Distribuidor de calor con tolva horizontal.

**Fuente:** Propia.

**Tabla 2.8.** Ventajas y desventajas de tolvas horizontales.

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Distribución uniforme de calor en la cámara de deshidratado.	Necesita de un sistema de circulación adicional para la distribución de aire.
Fácil colocación y mantenimiento de las tolvas.	Su costo de operación incrementa por el uso de energía eléctrica para los ventiladores.
Rápida extracción del aire saturado de vapor de agua.	Ocupa mayor espacio y aumenta su nivel de ruido.

Para la evaluación y selección de soluciones, los criterios por evaluar para cada distribuidor de aire caliente son los siguientes:

- Flujo, es uno de los parámetros más importantes debido a que la temperatura debe ser lo más uniforme dentro de la cabina.
- Mantenimiento, realizar mantenimientos preventivos o correctivos deben ser accesibles y rápidos.
- Montaje, la ubicación de la unidad de distribución de aire, su fijación a la estructura y unión con la unidad generadora de calor.
- Tamaño, se debe obtener un uso adecuado del espacio
- Peso, peso que soporte la estructura.
- Ruido y vibración, reducir el ruido y vibración generador por el quemador, salida de aire y ventilador.
- Costo de fabricación, relación de distribución entre: material, diseño y tiempo de fabricación.

El resultado del análisis de distribución de calor, de acuerdo con la tabla 2.9 y desarrollado en los anexos (Anexo I), postula que, la solución de mayor puntaje es la número 2, distribución por tolvas verticales, la disposición de las tolvas en sentidos opuestos genera la distribución y circulación del calor al mismo tiempo.

**Tabla 2.9.** Resultado para la distribución del flujo de calor

<b>Concl.</b>	<b>Mont.</b>	<b>Mant.</b>	<b>Peso</b>	<b>Flujo</b>	<b>Tam.</b>	<b>Ruid.</b>	<b>Costo</b>	<b>Σ</b>	<b>Prior</b>
<b>Sol. 1</b>	0.023	0.019	0.027	0.106	0.085	0.017	0.136	0.413	2
<b>Sol. 2</b>	0.068	0.047	0.080	0.159	0.085	0.023	0.068	0.530	1
<b>Sol 3</b>	0.045	0.047	0.053	0.053	0.034	0.028	0.068	0.330	3

## **Aislante**

El aislante constituye una de las partes principales para mantener la temperatura estable dentro del horno, evitando fugas térmicas, consumo innecesario de combustible, intercambio térmico elevado, riesgo de superficies calientes, etc. Por lo cual en el mercado existen varios tipos de aislante para hornos por lo que la selección de la solución de este material está en función de su disponibilidad en el mercado y considerado los siguientes criterios.

Para la primera solución, se propone realizarlo con lana de vidrio (Figura 2.12), al ser este un material barato en el mercado y con baja conductividad, favorece al diseño buscado. Para su análisis se presentan ventajas y desventajas en la tabla 2.10 de esta solución.



**Figura 2.12.** Lana de vidrio

**Fuente:** (CIR, 2022)

**Tabla 2.10.** Ventajas y desventajas de lana de vidrio.

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Es reciclable en su totalidad y económica.	Pierde rápidamente su propiedad de aislante térmico.
Resistente a la humedad.	Solo es aplicable en superficies de forma regular.
Flexibilidad y manejo a la hora de colocar o realizar mantenimiento.	Mayor espesor de trabajo para el rango a trabajar.

Para la segunda solución, se plantea el uso de lana de roca (Ver figura 2.13) como aislante térmico, este aislante presenta mejores propiedades térmicas que la anterior solución y otras características presentadas en la tabla 2.11 de ventajas y desventajas.



**Figura 2.13.** Lana de roca

**Fuente:** (Aislantes-Ecuador, 2022)

**Tabla 2.11.** Ventajas y desventajas de lana de roca.

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Excelente aislamiento acústico.	Precio moderado en el mercado nacional.
Instalación rápida, fácil y de alta durabilidad.	Se requiere EPP específicos para su instalación y manipulación
Seguro para la salud, no es toxica y resistente a la humedad.	Mayor peso que lana de vidrio.

Como tercera solución, se tiene el aislante Poliisocianurato (PIR) (Ver figura 2.14), este material es más costoso que la lana de roca, pero presenta mejores propiedades térmicas, además de mejoras estructurales, las ventajas y desventajas se presentan en la tabla 2.12.



**Figura 2.14.** Panel de Poliisocianurato

**Fuente:** (Aislamiento-térmico, 2022)

**Tabla 2.12.** Ventajas y desventajas de Poliisocianurato.

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Menor conductividad térmica y menor espesor. Durabilidad elevada.	Se requiere maquinaria para su instalación, por ende, más costoso.
Excelente sellado, aplicable en cualquier sitio y permite sellar grietas.	Requiere de grafito para aumentar su eficiencia térmica.
Disponible en presentación de panel.	Mayor tiempo de fabricación en el caso de paneles.

La evaluación y selección de soluciones, permite elegir según los criterios de evaluación para cada aislante con las siguientes definiciones:

- Conductividad, el material con menor coeficiente de conducción del calor a través del material.
- Peso, se procura colocar un material que sea de bajo peso para generar cargas livianas en la estructura.
- Espesor, la plancha que se va a fabricar debe ser de un espesor adecuado.
- Mantenimiento, debe ser de fácil remoción o llenado en el caso de reemplazo.
- Costo de material, relación entre área a cubrir y eficiencia térmica.

El desarrollo del análisis de aislante térmico se lo puede observar en la sección de anexos (Anexo I) subsección aislante, a continuación, se presenta la conclusión de soluciones para los aislantes del panel tipo sándwich.

**Tabla 2.13.** Resultado de soluciones para aislante

<b>Concl</b>	<b>Cond.</b>	<b>Mant.</b>	<b>Peso</b>	<b>Espesor</b>	<b>Costo</b>	<b><math>\Sigma</math></b>	<b>Prioridad</b>
<b>Sol 1.</b>	0.125	0.033	0.022	0.058	0.067	0.306	2
<b>Sol 2.</b>	0.125	0.033	0.011	0.058	0.067	0.294	3
<b>Sol 3.</b>	0.050	0.067	0.033	0.117	0.133	0.400	1

La solución más adecuada para realizar el aislamiento térmico según la tabla 2.13, es la solución 3 correspondiente al PIR, ya que este material presenta mejores valores de



resistencia térmica (Ver anexo parte 2, ficha técnica PIR). Además, es amigable con el medio ambiente.

### Salida de aire

Para la salida de aire saturado, se propone soluciones que no consuman energía, si no que ocupen la energía del ventilador exterior y el gradiente de temperatura entre el aire frío y caliente para facilitar su salida de la recámara. La salida de vapor de aire corresponde a la eliminación de aire saturado de humedad, la cual debe ser de forma rápida y controlada, para evitar la pérdida excesiva de calor del horno y evitar demora en su estabilización de temperatura.

Como primera solución se postula un difusor de aire del tipo rotacional, el cual permite el uso de un motor pequeño para la extracción de aire si es que se lo requiere, así como un compartimento donde se acumula el aire condensado (Ver figura 2.15). Las ventajas y desventajas de esta solución se proponen en la tabla 2.14.



**Figura 2.15.** Difusor de aire rotacional

**Fuente: (TROX, 2022)**

**Tabla 2.14.** Ventajas y desventajas de difusor rotacional.

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Salida rápida del aire por medio de un ventilador rotacional de accionamiento eléctrico.	Requiere mayor consumo energético.
Cámara de salida, en la cual permite la acumulación de agua causada por la condensación del aire saturado.	Costo de adquisición
Fácil instalación y mantenimiento.	Requiere aislamiento térmico para evitar fugas cuando no se encuentre operativo

Para la segunda solución, se plantea el uso de difusores tipo rejilla como se observa en la figura 2.16, estas rejillas resultan económicas y fáciles de instalar, sus ventajas y desventajas se detallan en la tabla 2.15



**Figura 2.16.** Difusor de aire por medio de rejillas

**Fuente:** (AKRIBIS, 2022)

**Tabla 2.15.** Ventajas y desventajas de rejilla de aletas.

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Ligera y fácil de instalar.	Mantenimiento costoso, se debe pintar o reemplazar
Sus aletas curvas permiten el paso del aire de forma rápida.	Requiere de un filtro para evitar contaminación desde el exterior, ya que su activación es de forma manual.
No requiere consumo energético	Mayor tiempo en la extracción del aire.

Como tercera solución, se propone un difusor de techo (Ver figura 2.17), el cual funciona sin un recurso energético de apoyo, sus ventajas y desventajas se las discute en la tabla 2.16.



**Figura 2.17.** Difusor de techo

**Fuente:** (AKRIBIS, 2022)

**Tabla 2.16.** Ventajas y desventajas de difusor de techo.

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Alta resistencia a la corrosión.	Instalación en un único sitio.
Liviano de fácil instalación.	Las gotas generadas por condensación pueden caer al producto.
Varias vías para la salida del aire	Perdidas de calor ya que se necesita instalar 4 difusores por su tamaño.

En la evaluación y selección de soluciones desarrollado en el anexo I subsección salida de aire, se evalúan los siguientes criterios planteados:

- Caudal, se debe extraer la mayor cantidad de aire saturado en el menor tiempo posible.
- Tamaño, debe tener un tamaño adecuado para su instalación, mantenimiento y reemplazo.
- Peso, de ser liviano ya que va a ser sostenido por la estructura.
- Mantenimiento, en el caso de limpieza o reemplazo, debe ser de fácil extracción.
- Costo, debe estar disponible en el mercado, sus piezas y recubrimientos deben favorecer la inocuidad alimentaria.

Resultado del análisis de salida de aire saturado:

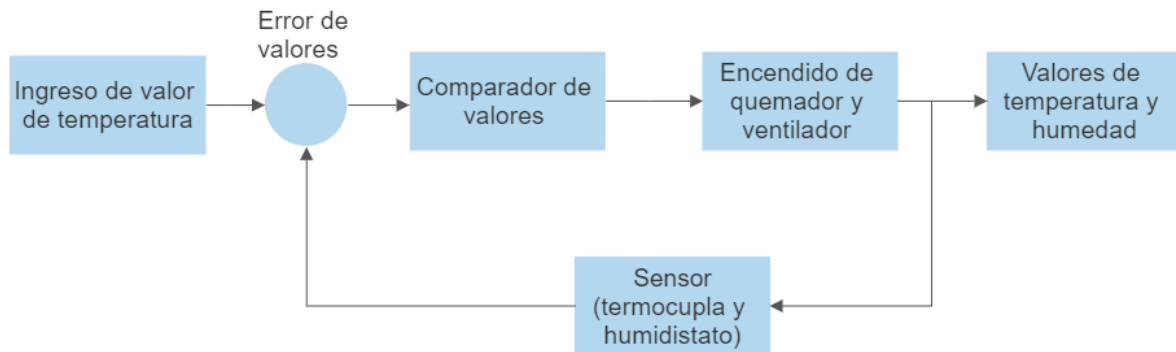
**Tabla 2.17.** Resultado de soluciones para salida de aire saturado

<b>Conclusiones</b>	<b>Caudal</b>	<b>Tamaño</b>	<b>Peso</b>	<b>Mantenimiento</b>	<b>Costo</b>	<b><math>\Sigma</math></b>	<b>Prioridad</b>
<b>Solución 1</b>	0.150	0.089	0.033	0.022	0.117	0.411	1
<b>Solución 2</b>	0.075	0.133	0.017	0.056	0.039	0.319	2
<b>Solución 3</b>	0.075	0.044	0.017	0.056	0.078	0.269	3

De acuerdo con el análisis de soluciones observado en la tabla 2.17, para una salida rápida del aire saturado se toma la solución 1, correspondiente a la instalación de un ducto extractor con ventilador. Dicho elemento precautela la inocuidad alimentaria ya que sus revestimientos son de grado alimenticio y previenen la corrosión ya que trabaja en un ambiente húmedo.

### Módulo 3. Controlador

Para el módulo 3, se evaluará las soluciones para el controlador, el cual nos indicará la temperatura de operación, el tiempo de operación, el nivel de humedad en el aire, encendido apagado y paro de emergencia.



**Figura 2.18.** Diagrama de Bloques para controlador

**Fuente:** Propia

El controlador por utilizar está encargado de el encendido y apagado del quemador industrial, por lo que su requerimiento tecnológico se limita a prender, apagar y cerrar la válvula de acceso del gas cuando sea requerido, dicha activación se realizará cuando la temperatura suba o baje en un rango de 5°C de la temperatura de operación.

Como primera solución 1 se tiene un controlador CNI8C tipo PID (Ver figura 2.19), sencillo de apagado y encendido de los equipos a manejar. Las ventajas y desventajas de este controlador se presentan en la tabla 2.18.



**Figura 2.19.** Controlador CNI8C

**Fuente:** (OMEGA, OMEGA, 2022)

**Tabla 2.18.** Ventajas y desventajas de controlador CNI8C

Ventajas	Desventajas
Sencillo de programar, ya que cuenta con entradas por sensores y salidas hacia elemento de control	No cuenta con salida para almacenamiento de datos, se necesita de otro dispositivo
Alta precisión +- 0.5°C	Rango de temperatura limitado.
Bajo consumo energético, costo de adquisición bajo	No posee alarma de aviso.

Para la segunda solución, se presenta un controlador con su propio sensor de temperatura (Ver figura 2.20), de similar funcionamiento que la primera solución, especificando sus ventajas y desventajas en la tabla 2.19.



**Figura 2.20.** Controlador N323RHT

**Fuente:** (JMINDUSTRIAL, 2022)

**Tabla 2.19.** Ventajas y desventajas de controlador N323RHT

Ventajas	Desventajas
Cuenta con sensores de humedad y temperatura, salida hacia 3 dispositivos de control. Set points configurables.	Temperatura de operación baja entre la conexión del sensor y el controlador.
Dispone de batería interna en caso de falta de energía.	Requiere adaptadores para otro tipo de termocupla o sensor de temperatura.
Precisión de 1% para humedad y 0.1°C para temperatura.	Bajo rango de operación, entre 20°C – 100°C

Como tercera y última solución, se presenta un controlador con mayor número de entradas y salidas como se aprecia en la figura 2.21, en la cual se presenta sus ventajas y desventajas en la tabla 2.20.



**Figura 2.21.** Controlador DPiTH

**Fuente:** (OMEGA, OMEGA, 2022)

**Tabla 2.20.** Ventajas y desventajas de controlador DPiTH

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Alta precisión para temperatura y humedad, 2 salidas de control y almacenamiento de datos por medio de cable ethernet.	Tiempo de respuesta mediana, de 5 a 30 segundos, la precisión de temperatura disminuye conforme aumenta la temperatura.
Control PID, ON-OFF, fácil de usar y configurar.	Mayor precio de compra en el mercado.
Incluye los sensores de temperatura y humedad, capacidad de meseta y rampa programable.	Para reemplazo de sensores, se debe realizar de la misma marca.

Para la evaluación y selección del controlador que mejor se adapte a las necesidades y alcance del trabajo, se evalúan los criterios de acuerdo con:

- Rango, temperatura de operación y humedad de la recámara.
- Tiempo, tiempo de respuesta de parámetros a controlar.
- Mantenimiento, calibración de los equipos, sensores y extracción de información.
- Costo, costo de adquisición de equipos y sensores.
- Complejidad, dependiendo de la necesidad del sistema, si requiere un lazo abierto o cerrado. Input/Output, la cantidad de entradas y salidas que dispone el controlador

El análisis de la evaluación para los diferentes criterios del controlador está realizado en la sección de anexos I subsección controlador, el resultado del análisis de controladores postula en la tabla 2.21.

**Tabla 2.21.** Resultado de soluciones para controlador

<b>Concl</b>	<b>Rango</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Complejidad</b>	<b>Mantenimiento</b>	<b>Costo</b>	<b><math>\Sigma</math></b>	<b>Prioridad</b>
<b>Sol 1.</b>	0.044	0.056	0.033	0.050	0.075	0.258	3
<b>Sol 2.</b>	0.111	0.056	0.025	0.050	0.100	0.342	2
<b>Sol 3.</b>	0.111	0.022	0.042	0.100	0.125	0.400	1

El estudio en este trabajo se limita a buscar un controlador en el cual se necesite solo encender y apagar el quemador y ventilador, por lo tanto, la solución 3 proporcionado por la tabla 2.21 resulta la mejor opción.

## **2.6 Modelamiento Matemático**

Una vez realizado el análisis funcional para los principales componentes del deshidratador, se procede a realizar su dimensionamiento y modelamiento de las soluciones obtenidas. Por lo tanto, su enfoque se realiza en 3 aspectos importantes que son: la tasa de secado con su tiempo estimado de trabajo, el tiempo de calentamiento del horno, y la cantidad de combustible empleado en el proceso. A continuación, se explica los cálculos realizados para cada aspecto mencionado para el modelado.

### **Modelo térmico. Transferencia de masa y calor**

La obtención de parámetros atmosféricos requeridos para el análisis térmico, se hará uso de la carta psicrométrica disponible en la página web de ASHRAE. En el cual se toma una temperatura y humedad promedio de la parroquia de Puembo, detallada en la siguiente tabla 2.22.

**Tabla 2.22.** Propiedades climáticas para la zona de Puumbo

<b>Parámetro</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>
Altitud	2490	m.s.m
Presión atmosférica	74525	Pa
Temperatura promedio	18	°C
Humedad relativa promedio	40	%
Temperatura de rocío	4.2	°C
Volumen específico	1.12	m <sup>3</sup> /Kg
Volumen específico (80°C)	1.811	m <sup>3</sup> /Kg
Entalpia	35.56	kJ/Kg

Para la extracción de agua o porcentaje de humedad dentro del producto, se define los siguientes parámetros iniciales del sistema en la siguiente tabla 2.23, los cuales corresponden al aire de la recámara y el producto.

**Tabla 2.23.** Parámetros iniciales del sistema y producto

<b>Parámetros del sistema</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>
Temperatura de operación	80	°C
Velocidad del aire	3 a 10	m/s
Área de Ducto	7 x 60	cm x cm
Área de bandeja	7x58	cm x cm
Masa del producto a secar	300	Kg
Humedad inicial producto	80	%
Humedad final producto	15	%
Espesor producto	5	mm

Con las condiciones iniciales del problema, se plantea los modelos para la transferencia de masa y calor, que será resuelto en el software EES (Ver anexo II), para lo cual se determinará los coeficientes de transferencia de masa y calor. El modelo se lo realiza en base a la convección forzada bajo la analogía de Chilton-Colburn para un flujo completamente desarrollado dentro de un ducto (Cengel & Ghajar, 2011). La temperatura de secado para la mayoría de las frutas y verduras no debe exceder los 70 [°C], según (Valdez, 2022) el rango de temperatura está entre 40 y 70 [°C]. Además, se asume una velocidad promedio del aire dentro de la recámara de 7 m/s ya que se encuentra dentro del rango establecido (3 a 10



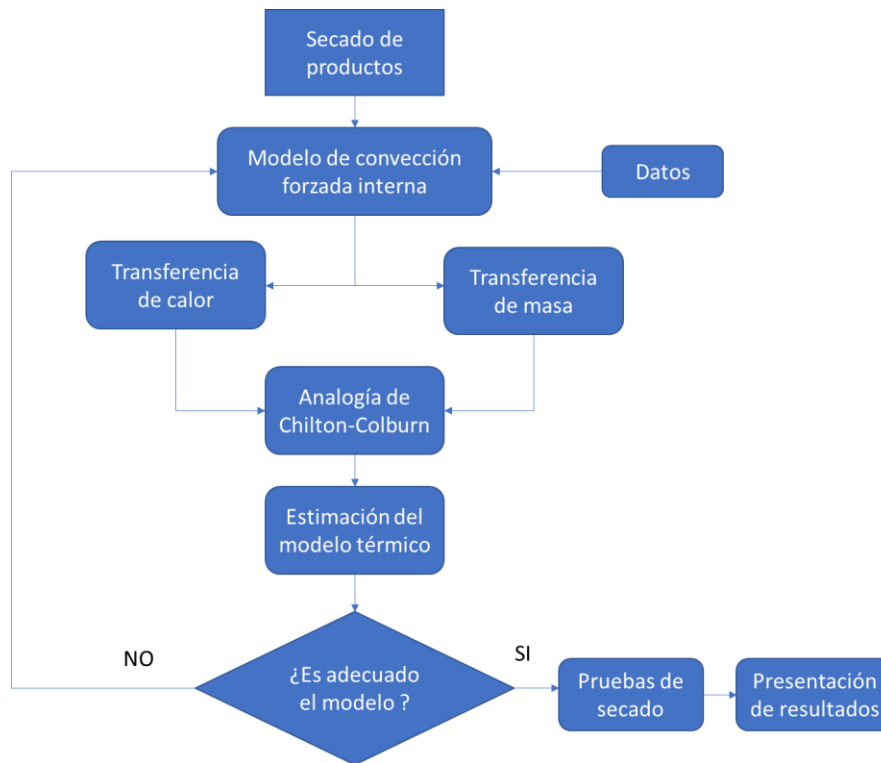
[m/s]) para mantener un flujo turbulento entre las bandejas. El número de bandejas totales son 160 distribuidas en 8 coches los parámetros son detallados en la tabla 2.24.

**Tabla 2.24.** Parámetros de cálculo

<b>Parámetros</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>
Temperatura	80	°C
Reynolds	30903	
Viscosidad dinámica	0.0000284	m <sup>2</sup> /s
Conductividad térmica	0.03022	W/mK
Difusividad	0.00004804	m <sup>2</sup> /s
Prandtl	0.7017	
Nusselt	78.02	
Schmidt	0.59	
Sherwood	75.44	
Coefficiente convección	18.8	W/m <sup>2</sup> K
Coefficiente masa	0.02891	m/s

Con los parámetros obtenidos, el modelo térmico se plantea en base a las ecuaciones 1.4 y 1.5, resueltas en el software EES (ver anexo II). El modelo presentado se basa en el siguiente diagrama de flujo que se observa en la figura 2.22, dicho modelo empieza por el reconocimiento del problema, en este caso el secado.

A continuación, se analiza que tipo de modelo se va a realizar, en este caso se elige la convección forzada interna, ya que el producto está entre bandejas, las cuales son consideradas como ductos rectangulares. Se procede a realizar los cálculos de las condiciones para la elección de la analogía que mejor se adapte al modelo, tanto para transferencia de masa como calor. Se obtiene un modelo en el cual al comparar sus resultados con los proporcionados por la empresa estos cumplan con los objetivos planteados, de no ser el caso se debe elegir otro tipo de modelo para la convección. Finalmente se realiza el análisis de los resultados obtenidos y se compara el desempeño actual con el anterior.



**Figura 2.22.** Flujograma de modelo térmico propuesto.

**Fuente:** Propia

A continuación, se postulan los siguientes análisis matemáticos, para el flujo de calor y masa, mediante la primera ley de la termodinámica se analiza la conservación de la energía y la masa. Se realiza el balance masico con la ecuación 2.1, teniendo  $\dot{m}_{in}$ ,  $\dot{m}_{out}$  como el flujo de entrada y salida de aire, que se lo considera solo como flujo masico  $\dot{m}$ . En el balance de energía se tiene como entradas, la potencia del ventilador ( $W_{in}$ ), el calor de entrada ( $Q_{in}$ ), la velocidad del aire ( $V_{in}$ ) y la entalpia del aire de entrada ( $h_{in}$ ) obtenido de la carta psicrométrica. Para la salida se tiene el calor perdido ( $Q_{perdido}$ ), la entalpia del aire en la recamara ( $h_{out}$ ) y la velocidad del aire a la salida del difusor ( $V_{out}$ ) Como se observa en la ecuación 2.2. Para la transferencia de masa ubicada en la ecuación 2.3, se trabaja con las concentraciones molares de humedad del aire y del producto. Para lo cual ( $C_{prod,in}$  y  $C_{prod}$ ) es la concentración de humedad en el producto que ingresa y sale respectivamente, y ( $M_{prod,in}$  y  $M_{prod}$ ) es la masa del producto que ingresa y sale. De igual forma para el aire ( $C_{in}$  y  $C_{aire}$ ) es la concentración de humedad en el aire que ingresa y sale respectivamente, así como la masa de agua en el aire ( $M_{in}$  y  $M_{out}$ ) que ingresa y sale respectivamente.

$$\dot{m}_{in} = \dot{m}_{out} = \dot{m}$$

### Ecuación 2.1. Balance de masa

$$W_{in} + Q_{in} = \dot{m} * \left( h_{out} + \frac{V_{out}^2}{2} - h_{in} - \frac{V_{in}^2}{2} \right) + Q_{perdido}$$

### Ecuación 2.2. Balance de energía

$$M_{in} = M_{out}$$

$$C_{prod,in} * M_{prod,in} + C_{in} * M_{in} = C_{prod} * M_{prod} + C_{aire} * M_{out}$$

### Ecuación 2.3. Balance de masa y humedad.

## Controlador. Función transferencia

El modelo del controlador está enfocado en la entrada de información por medio de los sensores de temperatura y humedad, con la respuesta del sistema dado por la función de transferencia. En el cual su principal objetivo es determinar un tiempo de arranque en el cual la temperatura interna se estabilice en el rango que se desea. En la tabla 2.25, se colocan los siguientes parámetros como las condiciones iniciales del problema, obtenidos del modelamiento matemático.

**Tabla 2.25.** Parámetros para la función de transferencia

Parámetro	Cantidad	Unidad
Temperatura ambiente	18	°C
Temperatura operación	80	°C
Calor ingresa	258.2	W
Calor sale	46.9	W
Capacitancia recamara	9676	J/K
Resistencia de pared	2.174	m <sup>2</sup> K/W

Se tiene la siguiente función de transferencia en el dominio de la place, siendo K1= Capacitancia de la recamara ( $C_{Th}$ ) y K2= inverso de Resistencia de la pared ( $1/R_{Th}$ ). Partiendo de la ecuación 2.4 de la tasa de flujo de calor total ( $Q_{tot}$ ) y combinándola con la ecuación 2.5 de la conducción térmica de paredes, se obtiene el modelo matemático térmico presentado en la ecuación 2.6.

$$\frac{dQ_{tot}}{dt} = C_{th} * \frac{dT}{dt}$$

**Ecuación 2.4.** Tasa de flujo de calor

$$Q = \frac{T_1 - T_o}{R_{th}}$$

**Ecuación 2.5.** Ley de conducción de Fourier

Se consideran las siguientes suposiciones, primero todas las paredes externas son iguales y segundo el exterior está a menor temperatura. Con lo que se obtiene la ecuación 2.6, que describe el tiempo de calentamiento de la cámara desde la temperatura ambiente, hasta la estabilización en la temperatura de operación. En la que se considera los calores de entrada y salida (pérdida), resistencias de las paredes externas y la capacitancia térmica de la cámara de secado.

$$\frac{dT}{dt} = \frac{q_1}{C_{Th}} - \frac{T - T_{out}}{C_{Th} * R_{Th}}$$

**Ecuación 2.6.** Modelado matemático térmico

Aplicando la T. Laplace a la ecuación 2.6 se la transforma al dominio de Laplace, en la cual resulta de mayor facilidad visualizarla mediante un programa computacional. En este caso Simulink, en el cual se realiza el diagrama de bloques en función de la ecuación 2.8, siendo esta la forma resumida de la función de transferencia.

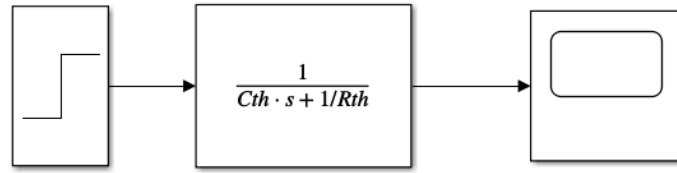
$$s * T(s) = \frac{Q(s)}{C_{Th}} - \frac{T(s)}{R_{Th} * C_{Th}}$$

**Ecuación 2.7.** Dominio de Laplace

$$F(s) = \frac{1}{s * K_1 + K_2} * Q(s)$$

**Ecuación 2.8.** Función de transferencia.

En el diagrama de bloques que se aprecia en la figura 2.23 la entrada se asume como una función escalón, corresponde al flujo neto de calor ( $Q = Q_{in} - Q_{out}$ ), y la salida que se observa mediante un scope.



**Figura 2.23.** Diagrama de función de transferencia.

**Fuente:** Propia

### **Consumo energético del deshidratador**

Para determinar el consumo de GLP por el periodo de operación de la máquina, se hace uso de la hoja de seguridad del combustible (LojaGas, 2022). Para determinar el poder calorífico (PC) promedio, con lo cual su valor es de 10830 [kcal/Kg] con lo que será utilizado bajo la siguiente ecuación 2.9. Con ( $Q_{tot}$ ) calor requerido en todo el proceso [J] y ( $M_{GLP}$ ) cantidad de combustible requerido en todo el proceso [Kg].

$$M_{GLP} = \frac{Q_{tot}}{PC}$$

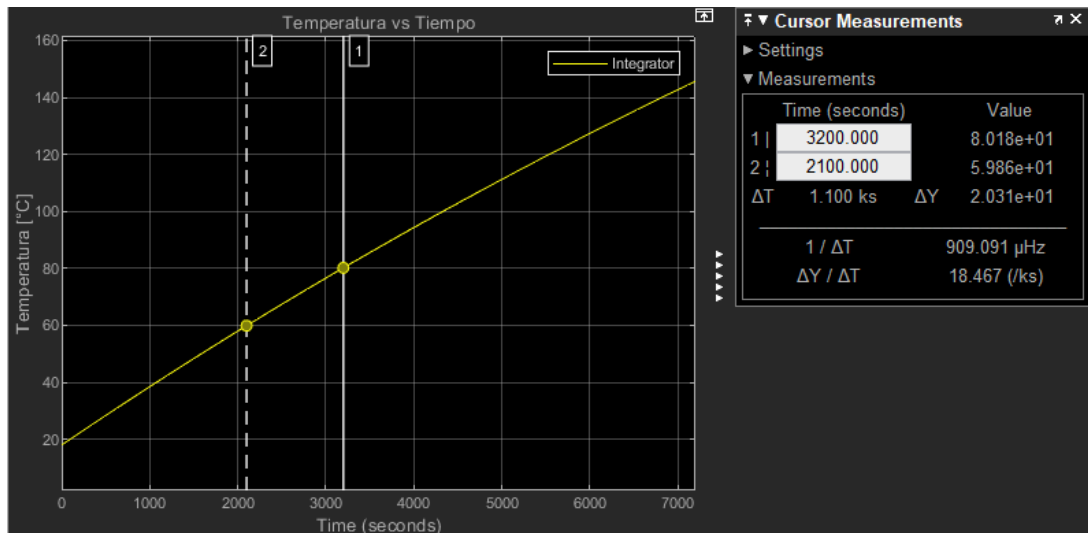
**Ecuación 2.9.** Cálculo para masa de combustible

### **2.7 Simulación computacional del modelo matemático**

Se realiza las correspondientes simulaciones en los programas EES, Inventor, Ansys y Matlab. Se requiere observar el cambio que tienen las salidas de nuestro sistema en función de sus entradas para análisis térmico de aislante, la distribución de calor y velocidad dentro de la recámara, análisis de esfuerzo de la estructura, la función de transferencia y las gráficas comparativas.

#### **Función de transferencia**

Se realizó en el programa Simulink, con las entradas propuestas en la tabla 2.25 con lo cual se obtiene la siguiente la figura 2.24 del diagrama de bloques (Figura 2.23) en la cual se determina una entrada que es la fuente de calor y una salida que es la temperatura de operación.

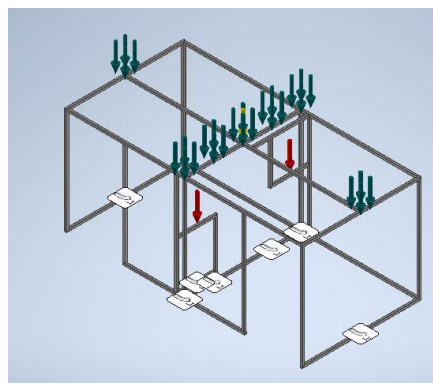


**Figura 2.24.** Tiempo hasta temperaturas de operación. [Fuente: Propia]

**Fuente:** Propia

### Simulación del esfuerzo en la estructura

El programa en el que se realiza el análisis de esfuerzo es en el módulo de análisis de tensión estático en Inventor, en el cual se colocan las cargas de peso pertenecientes a los difusores y el propio peso de la estructura. El peso de cada difusor es de 6 [Kg], aproximándose a 10 [Kg] con las conexiones, por lo que las cargas impuestas son 100 [N] en cada soporte (Flechas rojas) y las cargas de peso de la propia estructura (Flechas verdes). Se coloca las restricciones de empotramiento en la base de la estructura como se observa en la figura 2.25, con esto, determinará el esfuerzo de Von Mises, la deformación y el factor de seguridad.



**Figura 2.25.** Cargas impuestas en la estructura.

**Fuente:** Propia

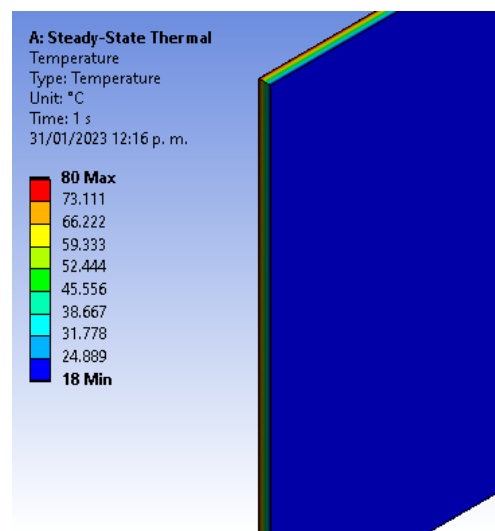
El material que se usa en la estructura es Acero inoxidable AISC 304, cuyas propiedades mecánicas son descritas en la tabla 2.26, así como las dimensiones de los perfiles disponibles en el stock de la empresa.

**Tabla 2.26.** Materiales utilizados en la estructura.

Nombre	Acero inoxidable AISC 304	
General	Densidad de masa	8 g/cm <sup>3</sup>
	Límite de elasticidad	250 MPa
	Resistencia máxima a tracción	540 MPa
Tensión	Módulo de Young	193 GPa
	Coficiente de Poisson	0.3 su
	Módulo cortante	74.2308 GPa
Nombre(s) de pieza	ISO 10799-2 40x40x2 – 11 Piezas o perfiles	

### Simulación del modelo térmico

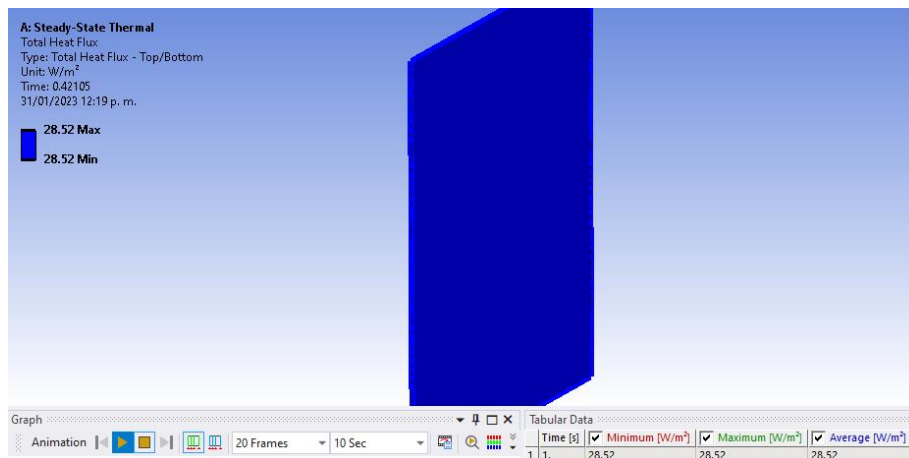
Para observar el comportamiento térmico del aire dentro de la recámara se analiza la entrada de aire en el difusor, su distribución de temperatura y velocidad, además se realiza el análisis térmico. La simulación se desarrolló en el programa ANSYS en el módulo FLUENT y análisis de estado estable de temperatura. Para el análisis térmico de las paredes se obtienen las 2.26 y 2.27, en la cual se estima una pared tipo sándwich de medidas estándar de 1.8 [m] de alto, 1[m] de largo y 50 [mm] de ancho:



**Figura 2.26.** Distribución de temperatura en pared térmica.

**Fuente:** Propia

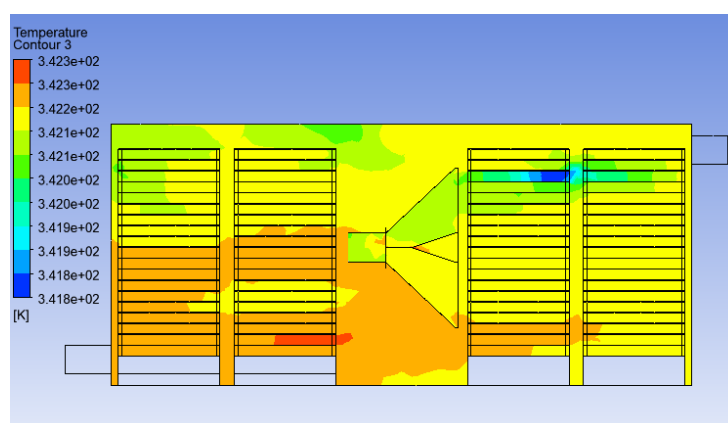
En la figura 2.26, se observa en los límites de la pared, la temperatura superficial de ambos lados, siendo el lado con mayor temperatura 80 [°C] y 18 [°C] el exterior de la pared.



**Figura 2.27.** Flujo de calor por metro cuadrado

**Fuente:** Propia

En la figura 2.27, se observa el flujo de calor con valor de 28.52 [W/m<sup>2</sup>] en el cual al dividirlo por la diferencia de temperatura de la figura 2.26, se determina el coeficiente global de transferencia de calor 0.46 [W/m<sup>2</sup> K]. La distribución de velocidad y temperatura en la recámara se observa en las figuras 2.28 y 2.29. respectivamente, indican como se distribuye el calor dentro del horno, se observa que la temperatura interna varía levemente por 1 [°C]. En la parte superior derecha se observa el menor valor de temperatura de color azul, esto se debe a la forma en la que sale el aire, siendo la de mayor velocidad en la parte superior del difusor.

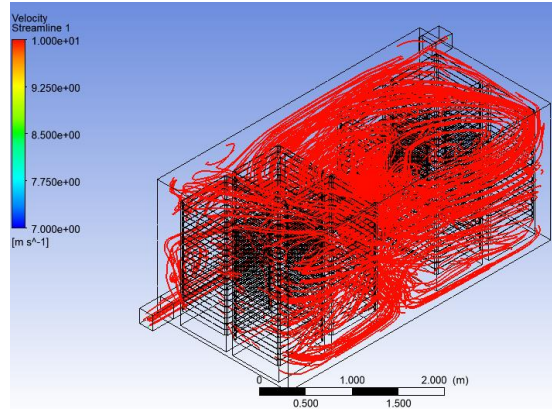


**Figura 2.26.** Distribución de temperatura en la recámara.

**Fuente:** Propia



En la figura 2.27 se observa la distribución y dirección que toma el aire al ingreso y salida del horno, el aire realiza una circulación turbulenta rodeando toda la recámara y los coches con las bandejas. Esto es lo que se espera del diseño de tolvas propuesto, con la velocidad aproximada de 10 [m/s] para el aire que circula.



**Figura 2.27.** Distribución de velocidad dentro de la recámara.

**Fuente:** Propia

### 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección se presentan los resultados del capítulo anterior y se discuten dichos resultados en base a la simulación realizada y los datos proporcionados por la empresa, con la finalidad de corroborar o corregir los objetivos planteados.

#### 3.1 Estabilización de temperatura dentro del horno

El tiempo que se demora el horno en llegar a la temperatura de operación 80°C es de 3200 segundos, alrededor de 53 minutos y en llegar a los 60 °C se demora 2100, es decir 35 minutos como se observa en la figura 2.24. Desde esta temperatura se empieza el análisis para el modelo térmico ya que, al llegar a los 80 °C, se apaga el quemador, el mismo se vuelve a encender cuando la temperatura desciende a los 70°C. En todo este periodo el ventilador realiza el mismo trabajo que el quemador.

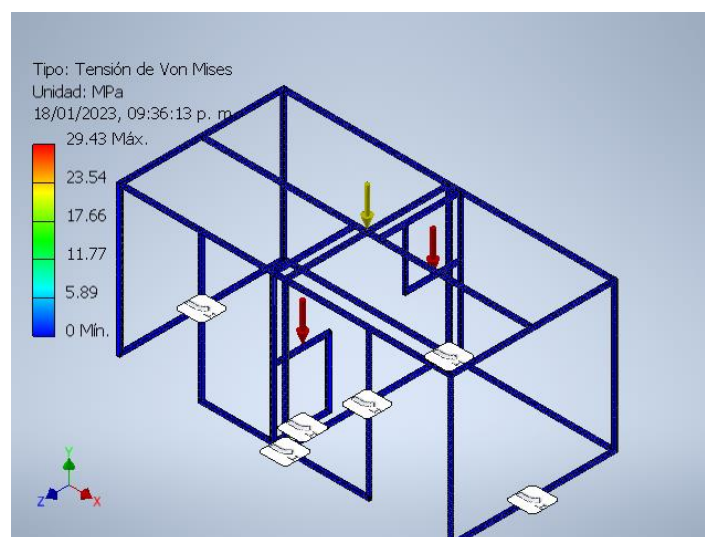
El modelo para el controlador queda fuera del alcance de este documento, con lo que el tiempo de llegada a la temperatura de operación es el interés para determinar el tiempo final de secado.

### 3.2 Análisis de la estructura

Del análisis de la estructura proporcionado por el programa Inventor, se obtuvieron los siguientes resultados resumidos en la tabla 3.1. Donde se observa la masa de la estructura, la tensión a la que está sometida con su valor máximo, el desplazamiento que sufre la estructura y el coeficiente de seguridad que presenta.

**Tabla 3.1.** Resumen de resultados del análisis de la estructura.

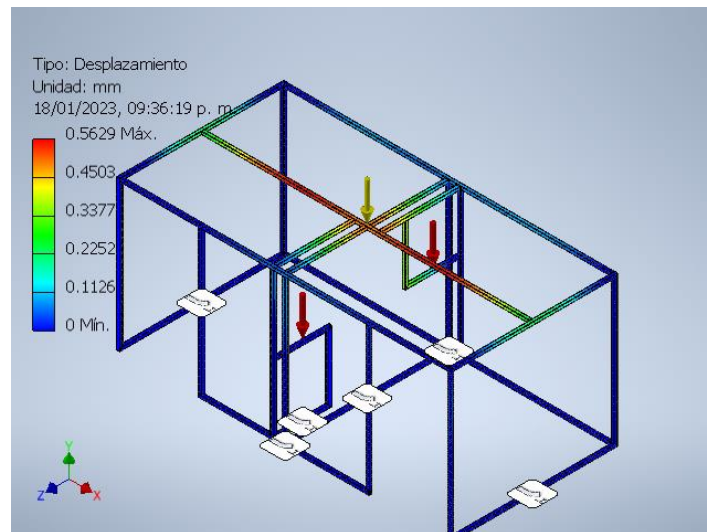
Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	0.018 m <sup>3</sup>	
Masa	149.691 kg	
Tensión de Von Mises	0.0000376996 MPa	29.4254 MPa
Primera tensión principal	-11.9103 MPa	32.7191 MPa
Tercera tensión principal	-31.7245 MPa	11.1063 MPa
Desplazamiento	0 mm	0.562901 mm
Coeficiente de seguridad	8.49606 su	15 su



**Figura 3.1.** Tensión de Von Mises

**Fuente:** Propia

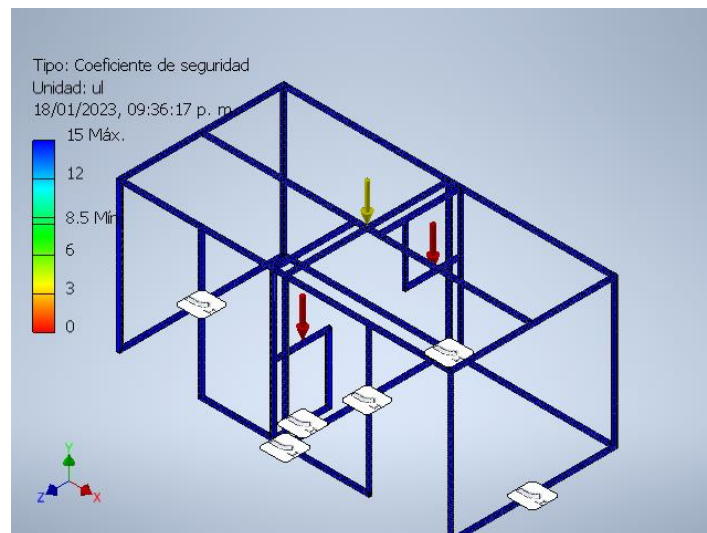
En la figura 3.1, se puede observar de manera detallada, el análisis de esfuerzo, indicando que la estructura trabaja muy bien para los tipos de cargas impuestas, presentando un valor máximo en las juntas centrales.



**Figura 3.2.** Desplazamiento de la estructura

**Fuente:** Propia

En la figura 3.2 se observa la deformación en la parte central de las cargas impuestas, siendo los perfiles con el color rojo los más afectados, pero dicha deformación no presenta mayor inconveniente en la estructura ya que es inferior a 0.6 [mm]



**Figura 3.3.** Coeficiente de seguridad

**Fuente:** Propia

Del análisis de la estructura se puede observar que la estructura trabaja alrededor del 10% de su capacidad, como lo indica la tabla 3.1, además su deformación máxima para la carga impuesta es de 0.6 mm, que no representa una deformación considerable, el factor de seguridad máximo es de 15 como se observa en la figura 3.3, por lo que se considera que la elección del material está sobre dimensionado, no se realiza el análisis con otros perfiles ya que el seleccionado es el que se dispone en el stock de la empresa.

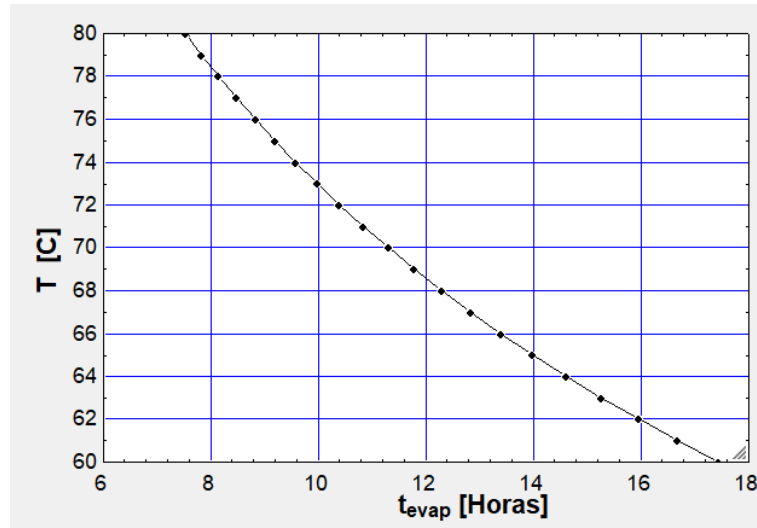
### 3.3 Análisis y resultados térmicos

Mediante el programa EES, se determinaron los siguientes resultados ubicados en la tabla 3.2, que son corroborados por medio de la simulación en ANSYS, así como las figuras comparativas entre parámetros de entrada y salida del sistema.

**Tabla 3.2.** Resultados para distintas humedades iniciales

<b>Parámetros</b>	<b>Humedad de 80%</b>		<b>Humedad de 60 %</b>		<b>Humedad del 50%</b>	
Transferencia de masa	0.003998	Kg/s	0.003998	Kg/s	0.003998	Kg/s
Tiempo de secado	7.5	Horas	5.86	Horas	4.8	Horas
Masa inicial	300	Kg	300	Kg	300	Kg
Masa evaporada	108.3	Kg	84.38	Kg	70	Kg
Calor ocupado	2.037	MJ	1.58	MJ	1.31	MJ
Flujo de aire	9789	cfm	9789	cfm	9789	cfm
Consumo de combustible	44.93	Kg	35	Kg	29.03	Kg

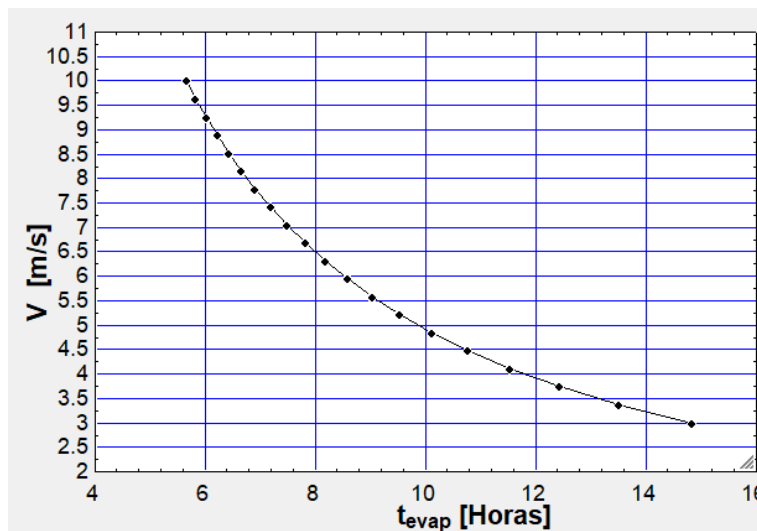
Para la temperatura empleada de 80 [°C], con un coeficiente global de transferencia de calor de 0.46 [W/ m<sup>2</sup>\*C], se determinan las siguientes figuras comparativas para diferentes parámetros, en los cuales se priorizan las salidas en función de las entradas del sistema.



**Figura 3.4.** Temperatura de operación vs tiempo de evaporación

**Fuente:** Propia

En la figura 3.4, se observa una curva decreciente que relaciona la temperatura de operación y el tiempo de evaporación del producto. A mayor temperatura de operación, menor tiempo de evaporación, pero se aumenta el consumo de GLP.

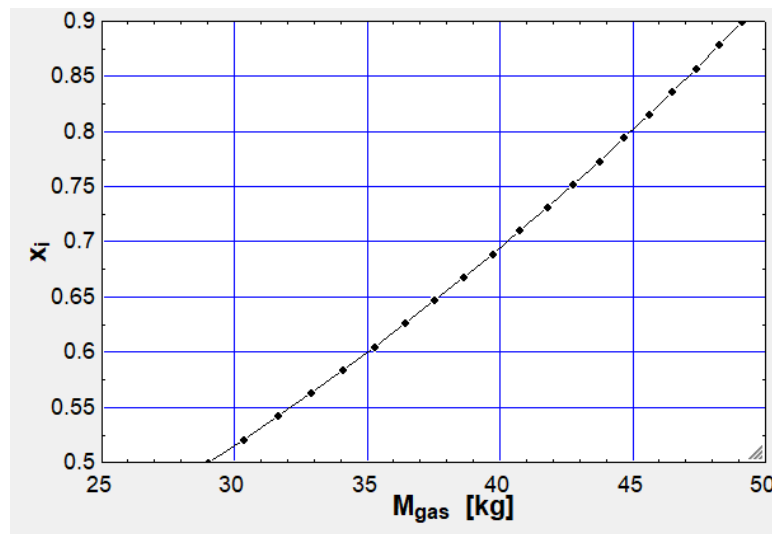


**Figura 3.5** Velocidad de aire en difusor vs tiempo de evaporación

**Fuente:** Propia

En la figura 3.5, se observa la variación del tiempo de secado en función de la velocidad del aire que sale del difusor, se observa que está en un rango de 3 a 10 [m/s] para mantener el régimen turbulento. A mayor cantidad y velocidad de aire, menor tiempo de secado, pero

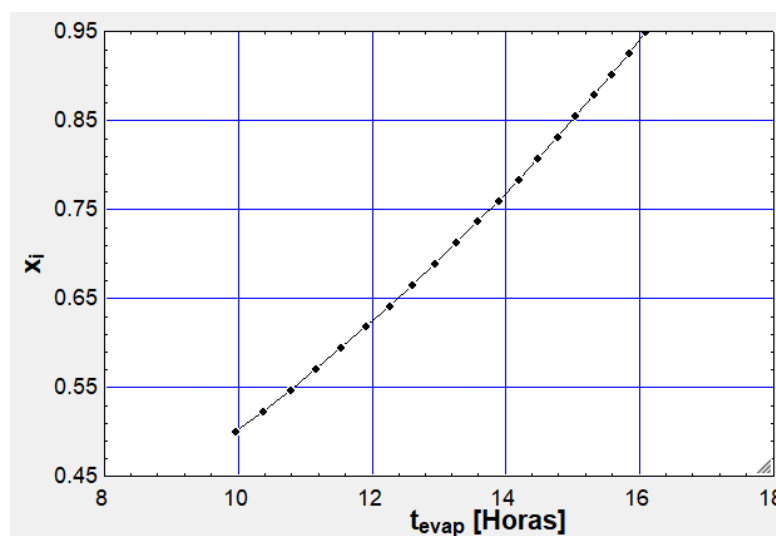
mayor trabajo del ventilador. Además, a velocidades mayores a 7 [m/s] hay riesgo de caída del producto desde la bandeja.



**Figura 3.6.** Humedad inicial del producto vs masa de gas consumido

**Fuente:** Propia

En la figura 3.6, se observa la relación entre la humedad inicial del producto con la cantidad de combustible ocupado en el proceso, para menores valores de la humedad se requiere menor combustible. Esto resulta beneficioso si se tiene una cámara de pre secado solar.



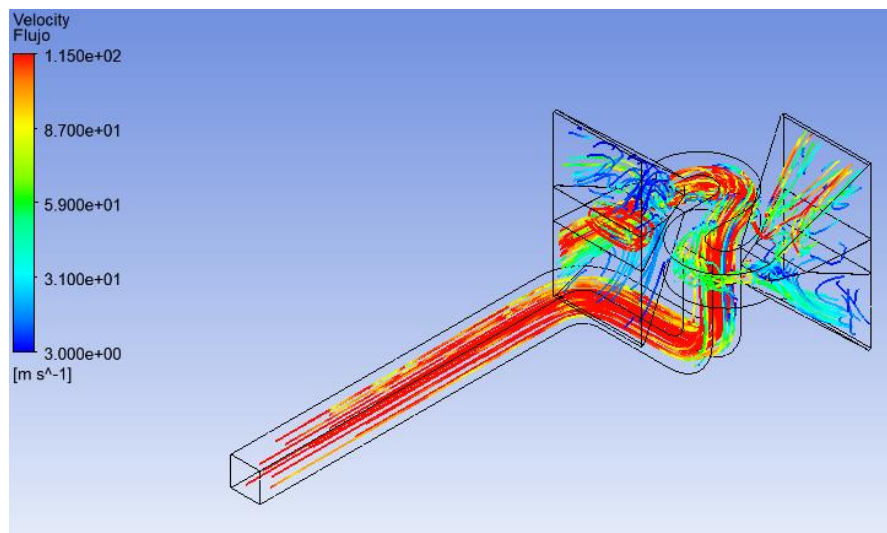
**Figura 3.7.** Humedad inicial del producto vs tiempo de operación

**Fuente:** Propia

De igual forma la relación de la humedad inicial con el tiempo de evaporado resulta beneficiosa como se observa en la figura 3.7, al tener una cámara de pre secado solar, se disminuye el tiempo de operación del horno a gas.

De la figura 3.4 a la 3.7, se observa que, mediante el incremento en la temperatura de entrada y la velocidad de entrada del aire, se reduce el tiempo de secado del producto. Además, ambos tratamientos pueden darse de forma independiente, en este caso resulta conveniente incrementar la velocidad de entrada del aire y mantener una temperatura entre 70°C. Al mantener esta temperatura constante y modificar el ingreso de la humedad inicial, se observa que entre menor sea dicho valor, también se reduce la cantidad de gas empleado para el proceso. En las figuras 3.6 y 3.7, se observa la relación que tiene la humedad inicial del producto con la masa de combustible y el tiempo de secado o tiempo de operación como es de esperarse. A menores humedades iniciales del producto menor consumo de tiempo y combustible realizara la máquina. Las 4 figuras presentadas son directamente proporcionales a sus variables, es decir que, si se aumenta o disminuye su variable de ingreso, la salida cambiará de la misma forma.

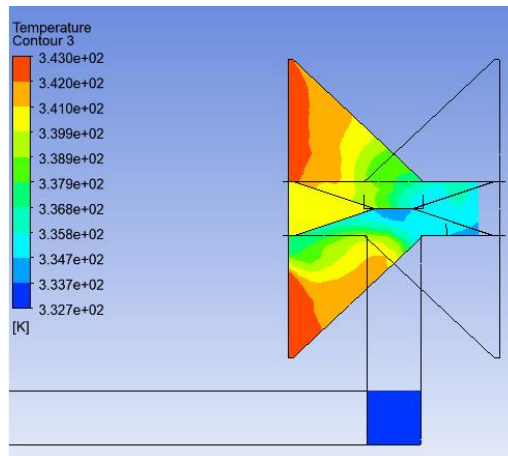
La simulación computacional de estos parámetros (Velocidad, temperatura, flujo de calor) permite ver de forma simplificada y gráfica, como sería el comportamiento del aire caliente dentro de la recámara.



**Figura 3.8.** Distribución de flujo de aire dentro del difusor

**Fuente:** Propia

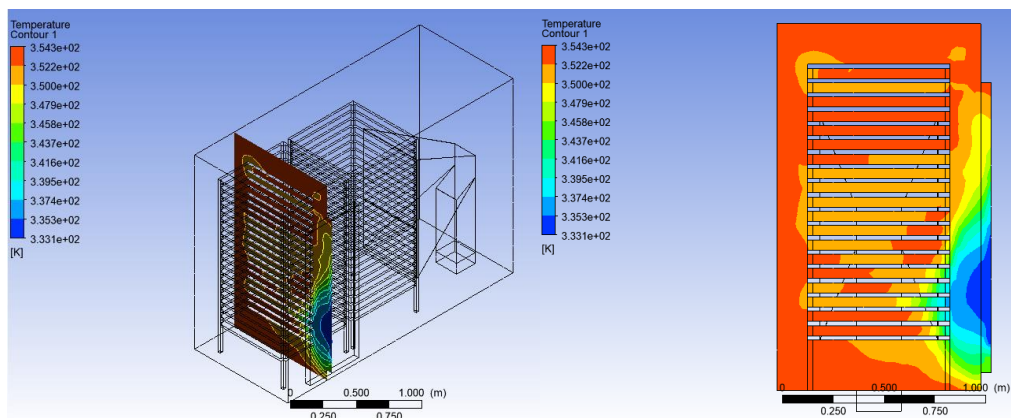
En la figura 3.8, se observa cómo se realiza el ingreso del aire caliente, que se encuentra en una recamara separada y aislada de la cámara de deshidratado. El ingreso del aire por medio del ventilador se realiza a 115 [m/s] (Ver cálculo en anexo II), el cual al llegar al difusor disminuye su velocidad a un rango entre 3 y 10 [m/s]. teniendo valores aun elevados en la parte superior del difusor, alrededor de 60 [m/s].



**Figura 3.9.** Distribución de temperatura dentro del difusor

**Fuente:** Propia

En la figura 3.9, se observa como el aire que ingresa con una temperatura de 60°C, asciende a 70°C, por lo que cumple con el análisis energético del difusor (Ver Anexo II). En el cual, al reducir la velocidad de salida, aumenta la temperatura en la recamara.

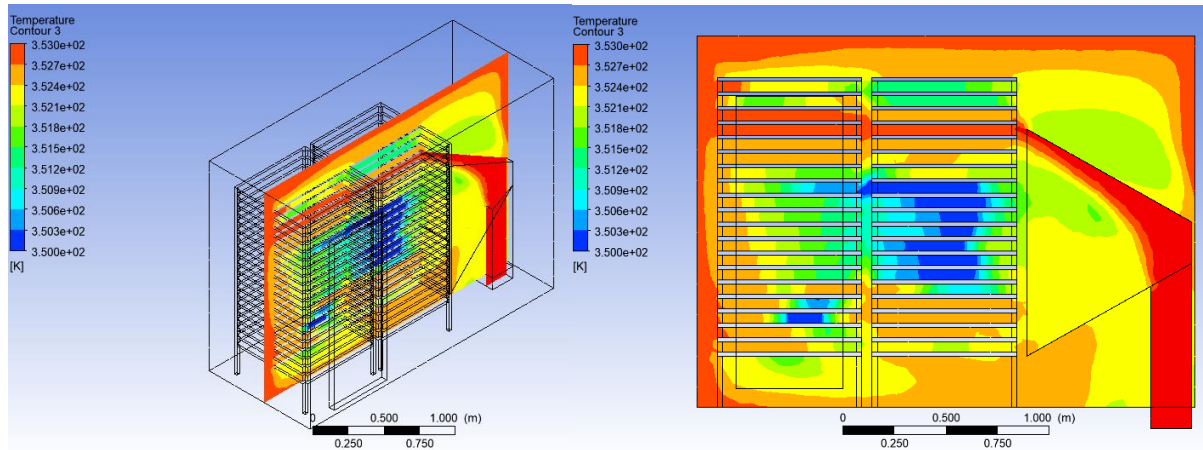


**Figura 3.10.** Distribución de temperatura en las bandejas

**Fuente:** Propia



En la figura 3.10, se observa la distribución de temperatura en las bandejas, para este análisis se tomó una cuarta parte de la recámara total con la finalidad de permitir una mejor apreciación de las imágenes al tener un mejor mallado. La temperatura oscila entre 60 y 80 [°C] debido a la colocación de una salida en la zona azul que sería la continuidad hacia la otra parte de la cámara total. Indicando únicamente el flujo de temperatura que se tiene.



**Figura 3.11.** Distribución de calor en bandejas y difusor

**Fuente:** Propia

De la figura 3.11, se observa cómo se distribuye el flujo de aire dentro del horno, obteniendo de esta manera la circulación del aire en toda la recámara por medio de la configuración propuesta de los difusores, garantizando la extracción óptima de la humedad en el producto.

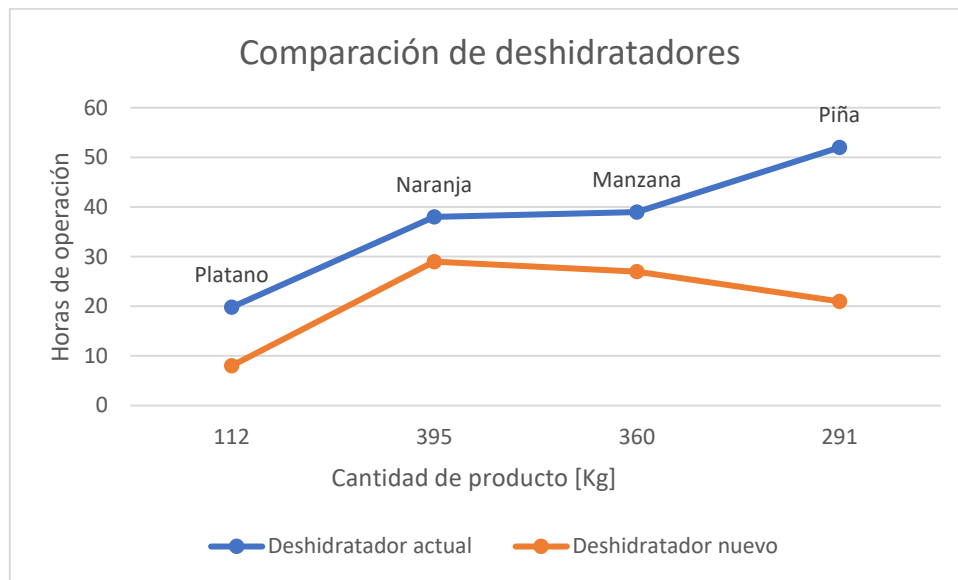
Para la generación del calor, se requiere un quemador que entregue una potencia alrededor de 220000 BTU/h (Ver anexo II de capacidad térmica de recámara).

### 3.4 Tiempo de secado de frutas

De los resultados obtenidos se pudo realizar la siguiente tabla comparativa para los productos: plátano, naranja, piña y manzana, los datos de tiempo de secado, humedad inicial (tabla 1.1), humedad final y masa a deshidratar son proporcionados por la empresa Agroapoyo. Con los datos proporcionados de masa y humedades, se calculó mediante el programa implementado en EES el tiempo de secado y el combustible estimados en el nuevo diseño presentado en la tabla 3.3.

**Tabla 3.3.** Datos proporcionados y resultados obtenidos

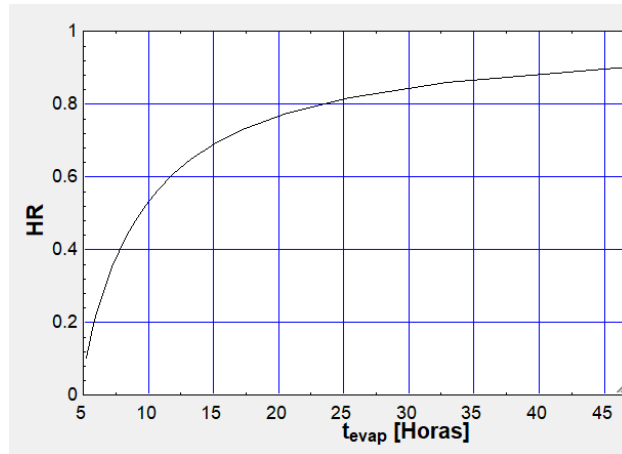
	Masa [Kg]	Deshidratador actual		Deshidratador Nuevo	
		Tiempo de secado [Horas]	Humedad final [%]	Tiempo de secado [Horas]	Combustible [Kg]
		Plátano	112	19.8	7.5
Naranja	395	38	9.7	29	110
Manzana	360	39	9.3	27	99
Piña	291	52	11.6	21	78



**Figura 3.12.** Desempeño de deshidratador actual y nuevo

**Fuente:** Propia

El nuevo diseño por implementar con las mejoras impuestas sobre la distribución de aire, aislante, estructura metálica y salida de aire, mejoran el tiempo de secado de forma considerable como se observa en la figura 3.12, ya que en el actual deshidratador presenta algunas falencias en cuanto a la salida de aire y aislante. Para los cálculos del diseño a implementar se realiza a la temperatura de 60°C, velocidad del aire 6m/s y una humedad relativa promedio de 40%.



**Figura 3.13.** Tiempo de evaporación en función de humedad relativa del ambiente

**Fuente:** Propia

En la Figura 3.13 se observa una dependencia logarítmica entre la humedad relativa del ambiente y el tiempo de operación, con lo cual el rango óptimo de trabajo para la humedad relativa del ambiente está entre el 40% y 70%. A partir del 80% el tiempo de operación supera las 24 horas. Para humedades inferiores al 20%, se considera aire seco, este tipo de fluido es de gran interés en el secado ya que, permite una mejor extracción de la humedad. Como se observa en la tabla 2.22, el volumen específico aumenta de acuerdo con el incremento de la temperatura, se observa un incremento del 60% que beneficia al retiro del contenido de agua en el producto. Es decir que, si no se obtiene un aire lo más seco posible, es preferible aumentar la temperatura del aire que ingresa.

## 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

- Los resultados obtenidos mediante el diseño para la unidad de entrada del aire, la elección de las paredes térmicas y la mejora de la estructura enfocada en la reducción del espacio ocupado, reducen de manera teórica el tiempo de operación actual del deshidratador de la empresa Agroapoyo. Así como el consumo del combustible de gas, para la elección del quemador, ventilador y perfiles de estructura metálica. Se

priorizo en ocupar los equipos y stock de material disponible en la empresa, siempre y cuando cumplan con las necesidades energéticas y de caudal.

- La implementación de un secador solar para pre secar el producto, resulta conveniente para la reducción de tiempo de operación del horno a gas. Se reduce los costos de producción al requerir menos combustible, se reduce emisiones de gases de efecto invernadero, se aumenta la eficiencia energética al ocupar menos GLP en una parte del proceso. Otro aspecto importante es la reducción de tiempo y costo en la producción, con el correcto aislamiento térmico evitando fugas en la estructura y ductos de circulación del aire caliente fuera de la recámara.
- El código del software implementado permite evaluar cualquier tipo de producto a deshidratar, su enfoque se centra en tres parámetros de entrada. Humedad inicial, humedad final y masa. Del cual se obtiene el tiempo estimado de operación de la máquina y su consumo energético de GLP.
- El tiempo de calentamiento del horno toma un tiempo grande para llegar a estabilizar su temperatura de operación. Este tiempo se puede mejorar al reducir el caudal del ventilador, cabe recalcar que el tiempo obtenido de operación, se le debe añadir el tiempo de calentamiento del horno.
- La distribución del aire se cumple con la configuración planteada, es decir, que el aire circule sin la necesidad de ventiladores extra por toda la cámara de secado. Cuando el aire interior llegue al punto de saturación, se abrirá de forma manual el ducto de extracción, se lo realiza aproximadamente cada dos horas.

## 4.2 Recomendaciones

- Se recomienda realizar el secado en una temperatura entre 60°C y 70°C ya que, al exceder esta temperatura la fruta empieza a presentar cocción. Aunque en las gráficas se observa que a mayor temperatura menor tiempo de operación, también implica mayor uso de combustible. Por tal motivo es preferible aumentar el caudal de aire que ingresa a la recámara en lugar de aumentar la temperatura.
- Las condiciones climáticas afectan el tiempo de secado, si la temperatura es baja y la humedad del ambiente es alta o existe neblina. Es recomendable no realizar el proceso de deshidratación en dichas condiciones y esperar que el clima mejore, en

caso fortuito por condiciones de demanda se puede utilizar un filtro desecante a la entrada del aire.

- Para el caso de reutilización del aire de salida para reducir el consumo de GLP, se debe extraer la humedad por medio de filtros desecantes, es recomendable no utilizar el aire de salida ya que aumentaría el costo de producción al adquirir dichos filtros, además, la humedad del aire reutilizado depende del tipo de filtro que se utilice, por lo tanto, es mejor utilizar el aire exterior.
- Se recomienda soldar la estructura metálica y no empernarla, por el tema de costo, ya que la perforación de varios agujeros, los pernos y el mantenimiento incrementan su costo, el tiempo de ensamble también se incrementa.

## 5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acindec. (Julio de 2022). *Acindec*. Obtenido de <https://www.acindec.com/index.php/es/equipos-y-plantas/alimentos>
- Agroapoyo. (22 de Julio de 2022). *AGROAPOYO*. Obtenido de <https://agroapoyo.com/producto-industrial/>
- AISC. (2011). *Steel construction manual*. United States Of America: ISBN.
- Aislamiento-térmico. (17 de 11 de 2022). *Aislamiento térmico*. Obtenido de Aislamiento térmico: <https://www.aislamientotermico.com.ar/materiales-aislantes/espuma-de-poliuretano>
- Aislantes-Ecuador. (17 de 11 de 2022). *Aislantes EC*. Obtenido de Aislantes Ec: <https://aislantes.ec/portfolio-item/lana-de-roca/>
- AKRIBIS. (21 de 11 de 2022). *AKRIBIS*. Obtenido de AKRIBIS: <https://akribis.com.ec/index.php/es/productos/laminaire>
- ASHRAE. (2017). Fundamentals. *ASHRAE HANDBOOK*, 30.2-30.58.
- Cabrera, J., Jurado, F., & Vera, D. (2021). Simulación de un deshidratador híbrido indirecto activo. *Enfoque UTE*, 2-5.
- Cengel, Y., & Ghajar, A. (2011). *Trasferencia de Calor y masa*. México: ISBN.
- Changoluiza, W., & Deivy, M. (2022). *IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA DESHIDRATADORA DE INSUMOS VEGETALES PARA EL SECTOR AGROALIMENTARIO DEL CANTÓN LA MANÁ*. Latacunga.
- CIR. (17 de 11 de 2022). *CIR*. Obtenido de CIR: <https://cir62.com/modules//smartblog/images/35-single-default.jpg>
- Deshidratadoras-Peru. (10 de 02 de 2023). *DeshidratadorasPeru*. Obtenido de DeshidratadorasPeru: <http://www.deshidratadorasperu.com/deshidratadores-50-a-300-kg-a-gas-o-electricos/122-deshidratador-100-140-kg-a-gas-14-m2-de-24-bandejas.html>

DIPROIN. (12 de 11 de 2022). *Diproin*. Obtenido de <https://www.diproin.com.ec/mallas-acero-inoxidable.html>

Ec, A. (Julio de 2022). *Aislantes Ec*. Obtenido de <https://aislantes.ec/>

Ecuapack. (Julio de 2022). *Ecuapack*. Obtenido de <https://www.ecuapack.com/>

Equiproin. (Julio de 2022). *Equiproin*. Obtenido de <https://www.equiproin.com.ec/ventiladores-centrifugos>

ERC. (Julio de 2022). *ERC*. Obtenido de <https://ercolombia.com/service/deshidratadores-solares/>

Evolución de la Balanza Comercial por productos. (Enero de 2022). *Banco central del Ecuador*. Recuperado el 12 de 07 de 2022, de <https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/SectorExterno/BalanzaPagos/balanzaComercial/ebc202203.pdf>

FAO. (12 de 2017). *FAO*. Obtenido de <https://www.fao.org/3/i7248s/i7248s.pdf>

IKE. (Julio de 2022). *Ike Food Dehydrator*. Obtenido de <https://es.ike.cn/>

ImportAceros. (Julio de 2022). *Importaceros*. Obtenido de <https://www.importaceros.com/ecuador-quito/acero-inoxidable-316/>

INEN. (2015). *Servicio ecuatoriano de normalización*. Obtenido de [https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte\\_inen\\_2260.pdf](https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_2260.pdf)

JMINDUSTRIAL. (20 de 12 de 2022). *JMINDUSTRIAL*. Obtenido de <https://www.jmi.com.mx/controlador-de-temperatura-humedad-n323rht.html>

Kubiec. (02 de 02 de 2023). *Kubiec*. Obtenido de Kubiec: <https://kubiec.com/kutermico/>

Lobo, H. i. (Enero de 2022). *Hornos industriales Lobo*. Obtenido de Hornos industriales Lobo: <https://www.lobohi.com/deshidratado>

LojaGas. (29 de 12 de 2022). *LojaGas*. Obtenido de <http://lojagas.com/nueva/wp-content/uploads/2017/08/G-99.-HOJA-DE-SEGURIDAD-GAS-LICUADO-DE-PETROLEO.pdf>

MAQORITO. (10 de 02 de 2023). *MAQORITO*. Obtenido de MAQORITO:  
<https://maqorito.com/deshidratador-de-alimentos/366-maqorito-deshidratador-industrial-12-bandejas-gas-glp-gn.html>

Ocompra. (10 de 02 de 2023). *Ocompra*. Obtenido de Ocompra:  
<https://www.ocompra.com/ecuador/item/deshidratadora-secadora-frutas-vegetales-carnes-80-bandejas-522249750/>

OMEGA. (20 de 12 de 2022). *OMEGA*. Obtenido de OMEGA:  
<https://es.omega.com/pptst/CNI8C.html>

OMEGA. (20 de 12 de 2022). *OMEGA*. Obtenido de OMEGA:  
<https://es.omega.com/pptst/ITH.html>

Riba, C. (2002). *Diseño concurrente*. Barcelona: UPC.

Sodeca. (02 de 02 de 2023). *Sodeca*. Obtenido de Sodeca:  
[https://www.sodeca.com/upload/imgCatalogos/ES/FO29\\_CBDRE\\_ES.pdf](https://www.sodeca.com/upload/imgCatalogos/ES/FO29_CBDRE_ES.pdf)

Technology, H. A. (10 de 02 de 2023). *Heyuan* . Obtenido de Heyuan :  
<https://spanish.alibaba.com/p-detail/Hot-1600221774016.html?s=p>

TROX. (21 de 11 de 2022). *Trox Technik*. Obtenido de Trox Technik: <https://www.trox-latinamerica.com/difusor-de-alta-inducci%C3%B3n/vdl-10298c821f4d4c31>

Valdez, P. (28 de 12 de 2022). *Manual de deshidratación*. Obtenido de Manual de deshidratación: <http://manualdeshidratacion.blogspot.com/>

VALLE, P. D. (12 de 11 de 2022). *PERFORADOS DEL VALLE*. Obtenido de PERFORADOS DEL VALLE:  
[https://perforadosdelvalle.com/?gclid=Cj0KCQiApb2bBhDYARIsAChHC9tCFGtGKwKhzIQDkGkXWN9yRfuUxS3TQ-rwH65t9fNYtNQVqNJYAM4aAuQ-EALw\\_wcB](https://perforadosdelvalle.com/?gclid=Cj0KCQiApb2bBhDYARIsAChHC9tCFGtGKwKhzIQDkGkXWN9yRfuUxS3TQ-rwH65t9fNYtNQVqNJYAM4aAuQ-EALw_wcB)

VENAMET. (Julio de 2022). *VENAMET*. Obtenido de  
<https://www.venamet.com/producto/quemador-wayne-fh/>



## 6 ANEXOS

### Anexo I

#### Evaluación módulo1

**Tabla 6.1.** Evaluación por ponderación de cada criterio de módulo 1

	Mont	Mant	Peso	Regulación	Costo	Capacidad	$\Sigma+1$	Ponderación
<b>Mont</b>		0	0.5	0	0	0	1.5	0.071
<b>Mant</b>	1		1	0	0	0	3	0.143
<b>Peso</b>	0.5	0		0	0	0.5	2	0.095
<b>Reg</b>	1	1	1		0	1	5	0.238
<b>Costo</b>	1	1	1	1		1	6	0.286
<b>Cap</b>	1	1	0.5	0	0		3.5	0.167
							<b>Suma</b>	<b>21</b>
<b>Costo de fabricación &gt; Regulación &gt; Capacidad &gt; Mantenimiento &gt; Peso &gt; Montaje</b>								

Evaluación de las diferentes soluciones

Criterio – Montaje

**Tabla 6.2.** Evaluación para montaje módulo 1

Montaje	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
<b>Solución 1</b>		0.5	0.5	2	0.333
<b>Solución 2</b>	0.5		0.5	2	0.333
<b>Solución 3</b>	0.5	0.5		2	0.333
	Suma			6	1.000
<b>Solución 1 = Solución 2 = Solución 3</b>					

Criterio – Mantenimiento

**Tabla 6.3.** Evaluación para mantenimiento módulo 1

Mantenimiento	<b>Solución 1</b>	<b>Solución 2</b>	<b>Solución 3</b>	$\Sigma+1$	Ponderación
<b>Solución 1</b>		1	0.5	2.5	0.417
<b>Solución 2</b>	0		0	1	0.167
<b>Solución 3</b>	0.5	1		2.5	0.417
	Suma			6	1.000
<b>Solución 1 = Solución 3 &gt; Solución 2</b>					

Criterio – Peso

**Tabla 6.4.** Evaluación para peso módulo 1

Peso	<b>Solución 1</b>	<b>Solución 2</b>	<b>Solución 3</b>	$\Sigma+1$	Ponderación
<b>Solución 1</b>		1	1	3	0.500
<b>Solución 2</b>	0		0	1	0.167
<b>Solución 3</b>	0	1		2	0.333
	Suma			6	1.000
<b>Solución 2 &gt; Solución 3 Solución 1</b>					

Criterio – Regulación

**Tabla 6.5.** Evaluación para regulación módulo 1

Regulación	<b>Solución 1</b>	<b>Solución 2</b>	<b>Solución 3</b>	$\Sigma+1$	Ponderación
<b>Solución 1</b>		0.5	0.5	2	0.333
<b>Solución 2</b>	0.5		0.5	2	0.333
<b>Solución 3</b>	0.5	0.5		2	0.333
	Suma			6	
<b>Solución 1 = Solución 2 = Solución 3</b>					

Criterio – Costo fabricación

**Tabla 6.6.** Evaluación para costo de fabricación módulo 1

Costo fabricación	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
<b>Solución 1</b>		1	0.5	2.5	0.417
<b>Solución 2</b>	0		0	1	0.167
<b>Solución 3</b>	0.5	1		2.5	0.417
	Suma			6	
<b>Solución 1 = Solución 3 &gt; Solución 2</b>					

Criterio – Capacidad

**Tabla 6.7.** Evaluación para capacidad módulo 1

Capacidad	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
<b>Solución 1</b>		0.5	0.5	2	0.333
<b>Solución 2</b>	0.5		0.5	2	0.333
<b>Solución 3</b>	0.5	0.5		2	0.333
	Suma			6	
<b>Solución 1 = Solución 2 = Solución 3</b>					

Distribución de aire

**Tabla 6.8.** Evaluación por ponderación de cada criterio distribuidor de aire

	Mont	Mant	Peso	Fluj	Tamaño	Ruido	Costo	$\Sigma+1$	Pond
<b>Montaje</b>		1	0	0	0	1	0	3	0.136
<b>Mantenimiento</b>	0		1	0	0	0.5	0	2.5	0.114
<b>Peso</b>	1	0		0	0.5	1	0	3.5	0.159
<b>Flujo</b>	1	1	1		1	1	1	7	0.318
<b>Tamaño</b>	1	1	0.5	0		1	0	4.5	0.205
<b>Ruido vibración</b>	0	0.5	0	0	0		0	1.5	0.068
<b>Costo fabricación</b>	1	1	1	0	1	1		6	0.273

<b>Suma</b>	22	1.000
<b>Flujo &gt; Costo de fabricación &gt; Tamaño &gt; Peso &gt; Montaje &gt; Mantenimiento &gt; Ruido</b>		

Evaluación de las diferentes soluciones

Criterio – Montaje

**Tabla 6.9.** Evaluación para montaje de distribuidor de aire

Montaje	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
<b>Solución 1</b>		0	0	1	0.167
<b>Solución 2</b>	1		1	3	0.500
<b>Solución 3</b>	1	0		2	0.333
Suma				6	1.000
<b>Solución 2 &gt; Solución 3 &gt; Solución 1</b>					

Criterio – Mantenimiento

**Tabla 6.10.** Evaluación para mantenimiento de distribuidor de aire

Mantenimiento	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
<b>Solución 1</b>		0	0	1	0.167
<b>Solución 2</b>	1		0.5	2.5	0.417
<b>Solución 3</b>	1	0.5		2.5	0.417
Suma				6	1.000
<b>Solución 2 = Solución 3 &gt; Solución 1</b>					

Criterio – Peso

**Tabla 6.11.** Evaluación para peso de distribuidor de aire

Peso	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
<b>Solución 1</b>		0	0	1	0.167
<b>Solución 2</b>	1		1	3	0.500
<b>Solución 3</b>	1	0		2	0.333
Suma				6	1.000

---

**Solución 2 > Solución 3 > Solución 1**

---

Criterio – Flujo

**Tabla 6.12.** Evaluación para flujo de distribuidor de aire

Flujo	<b>Solución 1</b>	<b>Solución 2</b>	<b>Solución 3</b>	$\Sigma+1$	Ponderación
<b>Solución 1</b>		0	1	2	0.333
<b>Solución 2</b>	1		1	3	0.500
<b>Solución 3</b>	0	0		1	0.167
	Suma			6	
<b>Solución 2 &gt; Solución 1 &gt; Solución 3</b>					

Criterio – Tamaño

**Tabla 6.13.** Evaluación para tamaño de distribuidor de aire

Tamaño	<b>Solución 1</b>	<b>Solución 2</b>	<b>Solución 3</b>	$\Sigma+1$	Ponderación
<b>Solución 1</b>		0.5	1	2.5	0.417
<b>Solución 2</b>	0.5		1	2.5	0.417
<b>Solución 3</b>	0	0		1	0.167
	Suma			6	
<b>Solución 1 = Solución 2 &gt; Solución 3</b>					

Criterio – Ruido y vibración

**Tabla 6.14.** Evaluación para ruido y vibración de distribuidor de aire

Ruido vibración	<b>Solución 1</b>	<b>Solución 2</b>	<b>Solución 3</b>	$\Sigma+1$	Ponderación
-----------------	-------------------	-------------------	-------------------	------------	-------------

<b>Solución 1</b>		0	0.5	1.5	0.250
<b>Solución 2</b>	1		0	2	0.333
<b>Solución 3</b>	0.5	1		2.5	0.417
	Suma			6	
<b>Solución 3 &gt; Solución 2 &gt; Solución 1</b>					

Criterio – Costo de fabricación

**Tabla 6.15.** Evaluación para costo de distribuidor de aire

	<b>Solución 1</b>	<b>Solución 2</b>	<b>Solución 3</b>	$\Sigma+1$	Ponderación
<b>Solución 1</b>		1	1	3	0.500
<b>Solución 2</b>	0		0.5	1.5	0.250
<b>Solución 3</b>	0	0.5		1.5	0.250
	Suma			6	
<b>Solución 1 &gt; Solución 2 = Solución 3</b>					

**Aislante**

**Tabla 6.16.** Evaluación para aislantes

	Conduct	Mant	Peso	Espesor	Costo fabricación	$\Sigma+1$	Ponderación
Conduct		1	1	0.5	1	4.5	0.300
Mant	0		1	0	0	2	0.133
Peso	0	0		0	0	1	0.067
Espesor	0.5	1	1		0	3.5	0.233
Costo	0	1	1	1		4	0.267
					Suma	15	
<b>Conductividad &gt; Costo de fabricación &gt; Espesor &gt; Mantenimiento &gt; Peso</b>							

Criterio – Conductividad

**Tabla 6.17.** Evaluación de conductividad de calor para aislante

Conductividad	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
<b>Solución 1</b>		0.5	1	2.5	0.417
<b>Solución 2</b>	0.5		1	2.5	0.417
<b>Solución 3</b>	0	0		1	0.167
	Suma			6	1.000
<b>Solución 1 = Solución 2 &gt; Solución 3</b>					

Criterio – Mantenimiento

**Tabla 6.18.** Evaluación de mantenimiento para aislante

Mantenimiento	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
<b>Solución 1</b>		0.5	0	1.5	0.250
<b>Solución 2</b>	0.5		0	1.5	0.250
<b>Solución 3</b>	1	1		3	0.500
	Suma			6	1.000
<b>Solución 3 &gt; Solución 1 = Solución 2</b>					

Criterio – Peso

**Tabla 6.19.** Evaluación de peso para aislante

Peso	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
<b>Solución 1</b>		1	0	2	0.333
<b>Solución 2</b>	0		0	1	0.167
<b>Solución 3</b>	1	1		3	0.500
	Suma			6	1.000
<b>Solución 3 &gt; Solución 1 &gt; Solución 2</b>					

Criterio – Espesor

**Tabla 6.20.** Evaluación de espesor para aislante

Espesor	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
<b>Solución 1</b>		0.5	0	1.5	0.250
<b>Solución 2</b>	0.5		0	1.5	0.250
<b>Solución 3</b>	1	1		3	0.500
	Suma			6	
<b>Solución 3 &gt; Solución 1 = Solución 2</b>					

Criterio – Costo de fabricación

**Tabla 6.21.** Evaluación de espesor para aislante

Costo fabricación	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
<b>Solución 1</b>		0.5	0	1.5	0.250
<b>Solución 2</b>	0.5		0	1.5	0.250
<b>Solución 3</b>	1	1		3	0.500
	Suma			6	
<b>Solución 3 &gt; Solución 1 = Solución 2</b>					

**Salida de aire**

**Tabla 6.22** Evaluación para salida de aire saturado

	Caudal	Tamaño	Peso	Mantenimiento	Costo	$\Sigma+1$	Ponderación
Caudal		0.5	1	1	1	4.5	0.300
Tamaño	0.5		1	1	0.5	4	0.267
Peso	0	0		0	0	1	0.067
Mantenimiento	0	0	1		0	2	0.133
Costo	0	0.5	1	1		3.5	0.233
					Suma	15	
<b>Caudal &gt; Tamaño &gt; Costo &gt; Mantenimiento &gt; Peso</b>							

Criterio – Caudal

**Tabla 6.23.** Evaluación de caudal para salida de aire saturado



Caudal	<b>Solución 1</b>	<b>Solución 2</b>	<b>Solución 3</b>	$\Sigma+1$	Ponderación
<b>Solución 1</b>		1	1	3	0.500
<b>Solución 2</b>	0		0.5	1.5	0.250
<b>Solución 3</b>	0	0.5		1.5	0.250
	Suma			6	1.000
<b>Solución 1 &gt; Solución 2 = Solución 3</b>					

Criterio – Tamaño

**Tabla 6.24.** Evaluación de tamaño para salida de aire saturado

Tamaño	<b>Solución 1</b>	<b>Solución 2</b>	<b>Solución 3</b>	$\Sigma+1$	Ponderación
<b>Solución 1</b>		0	1	2	0.333
<b>Solución 2</b>	1		1	3	0.500
<b>Solución 3</b>	0	0		1	0.167
	Suma			6	1.000
<b>Solución 2 &gt; Solución 1 &gt; Solución 3</b>					

Criterio – Peso

**Tabla 6.25.** Evaluación de peso para salida de aire saturado

Peso	<b>Solución 1</b>	<b>Solución 2</b>	<b>Solución 3</b>	$\Sigma+1$	Ponderación
<b>Solución 1</b>		1	1	3	0.500
<b>Solución 2</b>	0		0.5	1.5	0.250
<b>Solución 3</b>	0	0.5		1.5	0.250
	Suma			6	1.000
<b>Solución 1 &gt; Solución 2 = Solución 3</b>					

Criterio – Mantenimiento

**Tabla 6.26** Evaluación de peso para salida de aire saturado

Mantenimiento	<b>Solución 1</b>	<b>Solución 2</b>	<b>Solución 3</b>	$\Sigma+1$	Ponderación
<b>Solución 1</b>		0	0	1	0.167
<b>Solución 2</b>	1		0.5	2.5	0.417
<b>Solución 3</b>	1	0.5		2.5	0.417
	Suma			6	
<b>Solución 2 = Solución 3 &gt; Solución 1</b>					

Criterio – Costo

**Tabla 6.27.** Evaluación de costo para salida de aire saturado

Costo	<b>Solución 1</b>	<b>Solución 2</b>	<b>Solución 3</b>	$\Sigma+1$	Ponderación
<b>Solución 1</b>		1	1	3	0.500
<b>Solución 2</b>	0		0	1	0.167
<b>Solución 3</b>	0	1		2	0.333
	Suma			6	
<b>Solución 1 &gt; Solución 3 &gt; Solución 2</b>					

**Modulo 3**

**Controlador**

**Tabla 6.28.** Evaluación por ponderación para controlador

	Rango	Tiempo	Complejidad	Mantenimiento	Costo	$\Sigma+1$	Ponderación
Rango		1	1	1	0	4	0.267
Tiempo	0		1	0	0	2	0.133
Complejidad	0	0		0	0.5	1.5	0.100
Mantenimiento	0	1	1		0	3	0.200
Costo	1	1	0.5	1		4.5	0.300
					Suma	15	
<b>Costo &gt; Rango &gt; Mantenimiento &gt; Tiempo &gt; Complejidad</b>							

Criterio – Rango

**Tabla 6.29.** Evaluación de rango de operación para controlador

Rango	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
<b>Solución 1</b>		0	0	1	0.167
<b>Solución 2</b>	1		0.5	2.5	0.417
<b>Solución 3</b>	1	0.5		2.5	0.417
	Suma			6	1.000
<b>Solución 2 = Solución 3 &gt; Solución 1</b>					

Criterio – Tiempo

**Tabla 6.30** Evaluación de tiempo de respuesta para controlador

Tiempo	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
<b>Solución 1</b>		0.5	1	2.5	0.417
<b>Solución 2</b>	0.5		1	2.5	0.417
<b>Solución 3</b>	0	0		1	0.167
	Suma			6	1.000
<b>Solución 1 = Solución 2 &gt; Solución 3</b>					

Criterio – Complejidad

**Tabla 6.31.** Evaluación de complejidad para controlador

Complejidad	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
<b>Solución 1</b>		0.5	0.5	2	0.333
<b>Solución 2</b>	0.5		0	1.5	0.250
<b>Solución 3</b>	0.5	1		2.5	0.417
	Suma			6	1.000
<b>Solución 3 &gt; Solución 1 &gt; Solución 2</b>					

Criterio – Mantenimiento

**Tabla 6.32.** Evaluación de mantenimiento para controlador

Mantenimiento	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
<b>Solución 1</b>		0.5	0	1.5	0.250
<b>Solución 2</b>	0.5		0	1.5	0.250
<b>Solución 3</b>	1	1		3	0.500
	Suma			6	
<b>Solución 3 &gt; Solución 2 = Solución 1</b>					

Criterio – Costo

**Tabla 6.33.** Evaluación de costo para controlador

Costo	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
<b>Solución 1</b>		0.5	0	1.5	0.250
<b>Solución 2</b>	0.5		0.5	2	0.333
<b>Solución 3</b>	1	0.5		2.5	0.417
	Suma			6	
<b>Solución 3 &gt; Solución 2 &gt; Solución 1</b>					

**Características técnicas**

Modelo	Velocidad (r/min)	Intensidad máxima admisible(A)	Potencia eléctrica máxima (kw)	Caudal máximo (m <sup>3</sup> /h)	Nivel sonoro dB(A)		Peso (Kg)	
					CBDRE	CJBDRE	CBDRE	CJBDRE
CBDRE CJBDRE 200-4T	500 / 1300	1,07	0,49	730 / 1900	43 / 64	41 / 62	16	27
CBDRE CJBDRE 225-4T	550 / 1350	1,42	0,63	1080 / 2650	47 / 66	45 / 64	17	29
CBDRE CJBDRE 250-4T	550 / 1350	1,42	0,75	1080 / 2650	48 / 67	46 / 65	20	35
CBDRE CJBDRE 250-6T	350 / 890	1,37	0,46	1005 / 2550	45 / 65	43 / 63	20	35
CBDRE CJBDRE 280-4T	550 / 1350	2,31	1,18	1425 / 3500	46 / 65	44 / 63	32	49
CBDRE CJBDRE 280-6T	350 / 890	1,83	0,83	1610 / 4100	46 / 66	44 / 64	24	41
CBDRE CJBDRE 315-4T	550 / 1400	5,26	3,05	2770 / 7050	38 / 58	36 / 56	50	73
CBDRE CJBDRE 315-6T	350 / 920	2,55	1,32	2300 / 6050	42 / 63	39 / 60	41	64
CBDRE CJBDRE 355-6T	350 / 920	4,20	1,84	2700 / 7100	52 / 73	49 / 70	54	77
CBDRE CJBDRE 400-6T	350 / 920	5,60	2,92	3575 / 9400	48 / 69	45 / 66	75	108
CBDRE CJBDRE 450-6T	350 / 920	7,50	4,39	4240 / 11150	49 / 70	45 / 66	87	130
CBDRE CJBDRE 500-6T	350 / 920	14,50	7,20	5690 / 14950	54 / 75	51 / 72	127	181

**Figura 6.1** Características técnicas de ventiladores centrífugos

**Fuente:** (Sodeca, 2023)

En las siguientes imágenes se detallan las propiedades térmicas de las paredes aislantes, así como las fichas técnicas de los equipos seleccionados.

CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS			
INDICADORES	POLISOCIANURATO	POLIESTIRENO EXPANDIDO	LANA MINERAL DE ROCA
	PIR	EPS	LMR
Densidad kg/m <sup>3</sup>	34-45	10-18	32-144
Temperatura de operación	de -200°C a +120°C	de -184°C a 77°C	de -184°C a 750°C
* Resistencia Térmica para 50mm (9K.m <sup>2</sup> /watts)	<b>2,49</b>	<b>1,36</b>	<b>1,43</b>
Incombustibilidad	M1 NFP92501	Autoextinguible	100% incombustible
Fire Rating	••••	••	•••••

\* A mayor coeficiente de resistencia térmica, mejor desempeño de aislamiento térmico.

**Figura 6.2** Características térmicas de paneles

**Fuente:** (Kubiec, 2023)

## Anexo II

Modelo planteado en EES y planos mecánicos del deshidratador

## "Modelamiento deshidratador"

### "Propiedades externas - Ambiente"

Ad=0.66 [m2]

V=7[m/s]

T=80[C]

Ti=18[C]

HR=0.5 "41%"

P=75 [kPa]

rho=Density(Air\_ha,T=T,P=P)

Vol=4\*1.8\*1.8 [m^3]

### "Carta psicrométrica"

T\_bw=9.9[C]

RH=6.88 "gH2O/Kgaire"

h\_sat=35.56[kJ/Kg]

v\_esp=1.120 [m^3/Kg]

b=1.1[m]

a=0.6[m]

"Área difusor"

"Velocidad del aire"

"Temperatura operación"

"Temperatura ambiente"

"Humedad relativa ambiente"

"Presión Atmosférica"

"Densidad"

"Temperatura bulbo húmedo"

"Humedad específica"

"Entalpia saturación"

"Volumen específico"

"Longitud difusor"

"Ancho difusor"

"-----"

### "Propiedades del producto"

M=300[Kg]

l=0.7[m]

e=0.005[m]

x\_i=0.8

x\_o=0.15

bandejas=20\*8

A\_bandeja=0.695\*0.580[m^2]

"Masa"

"Longitud"

"Espesor"

"Humedad inicial"

"Humedad final"

"Número de bandejas"

"Área bandejas"

"-----"

"Primero se obtiene las propiedades del aire que ingresa, el cual es considerado aire seco"

nu=KinematicViscosity(Air\_ha,T=T,P=P)

D\_h=(2\*a\*b)/(a+b)

"Viscosidad cinemática del aire"

"Diámetro hidráulico de difusor"

Re=V\*D\_h/nu

"Numero de Reynolds - flujo turbulento"

"Se realiza para una bandeja y se extrapola para las demas "

l\_1=0.070 [m]

D\_b=(2\*a\*l\_1)/(a+l\_1)

Re\_1=V\*D\_b/nu

"Longitud entre bandejas"

"Diámetro hidráulico entre bandejas"

"Flujo turbulento"

### "Convección forzada sobre ducto entre bandejas"

alpha=ThermalDiffusivity(Air\_ha,T=T,P=P)

k=Conductivity(Air\_ha,T=T,P=P)

Pr=Prandtl(Air\_ha,T=T,P=P)

D\_ab=(1.87\*10^(-10))\*((T+273)^2.072)/0.74

Sc=nu/D\_ab

Nusselt=0.023\*(Re\_1^0.8)\*Pr^(0.4)

Sh=0.023\*(Re\_1^0.8)\*Sc^(1/3)

Nusselt=h\_conv\*D\_b/k

Sh=h\_masa\*D\_b/D\_ab

A\_t=A\_bandeja\*bandejas

"Difusividad térmica"

"Conductividad térmica del aire "

"Número de prant"

"Difusividad agua - aire"

"Número de Schmidt"

"Número de Nusselt Turbulento"

"Número de Sherwood Turbulento"

"Coef de transfer de calor"

"Coef de transfer de masa"

"Área total de transferencia de masa"

### "Concentraciones de humedad"

P\_sat=P\_sat(Water,T=T)\*convert(kPa,atm)

R=8.205746\*10^(-5)

w\_i=P\_sat/(R\*(T+273))

w\_o=HR\*P\_sat/(R\*(T+273))

MW=MolarMass(Water)

"Presión de saturación de agua en producto"

"Constante universal de los gases en (m^3\*atm/K\*mol)"

"Concentración de humedad producto mol/m^3"

"Concentración de humedad ambiente mol/m^3"

### "Flujos de masa y calor"

Q\_dot\_conv=h\_conv\*A\_bandeja\*(T-Ti)

m\_dot\_masa=h\_masa\*A\_bandeja^2\*(w\_i-w\_o)\*MW/1000

### "humedad inicial"

M\_in=M\*(x\_i/(1+x\_i))

"Masa de agua al inicio"

### "humedad final"

$M_{out}=(M^*1-M_{in})x_o$  "Masa de agua al final del proceso"  
 "Tiempo de secado"  
 $M_{evap}=M_{in}-M_{out}$   
 $t_{evap}=(M_{evap}/m_{dot\_masa})\cdot convert(s,h)$

"Balance de energia de difusor Dimensionamiento para ventilador"

$h_2=Enthalpy(Air\_ha,T=T,P=P)$

$d_{tubo}=0.2 [m]$

$A_{tubo}=d_{tubo}^2$

$v1\cdot A_{tubo}=V\cdot Ad$

$h_1=h_2+((V^2-v1^2)/2)\cdot(1/1000)$

$T_1=Temperature(Air\_ha,P=P,h=h_1)$

"Flujo másico de aire"

$v_{dot}=v1\cdot A_{tubo}\cdot convert(m^3/s,CFM)$

$m_{dot}=v_{dot}\cdot convert(CFM,m^3/s)/v_{esp}$

"Flujo de calor requerido"

$Q_{dot\_req}=Q_{dot\_conv}\cdot bandejas\cdot convert(W,kW)$  "Para todas las bandejas"

$Q_{tot}=Q_{dot\_req}\cdot(t_{evap}\cdot convert(h,s))$

"Calor requerido y combustible total"

$G=10830\cdot convert(Kcal/Kg,kJ/Kg)$  "Poder calórico del GLP"

$M_{gas}=Q_{tot}/G$

"Dimensionamiento aislante"

"Coef de convección natural "

$x1=1[m]$

$y1=2[m]$

$gravity=9.81 [m/s^2]$

$T_s=10[C]$

$T_f=(T_s+Ti)/2$

$k_1=Conductivity(Air\_ha,T=T_f,P=P)$

$\nu_1=KinematicViscosity(Air\_ha,T=T_f,P=P)$

$Pr_1=Prandtl(Air\_ha,T=T_f,P=P)$

$\beta=1/(T_f+273)$

$Gr=(gravity\cdot\beta\cdot(-T_s+Ti)\cdot y1^3)/\nu_1^2$

$Ra=Gr\cdot Pr_1$

$Nusselt_1=(0.825+(0.387\cdot Ra^{1/6}))/((1+(0.492/Pr_1)^{9/16})^{8/27})^2$

$h_{ext}=Nusselt_1\cdot k_1/y1$

$Q_{ext}=h_{ext}\cdot x1\cdot y1\cdot(-T_s+Ti)$

"Resistencias"

$k_{304}=16.6 [W/m^*C]$

$k_{aisl}=0.023 [W/m^*C]$

$e1= 0.0003[m]$

$e2=0.05 [m]$

$A_{rt}=x1\cdot y1$

$R_t=(1/(A_{rt}\cdot h_{ext}))+(2\cdot e1/(A_{rt}\cdot k_{304}))+(e2/(A_{rt}\cdot k_{aisl}))+(1/(A_{rt}\cdot h_{conv}))$

$Q_{dot\_perdida}=(T-Ti)/R_t$  "Perdida de las paredes"

$T_{sup\_real}=Ti-Q_{dot\_perdida}\cdot(1/(x1\cdot y1\cdot h_{ext}))$  "1 iteracion para la temperatura superficial"

$R_{pared}=2\cdot e1/k_{304}+e2/k_{aisl}$

"Coeficiente global de tranferencia de calor"

$U=x1\cdot y1/R_t$

$U_{pared}=1/R_{pared}$

"Capacidad termica de la recamara"

$cp=Cp(Air\_ha,T=T,P=P)$

$C_{th}=\rho\cdot vol\cdot cp$

$Q_{transf}=U_{pared}\cdot 48\cdot(T-Ti)$

$P_{pot}=Q_{dot\_req}\cdot convert(kW,BTU/h)$

$Q=m_{dot}\cdot cp\cdot(T-Ti)$

Modelamiento deshidratador

Propiedades externas - Ambiente

Ad = 0.66 [m2] Área difusor

$$V = 7 \text{ [m/s] Velocidad del aire}$$

$$T = 80 \text{ [C] Temperatura operación}$$

$$T_i = 18 \text{ [C] Temperatura ambiente}$$

$$HR = 0.5 \text{ 41\% Humedad relativa ambiente}$$

$$P = 75 \text{ [kPa] Presión Atmosférica}$$

$$\rho = \rho[\text{Air}_{ha}, T = T, P = P] \text{ Densidad}$$

$$\text{Vol} = 4 \cdot 1.8 \cdot 1.8 \text{ [m}^3\text{]}$$

#### *Carta sicrometrica*

$$T_{bw} = 9.9 \text{ [C] Temperatura bulbo húmedo}$$

$$RH = 6.88 \text{ gH}_2\text{O/Kgaire Humedad especifica}$$

$$h_{sat} = 35.56 \text{ [kJ/kg] Entalpia saturación}$$

$$v_{esp} = 1.12 \text{ [m}^3\text{/kg] Volumen específico}$$

$$b = 1.1 \text{ [m] Longitud difusor}$$

$$a = 0.6 \text{ [m] Ancho difusor}$$

---

#### *Propiedades del producto*

$$M = 300 \text{ [kg] Masa}$$

$$l = 0.7 \text{ [m] Longitud}$$

$$e = 0.005 \text{ [m] Espesor}$$

$$x_i = 0.8 \text{ Humedad inicial}$$

$$x_o = 0.15 \text{ Humedad final}$$

$$\text{bandejas} = 20 \cdot 8 \text{ Número de bandejas}$$

$$A_{bandeja} = 0.695 \cdot 0.58 \text{ [m}^2\text{] Área bandejas}$$

---

*Primero se obtiene las propiedades del aire que ingresa, el cual es considerado aire seco*

$$v = \text{Kinematic Viscosity} [\text{Air}_{ha}, T = T, P = P] \text{ Viscosidad cinematica del aire}$$

$$D_h = \frac{2 \cdot a \cdot b}{a + b} \text{ Diámetro hidráulico de difusor}$$



$$Re = V \cdot \frac{D_h}{\nu} \quad \text{Numero de Reynolds - flujo turbulento}$$

Se realiza para una bandeja y se extrapola para las demas

$$l_1 = 0.07 \quad [\text{m}] \quad \text{Longitud entre bandejas}$$

$$D_b = \frac{2 \cdot a \cdot l_1}{a + l_1} \quad \text{Diámetro hidráulico entre bandejas}$$

$$Re_1 = V \cdot \frac{D_b}{\nu} \quad \text{Flujo turbulento}$$

Convección forzada sobre ducto entre bandejas

$$\alpha = \text{ThermalDiffusivity} [\text{Air}_{ha}, T = T, P = P] \quad \text{Difusividad térmica}$$

$$k = k [\text{Air}_{ha}, T = T, P = P] \quad \text{Conductividad térmica del aire}$$

$$Pr = Pr [\text{Air}_{ha}, T = T, P = P] \quad \text{Número de prant}$$

$$D_{ab} = 1.87 \cdot 10^{-10} \cdot \frac{[T + 273]^{2.072}}{0.74} \quad \text{Difusividad agua - aire}$$

$$Sc = \frac{\nu}{D_{ab}} \quad \text{Número de Schmidt}$$

$$Nusselt = 0.023 \cdot Re_1^{0.8} \cdot Pr^{0.4} \quad \text{Número de Nusselt Turbulento}$$

$$Sh = 0.023 \cdot Re_1^{0.8} \cdot Sc^{[1 / 3]} \quad \text{Número de Sherwood Turbulento}$$

$$Nusselt = h_{conv} \cdot \frac{D_b}{k} \quad \text{Coef de transfer de calor}$$

$$Sh = h_{masa} \cdot \frac{D_b}{D_{ab}} \quad \text{Coef de transfer de masa}$$

$$A_t = A_{bandeja} \cdot \text{bandejas} \quad \text{Área total de transferencia de masa}$$

Concentraciones de humedad

$$P_{sat} = P_{sat} [\text{water}, T = T] \cdot \left| 0.009869233 \cdot \frac{\text{atm}}{\text{kPa}} \right| \quad \text{Presión de saturación de agua en producto}$$

$$R = 8.205746 \cdot 10^{-5} \quad \text{Constante universal de los gases en } (m^3 \cdot \text{atm} / K \cdot \text{mol})$$

$$w_i = \frac{P_{sat}}{R \cdot [T + 273]} \quad \text{Concentración de humedad producto mol/m}^3$$

$$w_o = HR \cdot \frac{P_{sat}}{R \cdot [T + 273]} \quad \text{Concentración de humedad ambiente mol/m}^3$$

$$MW = \text{MolarMass} [\text{water}]$$

Flujos de masa y calor

$$\dot{Q}_{\text{conv}} = h_{\text{conv}} \cdot A_{\text{bandeja}} \cdot [T - T_i]$$

$$\dot{m}_{\text{masa}} = h_{\text{masa}} \cdot A_{\text{bandeja}} \cdot 2 \cdot [w_i - w_o] \cdot \frac{\text{MW}}{1000}$$

*humedad inicial*

$$M_{\text{in}} = M \cdot \left[ \frac{x_i}{1 + x_i} \right] \quad \text{Masa de agua al inicio}$$

*humedad final*

$$M_{\text{out}} = [M \cdot 1 - M_{\text{in}}] \cdot x_o \quad \text{Masa de agua al final del proceso}$$

*Tiempo de secado*

$$M_{\text{evap}} = M_{\text{in}} - M_{\text{out}}$$

$$t_{\text{evap}} = \frac{M_{\text{evap}}}{\dot{m}_{\text{masa}}} \cdot \left| 0.000277778 \cdot \frac{\text{H}}{\text{s}} \right|$$

*Balance de energía de difusor Dimensionamiento para ventilador*

$$h_2 = h [\text{Air}_{\text{ha}}, T = T, P = P]$$

$$d_{\text{tubo}} = 0.2 \quad [\text{m}]$$

$$A_{\text{tubo}} = d_{\text{tubo}}^2$$

$$v_1 \cdot A_{\text{tubo}} = V \cdot A_d$$

$$h_1 = h_2 + \left[ \frac{V^2 - v_1^2}{2} \right] \cdot \frac{1}{1000}$$

$$T_1 = T [\text{Air}_{\text{ha}}, P = P, h = h_1]$$

*Flujo másico de aire*

$$\dot{v} = v_1 \cdot A_{\text{tubo}} \cdot \left| 2119 \cdot \frac{\text{cfm}}{\text{m}^3/\text{s}} \right|$$

$$\dot{m} = \dot{v} \cdot \frac{\left| 0.000471947 \cdot \frac{\text{m}^3/\text{s}}{\text{cfm}} \right|}{V_{\text{esp}}}$$

*Flujo de calor requerido*

$$\dot{Q}_{\text{req}} = \dot{Q}_{\text{conv}} \cdot \text{bandejas} \cdot \left| 0.001 \cdot \frac{\text{kW}}{\text{W}} \right| \quad \text{Para todas las bandejas}$$

$$Q_{\text{tot}} = \dot{Q}_{\text{req}} \cdot t_{\text{evap}} \cdot \left| 3600 \cdot \frac{\text{s}}{\text{H}} \right|$$

*Calor requerido y combustible total*

$$G = 10830 \cdot \left| 4.1868 \cdot \frac{\text{kJ/kg}}{\text{Kcal/Kg}} \right| \text{ Poder calórico del GLP}$$

$$M_{\text{gas}} = \frac{Q_{\text{tot}}}{G}$$

*Dimensionamiento aislante*

*Coef de convección natural*

$$x1 = 1 \text{ [m]}$$

$$y1 = 2 \text{ [m]}$$

$$\text{gravity} = 9.81 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

$$T_s = 10 \text{ [C]} \text{ Asumo este valor}$$

$$T_f = \frac{T_s + T_i}{2} \text{ Temperatura de película}$$

$$k_1 = k [\text{Air}_{\text{ha}}, T = T_f, P = P] \text{ Conductividad T película}$$

$$\nu_1 = \text{Kinematic Viscosity} [\text{Air}_{\text{ha}}, T = T_f, P = P] \text{ Viscosidad cinemática}$$

$$\text{Pr}_1 = \text{Pr} [\text{Air}_{\text{ha}}, T = T_f, P = P] \text{ Prantl de temperatura de película}$$

$$\beta = \frac{1}{T_f + 273} \text{ Coeficiente de expansión}$$

$$\text{Gr} = \frac{\text{gravity} \cdot \beta \cdot [-T_s + T_i] \cdot y1^3}{\nu_1^2} \text{ Número de Grashof}$$

$$\text{Ra} = \text{Gr} \cdot \text{Pr}_1$$

$$\text{Nusselt}_1 = \left[ 0.825 + \frac{0.387 \cdot \text{Ra}^{(1/6)}}{\left( 1 + \left[ \frac{0.492}{\text{Pr}_1} \right] \left[ \frac{9}{16} \right] \right)^{\left( \frac{8}{27} \right)}} \right]^2$$

$$h_{\text{ext}} = \text{Nusselt}_1 \cdot \frac{k_1}{y1}$$

$$Q_{\text{ext}} = h_{\text{ext}} \cdot x1 \cdot y1 \cdot [-T_s + T_i]$$

*Resistencias*

$$k_{304} = 16.6 \text{ [W/m}^2\text{C]} \text{ Conductividad térmica Inox AISI 304}$$

$$k_{\text{aisl}} = 0.023 \text{ [W/m}^2\text{C]} \text{ Conductividad aislante}$$

$$e1 = 0.0003 \text{ [m]} \text{ Espesor paredes}$$

$$e2 = 0.05 \text{ [m]}$$

$$A_{rt} = x1 \cdot y1 \text{ Espesor aislante}$$

$$R_t = \frac{1}{A_{rt} \cdot h_{ext}} + 2 \cdot \frac{e1}{A_{rt} \cdot k_{304}} + \frac{e2}{A_{rt} \cdot k_{aisl}} + \frac{1}{A_{rt} \cdot h_{conv}}$$

$$\dot{Q}_{perdida} = \frac{T - Ti}{R_t} \text{ Perdida de las paredes}$$

$$T_{sup,real} = Ti - \dot{Q}_{perdida} \cdot \frac{1}{x1 \cdot y1 \cdot h_{ext}} \text{ 1 iteracion para la temperatura superficial}$$

$$R_{pared} = 2 \cdot \frac{e1}{k_{304}} + \frac{e2}{k_{aisl}}$$

Coeficiente global de transferencia de calor

$$U = x1 \cdot \frac{y1}{R_t}$$

$$U_{pared} = \frac{1}{R_{pared}}$$

Capacidad termica de la recamara

$$c_p = C_p [\text{Air}_{ha}, T = T, P = P]$$

$$C_{th} = \rho \cdot Vol \cdot c_p$$

$$Q_{transf} = U_{pared} \cdot 48 \cdot [T - Ti]$$

$$P_{pot} = \dot{Q}_{req} \cdot \left| 3412 \cdot \frac{\text{BTU/h}}{\text{kW}} \right|$$

$$Q = \dot{m} \cdot c_p \cdot [T - Ti]$$

SOLUTION

Unit Settings: SI C kPa kJ mass deg

$$a = 0.6 \text{ [m]}$$

$$\alpha = 0.00004047 \text{ [m}^2/\text{s]}$$

$$A_{rt} = 2 \text{ [m}^2]$$

$$A_{tubo} = 0.04 \text{ [m}^2]$$

$$\text{bandejas} = 160$$

$$c_p = 1.009 \text{ [kJ/kg-K]}$$

$$D_{ab} = 0.00004804 \text{ [m}^2/\text{s]}$$

$$D_h = 0.7765 \text{ [m]}$$

$$e = 0.005 \text{ [m]}$$

$$e2 = 0.05 \text{ [m]}$$

$$Gr = 5.648E+09 \text{ [C]}$$

$$HR = 0.5$$

$$h_2 = 353.9 \text{ [kJ/kg]}$$

$$h_{ext} = 2.403 \text{ [W/m}^2\text{-K]}$$

$$h_{sat} = 35.56 \text{ [kJ/kg]}$$

$$A_d = 0.66 \text{ [m}^2]$$

$$A_{bandeja} = 0.4031 \text{ [m}^2]$$

$$A_t = 64.5 \text{ [m}^2]$$

$$b = 1.1 \text{ [m]}$$

$$\beta = 0.003484$$

$$C_{th} = 9.676 \text{ [kJ/K]}$$

$$D_b = 0.1254 \text{ [m]}$$

$$d_{tubo} = 0.2 \text{ [m]}$$

$$e1 = 0.0003 \text{ [m]}$$

$$G = 45343 \text{ [kJ/kg]}$$

$$\text{gravity} = 9.81 \text{ [m/s}^2]$$

$$h_1 = 347.3 \text{ [kJ/kg]}$$

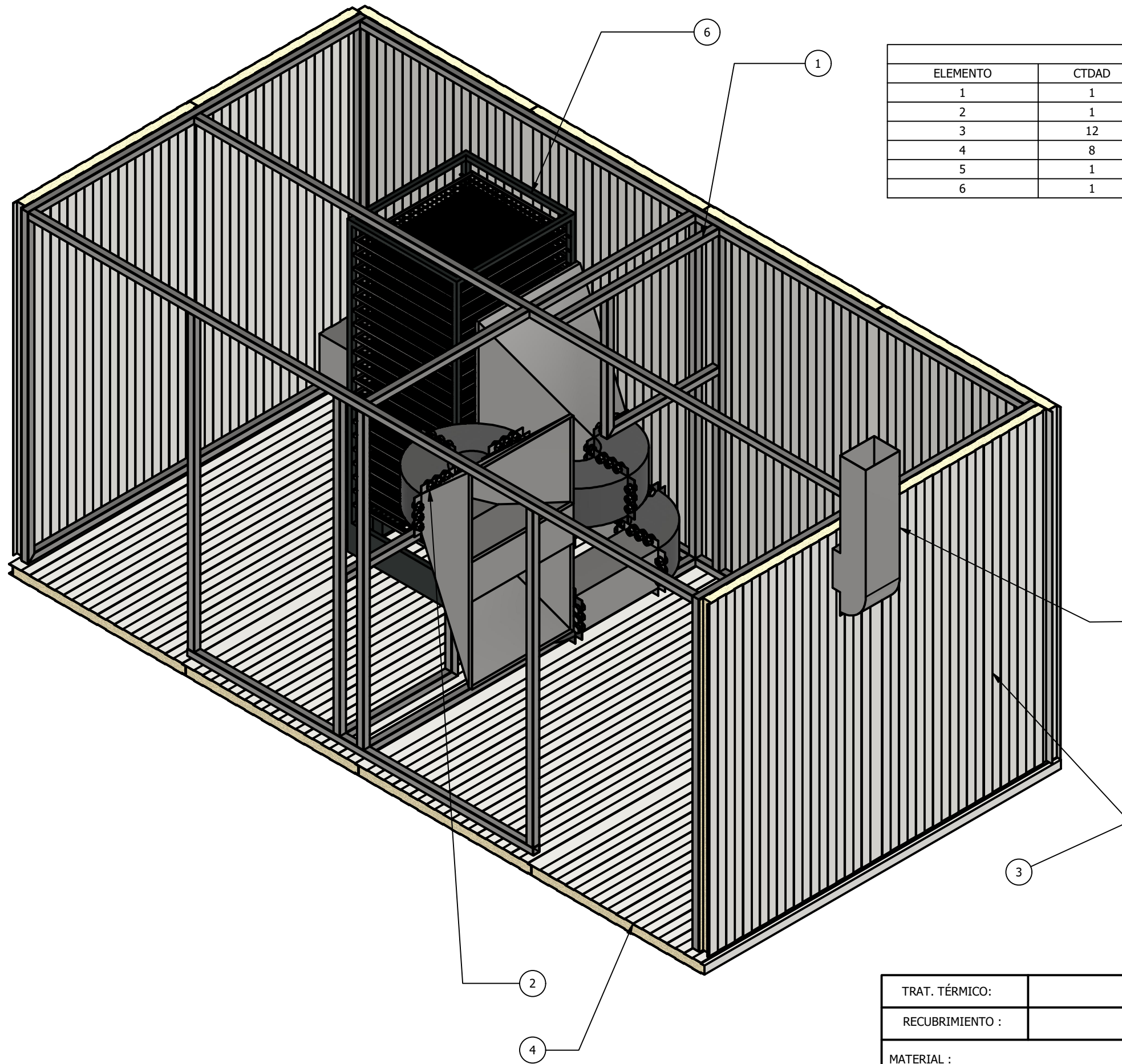
$$h_{conv} = 18.8 \text{ [W/m}^2\text{-K]}$$

$$h_{masa} = 0.02891 \text{ [m/s]}$$

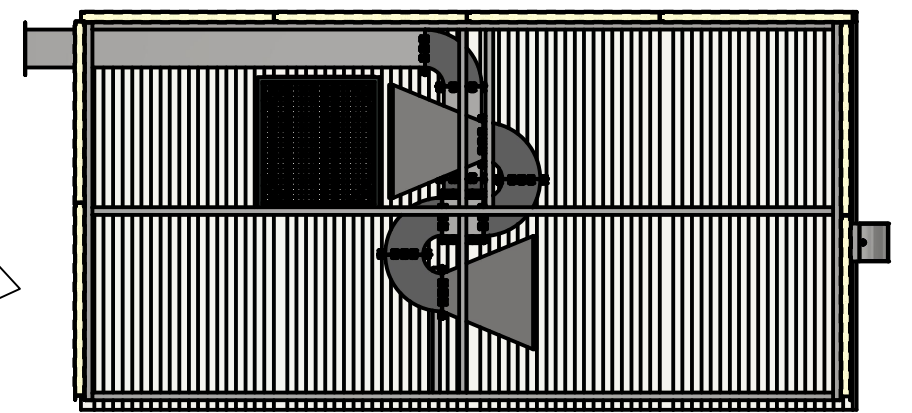
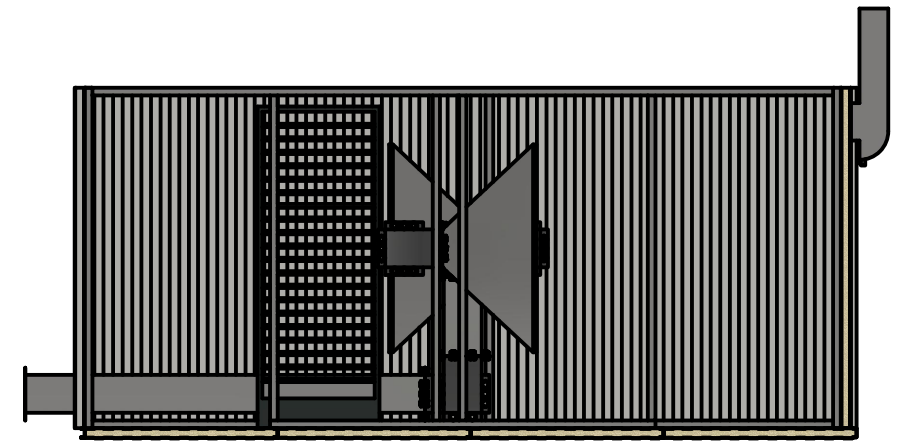
$$k = 0.03022 \text{ [W/m-K]}$$

$k_1 = 0.02541$  [W/m-K]  
 $k_{\text{aisl}} = 0.023$  [W/m°C]  
 $l_1 = 0.07$  [m]  
 $MW = 18.02$  [kg/kmol]  
 $\dot{m}_{\text{masa}} = 0.003388$  [Kg/s]  
 $M_{\text{gas}} = 53.02$  [kg]  
 $M_{\text{out}} = 25$  [kg]  
 $Nusselt = 78.02$   
 $v_1 = 0.00001968$  [m<sup>2</sup>/s]  
 $Pr = 0.7017$   
 $P_{\text{pot}} = 256568$  [BTU/h]  
 $Q = 258.2$  [W]  
 $\dot{Q}_{\text{perdida}} = 46.91$  [W]  
 $Q_{\text{ext}} = 38.44$  [W]  
 $Q_{\text{transf}} = 1369$  [W]  
 $Ra = 4.003E+09$  [C]  
 $Re_1 = 30903$   
 $\rho = 0.7397$  [kg/m<sup>3</sup>]  
 $R_t = 1.322$  [C/W]  
 $Sh = 75.44$  [-]  
 $T_i = 18$  [C]  
 $T_{\text{bw}} = 9.9$  [C]  
 $T_f = 14$  [C]  
 $T_{\text{sup,real}} = 8.238$  [C]  
 $U_{\text{pared}} = 0.46$  [W/m<sup>2</sup>-C]  
 $v_1 = 115.5$  [m/s]  
 $\dot{v} = 9789$  [cfm]  
 $w_i = 16.14$  [mol/m<sup>3</sup>]  
 $x_1 = 1$  [m]  
 $x_o = 0.15$

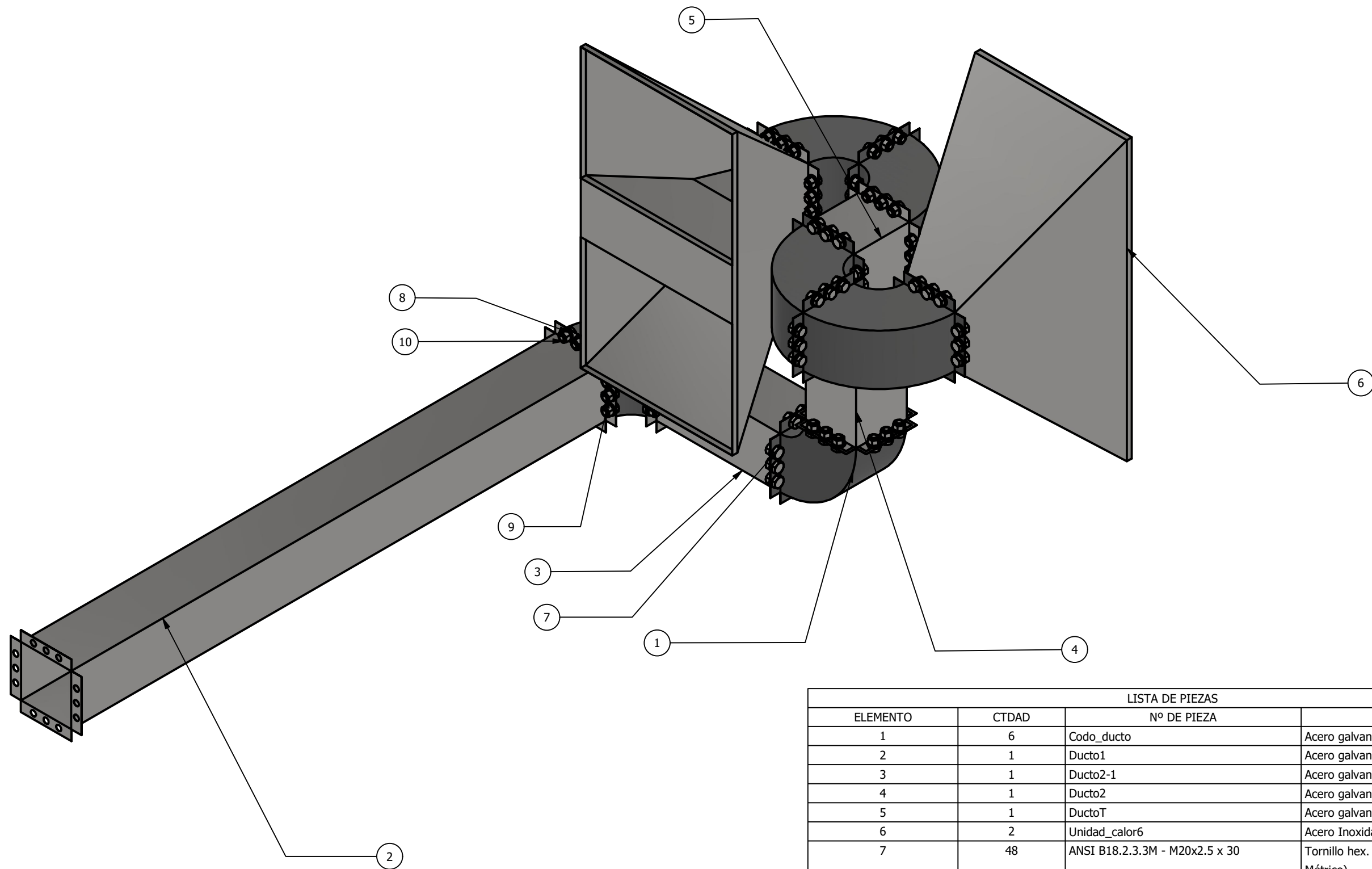
$k_{304} = 16.6$  [W/m°C]  
 $l = 0.7$  [m]  
 $M = 300$  [kg]  
 $\dot{m} = 4.125$  [kg/s]  
 $M_{\text{evap}} = 108.3$  [kg]  
 $M_{\text{in}} = 133.3$  [kg]  
 $v = 0.0000284$  [m<sup>2</sup>/s]  
 $Nusselt_1 = 189.1$   
 $P = 75$  [kPa]  
 $Pr_1 = 0.7087$   
 $P_{\text{sat}} = 0.4675$  [atm]  
 $\dot{Q}_{\text{conv}} = 470$  [W]  
 $\dot{Q}_{\text{req}} = 75.19$  [kW]  
 $Q_{\text{tot}} = 2.404E+06$  [J]  
 $R = 0.00008206$  [m<sup>3</sup>·atm/K·mol]  
 $Re = 191392$   
 $RH = 6.88$   
 $R_{\text{pared}} = 2.174$  [m<sup>2</sup>-C/W]  
 $Sc = 0.5912$   
 $T = 80$  [C]  
 $T_1 = 73.41$  [C]  
 $t_{\text{evap}} = 8.881$  [H]  
 $T_s = 10$  [C]  
 $U = 1.513$  [m<sup>2</sup>-W/C]  
 $V = 7$  [m/s]  
 $Vol = 12.96$  [m<sup>3</sup>]  
 $v_{\text{esp}} = 1.12$  [m<sup>3</sup>/kg]  
 $w_o = 8.07$  [mol/m<sup>3</sup>]  
 $x_i = 0.8$   
 $y_1 = 2$  [m]



LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	Estructura Metálica	Perfiles comerciales
2	1	Salida aire caliente	Idea propuesta
3	12	Pared tipo sanduche	Panel de catálogo
4	8	Techo y suelo tipo sanduche	Panel de catálogo
5	1	Salida de aire	Idea propuesta
6	1	Coches y bandejas	Idea propuesta

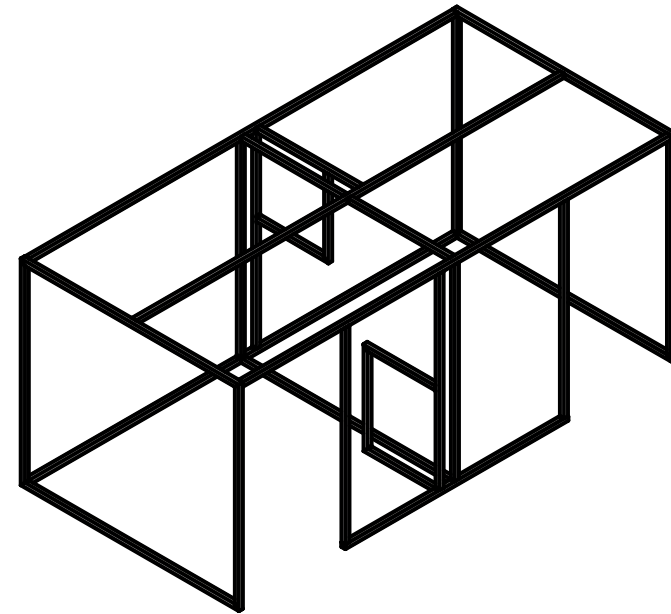
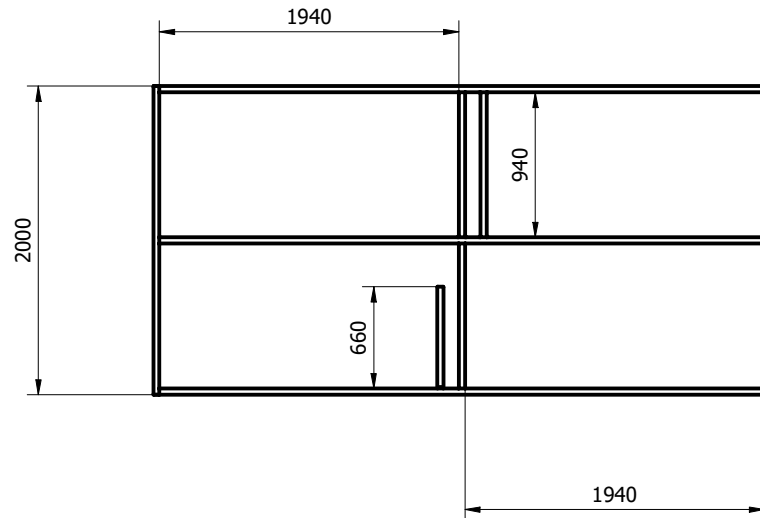
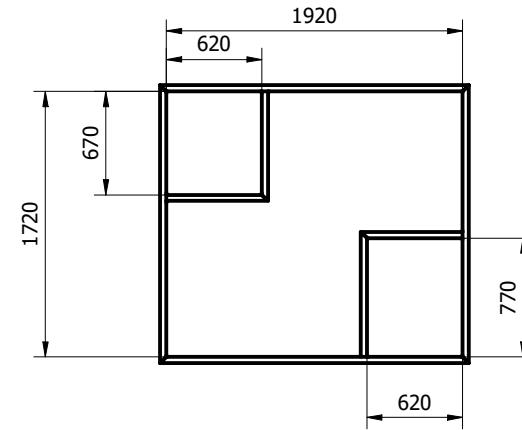
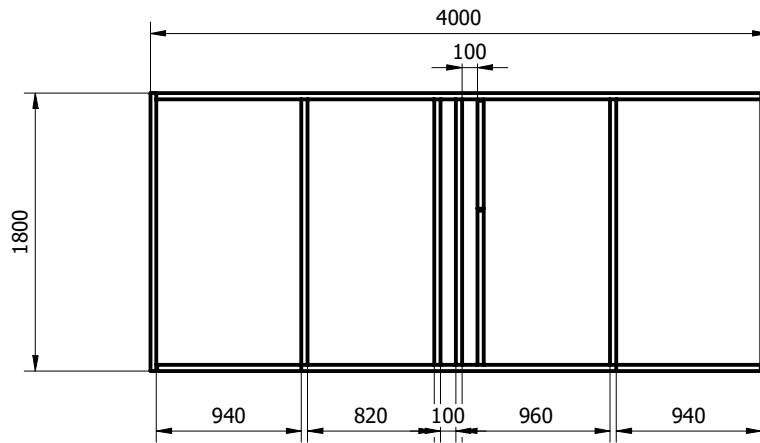


TRAT. TÉRMICO:		<b>EPN</b>	ORGANIZACIÓN:	
RECUBRIMIENTO :			FAC. ING. MECÁNICA	
MATERIAL : Acero inox AISC 304	TOL. GEN. :	ESCALA :	DIBUJADO POR:	Alejandro Ganchala
			DISEÑADO POR:	Alejandro Ganchala
			REVISADO POR:	Ing. Salvatore Reina. PhD
CONTENIDO : Plano conjunto	PROYECTO Diseño de deshidratador			FECHA: 2023/02/02



LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	6	Codo_ducto	Acero galvanizado
2	1	Ducto1	Acero galvanizado
3	1	Ducto2-1	Acero galvanizado
4	1	Ducto2	Acero galvanizado
5	1	DuctoT	Acero galvanizado
6	2	Unidad_calor6	Acero Inoxidabla AISC 304
7	48	ANSI B18.2.3.3M - M20x2.5 x 30	Tornillo hex. grueso (Rosca regular - Métrico)
8	252	ANSI B18.22M - 20 N	Arandelas métricas planas
9	126	ANSI B 18.2.4.1 M - M20 x 2.5	Tuerca hexagonal
10	78	ANSI B18.2.3.2M - M20 x 2.5	Tornillo de forma hexagonal métrico - Tornillo de forma hex - Métrico (2)

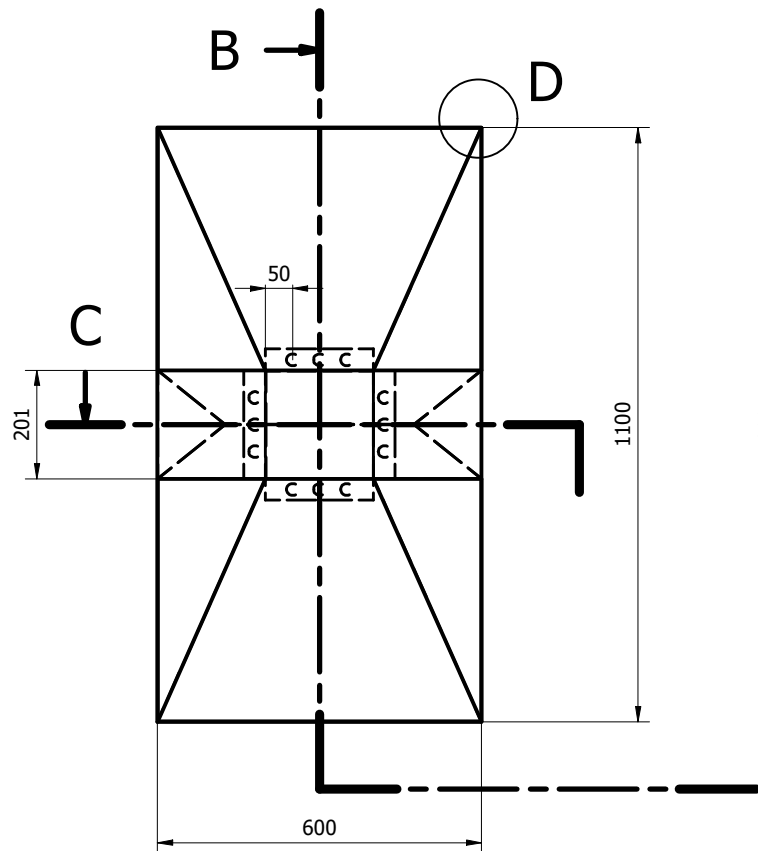
TRAT. TÉRMICO:		<b>EPN</b>	ORGANIZACIÓN:	
RECUBRIMIENTO :			FAC. ING. MECÁNICA	
MATERIAL : Acero Inox AISC 304	TOL. GEN. :	ESCALA :	DIBUJADO POR:	Alejandro Ganchala
			DISEÑADO POR:	Alejandro Ganchala
			REVISADO POR:	Ing. Salvatore Reina. PhD
CONTENIDO : Plano de conjunto - Salida de aire		PROYECTO Diseño de deshidratador		FECHA: 2023/02/02



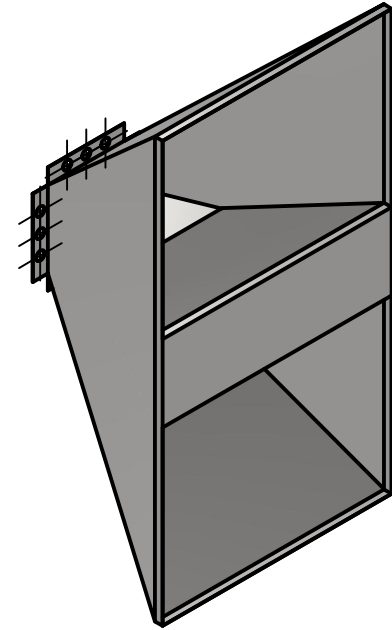
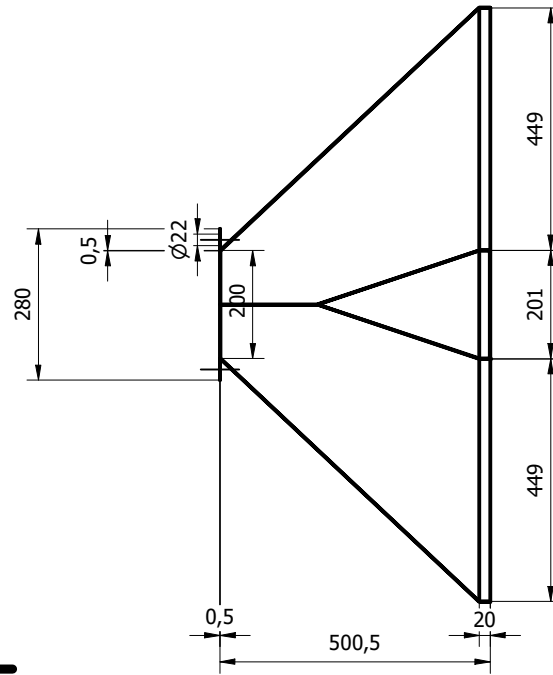
Nota: Para la estructura se utiliza perfil de 40x40x2.5 mm, en total se requiere 11 perfiles de 6 metros, la soldadura es de un cordón de 10 mm soldadas con E308L

TRAT. TÉRMICO:		<b>EPN</b>	ORGANIZACIÓN:	
RECUBRIMIENTO :			FAC. ING. MECÁNICA	
MATERIAL : Acero Inoxidable AISC 304	TOL. GEN. :	ESCALA : <b>1:49</b>	DIBUJADO POR:	Alejandro Ganchala
			DISEÑADO POR:	Alejandro Ganchala
			REVISADO POR:	Ing. Salvatore Reina. PhD
CONTENIDO : Estructura interna	PROYECTO Diseño de deshidratador			FECHA: 2023/02/02

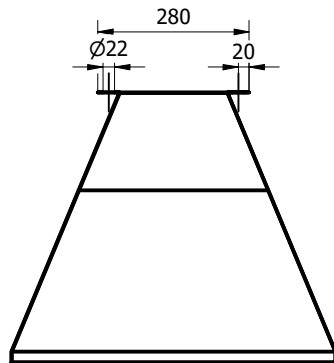




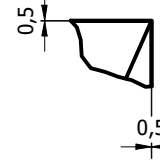
B-B ( 1 : 14 )



C-C ( 1 : 14 )

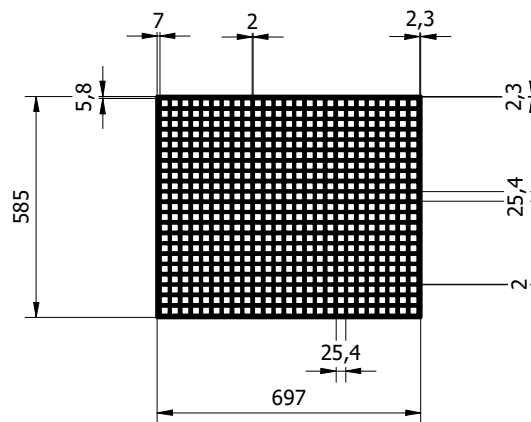
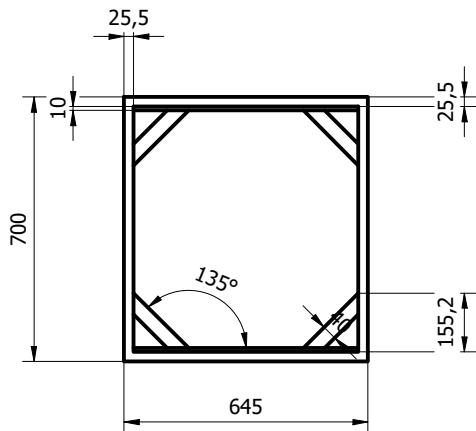
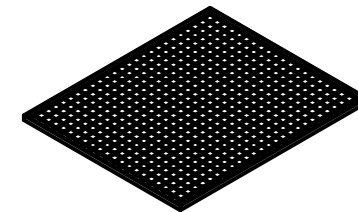
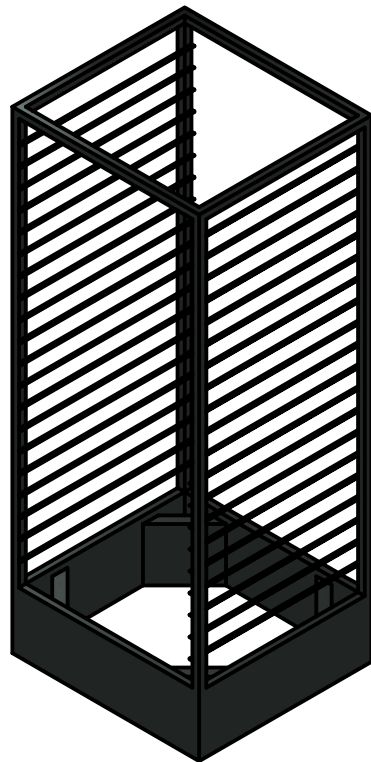
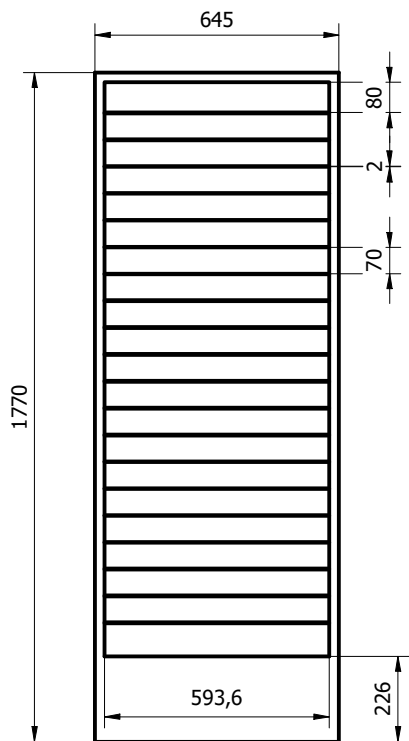


D ( 1 : 7 )

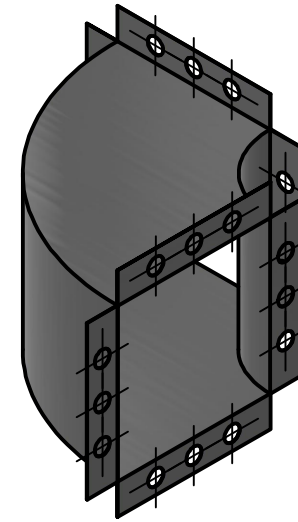
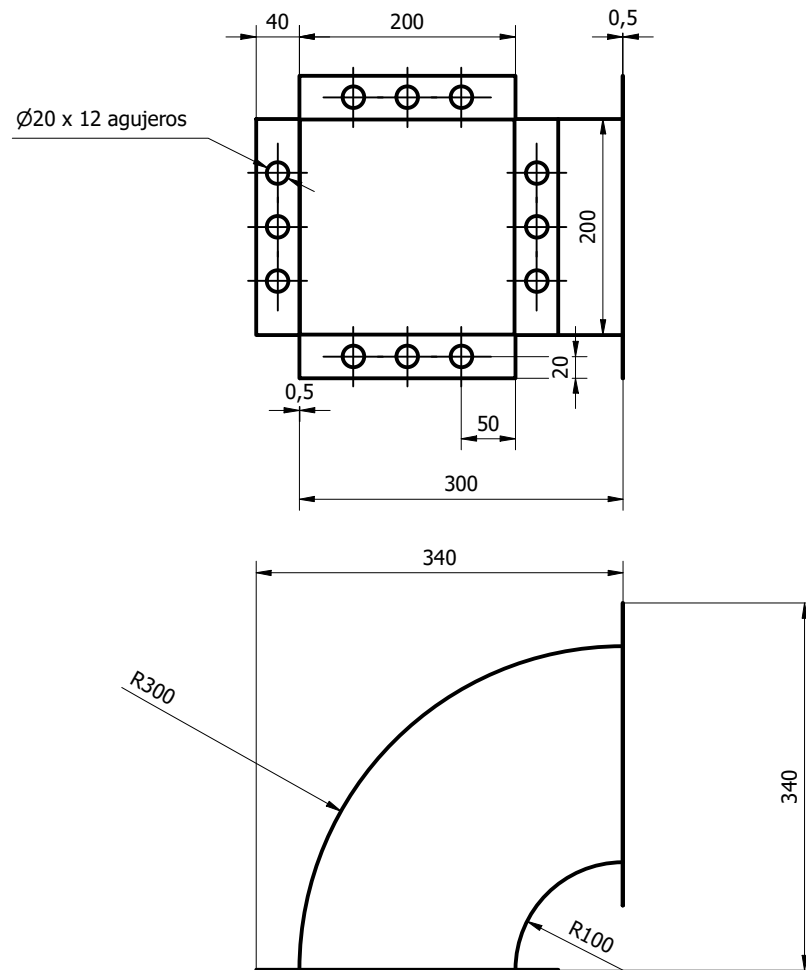


Nota: Existen 12 agujeros 3 por cada pestaña, todos con el mismo diametro.

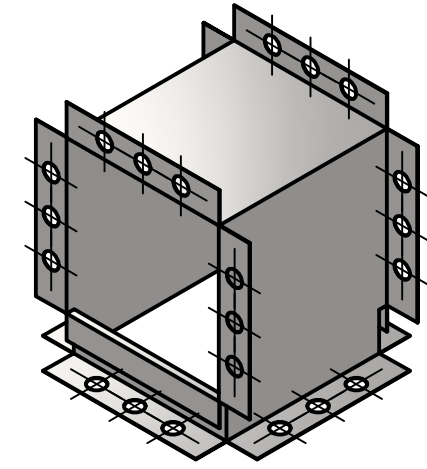
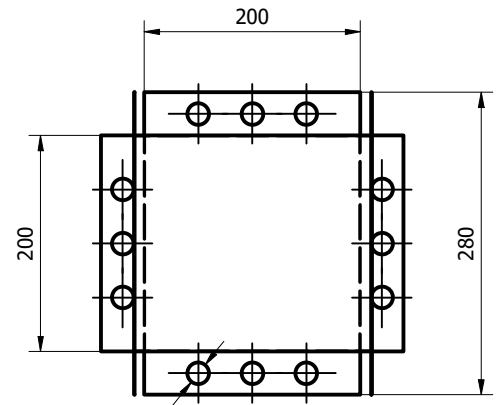
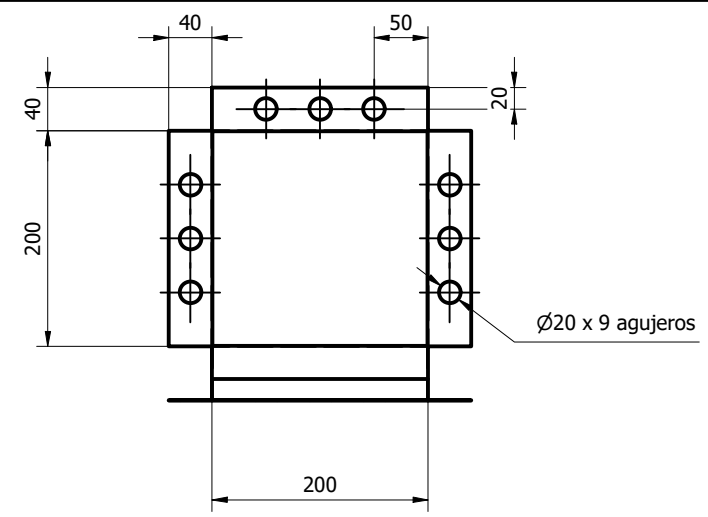
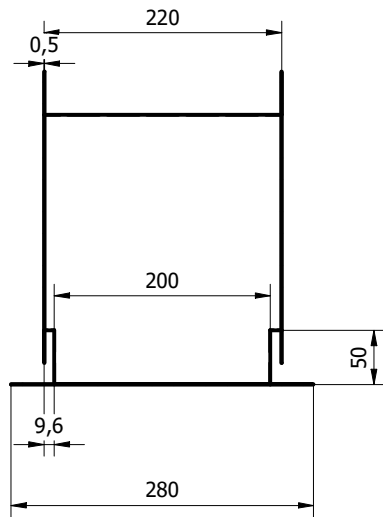
TRAT. TÉRMICO:		<b>EPN</b>	ORGANIZACIÓN:	
RECUBRIMIENTO :			FAC. ING. MECÁNICA	
MATERIAL : Acero Inoxidable AISC 304		TOL. GEN. :	ESCALA : <b>1:14</b>	DIBUJADO POR: Alejandro Ganchala
				DISEÑADO POR: Alejandro Ganchala
				REVISADO POR: Ing. Salvatore Reina. PhD
CONTENIDO : Difusor de aire			PROYECTO Diseño de deshidratador	
			FECHA:	02/02/2023



TRAT. TÉRMICO:		<b>EPN</b>	ORGANIZACIÓN:		
RECUBRIMIENTO :			FAC. ING. MECÁNICA		
MATERIAL : Acero Inoxidable AISC 304		TOL. GEN. :	ESCALA :	DIBUJADO POR:	
			<b>1:20</b>	DISEÑADO POR:	Alejandro Ganchala
				REVISADO POR:	Ing. Salvatore Reina. PhD
CONTENIDO : Coches y bandejas		PROYECTO <b>Diseño de deshidratador</b>			FECHA: 2023/02/02

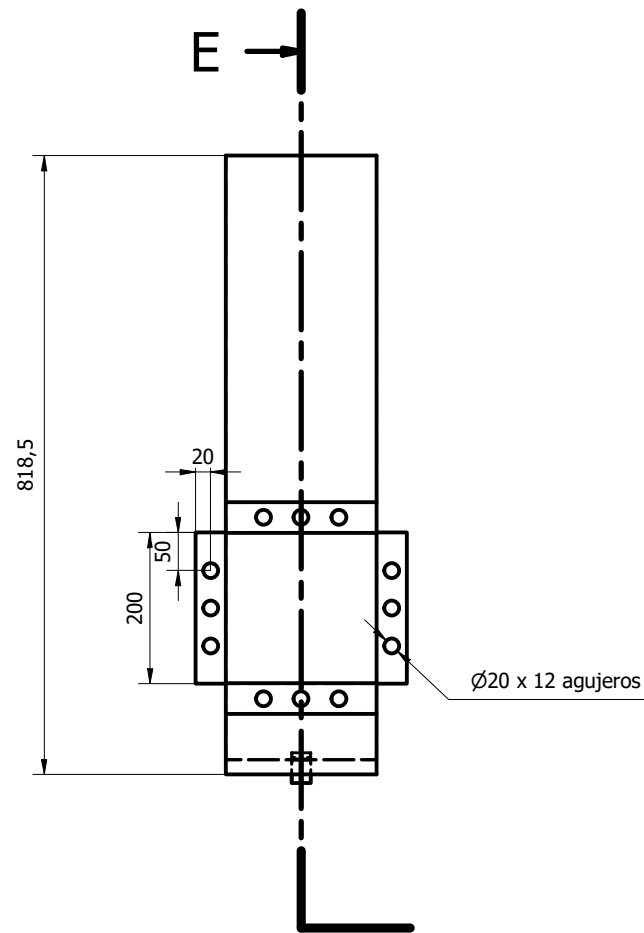


TRAT. TÉRMICO:		<b>EPN</b>	ORGANIZACIÓN:	
RECUBRIMIENTO :			FAC. ING. MECÁNICA	
MATERIAL : Acero inoxidable AISC 3044		TOL. GEN. :	ESCALA :	DIBUJADO POR:
			<b>1:7</b>	Alejandro Ganchala
				DISEÑADO POR:
				Alejandro Ganchala
				REVISADO POR:
				Ing. Salvatore Reina. PhD
CONTENIDO : Codo ducto		PROYECTO Diseño de deshidratador		FECHA: 2023/02/02

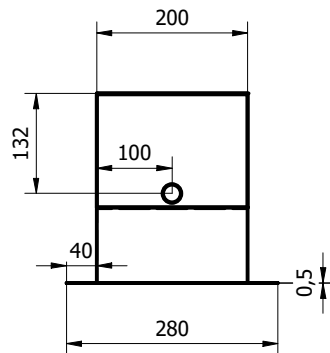
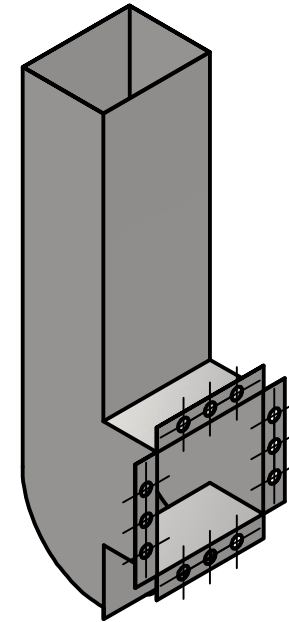
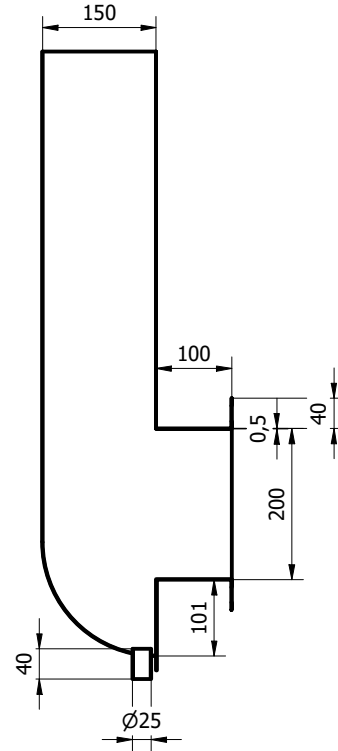


Ø20 x 12 agujeros

TRAT. TÉRMICO:		<b>EPN</b>	ORGANIZACIÓN:	
RECUBRIMIENTO :			FAC. ING. MECÁNICA	
MATERIAL : Acero Inoxidable AISC 304		TOL. GEN. :  ESCALA : <b>1:7</b>	DIBUJADO POR:	Alejandro Ganchala
			DISEÑADO POR:	Alejandro Ganchala
			REVISADO POR:	Ing. Salvatore Reina. PhD
CONTENIDO : T de unión		PROYECTO Diseño de deshidratador		FECHA: 2023/02/02



### E-E ( 1 : 10 )



TRAT. TÉRMICO:		<b>EPN</b>	ORGANIZACIÓN:	
RECUBRIMIENTO :			FAC. ING. MECÁNICA	
MATERIAL : Acero Inoxidable AISC 304	TOL. GEN. :	ESCALA : <b>1:10</b>	DIBUJADO POR:	Alejandro Ganchala
			DISEÑADO POR:	Alejandro Ganchala
			REVISADO POR:	Ing. Salvatore Reina. PhD
CONTENIDO : Salida de aire	PROYECTO Diseño de deshidratador			FECHA: 22/02/2023