

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

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

COMPONENTE DEL TRABAJO: DISEÑO DEL HORNO DE PRE-SECADO PARA REMOVER EL CONTENIDO DE AGUA POR RADIACIÓN SOLAR

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

FABRIZIO ALMEIDA LÓPEZ
fabrizio.almeida@epn.edu.ec

ING. WASHINGTON SALVATORE REINA GUZMÁN, PHD
salvatore.reina@epn.edu.ec

DMQ, marzo 2023

CERTIFICACIONES

Yo, Fabrizio Almeida López 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.



Fabrizio Almeida López

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por Fabrizio Almeida López, bajo mi supervisión.



Ing. Washington Salvatore Reina Guzmán, PhD

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como los productos resultantes 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.



Fabrizio Almeida López



Ing. Washington Salvatore Reina Guzmán, PhD)

DEDICATORIA

A mis padres y hermano Clever Almeida, Alicia López y Andrés Almeida, quienes me han brindado el apoyo para afrontar cualquier obstáculo que se ha presentado en mi vida ya sea personal, estudiantil o laboral, haciendo de mí una persona correcta que sigue desarrollando valores y habilidades.

Fabrizio Almeida

AGRADECIMIENTO

A mis amados padres, quienes me brindan su apoyo incondicional y me inculcaron valores, los cuales me permiten avanzar día a día siendo una mejor persona, y afrontando cualquier adversidad.

A mi hermano, por estar siempre a mi lado, dándome consejos y apoyándome en todo momento.

A mi novia, quien me incentiva a cambiar mis malos hábitos, y me brinda su valioso tiempo dándome consejos para la culminación de este trabajo.

A mis amigos, quienes me han sabido animar en los momentos difíciles de la universidad, y esperando que la amistad perdure con el pasar de los años.

A los ingenieros, y en especial a mi tutor de TIC, quien fue mi mentor en algunas materias y me dio la oportunidad de realizar este trabajo, el cual permitirá la culminación de la carrera de ingeniería mecánica.

Fabrizio Almeida

RESUMEN

El presente trabajo investigativo tiene como objetivo principal el diseño de un horno de pre-secado para reducir el contenido de agua en frutas antes de su proceso de deshidratación completa en un horno deshidratador a gas, que se diseñará en otro proyecto. Se realizó una recopilación exhaustiva de información sobre la deshidratación de alimentos, frutas más exportadas en Ecuador, tecnologías relacionadas con los hornos solares y simulación de software.

Se efectuó un estudio del mercado, el cual permite tener noción de lo que ofrecen las empresas a los usuarios, posteriormente con esta información se realizó un despliegue de la función de calidad, tomando en cuenta los requerimientos del cliente. Después se presenta el diagrama modular correspondiente al equipo, del cual se puedan obtener diferentes alternativas de las que se escogerán las ideales para el diseño del horno.

Además, se realizó un balance de masa para el horno de pre-secado y el cálculo del calor necesario para pre-secar la cantidad de producto solicitado, de esta manera se procede a realizar el diseño del colector solar, la simulación térmica y estructural del equipo.

Finalmente se realiza un análisis de costos y la elaboración de planos, siendo partes indispensables del trabajo, permitiendo una vista más a detalle de los componentes del horno de pre-secado, además de estimar su costo para una futura construcción.

Palabras Clave: horno de pre-secado, deshidratación, colector solar, simulación, función de calidad, balance de masa, diseño, planos.

ABSTRACT

The main objective of this research work is the design of a pre-drying oven to reduce the water content in fruits before their complete dehydration process in a gas dehydrating oven, which will be designed in another project. An exhaustive compilation of information on food dehydration, the most exported fruits in Ecuador, technologies related to solar ovens and simulation software was carried out.

A market study was carried out, which allows to have an idea of what the companies offer to the users, later with this information a deployment of the quality function was carried out, considering the client's requirements. Then the modular scheme corresponding to the equipment is presented, from which different alternatives can be obtained from which the ideal ones for the design of the oven will be chosen.

In addition, a mass balance was made for the pre-drying oven and the calculation of the heat necessary to pre-dry the amount of product requested, in this way the design of the solar collector, the thermal and structural design is carried out. computer simulation.

Finally, a cost analysis and the elaboration of plans are carried out, being essential parts of the work, allowing a more detailed vision of the components of the pre-drying kiln, in addition to estimating its cost for its future construction.

Keywords: pre-drying oven, dehydration, solar collector, simulation, quality function, mass balance, design, plans.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
RESUMEN	V
ABSTRACT	VI
1 INTRODUCCIÓN	1
2 OBJETIVOS.....	1
2.1. General	1
2.2. Específicos	1
3 ALCANCE	2
4 MARCO TEÓRICO	2
4.1. Fundamentación Legal	2
Normas alimenticias.....	2
Normas estructurales.....	2
4.2. Fundamentación Teórica.....	2
Deshidratación y Desecado	3
Frutas de mayor exportación en Ecuador	3
Características del plátano.....	4
Deshidratador solar.....	5
Funcionamiento general de un deshidratador solar.....	5
Tipos de deshidratadores solares	6
Colectores solares	7
Transferencia de calor	9
Transferencia de masa (agua)	11
Software y aplicaciones	13
Benchmarking (estudio de mercado).....	15
5 METODOLOGÍA	17
5.1. Despliegue de la función de calidad (QFD).....	18
Demandas del cliente (Voz del usuario).....	18
Lista de parámetros técnicos (Voz del ingeniero).....	19
Matriz QFD resultante.....	19
Diagrama QFD.....	21
Análisis y selección de alternativas.....	21
Estructura funcional y modular.....	22

5.2 Análisis y selección de soluciones en base a las alternativas	23
Modulo 1: Ingreso de rodajas de fruta.....	23
Modulo 2: Sistema de recolección de energía solar	26
Módulo 3: Sistema de ventilación y control de temperatura	30
Módulo 4: Salida de frutas pre-secadas	36
5. 3 Evaluación de alternativas.....	37
Módulo 1: Ingreso de rodajas de fruta.....	37
Módulo 2: Sistema de recolección de energía solar	38
Módulo 3: Sistema de ventilación y control de temperatura	39
Modulo 4: Salida de frutas pre-secadas	39
5. 4 Modelación y diseño de componentes del deshidratador solar	40
Balance de Masa	40
Calor necesario para pre-secar la fruta	43
Análisis de perdidas en el colector solar	44
Calor útil generado por el colector solar.....	50
Análisis de cámara de secado por medio de simulación	50
Distribución de temperatura y comportamiento del aire dentro de la cámara de secado	51
Transferencia de calor en las paredes de la cámara de secado.....	55
Análisis de la estructura de soporte	57
Simulación de la estructura en Inventor	59
5. 5 Costo de los componentes del horno de pre-secado	60
6 CONCLUSIONES	60
7 RECOMENDACIONES	61
8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62
9 ANEXOS.....	64
ANEXO I. Diagrama QFD.....	64
ANEXO II. Evaluación de los pesos específicos	65
ANEXO III. Catálogos.....	68
ANEXO IV. Radiación Solar en Quito	¡Error! Marcador no definido.
ANEXO V. Planos del horno de Pre-secado.....	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4.2.1. Fruto (Mosqueta) sometida a proceso de deshidratación y desecado.	3
Figura 4.2.2. Evolución de los valores exportados de los bienes que conforman las exportaciones tradicionales del Ecuador.	4
Figura 4.2.3. Esquema del funcionamiento del colector solar.	6
Figura 4.2.4. Esquemas de los tres tipos de deshidratadoras solares.	7
Figura 4.2.5. Componentes del colector solar plano.	8
Figura 4.2.6. Esquema del colector solar de tubo vacío.	9
Figura 4.2.7. Esquema simplificado del mecanismo de secado.	11
Figura 4.2.8. Cinética del secado.	12
Figura 4.2.9. Deshidratador solar serie 5000.	15
Figura 4.2.10. Deshidratador solar básico para alimentos.	16
Figura 4.2.11. Deshidratador solar semi - industrial.	17
Figura 5.1. Diagrama de flujo de la metodología y diseño del horno.	18
Figura 5.1.1. Función principal del horno de pre-secado.	22
Figura 5.1.2. Diagrama de flujo de las funciones secundarias.	22
Figura 5.2.1. Bandeja con base de malla.	23
Figura 5.2.2. Secadero colgante con protección de malla externa.	24
Figura 5.2.3. Soporte tipo armario.	25
Figura 5.2.4. Soporte tipo grada.	25
Figura 5.2.5. Colector solar plano.	27
Figura 5.2.6. Colector solar de tubos de vacío.	28
Figura 5.2.7. Lana mineral de roca.	29
Figura 5.2.8. Lana de vidrio.	29
Figura 5.2.9. Ventilador axial.	31
Figura 5.2.10. Ventilador centrífugo.	32
Figura 5.2.11. Termómetro de máxima y mínima.	32
Figura 5.2.12. Termómetro bimetálico.	33
Figura 5.2.13. Extractor.	34
Figura 5.2.14. Chimenea.	34
Figura 5.2.15. Contenedor de Acero Inoxidable.	36
Figura 5.3.1. Prototipo de horno de pre-secado por radiación solar.	40
Figura 5.4.1. Colector solar de placa plana.	44
Figura 5.4.2. Diagrama de resistencias térmicas para el colector solar.	44
Figura 5.4.3. Canal de aire del colector solar.	47
Figura 5.4.4. Distribución de temperatura sobre las paredes de la cámara de secado.	52

Figura 5.4.5. Distribución interna de temperatura al interior de la cámara de secado, planos horizontales.	52
Figura 5.4.6. Distribución interna de temperatura al interior de la cámara de secado, planos verticales.....	53
Figura 5.4.7. Velocidad del aire al interior de la cámara, planos horizontales.....	53
Figura 5.4.8. Velocidad del aire al interior de la cámara, planos verticales.....	54
Figura 5.4.9. Líneas de turbulencia al interior de la cámara de secado.	54
Figura 5.4.10. Diagrama de resistencias térmicas en una pared de la cámara de secado.	55
Figura 5.4.11. Transferencia de calor en la cámara de secado, vista frontal.	55
Figura 5.4.12. Transferencia de calor en la cámara de secado, vista isométrica.	56
Figura 5.4.13. Transferencia de calor en la puerta de la cámara de secado.....	56
Figura 5.4.14. Resultado de las pérdidas de calor, mediante simulación.....	57
Figura 5.4.15. Sección de viga empotrada por ambos lados.	57
Figura 5.4.16. Deformaciones en la estructura.	59
Figura 5.4.17. Esfuerzo máximo de la estructura.	59
Figura A.3.1. Catálogo de termómetro bimetálico.	68
Figura A.3.2. Catálogo de ventilador centrífugo.....	68
Figura A.3.3. Especificaciones del aislante lana de roca.....	69
Figura A.3.4. Contenedor plástico para alimentos.....	69
Figura A.3.5. Especificaciones técnicas de la plancha de acero inoxidable A304.	70
Figura A.3.6. Especificaciones técnicas de la plancha de acero galvanizado.....	70
Figura A.3.7. Especificaciones técnicas de los tubos cuadrados galvanizados..	71
Figura A.3.8. Especificaciones técnicas de los pernos expansivos de anclaje..	71
Figura A.4.1. Radiación solar en Quito 22 de febrero.....	72
Figura A.4.2. Radiación solar en Quito 23 de febrero.....	72
Figura A.4.3. Radiación solar en Quito 2 de febrero.....	72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.2.1. Especificaciones de la competencia 1.....	15
Tabla 4.2.2. Especificaciones de la competencia 2.....	16
Tabla 4.2.3. Especificaciones de la competencia 3.....	17
Tabla 5.1.1. Especificaciones técnicas del horno de pre-secado de frutas mediante radiación solar.....	20
Tabla 5.1.2. Presentación de módulos.....	22
Tabla 5.2.1. Matriz morfológica, modulo 1.	26
Tabla 5.2.2. Matriz morfológica, modulo 2.	30
Tabla 5.2.3. Matriz morfológica, modulo 3.	35
Tabla 5.3.1. Ponderación del peso específico de cada criterio del módulo 1.	37
Tabla 5.3.2. Tabla de conclusiones del módulo 1.....	38
Tabla 5.3.3. Ponderación del peso específico de cada criterio del módulo 2.	38
Tabla 5.3.4. Tabla de conclusiones del módulo 2.	39
Tabla 5.3.5. Ponderación del peso específico de cada criterio del módulo 3.	39
Tabla 5.3.6. Tabla de conclusiones del módulo 3.....	39
Tabla 5.4.1. Componentes del colector solar.....	44
Tabla 5.4.2. Condiciones de borde para el análisis mediante simulación.....	51
Tabla 5.5.1. Cantidad necesaria de material.....	60
Tabla 5.5.2. Proforma de costos de material y mano de obra.	60
Tabla A.2.1. Evaluación del peso específico del criterio capacidad.	65
Tabla A.2.2. Evaluación del peso específico del criterio dimensión.	65
Tabla A.2.3. Evaluación del peso específico del criterio ergonomía.	65
Tabla A.2.4. Evaluación del peso específico del criterio material.....	65
Tabla A.2.5. Evaluación del peso específico del criterio rendimiento.....	66
Tabla A.2.6. Evaluación del peso específico del criterio precio.....	66
Tabla A.2.7. Evaluación del peso específico del criterio mantenimiento.	66
Tabla A.2.8. Evaluación del peso específico del criterio material.....	66
Tabla A.2.9. Evaluación del peso específico del criterio rendimiento.....	67
Tabla A.2.10. Evaluación del peso específico del criterio tiempo.....	67
Tabla A.2.11. Evaluación del peso específico del criterio precio.....	67

1 INTRODUCCIÓN

Los deshidratadores solares para frutas son equipos que utilizan la radiación solar, transformándola en energía térmica y de esta manera extraer la humedad de las frutas, prolongando su vida útil y preservando sus nutrientes. El proceso de deshidratación postcosecha que se emplea en la producción de frutas, ofrece diversas ventajas en términos de exportación. En particular, gracias a este proceso, las frutas ecuatorianas son más resistentes y duraderas, presentan menos deterioro causado por microorganismos, y ocupan menos peso y volumen, lo que facilita su transporte y almacenamiento.

Para cumplir el propósito de la deshidratación de la fruta, en el presente trabajo se va a realizar el diseño de un horno deshidratador solar, el cual tendrá la función de pre-secar la fruta mas no deshidratarla completamente. Lo que se busca es una disminución en el porcentaje de agua del producto, para que posteriormente este se someta a una deshidratación completa por medio de un horno a gas. Esto se lleva a cabo con el propósito de disminuir el consumo de combustible, mejorar la eficiencia del proceso y establecer una forma sostenible y eficiente de preservar los alimentos.

2 OBJETIVOS

2.1. General

- Diseñar un horno de pre-secado para remover el contenido de agua de la fruta mediante radiación solar.

2.2. Específicos

- Realizar la recopilación bibliográfica correspondiente para determinar la información indispensable relacionada al pre-secado para remover el contenido de agua.
- Definir las especificaciones del horno deshidratador de energía solar para el pre-secado de la fruta antes de ser sometida a otro proceso de deshidratación para eliminar el contenido de agua sobrante.
- Analizar y seleccionar la opción más adecuada para el deshidratador por radiación solar.
- Diseñar los componentes del sistema de pre-secado para posteriormente realizar la modelación 3D y la simulación térmica.
- Elaborar los planos correspondientes al diseño del deshidratador por energía solar.

3 ALCANCE

El trabajo realizado se enfoca en el diseño y simulación de un sistema de pre-secado de frutas mediante el uso de energía solar. Para lograr este objetivo, se realiza una recopilación bibliográfica adecuada para identificar los parámetros relevantes en el proceso de pre-secado y el uso de energía solar como fuente principal. A partir de ello, se definirán las especificaciones del horno deshidratador de energía solar, llevando a cabo un análisis para seleccionar los componentes más adecuados que satisfagan las necesidades del usuario.

Posteriormente, se procede con el diseño de los componentes del sistema de pre-secado, seguido de la elaboración de un modelo 3D, simulación térmica, simulación estructural y planos correspondientes.

4 MARCO TEÓRICO

Esta sección se encarga de describir el contexto teórico en el que se encuentra el objeto de estudio, en el que se incluye la revisión de literatura relevante, conceptos clave e indispensable para la generación de teorías y modelos.

4.1. Fundamentación Legal

En este apartado principalmente se presenta las normas a considerar para el diseño del equipo, al tratarse con alimentos, se tienen normas alimenticias, y para el diseño de los componentes se presenta las normas estructurales.

Normas alimenticias

- NTEINEN-ISO 22000:2006: Sistemas de Gestión de la Inocuidad de los Alimentos.
- NTE INEN 2996: Productos deshidratados.

Normas estructurales

- AISI: Instituto americano del hierro y el acero.
- ANSI: Instituto Nacional Estadounidense de Estándares.
- ASTM: Sociedad Americana para Pruebas y Materiales.
- ISO: Organización Internacional de Normalización.

4.2. Fundamentación Teórica

En este apartado se recopila y se analiza la información necesaria, de manera que se tenga las suficientes bases teóricas para llevar a cabo el correcto diseño del equipo, aplicando los conceptos obtenidos.

Deshidratación y Desechado

La deshidratación y el desecado son técnicas utilizadas desde la antigüedad para la conservación de alimentos y de esta manera mantener la comida para épocas de escasez.

Las definiciones aceptadas para los términos nombrados y que indistintamente se usarán en el presente trabajo son:

- Deshidratación: consiste en la eliminación de la humedad presente en el producto mediante el tratamiento de este con calor artificial (aire previamente calentado, superficies calientes, etc.), manteniendo en ciertos porcentajes las propiedades del producto tratado. (Elizabeth & De Michelis, 2015)
- Desechado: consiste en la eliminación de la humedad presente en el producto mediante el tratamiento de este en condiciones ambientales (sol, viento, etc.). (Elizabeth & De Michelis, 2015)

En la figura 4.2.1, se puede diferenciar a la deshidratación del desecado de manera clara, notando cambios de color, por ende, las propiedades nutritivas difieren el uno del otro.



Figura 4.2.1. Fruto (Mosqueta) sometida a proceso de deshidratación y desecado. (Elizabeth & De Michelis, 2015)

En la actualidad la deshidratación es una de las formas de añadir un valor agregado a la materia prima (frutas, granos, vegetales, carnes), de esta manera se reducen los costos de transportación, distribución y almacenaje por la reducción de peso y volumen del producto, además de prolongar la vida útil del producto, si se seca a niveles de humedad residual adecuados.

Frutas de mayor exportación en Ecuador

La diversidad climática y la tierra fértil de Ecuador permiten la producción de frutas de alta calidad, con un sabor, color, olor, textura y valor nutricional excepcional. Esto ha llevado a que los mercados internacionales muestren un gran interés en adquirir productos frutícolas ecuatorianos, convirtiéndose en una importante fuente de exportación para el país.

Entre los productos que destacan dentro del sector de frutas del Ecuador se encuentra, el banano y plátano (\$964,2 millones de dólares en 2016, con un crecimiento promedio anual de 1.7% del 2010 al 2021 según ACORBANEC), y otros frutos como higos, piñas, aguacates,

guayabas, mangos mangostanes (\$26.4 millones de dólares, con un crecimiento anual de 3.6% del 2010 al 2021).

Evidentemente que la fruta con mayor exportación del Ecuador y una de las exportaciones tradicionales es el banano y plátano manteniéndose con una constante de \$300 millones de dólares entre el 2021 y 2022 según el Banco Central del Ecuador, mostrado en la figura 4.2.2.

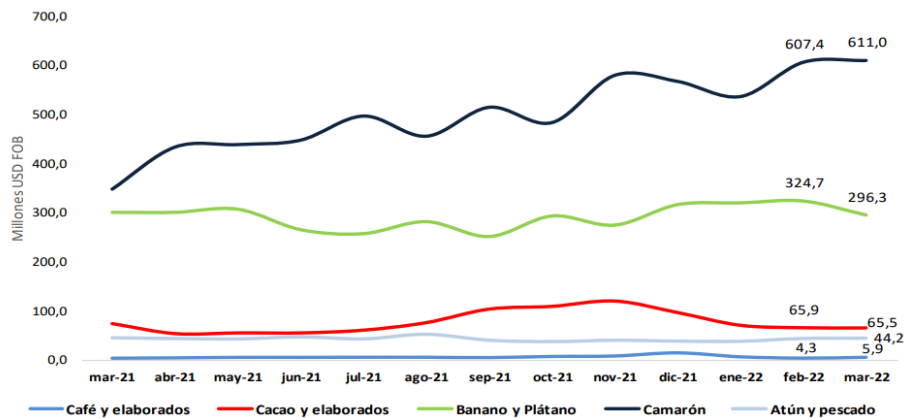


Figura 4.2.2. Evolución de los valores exportados de los bienes que conforman las exportaciones tradicionales del Ecuador.

Tanto ecuatorianos como extranjeros prefieren la comida orgánica y saludable, por lo que el consumo de snacks saludables entre ellos las frutas deshidratadas, generan que las grandes marcas del país se inclinen por la elaboración de productos de origen orgánico. Según la Agencia de Regulación y Control Fito y Zoo Sanitario (Agrocalidad), el 25% del registro de productos orgánicos de consumo local y exportación corresponden a snacks y frutas deshidratadas. (Alvarado, 2022)

Debido a que el banano y plátano son la fruta de mayor exportación, se considera tomar como producto de estudio para este proyecto.

Características del plátano

El plátano es un fruto comestible del género Musa, tiene cualidades que varían según su color, tamaño y firmeza. Es rico en almidón, y tiene una capa (cascara) que puede ser de color verde, amarillo y café dependiendo de la madurez y del tipo de plátano, generalmente se emplea en la elaboración de harina por su alto contenido en fibra.

Por su contenido de hidratos de carbono esta fruta proporciona un valor calórico elevado, entre los principales nutrientes del plátano se tiene, potasio, vitamina C, fosforo, magnesio, ácido fólico y sustancias de acción astringente. (Carrillo, 2019) Al realizar el proceso de deshidratación se debe evitar en lo posible de que los nutrientes se pierdan por lo que se debe considerar parámetros como:

- Humedad del plátano fresco, media de 74%.

- La temperatura de deshidratación no debe exceder los 70 °C.
- Generalmente el proceso demora entre 12 y 16 horas.

Deshidratador solar

Un deshidratador solar es una cámara especial que hace uso de la energía proveniente de la radiación solar, y de esta manera extrae cierto porcentaje de humedad, principalmente de alimentos. Este tipo de deshidratadores son amigables con el ambiente haciendo uso de una de las energías alternativas en auge, y puede implementarse desde pequeña escala (casero) hasta industrial (mayor complejidad en diseño), siendo de menor costo a comparación de otros métodos de conservación. (De los Santos & Lugo, 2020)

Una ventaja considerable es la variedad de deshidratadores solares que existen, de esta manera puede encontrarse en el mercado uno que se adecue a los parámetros económicos y necesidades de quien lo ocupe. Principalmente se puede tener dos sistemas de aprovechamiento solar para los diversos diseños:

- Fotovoltaicos: En este sistema la energía solar se convierte directamente en energía eléctrica. (Paucar, Vega, & Francisco, 2017)
- Fototérmicos: En este sistema se calienta un gas o un líquido mediante energía solar, se almacena o se distribuye el calor, realizando el proceso de deshidratación. (Paucar, Vega, & Francisco, 2017)

El sistema que destaca es el fototérmico, debido a su simplicidad, permitiendo a las empresas reducir el consumo energético y minimizando la huella de carbono, además cumple con los procesos principales de un deshidratador: (Hernández, 2016)

- Transferencia de calor, desde el agente desecante al producto.
- Transferencia de masa, llevando la humedad del interior del producto a la superficie y de ese punto evaporar y distribuir la humedad hacia el ambiente.

Funcionamiento general de un deshidratador solar

Para el funcionamiento de un deshidratador solar se necesita principalmente de una cámara de calefacción, en donde existe un flujo de aire a temperatura ambiente, este aumenta su temperatura gracias a los colectores solares los cuales se encargan de transformar la energía solar, posteriormente el aire se dirige hacia la cámara de deshidratación, de esta manera el aire circula a través de las fruta la cual es colocada previamente sobre bandejas, finalmente el aire caliente húmedo se expulsa por la parte superior como se muestra en la figura 4.2.3. (De los Santos & Lugo, 2020)

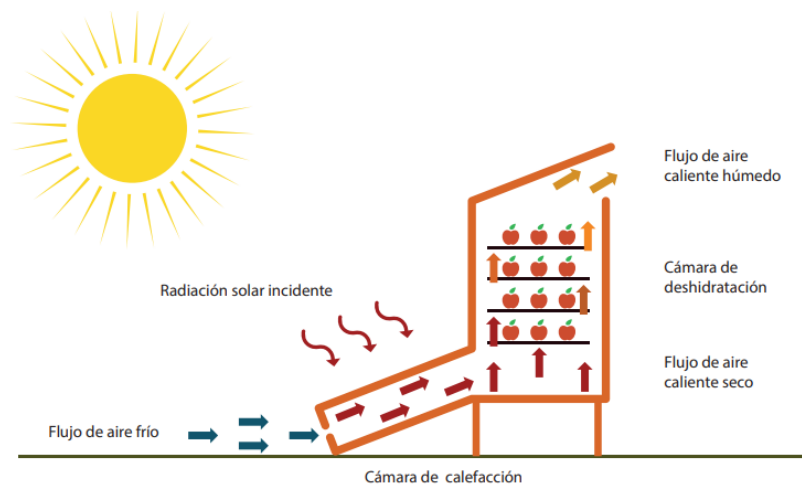


Figura 4.2.3. Esquema del funcionamiento del colector solar. (De los Santos & Lugo, 2020)

Tipos de deshidratadores solares

Existe una gran variedad de deshidratadores solares, pero generalmente se diferencian por la forma en la que se transfiere la energía entre el producto y el entorno que lo rodea, de esta manera es posible distinguir entre tres tipos principales:

Deshidratador solar directo

Se considera como un solo dispositivo, debido a que el colector y la cámara de secado son el mismo elemento sellado herméticamente, como se muestra en la figura 4.2.4.b. De esta manera la radiación solar incide directamente sobre el producto. El funcionamiento de este sistema es similar a un efecto invernadero, en donde la radiación calienta el aire y a su vez este eleva la temperatura superficial del producto, por lo que se genera una diferencia entre la presión del vapor del producto y la del aire, teniendo una alta velocidad de deshidratación. (De los Santos & Lugo, 2020)

Cabe notar que, al producirse todo el proceso de deshidratación en una misma cámara, existe poca circulación del aire, por lo que la temperatura tiende a subir excesivamente haciendo probable el deterioro del producto, por esta razón este tipo de deshidratadores suelen ser caseros y simples, de manera que se utiliza poca carga de producto y el resultado de este no tiene la calidad adecuada para su comercialización. (Román, Marconi, & Reyes, 2020)

Deshidratador solar indirecto

Este tipo de deshidratador se lo considera un sistema de dos partes, debido a que la cámara de calefacción y la de deshidratación se encuentran separadas, como se muestra en la figura 4.2.4.a. Este dispositivo funciona de manera fototérmica, ya que convierte la radiación solar

en energía térmica mediante el uso de colectores solares. De este modo, el aire se calienta y se introduce en la cámara de deshidratación.

Por la circulación del aire a través de las bandejas, se transfiere calor al producto y este pierde humedad, de esta manera se desfoga por la parte superior. El producto no recibe directamente la radiación por lo que, esta conserva color y propiedades, se obtiene un producto con la calidad adecuada para ser comercializado. Cabe notar que, si no existe una buena circulación del aire, puede deteriorarse el producto por el crecimiento de hongos. (Román, Marconi, & Reyes, 2020)

Deshidratador solar mixto

Este tipo de deshidratador es una mezcla de los dos anteriores, siendo un sistema de dos partes, mostrado en la figura 4.2.4.c. Considerando que la colección de la radiación solar se realiza tanto en la cámara de colectores como en la de deshidratación, teniendo así una convección más activa. (Román, Marconi, & Reyes, 2020)

De esta manera no es necesario que el aire se encuentre a una temperatura elevada, obteniendo una remoción de humedad efectiva.

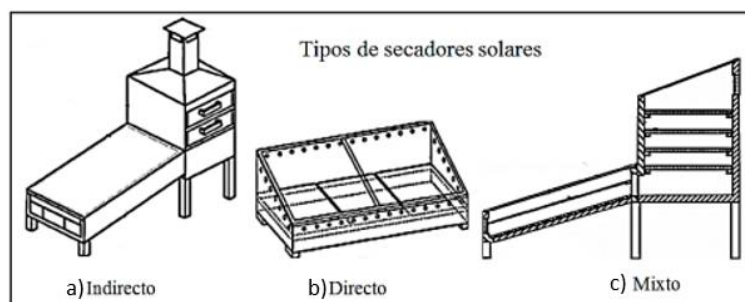


Figura 4.2.4. Esquemas de los tres tipos de deshidratadoras solares. (C, Ruiz, & Martínez, 2014)

Colectores solares

Los colectores solares son mecanismos que se utilizan para recolectar la radiación solar transformándola en energía térmica y aumentando la temperatura de una superficie negra alojada al interior del colector, de manera que la energía es transferida a un fluido, que puede ser agua o aire.

Entre las principales características de los colectores solares se encuentra:

- Rendimiento, es la fracción de energía que puede ser absorbida por el captador al tomar en cuenta que no toda la radiación es absorbida debido al fenómeno de reflexión.
- Absortancia, transmitancia y emitancia las cuales son propias de los materiales del colector.
- Índice de efectividad, indica la eficiencia del absorbedor.

Tipos de colectores

Los colectores o captadores solares, se dividen en dos grupos principales:

- Baja temperatura, son utilizados normalmente en sistemas de calefacción doméstica o aplicaciones en las que no se requiere una gran cantidad de energía calórica.
- Alta temperatura, este tipo de colectores se conforman mediante espejos y por lo general se utilizan para la elaboración de energía eléctrica, por lo que su uso es de gran escala.

Para fines del proyecto se utilizan los de baja temperatura dependiendo del diseño, esto debido a que es un pre-secado de fruta por lo que no es necesario temperaturas demasiado altas, más bien esta debe ser controlada para que no exista deterioro. Entre los colectores solares más comunes se tienen el plano y de tubos de vacío.

Colector solar plano

Se utilizan comúnmente para obtener agua caliente sanitaria y para calefacción solar, además la producción de este es más rentable y favorable. Entre los componentes más importantes de este tipo de colector se tienen los mostrados en la figura 4.2.5. (Lozano, 2019)

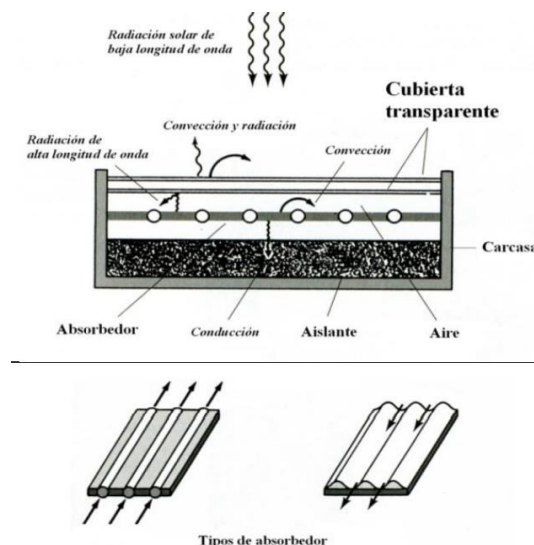


Figura 4.2.5. Componentes del colector solar plano. (Lozano, 2019)

- Absorbedor: Es encargado de captar la radiación solar, al calentarse la energía térmica se transfiere al fluido en circulación.
- Caja o carcasa: Básicamente es una cámara de calefacción, compuesta por la parte superior de un material que permita que la radiación solar ingrese, y en los costados un material que se adecue a las necesidades.
- Aislante: Este componente se encuentra en las partes laterales e inferior de la caja impidiendo las pérdidas de calor, puede ser fibra de vidrio o lana de roca. (Lozano, 2019)

Colectores de tubos de vacío

Estos tipos de colectores solares tienen los mismos propósitos que el mencionado anteriormente, pero su instalación es aconsejada en los casos en que se presenten dificultades y los colectores planos no alcancen las temperaturas deseadas. Su forma tubular se debe a que debe soportar la fuerza mecánica de la presión generada en su interior, es decir la presión exterior intenta aplastar el alojamiento de cristal, se puede visualizar de una mejor manera en la figura 4.2.6. (Cuarán & Iván, 2013)

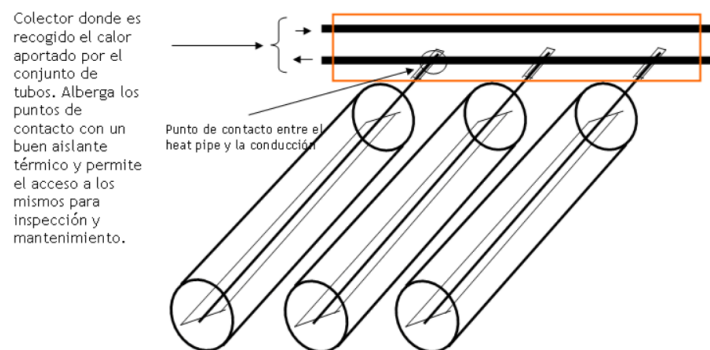


Figura 4.2.6. Esquema del colector solar de tubo vacío. (González, 2017)

La principal ventaja de este colector es que reduce las pérdidas térmicas por conducción y convección que se da entre el absorbedor y la cubierta de vidrio, esto debido a que funciona como las paredes de los termos, es decir que los tubos al vacío eliminan el aire. También ayuda en gran medida sustituir el aire por gases nobles y disminuir la presión.

Transferencia de calor

Las técnicas de deshidratación se encuentran limitadas por la velocidad en la que se suministra calor, por lo que este debe ser el requerido para la evaporación del contenido de agua de manera que la temperatura del sólido no aumente. Para realizar un análisis adecuado es necesario aplicar mecanismos de transferencia de calor, los principales son, radiación, conducción y convección.

Radiación

Esta energía no requiere de un medio y se emite por la materia en forma de ondas electromagnéticas debido a los cambios en las configuraciones electrónicas en los átomos o moléculas. La radiación se considera un fenómeno volumétrico y puede ser absorbida o emitida por sólidos, líquidos y gases, pero al tratarse de sólidos opacos a la radiación térmica, esta se considera un fenómeno superficial porque las radiaciones emitidas por uno de estos sólidos no son capaces de llegar a la superficie, por otro lado, las radiaciones incidentes suelen absorberse hacia adentro de estos sólidos. La tasa de radiación máxima que puede

emitirse de una superficie se expresa según la ley de Stefan-Boltzmann, como se observa en la ecuación 4.2.1. (Cengel & Ghajar, 2011)

$$\dot{Q}_{emitida} = \varepsilon \sigma A_s T_s^4$$

Ecuación 4.2.1. Radiación máxima emitida desde una superficie.

Conducción

Este mecanismo de transferencia de calor es provocado por la interacción de moléculas de dos cuerpos, en el que las partículas más energéticas comparten energía a las que poseen menor energía, teniendo en cuenta que el flujo va desde el cuerpo con mayor temperatura hacia el menor. La razón de la conducción para un volumen de espesor x , es directamente proporcional a la diferencia de temperatura que la atraviesa y al área de transferencia de calor, por otro lado, es inversamente proporcional al espesor del volumen. La conducción a través de una capa o volumen puede ser expresada como la ecuación 4.2.2, (Cengel & Ghajar, 2011)

$$\dot{Q}_{cond} = -kA \frac{dT}{dx}$$

Ecuación 4.2.2. Conducción a través de una capa.

Convección

Es un mecanismo de transferencia de energía, el cual ocurre entre una superficie sólida y el líquido o gas que se encuentra en movimiento, ligado a los efectos de conducción y movimiento de fluidos. La transferencia de calor por convección incrementa a medida que se tiene un mayor movimiento del fluido. (Cengel & Ghajar, 2011) La transferencia de calor se encuentra expresada por la ley de Newton, como se plantea en la ecuación 4.2.3, de manera que se tiene que la rapidez de la transferencia de calor es proporcional a la diferencia de temperatura.

$$\dot{Q}_{conv} = hA_s (T_s - T_{\infty})$$

Ecuación 4.2.3. Transferencia de calor por convección.

Debido a que el deshidratador solar generalmente es un sistema de dos partes, es necesario que el aire tenga una circulación adecuada para que no exista un deterioro del producto y se pueda eliminar la humedad evaporada adecuadamente, de manera que para lograr un funcionamiento óptimo, se emplean los métodos de convección natural y forzada.

- **Convección natural:** La transferencia de calor por convección natural o flujo libre resulta del movimiento de un fluido (aire) debido a la inversión de su densidad. Dicho de otra manera, la convección natural ocurre por la diferencia de temperatura que existe entre el cuerpo y el fluido, teniendo como resultado un cambio en la densidad del fluido adyacente a la superficie, permitiendo que el fluido más pesado fluya hacia abajo y el más ligero (aire caliente) hacia arriba. (Kreith & Manglik, 2012) Las velocidades de los fluidos en corrientes de convección natural, por lo general son bajas, por otro lado, en la superficie las características del flujo se asemejan a las de convección forzada.
- **Convección forzada:** Se define convección forzada al proceso de transferencia de calor en el que el movimiento del fluido es impulsado por un gradiente de presión. Aplicado en un deshidratador, es necesario que el aire tenga la circulación adecuada por lo que se emplea el uso de un ventilador de manera que se facilita el proceso de secado. Al trabajar con colectores de calor, este tipo de convección depende del coeficiente de transferencia de calor de la superficie (para una geometría dada) y del fluido. (Kreith & Manglik, 2012)

Transferencia de masa (agua)

Al ser mayormente productos de exportación estos deben cumplir con el código ecuatoriano de prácticas de higiene para las frutas y hortalizas deshidratadas (CAC/RCP 5-1971, IDT), de esta manera para obtener una calidad adecuada es necesario optimizar los procesos de deshidratación. (Ministerio de Industrias y Productividad, 2014)

Para un diseño adecuado del proceso, se considera los efectos de la transferencia de calor y masa, por lo que de manera esquemática puede ser representado como se indica en la figura 4.2.7, tomando en cuenta que tanto deshidratar como desecar frutas conllevan el mismo principio físico es decir que exista la migración o el movimiento de masa (agua) hacia la superficie y posteriormente la evaporación hacia el ambiente que lo rodea. (Gascón, Muravnick, & Andreuccetti, 2013)

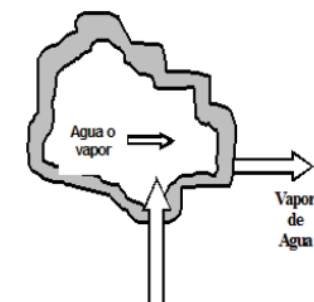


Figura 4.2.7. Esquema simplificado del mecanismo de secado. (Gascón, Muravnick, & Andreuccetti, 2013)

Es necesario considerar que para un análisis más adecuado se consideran factores clave como temperatura, presión, humedad y velocidad del medio de secado.

Cinética del secado

Para entender de una mejor manera la cinética del secado, se presenta la figura 4.2.8, en la que se muestra la curva de deshidratado en el tiempo, donde se observa que la humedad disminuye de manera brusca hasta cierto punto en el que se empieza a desacelerar. Dando como respuesta que la humedad es inversamente proporcional a la temperatura y mientras más baja es, más difícil es la extracción del tejido vegetal. (Gascón, Muravnick, & Andreuccetti, 2013)

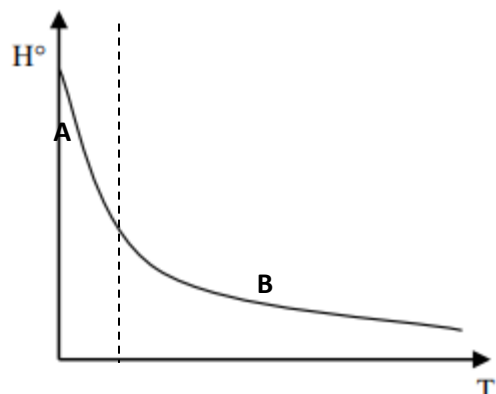


Figura 4.2.8. Cinética del secado. (Gascón, Muravnick, & Andreuccetti, 2013)

La velocidad del secado depende de diferentes factores, como las humedades inicial y final, el intervalo de tiempo al que se realizara el secado y el área sobre la cual se realizara el proceso, se lo puede apreciar que mejor manera en la ecuación 4.2.4,

$$V = \frac{H_{inicial} - H_{final}}{A * \Delta T}$$

Ecuación 4.2.4. Velocidad de secado.

El contenido de humedad durante su deshidratación o desecación muestra dos divisiones como se muestra en la figura 4.2.8:

- Tramo A (secado o fase principal): es el primer tramo de alta velocidad, en este se extrae la fracción de agua libre de la fruta, es decir que la humedad inicial cae hasta aproximadamente un 18%.
- Tramo B (secado o fase terminadora): corresponde a un descenso desde el 15% hasta 4-5% de humedad, teniendo una velocidad mucho menor y extrayendo el agua contenida en los capilares del fruto.

De esta manera se puede dividir al producto de la siguiente forma:

- Alta humedad (percederos): con humedad mayor al 35%.
- Humedad intermedia (semi percederos): con valores entre 35% y 7%.

- Muy baja humedad o secos (escasamente perecederos): con valores menores a 5% de humedad. (Gascón, Muravnick, & Andreuccetti, 2013)

Actividad de agua (A_w)

La actividad de agua es indispensable en el estudio de la estabilidad de los alimentos deshidratados, siendo está el límite del desarrollo microbiano y de las reacciones básicas de deterioro.

En la antigüedad por falta de conocimiento para evitar el desarrollo de microorganismos se añadía azúcares después de la evaporación parcial del agua para de esta manera generar una presión osmótica. En la actualidad se utiliza la actividad de agua (A_w) expresando la mayor o menor “disponibilidad” de agua en un alimento, es decir la cantidad de agua “libre”, no ligada químicamente a ninguna sustancia. (Gascón, Muravnick, & Andreuccetti, 2013) Esta se la puede calcular como la presión parcial de vapor de agua del alimento o de sus soluciones en equilibrio (P_w) sobre presión parcial de vapor de agua pura a igual temperatura y condiciones ($P^{\circ}w$).

Si se trata de un estado de equilibrio del producto con respecto a una atmosfera confinada, la actividad del agua es directamente proporcional a la humedad relativa expresada en un valor no porcentual.

Humedad

Para expresar el contenido de agua evaporable de un producto se analiza la relación entre las masas, por lo que se utilizan los términos de W_H (base húmeda) y W_S (base seca).

Base húmeda: se define como la relación de la masa de la humedad y la masa del material húmedo. (Gascón, Muravnick, & Andreuccetti, 2013)

Base seca: esta humedad se define como la relación entre la masa de la humedad respecto a la masa del sólido.

Software y aplicaciones

Con el fin de analizar y predecir el comportamiento dentro del sistema de secado, se utilizan diferentes software y aplicaciones, de manera que faciliten la simulación y la obtención de

resultados, evitando realizar pruebas físicas. Se utilizaron cuatro en específico, las cuales son:

Software de simulación Ansys

Este software permite simular y analizar el comportamiento de productos, sistemas y procesos, ofreciendo una amplia gama de aplicaciones, las que se utilizan para este proyecto son:

- Ansys Fluent: Permite realizar una simulación numérica de fluidos computacionales (CFD), de manera que se puede analizar el comportamiento del fluido haciendo uso de modelos, herramientas y aplicaciones como la aerodinámica, la mecánica de fluidos, la transferencia de calor y la ingeniería química.
- Ansys Thermal State: Es una de las aplicaciones de ansys, especializada en simulación térmica, permitiendo modelar y analizar el comportamiento térmico de diferentes sistemas, incluyendo la transferencia de calor por conducción, convección y radiación. (Ansys, 2023)

Software Autodesk Inventor

Este es un software especializado para el diseño mecánico y modelación en 3D, permitiendo diseñar, simular y verificar el funcionamiento de los productos en un entorno virtual, de manera que se puede identificar problemas antes de la producción, mejorando eficiencia y rendimiento.

Autodesk Inventor incluye una amplia gama de aplicaciones, herramientas y características, las cuales incluyen la simulación de dinámica, la simulación de deformación, la simulación de fuerzas y la simulación de termoelástica, que permiten a los usuarios simular y evaluar la funcionalidad y el comportamiento de sus diseños. (G, 2022)

Software CYTsoft Psychrometric Chart 2.2

Este es un software de análisis psicrométrico muy útil especialmente para la ingeniería de aire acondicionado y el control de calidad del aire interior. Es una herramienta de gráfico psicrométrico en tiempo real que permite a los usuarios visualizar, analizar y evaluar los cambios en las propiedades termodinámicas del aire, como la humedad relativa, la temperatura de bulbo húmedo y la entalpía, en función de la temperatura y la humedad. (CYTSoft Technology, 2021)

Aplicación Web Windy

Esta aplicación brinda información meteorológica en tiempo real, ofreciendo mapas interactivos y visualizaciones de datos meteorológicos como viento, temperatura, humedad,

presión atmosférica y más. Windy también permite a los usuarios superponer capas adicionales de información, como radar de lluvia, cámaras web y pronósticos detallados. (Linares, 2019)

Benchmarking (estudio de mercado)

En la tabla 4.2.1, se muestra algunos datos técnicos del deshidratador solar serie 5000, el modelo se lo puede apreciar en la figura 4.2.9, el cual funciona con un captador solar conformado de 5 tubos de vacío, de esta manera se logra aportar una mayor cantidad de calor y al ser de vacío no permite escapar la temperatura.

Competencia 1: Deshidratador solar serie 5000. (Calentadores Solares Water and Sun, 2013)

Tabla 4.2.1. Especificaciones de la competencia 1.

Competencia 1: Deshidratador solar serie 5000	
Fabricante	SIS
Modelo	5000
Numero de tubos de vacío	5
Capacidad [kg]	5
Temperatura en paredes internas [°C]	150
Máquina	Deshidratador solar de tubos de vacío
Precio [USD] incluye IVA	739 \$

Figura



Figura 4.2.9. Deshidratador solar serie 5000. (Calentadores Solares Water and Sun, 2013)

En la tabla 4.2.2, se muestra algunos datos técnicos del deshidratador solar básico SAECSA, el cual tiene un colector solar plano con un sistema de núcleos de calor el cual proporciona

la temperatura adecuada para llevar a cabo la deshidratación, como se lo aprecia en la figura 4.2.10.

Competencia 2: Deshidratador solar básico para alimentos. (SAECSA, 2013)

Tabla 4.2.2. Especificaciones de la competencia 2.

Competencia 1: Deshidratador solar básico para alimentos.	
Fabricante	SAECSA
Colector solar	1
Cámara de deshidratado [m]	0,35 x 0,75 x 0,95
Módulo de captación de radiación solar [m]	0,10 x 0,95 x 1,35
Capacidad [kg]	10 - 20
Temperatura en paredes internas [°C]	80 - 90
Máquina	Deshidratador solar básico de colector plano, con soporte metálico y cubierta de vidrio.
Precio [USD] incluye IVA	1583 \$

Figura



Figura 4.2.10. Deshidratador solar básico para alimentos. (SAECSA, 2013)

En la tabla 4.2.3, se muestra algunos datos técnicos del deshidratador solar semi - industrial SAECSA, el cual tiene dos colectores solares planos y un sistema recirculador al serpentín, que permite alcanzar temperaturas para la deshidratación, además cuenta con un sistema de respaldo a gas para la prevención en días nublados, como se muestra en la figura 4.2.11.

Competencia 3: Deshidratador solar semi - industrial. (SAECSA, 2013)

Tabla 4.2.3. Especificaciones de la competencia 3.

Competencia 1: Deshidratador solar semi - industrial	
Fabricante	SAECSA
Colector solar	2
Dimensión total	1,10 x 1,10 x 1,50
Módulo de captación de radiación solar [m²]	5,2
Capacidad [kg]	30-50
Temperatura en paredes internas [°C]	100
Máquina	Deshidratador solar semi - industrial de colectores planos, con soporte metálico y cubierta de doble cristal y sistema de respaldo a gas.
Precio [USD] incluye IVA	4656 \$

Figura



Figura 4.2.11. Deshidratador solar semi - industrial. (SAECSA, 2013)

5 METODOLOGÍA

En este apartado, se muestra el proceso que se realizó para el diseño del prototipo de horno de pre-secado, en donde se detalla sistemáticamente cada actividad, desde la concepción de ideas para el diseño conceptual, hasta la selección de la mejor alternativa, de manera que sea posible un diseño adecuado del equipo, satisfaciendo las necesidades del cliente y trazando un camino por el cual el ingeniero o la persona que realice el trabajo se pueda guiar. En la figura 5.1 se puede observar el diagrama de flujo que ilustra de manera más clara el proceso.

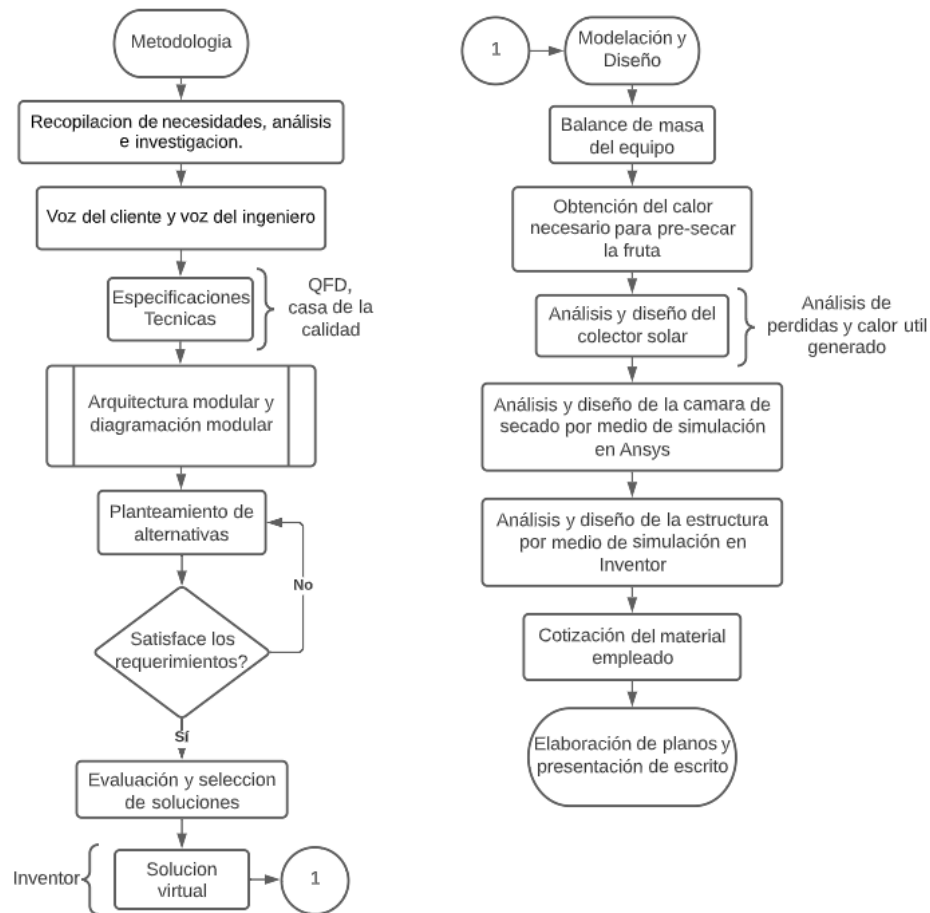


Figura 5.1. Diagrama de flujo de la metodología y diseño del horno.

5.1. Despliegue de la función de calidad (QFD)

Para el diseño conceptual es común utilizar el despliegue QFD, este capta los requerimientos del cliente (voz del usuario), para posteriormente ser analizadas y plasmadas con ideas de diseño (voz del ingeniero), de esta manera que los resultados obtenidos sean óptimos para obtener el prototipo adecuado a las necesidades del cliente.

Demandas del cliente (Voz del usuario)

El trabajo realizado, está enfocado al diseño de un horno de pre-secado para remover el contenido de agua de frutas mediante radiación solar, partiendo del tema en general, se puede tener idea de que tipo de factores influyen en el diseño del horno, pero debido a que es importante tomar en cuenta las necesidades del cliente, se presentan las siguientes demandas a tomar en cuenta:

- Espacio adecuado para que el producto entre sin arriesgar las propiedades de la fruta.
- Que el pre-secado no se demore.
- Facilidad de limpieza y mantenimiento.

- Bajo costo y de materiales que no afecten a la calidad del producto.
- Estructura ergonómica que permita el fácil ingreso de la fruta y recolección de la misma.
- Ventilación adecuada para que la energía sea aprovechada en su totalidad.
- Obtención de energía necesaria para un óptimo trabajo.
- Que sea amigable con el ambiente.

Lista de parámetros técnicos (Voz del ingeniero)

La voz del ingeniero permite desarrollar de una manera más técnica las ideas del cliente, de manera que se logra destacar los parámetros que influyen de manera directa, es decir los que tienen una mayor importancia para el diseño del horno deshidratador, para el desarrollo de esta sección se tomaron las consideraciones:

- Capacidad
- Temperatura de deshidratación
- Dimensiones
- Tipo de colector solar
- Rendimiento del colector solar
- Material
- Tipos de energía requerida
- Ergonomía
- Ventilación forzada

Matriz QFD resultante

Una vez que se han planteado la voz del usuario y del ingeniero, se procede a analizar la información utilizando Excel para obtener los resultados necesarios para lograr un diseño óptimo. Estos resultados se pueden observar en el diagrama QFD.

Resultados del análisis QFD

Al realizar el respectivo análisis, se obtuvieron los requerimientos funcionales, los cuales son:

- **Ventilación:** La ventilación adecuada, permitirá que el aire fluya entre las bandejas con rodajas de fruta, de manera que con la temperatura adecuada se obtendrá un tiempo óptimo para la producción, cabe notar que para lograr esto, se utilizara la ventilación forzada mediante un pequeño ventilador.

- **Ergonomía:** Es una parte fundamental tanto para el usuario como para el desempeño del horno, por lo que se optó por el uso de bandejas desmontables que permitan una mayor movilidad.
- **Energía necesaria (rendimiento del colector solar):** La captación de energía solar es muy importante para el correcto funcionamiento de este horno, por lo que se utilizara un colector solar de placa plana que permita obtener el rendimiento adecuado para deshidratar la fruta.
- **Capacidad:** El espacio entre rodajas de fruta debe ser el adecuado para que el aire fluya por todas partes, por lo que una capacidad estimada para el correcto proceso es de 25 Kg.
- **Materiales:** Cuando se trabaja con frutas, los materiales pueden ser susceptibles a la corrosión. Por esta razón, un material adecuado es el acero inoxidable AISI 304, el cual se encuentra disponible en el mercado y ofrece una mayor durabilidad al horno.

En la tabla 5.1.1, se presentan las especificaciones técnicas de la máquina, de manera que se pueda realizar el correspondiente diseño y selección de alternativas.

Tabla 5.1.1. Especificaciones técnicas del horno de pre-secado de frutas mediante radiación solar.

Empresa Cliente: Sector Alimenticio		Producto: Horno de pre-secado de frutas	Fecha inicial: 8/07/2022	
Empresa de Ingeniería: Escuela Politécnica Nacional			Última revisión:	
Especificaciones				
Concepto	Fecha	Propone	R/D	Descripción
Función	26/08/2022	C + I	R	Pre-secar rodajas frutas en un tiempo entre 4 a 8 horas para posteriormente pasar al deshidratado.

Dimensiones	26/08/2022	D	R	Área máxima del deshidratador completo: 4 [m] x 2 [m] x 3 [m], con capacidad para 25 Kg de fruta.
Energía	26/08/2022	C+D+I	R	Captación de energía solar para el pre-secado de al menos 100 W.
Materiales	26/08/2022	D+I	D	Acero inoxidable AISI 304 para interior y Acero galvanizado para exterior.
Seguridad y ergonomía	26/08/2022	C+D	D	Bandejas desmontables de fácil ingreso del producto.
<p>Propone: M = Marketing, D = Diseño, P = Producción, F = Fabricación, I = Ingeniería, C = Cliente.</p> <p>R/D: R = Requerimiento, D = Deseo, MR = Modificación de Requerimiento.</p>				

Diagrama QFD

En el diagrama presentado en el Anexo I, se observa el resultado de los requerimientos del usuario, así como las especificaciones técnicas otorgadas de manera ingenieril por parte del elaborador.

Análisis y selección de alternativas

En esta sección se analiza las funciones principales y secundarias que intervienen directamente en el funcionamiento del horno de pre-secado, de tal manera que se obtengan las posibles alternativas que satisfagan las especificaciones técnicas analizadas anteriormente.

Estructura funcional y modular

Con el fin de tener un mejor entendimiento de las funciones y subfunciones que intervienen en el horno de pre-secado, se representa de forma general la función principal como se muestra en la figura 5.1.1, en donde se tienen flujos de masa, energía e información.

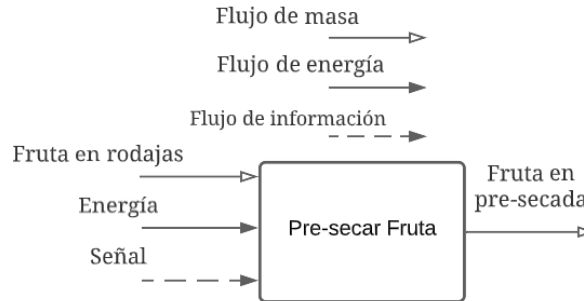


Figura 5.1.1. Función principal del horno de pre-secado.

Partiendo de la función principal, se presentan los módulos en la tabla 5.1.2.

Tabla 5.1.2. Presentación de módulos.

Módulo	Descripción
1	Ingreso de rodajas de fruta
2	Sistema de recolección de energía solar
3	Sistema de ventilación y control de temperatura
4	Salida de frutas pre-secadas

De esta forma se realiza la descomposición de la función general, permitiendo realizar el respectivo análisis de las funciones y a su vez trazar un camino que tendrá fin en la selección de alternativas óptimas para el diseño, como se observa en la figura 5.1.2.

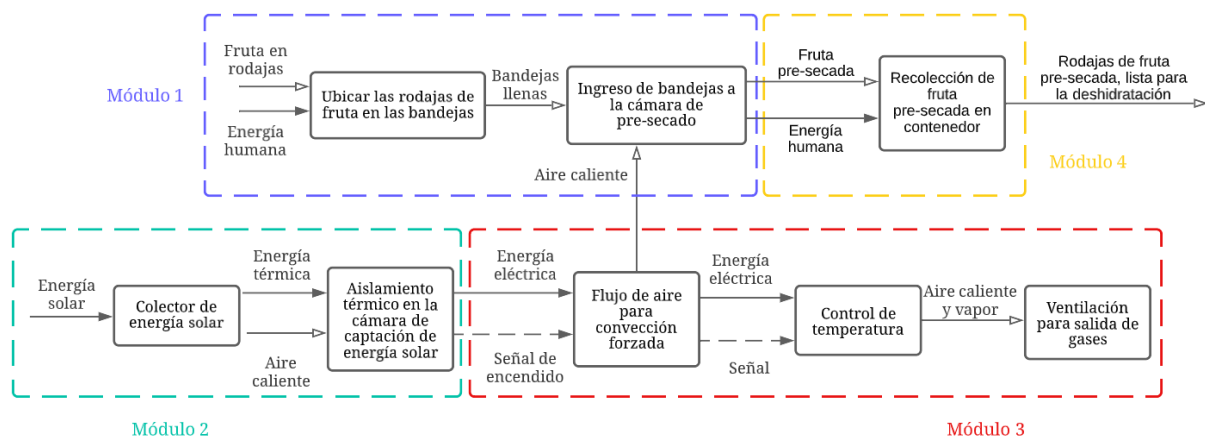


Figura 5.1.2. Diagrama de flujo de las funciones secundarias.

5.2 Análisis y selección de soluciones en base a las alternativas

A continuación, se analizan las posibles alternativas para cada módulo, teniendo presente que se cumplan los requerimientos y se logren alcanzar los objetivos que se han planteado:

Modulo 1: Ingreso de rodajas de fruta

Este módulo contiene las siguientes subfunciones:

- Ubicación de las rodajas de fruta en las bandejas
- Ingreso de bandejas a la cámara de pre-secado

Bandeja para la colocación de la fruta

Debido a que en estos sistemas interviene mucho la circulación del aire para eliminar o evaporar el contenido de agua de la fruta, las bandejas en las que se coloca el producto inicial deben tener orificios, por lo que se tienen dos propuestas considerando sus ventajas y desventajas, estas son:

Alternativa 1: Bandeja compuesta por base de malla

La primera alternativa es una bandeja simple como se muestra en la figura 5.2.1, con marco y una malla de base, el material depende del fabricante y los orificios de la malla pueden variar dependiendo del tamaño de la fruta o la cantidad de aire que fluye. (Grammer Solar, Cooperación alemana, 2018)

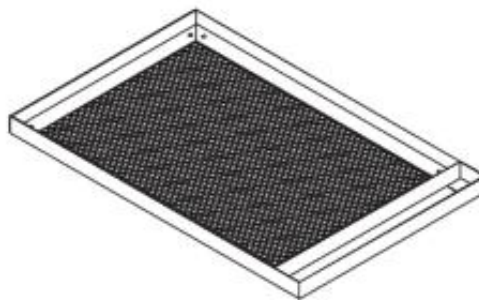


Figura 5.2.1. Bandeja con base de malla. (Grammer Solar, Cooperación alemana, 2018)

Ventajas

- Fácil construcción.
- Económica debido a su simpleza.
- Buen flujo de aire.
- Fácil manipulación.
- Las dimensiones se adaptan al tamaño del horno.

Desventajas

- No se puede utilizar cualquier tipo de malla como la fina debido a que no tiene un buen flujo.
- Difícil limpieza.
- Debe ser de materiales resistentes al calor y que no se pegue el producto.

Alternativa 2: Secadero colgante con protección de malla externa

Este es un tipo de bandejas en donde se apila un sobre otra, sujeta a los extremos por cuerdas que se amarran en el techo del horno y soportan todo el peso del producto mostrado en la figura 5.2.2.



Figura 5.2.2. Secadero colgante con protección de malla externa. (Elizabeth & De Michelis, 2015)

Ventajas

- Fácil uso
- Puede usarse para secar cualquier tipo de frutas y hortalizas
- Se cierra de forma compacta

Desventajas

- Tiene una baja capacidad, debido a que una cuerda soporta todo el peso
- Mayor elaboración
- Difícil limpieza

Soporte para las bandejas

Alternativa 1: Soporte tipo armario

Este es un soporte en donde se colocan las bandejas por pisos, de tal manera que puedan ingresar fácilmente a la cámara de pre-secado por medio de ruedas en la parte inferior, mostrado en la figura 5.2.3.



Figura 5.2.3. Soporte tipo armario. (Udine, 2020)

Ventajas

- Fácil ingreso a la cámara de pre-secado
- Mayor capacidad de bandejas
- Movable
- Mayor ergonomía en cuanto al esfuerzo del usuario

Desventajas

- Difícil limpieza
- Mayor aislamiento en la parte inferior
- Difícil de adaptarse a la cámara de pre-secado
- Es necesario un mantenimiento en las ruedas

Alternativa 2: Soporte tipo grada

Este tipo de soporte para bandejas es el más común y generalmente se encuentra en los hornos de las cocinas, este viene fijo al interior de la cámara de secado, mostrado en la figura 5.2.4.

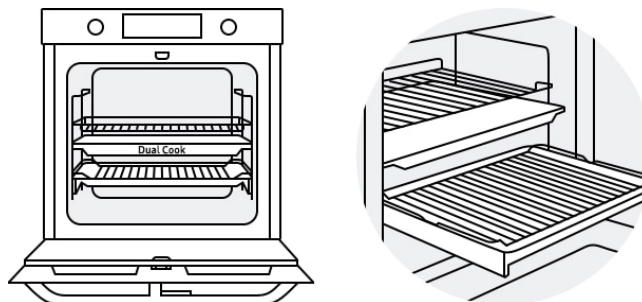


Figura 5.2.4. Soporte tipo grada. (Samsung, 2020)

Ventajas

- No necesita mantenimiento
- Fácil limpieza
- Soporte de grandes cantidades
- No interfiere con el aislamiento

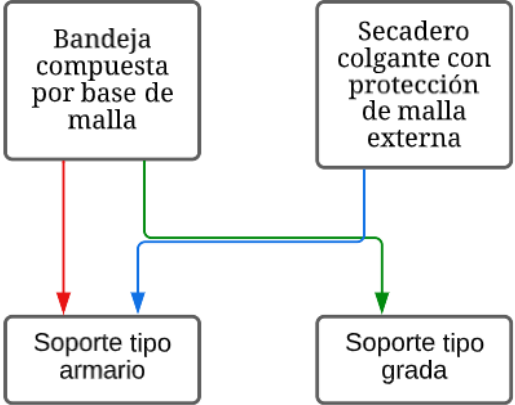
Desventajas

- No se puede retirar porque son fijas
- Implica un mayor esfuerzo en el usuario
- Las bandejas deben tener el tamaño de la separación de los soportes

Diagrama matriz morfológica para modulo 1

En la tabla 5.2.1, se presenta el diagrama morfológico, en el que se exponen diferentes alternativas las cuales serán evaluadas.

Tabla 5.2.1. Matriz morfológica, modulo 1.

Función	Componente
Bandeja para la colocación de la fruta	
Soporte para las bandejas	<p>Alternativa 1</p> <p>Alternativa 2</p> <p>Alternativa 3</p>

Modulo 2: Sistema de recolección de energía solar

Para este módulo se tienen dos subfunciones las cuales son:

- Colector de energía solar
- Aislamiento térmico en la cámara de captación de energía solar

Colector Solar

Para el presente proyecto se hace uso del colector solar térmico, el cual capta la radiación solar que incide sobre el mismo, y la transforma en energía térmica utilizable. Existe una amplia variedad de colectores solares térmicos, pero debido a que para el horno de pre-secado no es necesario altas temperaturas se escogen los dos tipos más comunes que funcionan para baja y media temperatura.

Alternativa 1: Colector solar plano

El funcionamiento de los colectores planos se basa en el principio del efecto invernadero, un ejemplo de esto es al entrar en un coche de color oscuro bajo el sol en verano, la temperatura del aire en su interior es muy alta, debido a que la radiación solar se transforma en energía térmica. Este se encuentra compuesto principalmente de una placa de absorción, una caja o carcasa con cubierta transparente y el aislante térmico, como se observa en la figura 5.2.5. (Julián, 2014)

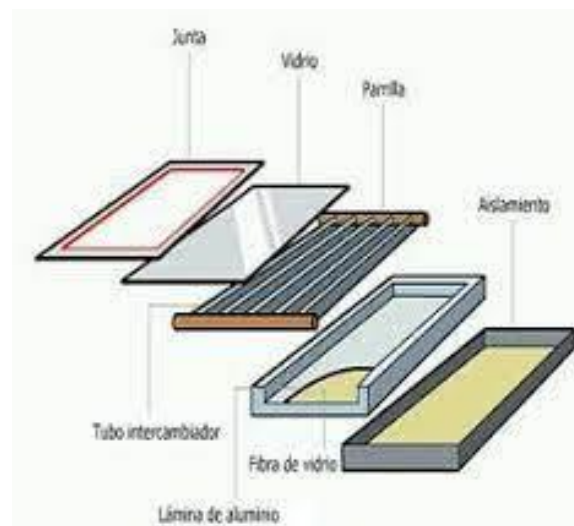


Figura 5.2.5. Colector solar plano. (Julián, 2014)

Ventajas

- Disminuye la dependencia de la energía eléctrica o de combustibles.
- Es uno de los sistemas de colectores solares más simples, por lo que implica una relación costo-rendimiento favorable.
- Fácil instalación y mantenimiento.

Desventajas

- Pérdidas de calor considerables.
- Área de captación mayor en comparación a otros colectores.
- Depende en gran medida de climas soleados.

Alternativa 2: Colector solar mediante tubos de vacío

Este tipo de colector solar se diferencia del plano principalmente por el aislamiento térmico, debido que, al ser tubos aislados al vacío, las pérdidas se reducen, lo que permite incrementar su rendimiento, las partes que lo componen se aprecia en la figura 5.2.6. (Díaz, 2015)

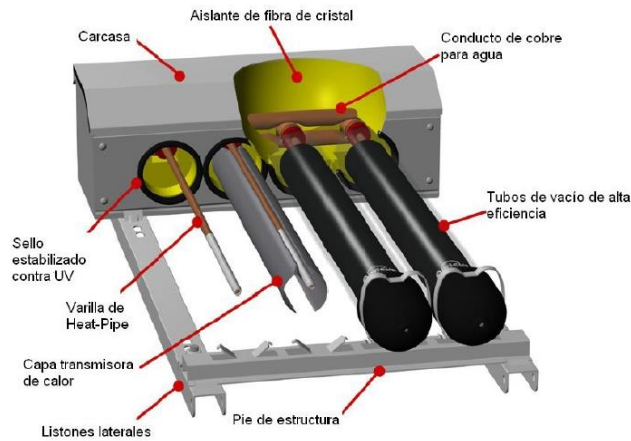


Figura 5.2.6. Colector solar de tubos de vacío. (Díaz, 2015)

Ventajas

- Mayor captación de calor que el colector solar plano, en condiciones desfavorables.
- Versatilidad de colocación.
- Menor superficie de captación que un colector plano.

Desventajas

- Elevado precio por lo que solo se lo suele utilizar cuando el clima es realmente malo.
- Mantenimiento más complejo frente al colector plano.
- Temperaturas de estancamiento elevadas.

Aislamiento térmico en la cámara de captación de energía solar

El aislamiento térmico es uno de los componentes más importantes a considerar en los colectores solares térmicos, debido a que evita las pérdidas de calor, mejorando el rendimiento de este. Los aislamientos térmicos varían dependiendo del tipo de colector solar, por lo que se presenta los más comunes.

Alternativa 1: Lana mineral de roca

Este es un tipo común de aislante térmico, mostrado en la figura 5.2.7, las propiedades aislantes de este material aumentan la retención del calor en el colector, mejorando el rendimiento del sistema.



Figura 5.2.7. Lana mineral de roca. (Rockwool, 2020)

Ventajas

- Fácil colocación en el colector solar.
- Material ligero.
- Es resistente a la humedad.
- Buena durabilidad, no se degrada con el tiempo.

Desventajas

- Alto costo con relaciona otros aislamientos.
- A pesar de ser resistente existe acumulación de vapor.

Alternativa 2: Lana de vidrio

Este aislante es de buena calidad y es muy asequible, tanto que se lo suele usar en construcciones debido a que además de ser un aislante térmico, también es un buen aislante acústico, este se lo observa en la figura 5.2.8.



Figura 5.2.8. Lana de vidrio. (Romeral, 2018)

Ventajas

- Se puede utilizar en superficies irregulares por lo que se coloca fácilmente en el colector solar.
- Sus dimensiones no cambian durante el calentamiento o enfriamiento.
- Tiene una larga durabilidad.
- Resistente a la humedad.
- Económica

Desventajas

- Las fibras que componen la lana de vidrio son muy quebradizas.
- Existen muchas falsificaciones en el mercado.

Diagrama matriz morfológica para modulo 2

En la tabla 5.2.2, se presenta el diagrama morfológico, en el que se exponen diferentes alternativas las cuales serán evaluadas.

Tabla 5.2.2. Matriz morfológica, modulo 2.

Función	Componente
Colector Solar	
Aislamiento térmico en la cámara de captación de energía solar	

Módulo 3: Sistema de ventilación y control de temperatura

En este módulo se encuentran tres subfunciones las cuales influyen directamente en la convección forzada, estos son:

- Flujo de aire para la convección forzada
- Control de temperatura

- Ventilación para salida de gases

Dispositivo para efectuar la convección forzada

Para obtener la convección forzada en equipos de secado como el que se está tratando en este proyecto, es necesario de un componente con la capacidad de suministrar un flujo de aire que sea acorde a las necesidades del proceso. De manera que se tiene dos alternativas las cuales se clasifican según la trayectoria del aire, y se presentan a continuación.

Alternativa 1: Ventilador axial

Este tipo de ventiladores funcionan con hélices, como se muestra en la figura 5.2.9, por lo que el aire que ingresa y sale, mantiene una trayectoria a lo largo de superficies cilíndricas coaxiales al ventilador.

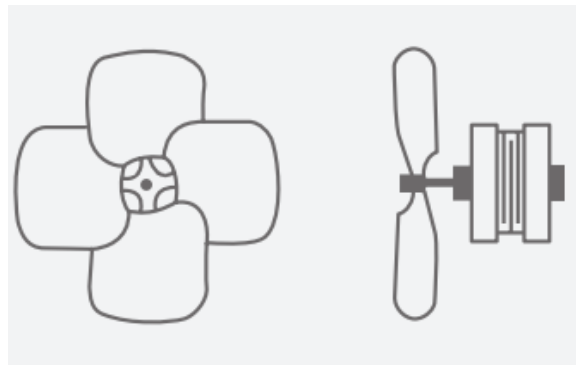


Figura 5.2.9. Ventilador axial. (SODECA, 2018)

Ventajas

- Capas de desplazar grandes volúmenes a baja presión.
- Es muy usado por lo que resulta ser económico.
- Existen diferentes tamaños por lo que se adapta fácilmente.

Desventajas

- No es óptimo para impulsar aire a través de ductos.
- Puede ingresar contaminantes, si no tiene protección.

Alternativa 2: Ventilador centrífugo

Estos son ventiladores más complejos, los cuales funcionan con rodetes, su principal característica es que el aire que entra sale con una dirección perpendicular, presentado en la figura 5.2.10.

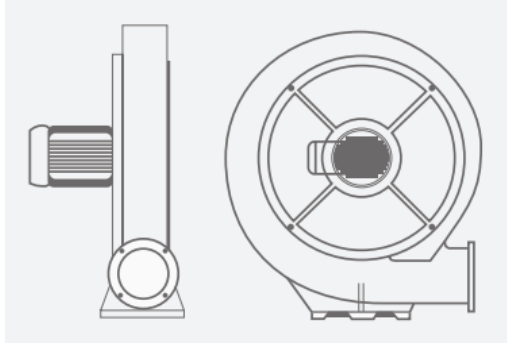


Figura 5.2.10. Ventilador centrífugo. (SODECA, 2018)

Ventajas

- Permite una buena distribución de aire a través de ductos.
- Trabajo óptimo a altas temperaturas.
- La expulsión del aire es perpendicular.

Desventajas

- Es de construcción maciza por lo que no se adapta fácilmente.
- Mayor costo frente a otros ventiladores.
- Menor desplazamiento de volumen.

Dispositivo para controlar la temperatura

Para los secadores de fruta, controlar la temperatura es muy importante, debido a que si no se encuentra a una temperatura adecuada el producto puede verse afectado en sus propiedades, dando paso al deterioro de la fruta. Por lo que, para tener un control de esta variable, se presentan las siguientes alternativas.

Alternativa 1: Termómetro de máxima y mínima

Este es un tipo de termómetro ambiental, el cual está diseñado para medir la máxima y mínima temperatura alcanzada, puede usarse en espacios abiertos o cerrados, tiene un rango de temperatura de -40° a 70° C, y funciona en base a una columna de mercurio, como en la figura 5.2.11.



Figura 5.2.11. Termómetro de máxima y mínima. (Lhaura, 2015)

Ventajas

- Es económico.
- Fácil de usar.
- Sirve para interiores o a la intemperie.
- Tiene dos columnas de mercurio, una muestra el máximo y la otra el mínimo.

Desventajas

- No soporta altas temperaturas.
- Se necesita calibrar varias veces.

Alternativa 2: Termómetro bimetálico

El termómetro bimetálico se centra en la dilatación del metal, el cual este compuesto por laminas metálicas y su función de hélice, puede ser observado en la figura 5.2.12.



Figura 5.2.12. Termómetro bimetálico. (Reotemp, 2013)

Ventajas

- Es pequeño, por lo que puede ser colocado en diferentes posiciones.
- Es simple y de bajo costo.
- Fácil de leer.

Desventajas

- Solo sirve para mediciones locales.
- Su precisión no es tan buena como los sensores.

Ventilación para salida de gases

Al ocurrir la convección forzada, las rodajas de fruta desprenden humedad y conjunto con el aire caliente, estas deben ser liberadas al ambiente de manera que se presentan dos alternativas para poder efectuar la salida de gases.

Alternativa 1: Extractor

Básicamente, son ventiladores los cuales tienen una boca de aspiración que está conectada a un conducto o espacio, y una boca de descarga que se encuentra conectada al ambiente. Con entradas y salidas de aire, indicado en la figura 5.2.13.

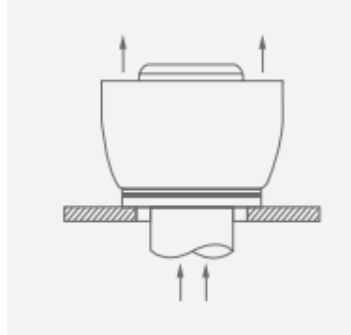


Figura 5.2.13. Extractor. (SODECA, 2018)

Ventajas

- Extracción eficiente de los gases.
- Puede adaptarse a cualquier parte del horno.
- Permite que el horno tenga menos pérdidas de temperatura.

Desventajas

- Consumo de electricidad.
- Ruido excesivo.
- Tiene un alto costo.
- Necesita mantenimiento.

Alternativa 2: Chimenea

Es un tipo de conducto que permite el desfogue de los gases, este se encuentra conectado en la parte superior del espacio en el que se produce la transferencia de calor, apreciado en la figura 5.2.14.

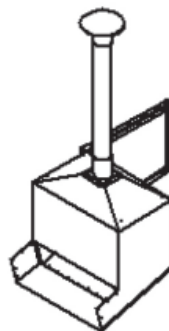


Figura 5.2.14. Chimenea. (Luis Garcia, 2012)

Ventajas

- Bajo costo.
- Fácil colocación.
- Fácil limpieza.
- Materiales asequibles.

Desventajas

- Mayores pérdidas térmicas.
- Necesariamente debe estar en la parte superior.

Diagrama matriz morfológica para modulo 3

En la tabla 5.2.3, se presenta el diagrama morfológico, en el que se exponen diferentes alternativas las cuales serán evaluadas.

Tabla 5.2.3. Matriz morfológica, modulo 3.

Función	Componente
Dispositivo para efectuar la convección forzada	<p>The diagram shows a morphological matrix with three rows of functions and two columns of components. <ul style="list-style-type: none"> Row 1 (Forced convection): 'Ventilador axial' and 'Ventilador centrífugo'. Row 2 (Temperature control): 'Termómetro de máxima y mínima' and 'Termómetro bimetalico'. Row 3 (Gas ventilation): 'Extractor' and 'Chimenea'. Colored arrows indicate connections: <ul style="list-style-type: none"> Red: Ventilador axial to Termómetro de máxima y mínima to Extractor. Blue: Ventilador axial to Termómetro de máxima y mínima to Chimenea. Green: Ventilador axial to Termómetro bimetalico to Extractor. Green: Ventilador centrífugo to Termómetro bimetalico to Chimenea. Yellow: Ventilador centrífugo to Termómetro bimetalico to Chimenea. </p>
Dispositivo para controlar la temperatura	
Ventilación para salida de gases	<p>Alternativa 1 (Red)</p> <p>Alternativa 2 (Green)</p> <p>Alternativa 3 (Blue)</p> <p>Alternativa 4 (Yellow)</p>

Módulo 4: Salida de frutas pre-secadas

En este módulo se encuentra una subfunción, en la que principalmente se realiza la recolección del producto final y se lo almacena para posteriormente someterse a la deshidratación, de manera que no debe ingresar agentes que dañen el producto.

- Recolección de fruta pre-secada en contenedor

Contenedor del producto

En esta parte se realiza un análisis del material del que puede estar compuesto el contenedor, de manera que mantenga el producto con las propiedades adecuadas y lo cuide de agentes externos que pueda dañarlo.

Alternativa 1: Contenedor de plástico para industria alimentaria

Una vez extraído el producto pre-secado de las bandejas, este se deposita en un contenedor adecuado para comida, de manera que posteriormente el producto no pierda sus propiedades, el contenedor puede ser como el mostrado en la figura 5.2.15.



Figura 5.2.15. Contenedor de Acero Inoxidable. (*Disset Odiseo, 2020*)

Ventajas

- Fabricado en propileno de alta densidad.
- Mantiene una temperatura estable y libre de humedad.
- Evita el ingreso de agentes externos.
- Fácil transporte.

Desventajas

- Propenso a abolladuras.

- Capacidad limitada.

5.3 Evaluación de alternativas

En esta sección se pretende analizar las alternativas para de este modo obtener la mejor solución posible, de modo que el secador solar satisfaga las necesidades del cliente, brindando un camino para el diseño de las partes por parte del ingeniero.

Para la evaluación se utilizará el método ordinal corregido de criterios ponderados, el cual se basa en tablas en donde se asignan valores a cada solución o alternativa, obteniendo resultados globales suficientemente significativos.

Módulo 1: Ingreso de rodajas de fruta

En el módulo 1 se consideran los siguientes criterios de evaluación:

- Capacidad, es un factor muy importante, que tiene relación con el espacio de las bandejas y la energía que entrega el colector solar, mientras más producto más energía solar se necesita por lo que se debe tener en cuenta que al ser una energía alternativa no es constante.
- Ergonomía, interviene con el ingreso de las bandejas a la cámara de secado por lo que, al ser manual, el equipo deberá ser seguro, cómodo y eficiente para el uso, evitando de esta manera, lesiones y fatiga.
- Dimensión, el horno no puede ser ni muy grande ni muy pequeño, este debe estar acorde con la ergonomía del uso de los usuarios y la capacidad que tiene el equipo para pre-secar.
- Material, al trabajar con productos alimenticios, el equipo debe estar sujeto a las normas establecidas por la ley para que de esta manera no se tenga inconvenientes con el producto a ofrecer.

De los datos mostrados, se procede con la evaluación de las alternativas, en la tabla 5.3.1, se aprecia el peso específico de cada criterio obteniendo el más relevante, posteriormente se obtiene el peso específico individual como se muestra en las tablas del Anexo II.

Tabla 5.3.1. Ponderación del peso específico de cada criterio del módulo 1.

Capacidad > Dimensión > Ergonomía > Material						
Criterio	Capacidad	Ergonomía	Dimensión	Material	$\sum +1$	Ponderado
Capacidad		1	1	1	4	0.400
Ergonomía	0.5		0.5	0	2	0.200
Dimensión	0.5	1		0	2.5	0.250
Material	0.5	0	0		1.5	0.150
				Suma	10	1

De esta manera se concluye que para el módulo 1, la alternativa 2 es la mejor situada, seguido por la alternativa 1 y la alternativa 3, como se muestra en la tabla 5.3.2.

Tabla 5.3.2. Tabla de conclusiones del módulo 1.

Conclusión	Capacidad	Dimensión	Ergonomía	Material	Σ	Preferencia
Alternativa 1	0.166	0.062	0.083	0.062	0.373	2
Alternativa 2	0.166	0.125	0.066	0.062	0.419	1
Alternativa 3	0.066	0.062	0.050	0.037	0.215	3

Módulo 2: Sistema de recolección de energía solar

Los criterios considerados para el módulo dos son:

- Precio, esta es una de las necesidades del cliente por lo que se debe respetar, sin descuidar la funcionalidad del producto.
- Rendimiento, este factor es muy importante para que el equipo cumpla la función de deshidratar correctamente, en cualquier condición.
- Mantenimiento, debido a que las partes se desgastan al estar a la intemperie, es necesario dar el mantenimiento adecuado.
- Material, en el colector solar hay que tener muy en cuenta los tipos de materiales a usar, de esta manera se puede obtener la energía solar necesaria, evitando pérdidas de calor muy grandes.

Al igual que para el módulo 1, en la tabla 5.3.3, se obtiene el peso específico de los criterios del módulo 2, además en las tablas presentadas en el Anexo II, se tienen los pesos específicos individuales.

Tabla 5.3.3. Ponderación del peso específico de cada criterio del módulo 2.

Rendimiento > Precio > Mantenimiento > Material						
Criterio	Precio	Rendimiento	Mantenimiento	Material	$\Sigma +1$	Ponderado
Precio		0	0.5	1	2.5	0.250
Rendimiento	1		1	1	4	0.400
Mantenimiento	0.5	0		0.5	2	0.200
Material	0	0	0.5		1.5	0.150
				Suma	10	1

Para el módulo dos, se puede apreciar en la tabla 5.3.4, que la alternativa 1 es la mejor opción, las alternativas 2 y 3 se encuentran con similar prioridad, descartando la cuarta alternativa debido a que se tiene un puntaje más bajo.

Tabla 5.3.4. Tabla de conclusiones del módulo 2.

Conclusión	Rendimiento	Precio	Mantenimiento	Material	Σ	Preferencia
Alternativa 1	0.120	0.087	0.070	0.030	0.307	1
Alternativa 2	0.080	0.087	0.070	0.015	0.252	2
Alternativa 3	0.120	0.037	0.030	0.052	0.239	3
Alternativa 4	0.080	0.037	0.030	0.052	0.199	4

Módulo 3: Sistema de ventilación y control de temperatura

Los criterios considerados para el módulo tres son:

- Tiempo, este factor interviene en gran medida al pre-secado, debido a que según esto se necesitara más o menos calor.
- Rendimiento, para tener una ventilación adecuada el equipo debe ser el adecuado dependiendo del caso.
- Precio, el usuario indica que el costo no debe ser muy elevado, por lo que se debe elegir la mejor opción, sin interferir con el funcionamiento.

Para el módulo 2, en la tabla 5.3.5 se obtiene el peso específico de los criterios, además en las tablas presentadas en el Anexo II, se tienen los pesos específicos individuales.

Tabla 5.3.5. Ponderación del peso específico de cada criterio del módulo 3.

Rendimiento > Tiempo > Precio					
Criterio	Tiempo	Rendimiento	Precio	$\Sigma +1$	Ponderado
Tiempo		0	1	2	0.333
Rendimiento	1		0.5	2.5	0.416
Precio	0	0.5		1.5	0.250
			Suma	6	1

Para la solución del módulo 3 se toma a la alternativa 4, teniendo la puntuación más alta, seguida de las otras tres alternativas, como se observa en la tabla 5.3.6.

Tabla 5.3.6. Tabla de conclusiones del módulo 3.

Conclusión	Rendimiento	Tiempo	Precio	Σ	Preferencia
Alternativa 1	0.062	0.050	0.075	0.187	4
Alternativa 2	0.062	0.050	0.100	0.212	3
Alternativa 3	0.145	0.116	0.025	0.286	2
Alternativa 4	0.145	0.116	0.050	0.311	1

Modulo 4: Salida de frutas pre-secadas

Debido a que el módulo cuatro solo dispone de una alternativa, no se realiza la evaluación.

Prototipo

Después de realizar el análisis de los diferentes módulos que comprenden el diseño del horno de pre-secado de fruta, además de la respectiva evaluación de cada una de sus alternativas, se seleccionó los elementos más adecuados, los que sirvieron para realizar un bosquejo del equipo como se puede observar en la figura 5.3.1.

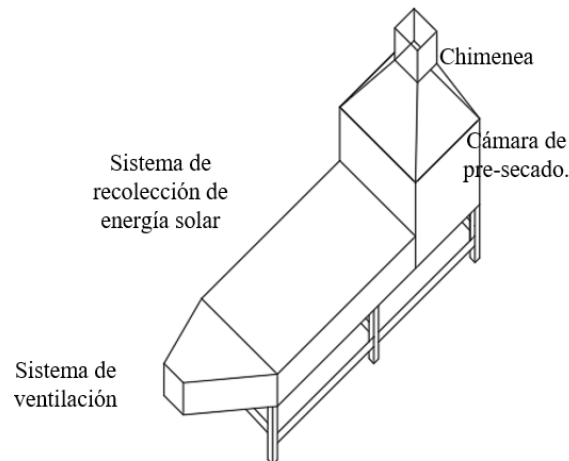


Figura 5.3.1. Prototipo de horno de pre-secado por radiación solar.

5. 4 Modelación y diseño de componentes del deshidratador

solar

En esta sección se realiza la modelación y el diseño de los componentes del colector solar, contando con tres partes importantes, siendo el colector solar, la cámara de pre-secado y la estructura que mantiene a todo el equipo.

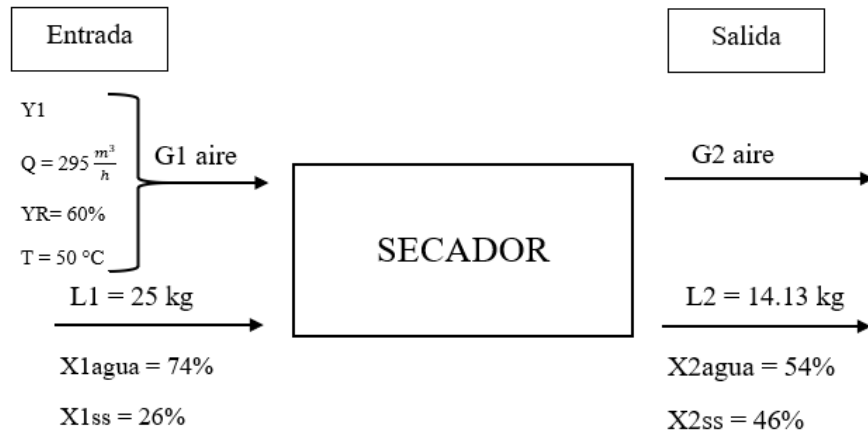
Es relevante destacar que existen ciertos elementos que forman parte del equipo, pero que no requieren de un diseño específico ya que sus características técnicas son proporcionadas por el fabricante al momento de su compra. Los catálogos correspondientes se encuentran disponibles en el Anexo III.

Balance de Masa

Para este trabajo se pretende tomar como prioridad al banano, debido a que es el fruto de mayor exportación en el Ecuador como se muestra en la figura 4.2.2. Además, para realizar el pre-secado correspondiente se tiene una tanda de 25 kg, acomodados en 24 bandejas.

El porcentaje de agua en el banano según (sharrock y Lusty 2000), oscila entre 65% a 83%, por lo que se ha tomado para el respectivo análisis un valor referencial de 74% de contenido de agua. Debido a que el enfoque del trabajo es tener un ahorro energético se pretende reducir el porcentaje de agua a un 54%. Tomando en cuenta la presión de Quito 540 mmHg y la humedad relativa del proceso 60%.

Para realizar el respectivo balance de masa se tiene los valores de entrada y salida del sistema los cuales se representan en un esquema, en el que es posible visualizar de una mejor manera las diferentes variables que se presentan en el secado. El caudal se lo obtiene directamente del ventilador centrífugo el cual se muestra en el Anexo III, figura A.3.2.



Donde,

L : Flujo másico de producto

Xagua: Porcentaje de agua en el producto.

Xss: Porcentaje de sólido en el producto.

G : Flujo de aire.

Y : Humedad absoluta del aire.

Q : Caudal del aire de entrada.

YR : Humedad relativa del aire de entrada.

T : Temperatura del aire de entrada.

PT : Presión de trabajo.

W_{ss} : Relación de kilogramos de agua presentes sobre los kilogramos de agua del sólido seco.

Al plantear el balance general del secador se tiene la ecuación 5.4.1.

$$L1 + G1 = L2 + G2$$

Ecuación 5.4.1. Balance General.

Debido a que este es un proceso de secado, el fruto pierde agua y a su vez es ganado por el aire que está ingresando, por lo que el balance se lo realiza en base seca, expresado por la ecuación 5.4.2.

$$S1 * W1_{ss} + G1 * Y1 = S2 * W2_{ss} + G2 * Y2$$

Ecuación 5.4.2. Balance en base seca.

Sabiendo que,

$S1 = S2$, la masa de solido seco, entrante y saliente es la misma.

$G1 = G2$, la masa de aire seco, entrante y saliente es la misma.

$$S1 * (W1_{ss} - W2_{ss}) = G2 * (Y2 - Y1)$$

El sólido seco se lo obtiene del 26% de los 25 kg, por lo tanto,

$$S1 = 25 \text{ kg} * 0.26 = 6.5 \text{ kg solido seco}$$

$$W1_{ss} = \frac{0.74}{1 - 0.74} = 2.84 \frac{\text{kg agua}}{\text{kg solido seco}}$$

$$W2_{ss} = \frac{0.54}{1 - 0.54} = 1.17 \frac{\text{kg agua}}{\text{kg solido seco}}$$

Teniendo que la cantidad de agua evaporada de la siguiente manera,

$$S1 * (W1_{ss} - W2_{ss}) = 10.85 \text{ kg agua evaporada}$$

Basándose en la humedad relativa, se utiliza la presión parcial del agua ($P'A$) y la presión de vapor del agua (PA°), para encontrar la humedad absoluta, se puede aplicar la ecuación 5.4.3.

$$YR = \frac{P'A}{PA^\circ} (100)$$

Ecuación 5.4.3. Actividad del agua.

Utilizando la ecuación de Antoine 5.4.4, se tienen las constantes A, B y C las cuales se las obtiene de la tabla del anexo, obtenida de Valiente, A (1991).

$$\log PA^\circ = A - \frac{B}{T + C}$$

Ecuación 5.4.4. Ecuación de Antoine.

Se tiene que,

$$A = 8.107$$

$$B = 1750.286$$

$$C = 235$$

Obteniendo de esta manera que, $PA^\circ = 92.5327 \text{ mmHg}$.

Al reemplazar los valores obtenidos en la ecuación, al despejar se tiene que,

$$P'A = 55.52 \text{ mmHg}.$$

La humedad absoluta de entrada esta descrita por la ecuación 5.4.5.

$$Y1 = \frac{P'A}{PT - PA^\circ} * \frac{PM \text{ agua}}{PM \text{ aire seco}}$$

Ecuación 5.4.5. Humedad absoluta.

Siendo $PM \text{ agua} = 18 \frac{\text{kg}}{\text{kgmol}}$ y $PM \text{ aire seco} = 29 \frac{\text{kg}}{\text{kgmol}}$, se obtiene que,

$$Y1 = 0.071 \frac{\text{kg agua}}{\text{kg aire seco}}$$

La cantidad de aire necesaria para el proceso de la obtiene de la forma expresada en la ecuación 5.4.6.

$$G1 = \frac{Q}{VH}$$

Ecuación 5.4.6. flujo de aire.

Tomando en cuenta que $Q = 295 \frac{m^3}{h}$ y $VH = 1.43$, entonces,

$$G1 = 206.3 \frac{kg \text{ aire seco}}{h}$$

Para encontrar esta temperatura de salida del aire, se tiene el supuesto de que la máxima cantidad de aire es la requerida, para que el fluido salga saturado con agua, por ende, se hace uso de la temperatura de 50 °C y $Y1$, con estos valores se procede a colocar los datos en el software CYTsoft Psychrometric Chart, obteniendo que la temperatura de salida es de 44 °C.

Calor necesario para pre-secar la fruta

Se toma una temperatura de 50 °C, la cual es la temperatura mínima de deshidratación del banano, pese a ser un pre-secado lo que se pretende es reducir el número que horas que normalmente se demora al deshidratar. Para la temperatura ambiente se toma de 18°C que es habitualmente en Quito. Para esto se aplica la ecuación 5.4.7.

$$Qf = m_a C_p (T_s - T_a)$$

Ecuación 5.4.7. Calor necesario para el sistema.

Donde,

Qf : Calor necesario para pre-secar la fruta.

m_a : masa de agua a ser evaporada

C_p : calor específico del agua

T_s : Temperatura de secado

T_a : temperatura ambiente

El $C_p = 4182 \frac{J}{kg \cdot K}$, obteniendo que,

$$Qf = 1451.99 \text{ KJ}$$

Por lo tanto, la potencia necesaria se describe como la ecuación 5.4.8.

$$Qf' = \frac{Q}{t}$$

Ecuación 5.4.8. Potencia calorífica.

Obteniendo que, para cuatro horas de secado, se necesita,

$$Qf' = 100.83 \text{ W}$$

Análisis de pérdidas en el colector solar

Para este análisis, es pertinente identificar las partes que componen la cámara de colector solar, mostradas en la figura 5.4.1, de esta manera se tiene una mejor visión de los cálculos necesarios para obtener el calor perdido.

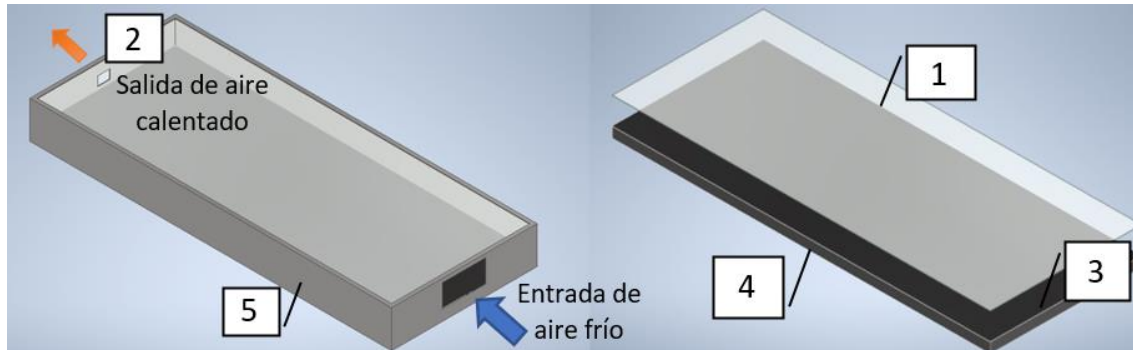


Figura 5.4.1. Colector solar de placa plana.

De esta manera los componentes están ordenados como se muestra en la tabla 5.4.1.

Tabla 5.4.1. Componentes del colector solar.

N°	Componente
1	Vidrio transparente
2	Paso de aire
3	Placa colectora (tol negro)
4	Aislante (lana de roca)
5	Cubierta (tol galvanizado)

De manera que al analizar las resistencias térmicas se tiene el diagrama mostrado en la figura 5.4.2.

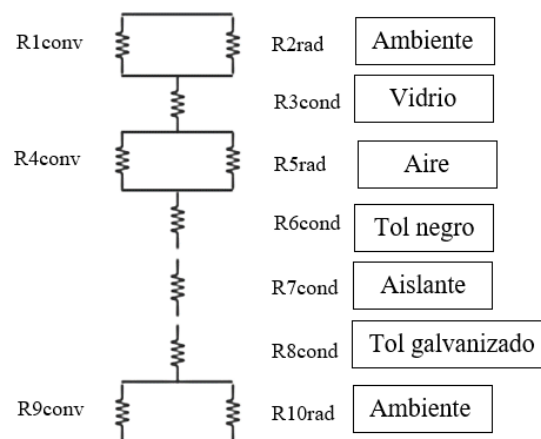


Figura 5.4.2. Diagrama de resistencias térmicas para el colector solar.

Análisis por convección en el componente 1 (exterior del vidrio)

De la aplicación meteorológica Windy, se obtuvo que la velocidad del viento promedio en Quito es de $7 \frac{km}{h}$ o $1.67 \frac{m}{s}$, de esta manera es posible realizar el cálculo del coeficiente de convección, el cual está expresado por la ecuación 5.4.9.

$$hc = 5.7 + 3.8v$$

Ecuación 5.4.9. Coeficiente de convección para exterior.

Donde,

hc : Coeficiente de convección.

v : velocidad del aire al exterior.

De manera que se obtiene el resultado,

$$hc = 12.046 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

Con el objetivo de obtener la energía necesaria para el pre-secado del fruto, se tiene un área de $2.5 \text{ m} \times 1 \text{ m}$, entonces,

$$A = 2.5 \text{ m}^2$$

Para la resistencia por convección ($R1$), se tiene la ecuación 5.4.10.

$$R1 = \frac{1}{hc * A}$$

Ecuación 6. Resistencia por convección.

Reemplazando, $R1 = 0.0332 \frac{^\circ K}{W}$.

Análisis por radiación en el componente 1

Para obtener la resistencia por radiación, es necesario el cálculo del factor de radiación ($hrad$), descrito por la ecuación 5.4.11.

$$hrad = \epsilon_{vidrio} \sigma (T1 + T_{cielo})(T1^2 + T_{cielo}^2)$$

Ecuación 5.4.11. Factor de radiación.

Donde,

ϵ : Emisividad de la superficie del vidrio.

σ : Constante de Boltzmann.

T : Temperaturas termodinámicas.

Para obtener T_{cielo} , se aplica la siguiente ecuación 5.4.12.

$$T_{cielo} = 0.0552 T1^{1.5}$$

Ecuación 5.4.12. Temperatura de cielo.

Cabe notar que de la aplicación Windy, se halló que en las horas de sol en Quito se tienen temperaturas de entre 18 °C y 24 °C, por lo que se escoge la más baja en condiciones de invierno para una mejor optimización, la cual es de 18 °C o 291.15 °K.

Reemplazando los datos se tiene que,

$$T_{\text{cielo}} = 277.36 \text{ } ^\circ K$$

$$h_{\text{rad}} = 4.7 \frac{w}{m^2 \text{ } ^\circ K}$$

De manera que la resistencia a la radiación (R2), es

$$R2 = \frac{1}{h_{\text{rad}} * A} = 0.085 \frac{^\circ K}{w}$$

Análisis por conducción en el componente 1 (vidrio)

Para este análisis se tiene que la resistencia R3cond, esta descrita como la ecuación 5.4.13.

$$R3 = \frac{L}{K_{\text{vidrio}} * A}$$

Ecuación 5.4.13. Resistencia por conducción.

Siendo un vidrio de 5 mm de espesor con un $K_{\text{vidrio}} = 0.7 \frac{w}{m \text{ } ^\circ K}$, entonces,

$$R3 = 2.85 \times 10^{-3} \frac{^\circ K}{w}$$

Análisis por convección en el componente 2 (paso de aire)

Para este análisis se debe tener en cuenta los siguientes valores del aire que influyen directamente en los cálculos,

$$T_m = \frac{T_s + T_a}{2} = 307.15 \text{ } ^\circ K$$

$$\rho = 1.1488 \frac{kg}{m^3}$$

$$C_p = 1007 \frac{J}{kg \text{ } ^\circ K}$$

$$v = 1.645 \times 10^{-3} \frac{m^2}{s}$$

$$k = 0.026176 \frac{w}{m \text{ } ^\circ K}$$

$$Pr = 0.72708$$

Primero es necesario verificar si el flujo de aire se encuentra en régimen laminar o turbulento, tomando en cuenta que al estar encerrado por una carcasa se lo puede considerar un ducto,

para ello se trabaja con Reynolds (Re), debido a que la convección es forzada a causa de la implementación de un ventilador, se tiene la ecuación 5.4.14.

$$Re = \frac{\mu Lc}{\nu}$$

Ecuación 5.4.14. Número de Reynolds.

Para hallar la longitud característica se toma en cuenta la geometría transversal del canal de aire, como se puede apreciar en la figura 5.4.3, entre el vidrio y la placa colectora, existe un espacio de 175 mm por el que atraviesa el aire, con una base de 1 m.

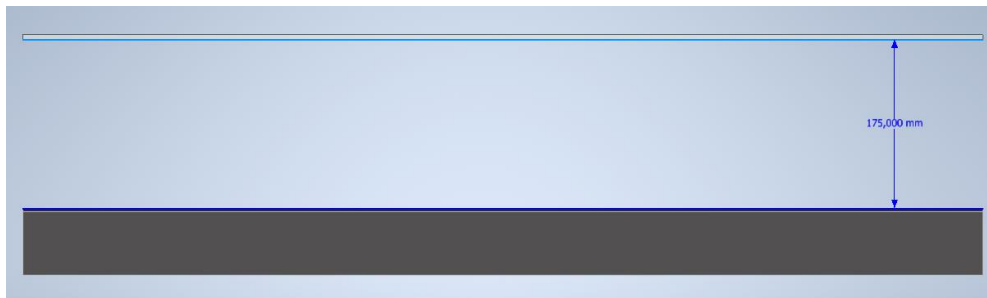


Figura 5.4.3. Canal de aire del colector solar.

Entonces, se tiene un área característica, $Ac = 0.175 \text{ m}^2$, y un perímetro $P = 2.35 \text{ m}$, de manera que Lc está descrita por la ecuación 5.4.15.

$$Lc = \frac{4Ac}{P} = 0.29 \text{ m}$$

Ecuación 5.4.15. Longitud característica.

Para el cálculo de la velocidad promedio (μ) de la entrada del fluido, se parte del flujo masico proporcionado por el ventilador seleccionado, el cual es $\dot{m} = 0.0941 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$. De manera que la velocidad promedio esta descrita por la ecuación 5.4.16.

$$\mu = \frac{\dot{m}}{\rho Ac} = 0.46 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Ecuación 5.4.16. Velocidad promedio.

De manera que al reemplazar en la ecuación de Reynolds se obtiene que,

$$Re = 11661.105$$

Siendo que Re es mayor a 4000, se considera que el flujo de aire se encuentra en régimen turbulento, por lo tanto, es posible encontrar el número de Nusselt (Nu), el cual está descrito según la ecuación 5.4.17 de Dittus Boelter,

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^n$$

Ecuación 5.4.17. Ecuación de Dittus Boelter.

En flujo turbulento se tiene que $n = 0.3$ para calefacción, por lo que al reemplazar se obtiene que,

$$Nu = 37.46$$

Al obtener Nu , se procede a realizar el cálculo del coeficiente de convección, expresado por la ecuación 5.4.18.

$$Nu = \frac{h_{conv} Lc}{k} \rightarrow h_{conv} = \frac{Nu k}{Lc}$$

Ecuación 5.4.18. Coeficiente de convección.

Reemplazando, $h_{conv} = 3.38 \frac{w}{m^2 \cdot ^\circ K}$

Siendo posible calcular $R4$, teniendo que,

$$R4 = \frac{1}{h_{conv} * A} = 0.118 \frac{^\circ K}{w}$$

Análisis por radiación en el componente 2 (paso de aire)

Considerando que al interior del colector se provoca un efecto invernadero, el factor de radiación ($hrad$), se expresa por la ecuación 5.4.19.

$$hrad = \frac{\sigma (Ta^2 + Ts^2)(Ta + Ts)}{\frac{1 - \epsilon_{vidrio}}{\epsilon_{vidrio}} + \frac{1 - \epsilon_{tol}}{\epsilon_{tol}}}$$

Ecuación 5.4.19. Factor de radiación.

Teniendo que, $\epsilon_{vidrio} = 0.9$ y $\epsilon_{tol} = 1$ (debido a que se encuentra pintado de negro), al reemplazar se obtiene,

$$hrad = 59.30 \frac{w}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

Dando como resultado $R5$,

$$R5 = \frac{1}{hrad * A} = 6.74 \times 10^{-3} \frac{^\circ K}{w}$$

Análisis por conducción en el componente 3 (placa colectora)

El tol utilizado para la placa colectora tiene como espesor 4 mm y $k_{placa} = 20 \frac{w}{m \cdot ^\circ K}$, teniendo en cuenta esto, se tiene que,

$$R6 = \frac{L}{k_{placa} A} = 8.88 \times 10^{-5} \frac{^\circ K}{w}$$

Análisis por conducción en el componente 4 (aislante, lana de roca)

Para el aislante se utiliza un espesor de 65 mm y $k_{aislante} = 0.025 \frac{w}{m \cdot ^\circ K}$, por lo cual,

$$R7 = \frac{L}{k_{aislante} A} = 1.04 \frac{^\circ K}{w}$$

Análisis por conducción en el componente 5 (tol galvanizado)

Se utiliza el mismo material que el de la cámara de secado (sin pintura), con un $k_{placa} = \frac{w}{m \cdot ^\circ K}$, para evitar corrosión y hongos.

$$R8 = \frac{L}{k_{placa} A} = 3.18 \times 10^{-5} \frac{^\circ K}{w}$$

Análisis por convección en el componente 5 (exterior, tol galvanizado)

El coeficiente de convección es el mismo del componente 1, teniendo,

$$hc = 12.046 \frac{w}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

Por lo tanto,

$$R9 = \frac{1}{h_{conv} * A} = 0.0332 \frac{^\circ K}{w}$$

Cabe notar que no se realiza un análisis por radiación debido a que es en la parte inferior por lo que se podría decir, $R10 = 0$

Coefficiente global de transferencia de calor (U)

El coeficiente esta descrito por la ecuación 5.4.20, teniendo en cuenta que $\sum R = 1.32 \frac{^\circ K}{w}$.

$$\frac{1}{U} = \frac{\sum R}{A}$$

Ecuación 5.4.20. Coeficiente global de transferencia de calor.

Por tanto,

$$U = \frac{A}{\sum R} = 1.89 \frac{w}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

Pérdidas en el colector solar

Las pérdidas están descritas por la ecuación 5.4.21.

$$Q_{perdidas} = A U (T_s - T_a) = 151.2 \text{ w}$$

Ecuación 5.4.21. Pérdidas de calor.

Calor útil generado por el colector solar

El calor generado por el colector solar, esta descrito por la ecuación 5.4.22.

$$Q_g = Fr A [\tau \alpha I - U(T_m - T_a)]$$

Ecuación 5.4.22. Calor útil generado por el colector.

Donde,

Fr : Factor de remoción del aire.

τ : Transmitancia de la cubierta, 0.8 para vidrio de 5 mm.

α : Absortancia del colector, 0.7 de la placa recubierta.

I : Irradiación, aproximadamente $592.5 \frac{\text{w}}{\text{m}^2}$, tomando un valor referencial de diferentes días del mes de febrero mostrado en las figuras del Anexo, tomadas de la página web tu tiempo.net que muestra datos de la radiación en tiempo real. (Tu Tiempo.net, 2023)

El factor de remoción, se lo puede calcular con la ecuación 5.4.23.

$$Fr = \frac{\dot{m} C_{p\text{aire}}}{U A} \left(1 - e^{\left(\frac{-F' U A}{\dot{m} C_{p\text{aire}}} \right)} \right)$$

Ecuación 5.4.23. Factor de remoción.

Para el factor de eficiencia (F') se tiene la ecuación 5.4.24.

$$F' = \frac{1}{1 + \frac{U}{h_{conv} + \frac{1}{h_{rad}}}} = 0.64$$

Ecuación 5.4.24. Factor de Eficiencia.

Por lo que, al reemplazar los valores correspondientes en la ecuación, se tienen que,

$$Fr = 0.63$$

Reemplazando los respectivos valores en la ecuación, se tiene que,

$$Q_g = 474.96 \text{ w}$$

Análisis de cámara de secado por medio de simulación

Para el correspondiente análisis, es importante los datos obtenidos en el balance de masa, debido a que estos valores servirán como condiciones de borde para la simulación,

permitiendo observar el comportamiento del fluido y de la temperatura dentro de la cámara de secado.

La modelación de la cámara de secado y el colector solar, se lo realizo en el software inventor, como se muestra en la figura, posterior mente se lo exporta al software Ansys Student el cual permite realizar simulaciones no complejas, y aportando operaciones necesarias, según lo permitido por la licencia de estudiante.

Distribución de temperatura y comportamiento del aire dentro de la cámara de secado

Lo que se busca es un análisis del comportamiento del aire que ingresa o sale, y la distribución de temperatura dentro de la cámara de secado, se hace uso del módulo de Ansys Fluid Flow, aplicando la dinámica de fluidos computacional (CFD).

Las condiciones de borde que se involucran en el análisis correspondiente parten de los cálculos y análisis realizados en el balance de masa del cual se obtienen variables importantes como el flujo de aire y la temperatura de salida del sistema, se puede apreciar en la tabla 5.4.2, más a detalle las magnitudes de dichas variables, siendo indispensables.

Tabla 5.4.2. Condiciones de borde para el análisis mediante simulación.

Condiciones de borde	Magnitud
Gravedad	$9.8 \frac{m}{s^2}$
Presión de trabajo	$75425 Pa$
Temperatura ambiente	$18 ^\circ C$
Velocidad de entrada	$0.46 \frac{m}{s}$
Temperatura de entrada del aire a la cámara de secado	$50 ^\circ C$
Temperatura de salida del aire de la cámara de secado	$44 ^\circ C$

Cabe mencionar que las ecuaciones de energía deben estar activadas, y se utilizó el modelo K-epsilon, el cual es adecuado para modelar flujos de aire, también es importante que se trabaje sobre el volumen interno debido a que el comportamiento del fluido se da al interior de la cámara de secado.

De manera que al realizar la simulación se obtuvo los siguientes resultados:

Análisis de temperaturas

Como se puede observar en la figura 5.4.4, la temperatura se mantiene uniforme a 322 °K o 49 °C, tornándose de un color anaranjado, por otro lado, en la salida se aprecia un descenso de temperatura lo que indica que el aire húmedo está siendo expulsado al ambiente.

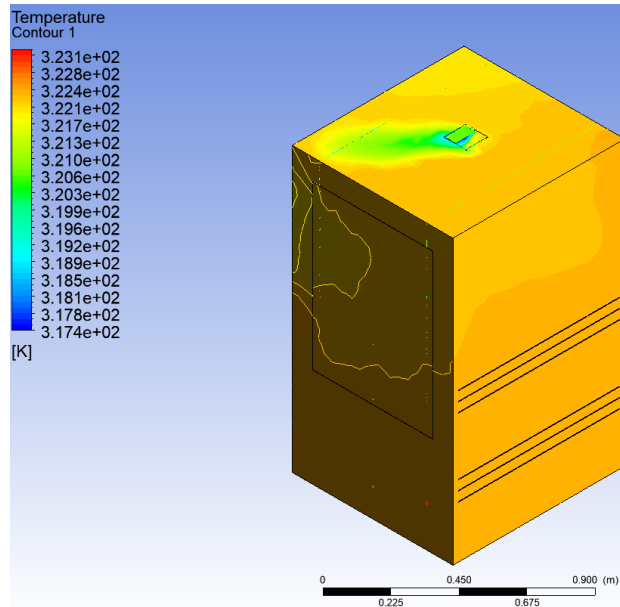


Figura 5.4.4. Distribución de temperatura sobre las paredes de la cámara de secado.

En la parte interna se tiene la figura 5.4.5, en donde se observa cómo es la distribución de la temperatura entre bandejas, esta se mantiene en un rango deseado, distribuyéndose de manera adecuada, con puntos fríos cerca de la salida del aire.

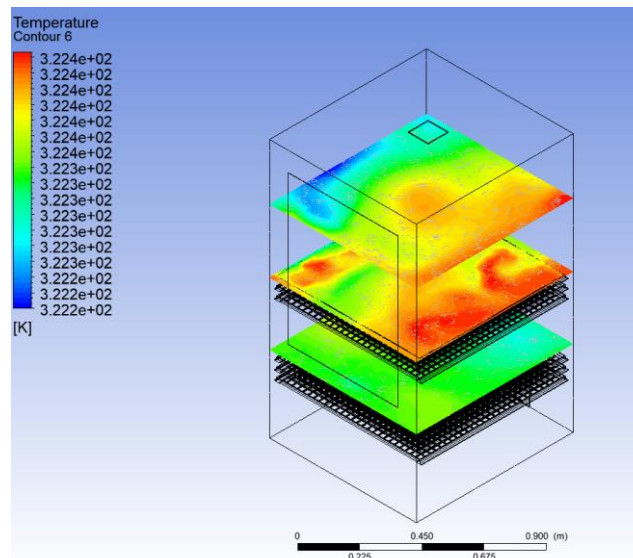


Figura 5.4.5. Distribución interna de temperatura al interior de la cámara de secado, planos horizontales.

Visto desde otro ángulo se tiene la figura 5.4.6, mostrando que las partes más calientes se encuentran en las partes inferior y media, y disminuye conforme va subiendo el aire, esto

debido a que al pre-secar, el aire no es completamente seco y pierde temperatura, además de tratarse de una convección forzada.

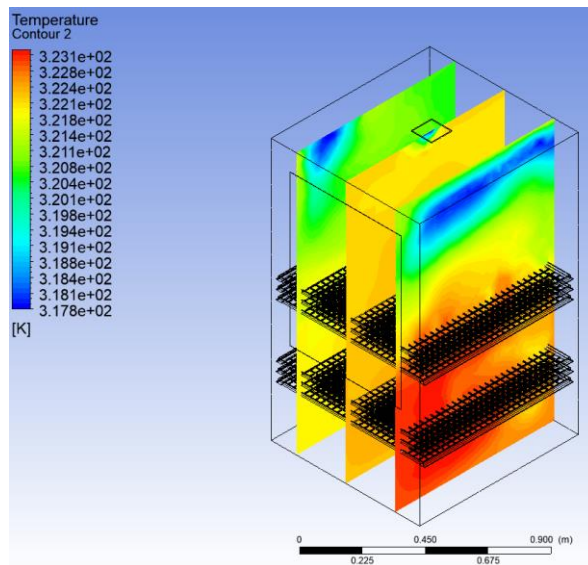


Figura 5.4.6. Distribución interna de temperatura al interior de la cámara de secado, planos verticales.

Análisis de velocidades

En esta parte lo importante a analizar es el comportamiento del aire, en la figura 5.4.7 se puede apreciar que existe aumentos y descensos de la velocidad del aire, los planos alejados de las bandejas muestran altas velocidades, por otra parte, el plano medio el cual está más cerca de la bandeja tiene bajas velocidades, esto es debido a la restricción a la circulación que ofrecen las bandejas.

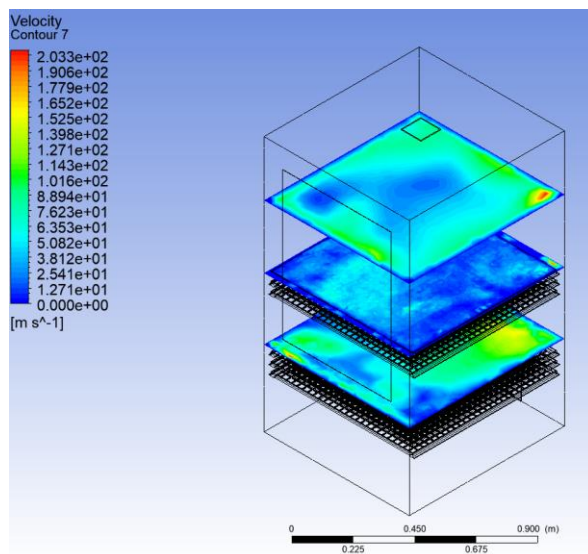


Figura 5.4.7. Velocidad del aire al interior de la cámara, planos horizontales.

En la figura 5.4.8, se muestran los planos verticales en donde se aprecia aumentos de velocidad en la parte superior dando a entender que si existe circulación de aire por lo que el pre-secado de la fruta es factible con la velocidad proporcionada inicialmente al aire.

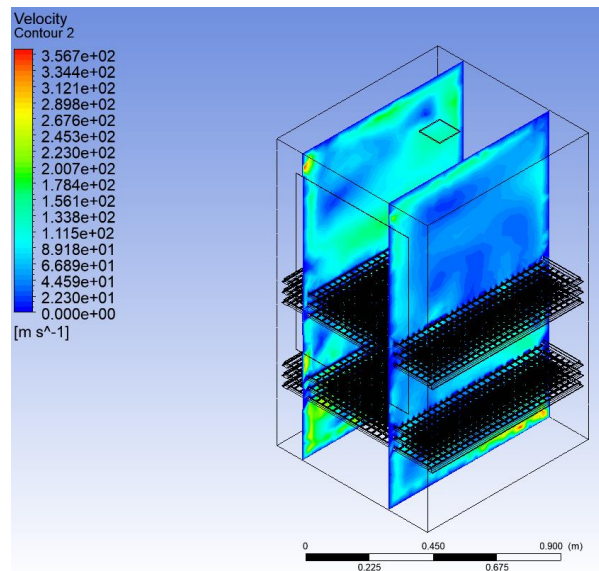


Figura 5.4.8. Velocidad del aire al interior de la cámara, planos verticales.

En la figura 5.4.9 se realizó un streamline, en donde se muestra la circulación del fluido dentro de la cámara, apreciando que se tiene un comportamiento turbulento, permitiendo de esta manera mejorar la transferencia de calor, la cual se muestra en la simulación térmica.

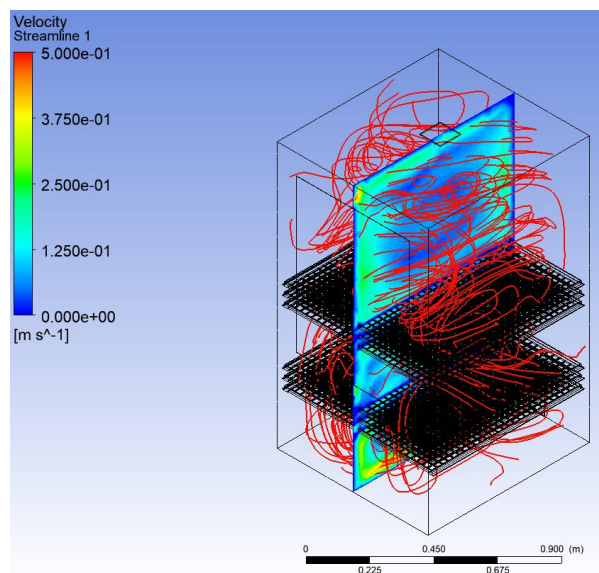


Figura 5.4.9. Líneas de turbulencia al interior de la cámara de secado.

Es importante notar, que en la simulación no se utilizó todas las bandejas, debido a que implica un alto análisis computacional, lo cual está limitado por la licencia de Ansys Student, por lo que, para realizar un análisis adecuado al fenómeno mostrado, se optó por incluir bandejas en secciones las cuales permitan ver el comportamiento y la circulación del aire entre y a distancia de las bandejas.

Transferencia de calor en las paredes de la cámara de secado

La transferencia de calor ocurre de la parte interior hacia la exterior, debido a que la temperatura en las paredes internas (50 °C) es mayor que la ambiente (18 °C). De manera que mediante la simulación se busca obtener las pérdidas de calor que se producen y de esta manera verificar si el calor entregado por el colector solar es el suficiente para el pre-secado de la fruta.

El modelo matemático que se aplica es similar al que se realizó para las pérdidas de calor en el colector solar, debido a que existe un movimiento de fluido (aire caliente), el cual circula por la cámara de secado, al estar encerrado para que se dé la transferencia de calor, este debe pasar por un medio resistivo, el cual se representa a continuación mediante un esquema de una de las paredes, mostrado en la figura 5.4.10.

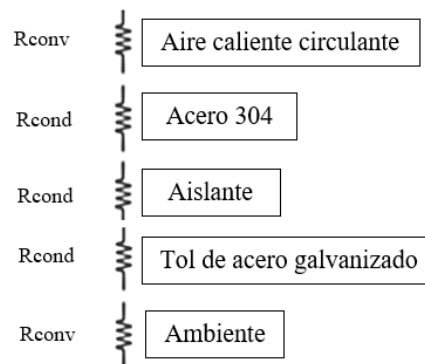


Figura 5.4.10. Diagrama de resistencias térmicas en una pared de la cámara de secado.

Al realizar la simulación respectiva, en la figura 5.4.11, se presenta la vista frontal en donde se observa claramente la transferencia de calor de la pared interna hacia la externa, con un valor de 50 °C para la parte interior, entre 43 °C y 25 °C a medida que se acerca a la superficie por medio del aislante, para finalmente llegar a la pared externa en donde se tiene la temperatura ambiente establecida de 18 °C.

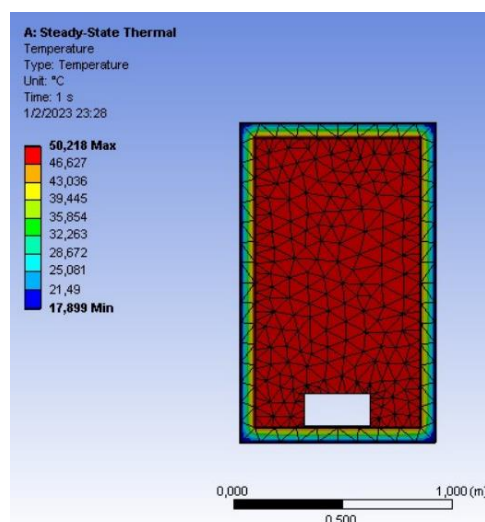


Figura 5.4.11. Transferencia de calor en la cámara de secado, vista frontal.

En la figura 5.4.12, se observa que toda la pared del exterior se encuentra a baja temperatura, dándose la transferencia de calor desde dentro hacia a fuera, por la diferencia de calor.

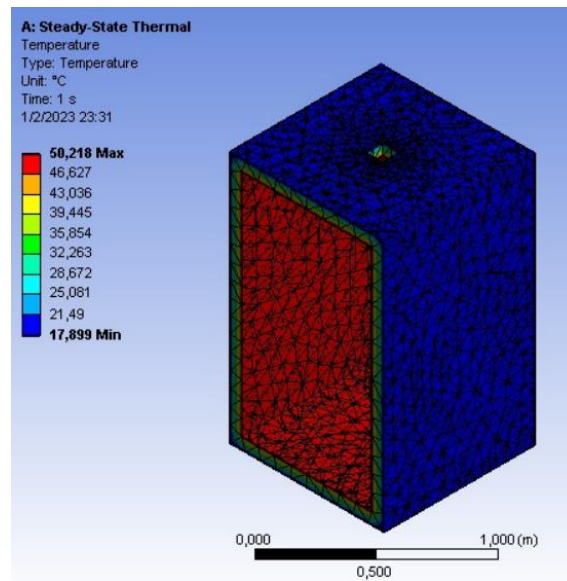


Figura 5.4.12. Transferencia de calor en la cámara de secado, vista isométrica.

En la figura 5.4.13, se presenta la puerta de la cámara de secado, la cual encaja justo en la parte interna para que no haya grandes pérdidas de calor, es necesario notar que en esta parte se tiene aislante y un medio resistivo de aire entre vidrio y vidrio, esto con el fin de poder observar desde fuera si el secado de la fruta es el adecuado.

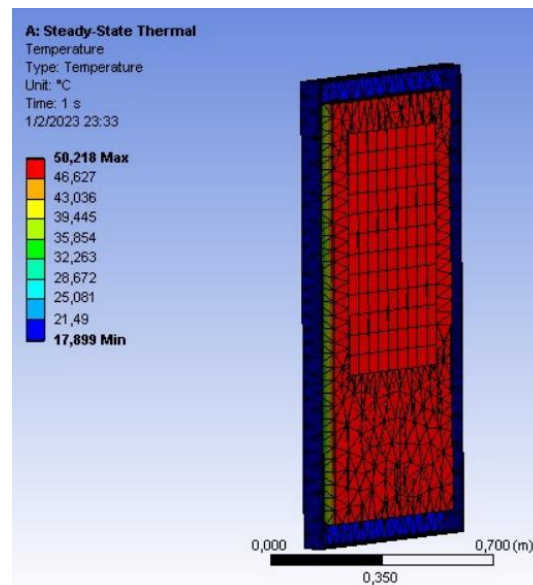


Figura 5.4.13. Transferencia de calor en la puerta de la cámara de secado.

En la figura 5.4.14, se puede observar el Total Heat Flux, el cual indica la cantidad total de energía térmica que fluye a través de una superficie en una simulación de transferencia de calor. Obteniendo así valores mínimos de $5.307 \times 10^{-4} \frac{W}{m^2}$ y máximos de $9481.1 \frac{W}{m^2}$.

De manera que las pérdidas obtenidas en la cámara de secado son de 209.49 w, en el software el resultado se muestra negativo, pero es debido a la dirección en la que viaja el calor.

	Time [s]	<input checked="" type="checkbox"/> Reaction Probe [W]
1	1.	-209,49

Figura 5.4.14. Resultado de las pérdidas de calor, mediante simulación.

De esta manera se verifica que el calor útil entregado por el colector solar por lo que el diseño fue el adecuado, sin sobredimensionar los componentes de este. De manera que,

$$Q_{fruta} + Q_{perdidas\ colector} + Q_{perdidas\ camara} \leq Q_{generado}$$

$$461.52\ w \leq 474.96\ w$$

Análisis de la estructura de soporte

Para este análisis, al ser una estructura que soporta un peso fijo se tiene una carga muerta de 552.603 Kg de la cámara de secado y 276.998 Kg del colector solar, las cuales actúan sobre los elementos de la estructura, siendo las vigas y las columnas.

Vigas

En la estructura se considera que los tubos cuadrados soldados horizontalmente son vigas empotradas de ambos lados como se muestra en la figura 5.4.15, por lo que el análisis consiste en verificar:

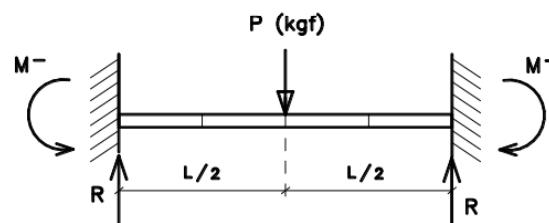


Figura 5.4.15. Sección de viga empotrada por ambos lados.

- a) Fuerza cortante en los apoyos, descrita por la ecuación 5.4.25, donde P es la fuerza que actúa sobre la viga. (Nisbett, 2008)

$$V = \frac{P}{2}$$

Ecuación 5.4.25. Fuerza cortante en apoyos.

- b) Momento flector en los apoyos, ecuación 5.4.26, donde L es la longitud de la viga. (Nisbett, 2008)

$$M = \frac{P * L}{8}$$

Ecuación 5.4.26. Momento flector en apoyos.

- c) Esfuerzos cortantes τ , esfuerzos normales σ , los cuales se los puede obtener usando el círculo de Mohr.
- d) La deformación unitaria normal ϵ esta embebida en la ecuación 5.4.27, donde E corresponde al Módulo de Young. (Nisbett, 2008)

$$\sigma = E * \epsilon$$

Ecuación 5.4.27. Esfuerzo normal.

- e) Otra forma de obtener la deformación unitaria normal es aplicando la ecuación 5.4.28, donde δ es el cambio de longitud (deformación), sobre la longitud inicial.

$$\epsilon = \frac{\delta}{L}$$

Ecuación 5.4.28. Deformación normal unitaria.

Columnas

En el diseño de columnas, es posible utilizar el método LRFD de la AISC. Este método establece que la fuerza nominal de resistencia ϕP_n debe ser superior a la carga factorada por la carga muerta, que en este caso corresponde a P_u , tal como se indica en la ecuación 5.4.29. (Salmon, Johnson, & Malhas, 2009)

$$\phi P_n > P_u$$

Ecuación 5.4.29. Relación entre la fuerza nominal de resistencia y la carga factorada.

Según la relación de esbeltez, ecuación 5.4.30, se obtendrá una fuerza crítica F_{cr} . (Salmon, Johnson, & Malhas, 2009)

$$\frac{K * L}{r}$$

Ecuación 5.4.30. Relación de esbeltez.

Haciendo posible realizar el cálculo de P_n , ecuación 5.4.31. (Salmon, Johnson, & Malhas, 2009)

$$P_n = F_{cr} * Area$$

Ecuación 5.4.31. Fuerza nominal.

Cabe notar que ϕ es el factor de resistencia 0.9 y K se lo encuentra en la tabla del anexo, siendo una columna empotrada en ambos lados.

Simulación de la estructura en Inventor

Tomando en cuenta lo mencionado, se realizan las simulaciones en Inventor, permitiendo observar las condiciones de la estructura que permitirá soportar las respectivas cargas del horno de secado.

En la figura 5.4.16 se puede apreciar las deformaciones que existe tanto en las vigas como en las columnas, teniendo una deformación máxima de 0.99 mm para la zona media de las vigas, en donde se asienta la cámara de secado, y deformaciones mínimas en las columnas y vigas en donde se asienta el colector, de aproximadamente 0.2 mm, por lo que son bajas tomando en cuenta que la carga considerada es la máxima.

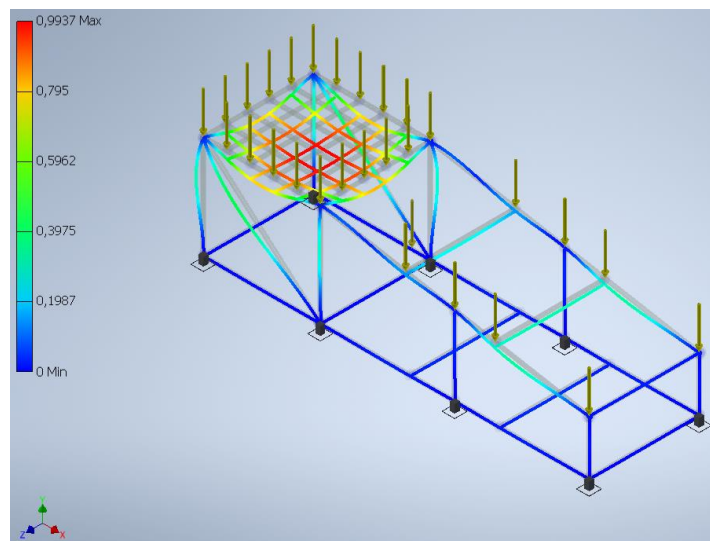


Figura 5.4.16. Deformaciones en la estructura.

En la figura 5.4.17, se muestran los esfuerzos máximos que ofrece la estructura en el que se tiene un máximo de 41.08 MPa, pero el acero usado en la estructura soporta hasta aproximadamente 248 MPa siendo resistente a la fractura y a la deformación bajo carga.

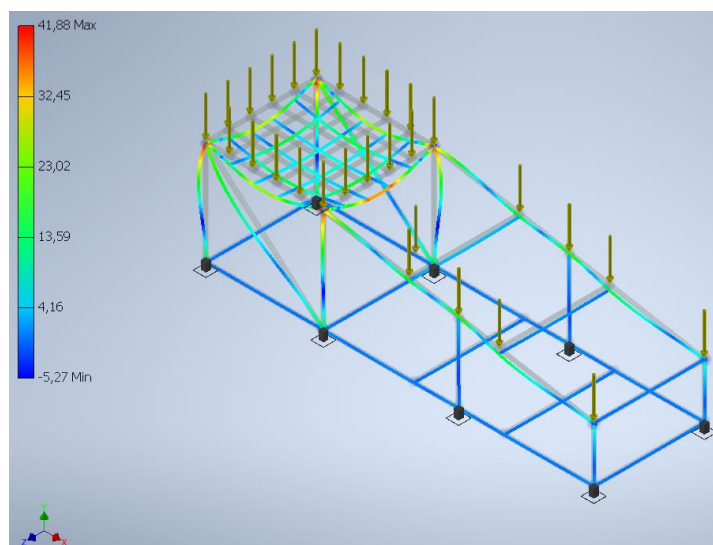


Figura 5.4.17. Esfuerzo máximo de la estructura.

5. 5 Costo de los componentes del horno de pre-secado

En la tabla 5.5.1, se presenta, la cantidad de material que necesita el horno, lo que se vende en el mercado y lo que se puede comprar según las medidas que se ofrecen, se va a tener sobrantes lo cual es normal debido a que no es posible comprar la cantidad exacta.

Tabla 5.5.1. Cantidad necesaria de material.

Material	Cantidad	Mercado	Necesarios
Tubos cuadrados galvanizados	40.75 m	6 m	7
Ángulos acero A304	25.14 m	6 m	5
Plancha de acero A304	7.67 m ²	1.22 x 2.44 m	3
Plancha de acero galvanizado	11.4 m ²	1.22 x 2.44 m	4
Panel aislante de lana de roca	6.60 m ²	1.2 x 1 m	6

En la tabla 5.5.2, se encuentra la proforma realizada con la cantidad de material a comprar, estos valores son los de venta en Ecuador, obteniendo de este modo un total de \$ 678,00 por lo que resulta factible la construcción del horno, debido a que a comparación de otros hornos este tiene una alta capacidad de pre-secado de producto.

Tabla 5.5.2. Proforma de costos de material y mano de obra.

Cantidad	Descripción	Precio	Subtotal
7	Tubos cuadrados galvanizados de 30x30x3	\$20,00	\$140,00
3	Plancha de acero A304	\$25,00	\$75,00
4	Plancha de acero galvanizado	\$24,00	\$96,00
5	Angulo de acero A304	\$15,00	\$75,00
6	Panel aislante de lana de roca	\$19,00	\$114,00
1	Electrodo E6013, 5 Kg	\$15,00	\$15,00
1	Silicon transparente	\$5,00	\$5,00
2	Vidrio	\$20,00	\$40,00
1	Termómetro bimetálico Reotemp	\$60,00	\$60,00
1	Ventilador centrifugo CMPE	\$48,00	\$48,00
10	Pernos de anclaje expansivos	\$2.50	\$10,00
	Total		\$678,00

6 CONCLUSIONES

- Después de llevar a cabo la revisión bibliográfica y el análisis de la información disponible, se pudo determinar la importancia del pre-secado en el proceso de deshidratación de frutas. Esto permite reducir el contenido de agua del producto sin afectar su calidad, disminuyendo el consumo de combustible y haciendo el proceso más sostenible desde un punto de vista ecológico.
- El diseño del horno deshidratador de energía solar fue realizado con base en las especificaciones definidas para el proceso de pre-secado. Del despliegue de la

función de calidad y la selección de alternativas, se obtuvo las opciones más adecuadas para un correcto funcionamiento del deshidratador solar, haciendo posible el diseño de los componentes del sistema.

- Se realizó un balance de masa permitiendo encontrar los valores de salida como una temperatura de 44°C y un calor necesario para pre-secar la fruta de 100.83 W. Estos valores se tomaron como parámetros y condiciones de borde para el cálculo de pérdidas y simulación de la transferencia de calor, obteniendo que se necesitan 461.52 W, al tener un calor generado de 474.96 W, cumpliendo con el requerimiento.
- Al modelar los componentes en el software Inventor, se obtuvo las propiedades físicas del equipo, haciendo posible la simulación de la estructura que soporta al equipo. De esta manera se obtuvo una deformación máxima de 0.9 mm a su máxima capacidad y esfuerzos máximos de 41.08 MPa, por lo que la estructura soporta correctamente las cargas.
- Por último, se elaboraron los planos correspondientes al diseño del deshidratador por energía solar, los cuales son una parte indispensable del trabajo y permitirán en un futuro su construcción y funcionamiento adecuado.
- En resumen, este trabajo de investigación permitió diseñar un sistema de pre-secado por energía solar eficiente y acorde a las necesidades del mercado, lo que contribuirá a mejorar la calidad de los productos deshidratados y a promover el uso de energías renovables en este proceso.

7 RECOMENDACIONES

- El horno solar, energéticamente es una buena alternativa para pre-secar fruta, pero no es recomendable si se desea obtener gran cantidad de producto en tiempos cortos, debido a que este depende de varios factores tanto de diseño como climáticos.
- Para la realización de los cálculos, al no ser un trabajo experimental es bueno apoyarse de aplicaciones o páginas web fiables en donde sea posible obtener información del clima como velocidades de viento o temperaturas y de esta manera aplicar correctamente.
- Sin duda realizar la simulación de los componentes agiliza el diseño del equipo, sin embargo, hay que tomar en cuenta el tipo de licencia con el que se trabaja, debido a que tiene limitaciones que no permiten un análisis completo, por lo que se debe buscar alternativas efectivas para cumplir con los objetivos.

8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarado, P. (27 de Febrero de 2022). Los 'snacks' son los líderes en el mercado de los productos orgánicos en el país. *El Universo* .
- Ansys. (2023). *nys Navarro y Soler CAD-PLM Software* . Obtenido de <https://www.nysplm.com/ansys/>
- C, M., Ruiz, B., & Martínez, O. (2014). *Construcción y evaluación de un secador solar indirecto para el deshidratado de tomate saladette*. Guanajuato .
- Calentadores Solares *Water and Sun*. (2013). Obtenido de <https://www.calentadoresws.com/servicios2-cn0w>
- Carrillo, M. (2019). Deshidratación de plátano (*Musa paradisiaca*) por medio de radiación solar en un. *Revista de Sistemas Experimentales*, 6(19), 19-23.
- Cengel, Y., & Ghajar, A. (2011). *Transferencia de Calor y Masa* (Cuarta ed., Vol. 4).
- Cuarán, S., & Iván, T. (2013). *Diseño y construcción de un prototipo deshidratador atmosférico de bandejas discontinuo con circulación forzada de una capacidad de 0.05 m³ utilizando energía solar*. Quito: Universidad Politécnica Salesiana.
- CYTSoft Technology. (2021). *CYTSoft Technology*. Obtenido de <http://www.cytsoft.com/psychrometric%20chart.htm#:~:text=CYTSoft%20Psychrometric%20Chart%202.2%20is,moist%20air%20quickly%20and%20accurately>
- De los Santos, F., & Lugo, F. (2020). *Tipos de deshidratadores*. Potosi.
- Díaz, J. F. (2015). *Eficiencia Energética y Utopía*.
- Disset Odiseo. (2020). *Grandes contenedores plásticos de 300 y 500 litros* . Barcelona.
- Drogallega. (2011). *Catálogo de temperatura*.
- Elizabeth, O., & De Michelis, E. (2015). *Deshidratación y desecado de frutas, hortalizas y hongos. Procedimientos hogareños y comerciales de pequeña escala*.
- G, M. (13 de Junio de 2022). *3D Natives* . Obtenido de <https://www.3dnatives.com/es/que-es-autodesk-inventor-130620222/#!>
- Gascón, A., Muravnick, N., & Andreuccetti, C. (2013). *DESECACIÓN Y DESHIDRATACIÓN DE VEGETALES. Manual y Esquemas de las Elaboraciones Industriales*. Universidad Nacional de Cuyo.
- González, P. (26 de Enero de 2017). *Solar-instruments*. Obtenido de <https://solarinstruments.blogspot.com/2016/12/colector-de-tubos-de-vacio.html>
- Grammer Solar, Cooperación alemana. (2018). *Sistemas solares de aire caliente para el secado de productos agrícolas en Chile*. Chile.
- Hernández, A. (2016). *Desarrollo de un prototipo de deshidratador solar para el secado de fresa, aplicando colector solar de concentración para su implementación en Carapan Michoacán*. Universidad Intercultural Indígena de Michoacán .

- Julián, C. C. (2014). *“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE ENERGÍA PRODUCIDA POR UN COLECTOR SOLAR PLANO*. Cotopaxi.
- Kreith, F., & Manglik, R. (2012). *Principios de Transferencia de Calor* (Séptima ed., Vol. 7). México.
- Lhaura. (2015). *Termómetro máxima y mínima*. Colombia.
- Linares, I. (2 de marzo de 2019). La aplicación del tiempo con los mejores gráficos y radares: Windy. *EL Español* .
- Lozano, M. (2019). *COLECTORES SOLARES TÉRMICOS*. Universidad de Zaragoza.
- Luis Garcia, M. M. (2012). *Diseño y construcción de un deshidratador solar de frutos tropicales*. Colombia.
- Ministerio de Industrias y Productividad. (2014). *CÓDIGO DE PRÁCTICAS DE HIGIENE PARA LAS FRUTAS Y HORTALIZAS DESHIDRATADAS INCLUIDOS LOS HONGOS COMESTIBLES (CAC/RCP 5-1971, IDT)*. Quito.
- Nisbett, R. G. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de shigley*. Mexico: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA.
- Paucar, M., Vega, D. I., & Francisco. (2017). *Diseño y construcción de un deshidratador de plátano mediante el aprovechamiento de energía solar pasiva para los Laboratorios de la Facultad Ingeniería Civil y Mecánica*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato.
- Reotemp. (2013). *Bimetal Thermometers*.
- Rockwool. (2020). *Archi Expo*. Obtenido de <https://www.archiexpo.es/prod/rockwool/product-53914-2231765.html>
- Román, R., Marconi, A., & Reyes, J. (2020). *Manual de construcción y uso: Secador solar*.
- Romeral. (2018). *Manual de Aislacion Termica y Absorcion Acustica*. Chile.
- SAECSA. (2013). *Deshidratadores Solares*. México.
- Salmon, C., Johnson, J., & Malhas, F. (2009). *Steel Structures Design and Behavior*. New Jersey: Pearson Education, Inc.
- Samsung. (19 de 09 de 2020). *¿Cómo usar las parrillas en mi horno?* Obtenido de <https://www.samsung.com/uy/support/home-appliances/how-to-use-the-racks-in-my-oven/>
- SODECA. (2018). *Ventiladores centrífugos y extractores en línea para conductos* . Besora.
- Tu Tiempo.net. (21 de 2 de 2023). *Radiación solar* . Obtenido de <https://www.tutiempo.net/radiacion-solar/quito.html>
- Udine. (2020). *Carro de cocción enganche inferior 70x90*. Obtenido de <https://www.udine.ar/carros/carro-de-coccion-enganche-inferior-70x90>

ANEXO II. Evaluación de los pesos específicos

Modulo 1: Ingreso de rodajas de fruta

Se presentan las tablas de los pesos específicos de cada criterio, para obtener la solución deseada del módulo 1.

Tabla A.2.1. Evaluación del peso específico del criterio capacidad.

Alternativa 1 = Alternativa 2 > Alternativa 3					
Capacidad	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\sum +1$	Ponderado
Alternativa 1		0.5	1	2.5	0.416
Alternativa 2	0.5		1	2.5	0.416
Alternativa 3	0	0		1	0.167
Suma				6	1

Tabla A.2.2. Evaluación del peso específico del criterio dimensión.

Alternativa 2 > Alternativa 1 = Alternativa 3					
Dimensión	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\sum +1$	Ponderado
Alternativa 1		0	0.5	1.5	0.250
Alternativa 2	1		1	3	0.500
Alternativa 3	0.5	0		1.5	0.250
Suma				6	1

Tabla A.2.3. Evaluación del peso específico del criterio ergonomía.

Alternativa 1 > Alternativa 2 > Alternativa 3					
Ergonomía	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\sum +1$	Ponderado
Alternativa 1		1	0.5	2.5	0.416
Alternativa 2	0		1	2	0.333
Alternativa 3	0.5	0		1.5	0.250
Suma				6	1

Tabla A.2.4. Evaluación del peso específico del criterio material.

Alternativa 1 = Alternativa 2 > Alternativa 3					
Material	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\sum +1$	Ponderado
Alternativa 1		0.5	1	2.5	0.416
Alternativa 2	0.5		1	2.5	0.416
Alternativa 3	0	0		1	0.250
Suma				6	0.167

Modulo 2: Sistema de recolección de energía solar

Se presentan las tablas de los pesos específicos de cada criterio, para obtener la solución deseada del módulo 2.

Tabla A.2.5. Evaluación del peso específico del criterio rendimiento.

Alternativa 1 = Alternativa 3 > Alternativa 2 = Alternativa 4						
Rendimiento	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	$\sum +1$	Ponderado
Alternativa 1		1	0.5	0.5	3	0.300
Alternativa 2	0		0.5	0.5	2	0.200
Alternativa 3	0.5	0.5		1	3	0.300
Alternativa 4	0.5	0.5	0		2	0.200
				Suma	10	1

Tabla A.2.6. Evaluación del peso específico del criterio precio.

Alternativa 1 = Alternativa 2 > Alternativa 3 = Alternativa 4						
Precio	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	$\sum +1$	Ponderado
Alternativa 1		0.5	1	1	3.5	0.350
Alternativa 2	0.5		1	1	3.5	0.350
Alternativa 3	0	0		0.5	1.5	0.150
Alternativa 4	0	0	0.5		1.5	0.150
				Suma	10	1

Tabla A.2.7. Evaluación del peso específico del criterio mantenimiento.

Alternativa 1 = Alternativa 2 > Alternativa 3 = Alternativa 4						
Mantenimiento	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	$\sum +1$	Ponderado
Alternativa 1		0.5	1	1	3.5	0.350
Alternativa 2	0.5		1	1	3.5	0.350
Alternativa 3	0	0		0.5	1.5	0.150
Alternativa 4	0	0	0.5		1.5	0.150
				Suma	10	1

Tabla A.2.8. Evaluación del peso específico del criterio material.

Alternativa 3 = Alternativa 4 > Alternativa 1 > Alternativa 2						
Material	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	$\sum +1$	Ponderado
Alternativa 1		1	0	0	2	0.200
Alternativa 2	0		0	0	1	0.100
Alternativa 3	1	1		0.5	3.5	0.350
Alternativa 4	1	1	0.5		3.5	0.350
				Suma	10	1

Modulo 3: Sistema de ventilación y control de temperatura

Se presentan las tablas de los pesos específicos de cada criterio, para obtener la solución deseada del módulo 2.

Tabla A.2.9. Evaluación del peso específico del criterio rendimiento.

Alternativa 3 = Alternativa 4 > Alternativa 1 = Alternativa 2						
Rendimiento	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	$\sum +1$	Ponderado
Alternativa 1		0.5	0	0	1.5	0.150
Alternativa 2	0.5		0	0	1.5	0.150
Alternativa 3	1	1		0.5	3.5	0.350
Alternativa 4	1	1	0.5		3.5	0.350
				Suma	10	1

Tabla A.2.10. Evaluación del peso específico del criterio tiempo.

Alternativa 3 = Alternativa 4 > Alternativa 1 = Alternativa 2						
Tiempo	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	$\sum +1$	Ponderado
Alternativa 1		0.5	0	0	1.5	0.150
Alternativa 2	0.5		0	0	1.5	0.150
Alternativa 3	1	1		0.5	3.5	0.350
Alternativa 4	1	1	0.5		3.5	0.350
				Suma	10	1

Tabla A.2.11. Evaluación del peso específico del criterio precio.

Alternativa 2 > Alternativa 1 > Alternativa 4 > Alternativa 3						
Precio	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	$\sum +1$	Ponderado
Alternativa 1		0	1	1	3	0.300
Alternativa 2	1		1	1	4	0.400
Alternativa 3	0	0		0	1	0.100
Alternativa 4	0	0	1		2	0.200
				Suma	10	1

ANEXO III. Catálogos

En la figura A.3.1, se muestra el catálogo del termómetro bimetálico el cual se lo utiliza para realizar mediciones dentro de la cámara de secado.

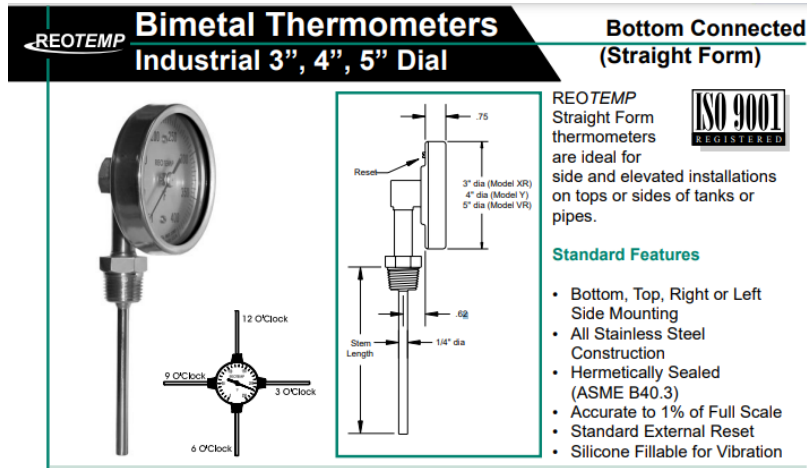


Figura A.3.1. Catálogo de termómetro bimetálico.

En la figura A.3.2, se muestra el ventilador centrífugo, el cual es utilizado para empujar el aire del colector solar hacia la cámara de secado.

CMPE

Ventiladores centrífugos de media presión y simple aspiración con motor de rotor exterior

Ventilador:

- Envoltorio en chapa de acero
- Turbina con álabes hacia delante
- Caja de conexiones exterior con entrada de cable con prensaestopas

Acabado:

- Anticorrosivo en resina de poliéster polimerizada a 190 °C, previo desengrase con tratamiento nanotecnológico libre de fosfatos

Motor:

- Motores clase F de rotor exterior, con rodamientos a bolas
- Monofásicos 230V 50/60 Hz
- Temperatura máxima del aire a transportar: -20 °C a +60 °C

Código de pedido

CMPE — 613 — 2M

↓

CMPE: Ventiladores centrífugos de media presión con motor de rotor exterior

↓

Tamaño turbina

↓

Número de polos motor
2=2900 r/min 50 Hz
4=1400 r/min 50 Hz

↓

M= monofásico

Características técnicas

Modelo	Velocidad	Intensidad máxima admisible (A)	Potencia eléctrica máx.	Caudal máximo	Nivel presión sonora	Peso aprox.	According ErP
	(r/min)		230V				
CMPE-613-2M	1800	0,45	0,105	295	59	2,6	Excluded
CMPE-614-2M	2230	0,75	0,177	510	65	3,0	Excluded
CMPE-716-4M	1430	0,32	0,060	440	59	3,6	Excluded
CMPE-918-4M	1360	0,75	0,155	960	67	5,5	Excluded

Erp. (Energy Related Products)

Figura A.3.2. Catálogo de ventilador centrífugo.

En la figura A.3.3, se presentan las especificaciones técnicas del aislante de lana de roca de la marca Rockwool.



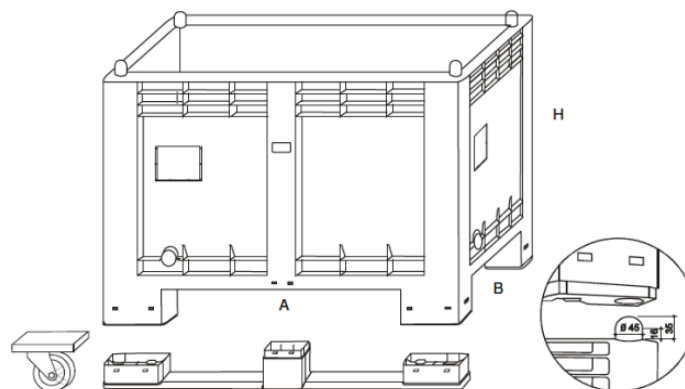
Tipo	termoacústico
Material	de lana de roca, de lana mineral
Presentación	tipo panel rígido
Uso previsto	de pared
Características técnicas	de alto rendimiento, no inflamable, hidrófugo, de alta resistencia
Euroclase de reacción al fuego	Euroclase A1
Opciones	sostenible
Conductividad térmica	0,034 W/(m.K), 0,035 W/(m.K)
Largo	1.200 cm (472 in)
Ancho	455 mm (18 in)
Grosor	Máx.: 1.700 mm (66,93 in) Mín.: 50 mm (1,97 in)

Figura A.3.3. Especificaciones del aislante lana de roca.

En la figura A.3.4, se muestra las especificaciones técnicas del contenedor en el cual se deposita el producto pre-secado.

Contenedores con paredes rejadas

Artículo (virgen)	Artículo (reciclado)	Dimensiones LxFxH (mm)	Tipo	Capacidad (lts)
PSG0148	PSG0184	1200x800x850	4 patas	550
PSG0152	PSG0187	1200x800x850	2 patines	550
PSG0157	PSG0193	1200x800x1000	4 ruedas	550
PSG0163	PSG0199	1200x800x1000	2 patines + 4 ruedas	550



DISSET ODISEO S.L.
 info@dissetodiseo.com
 T. 900 17 17 00

www.dissetodiseo.com

Figura A.3.4. Contenedor plástico para alimentos.

En la figura A.3.5, se presenta las especificaciones de las planchas de acero inoxidable A304, la cual será usada para las parten que se encuentren en contacto con los alimentos.



ESPEORES	desde 0.40 – 15mm	
ACABADOS	2B – N4 – N1	
DIMENSIONES	1220 x 2440 mm (estándar)	
	1220 x otros (largos especial)	
DESCRIPCIÓN DE ACUERDO A LA NORMA	JIS	SUS 304
	ASTM	304
	DIN	4301

Figura A.3.5. Especificaciones técnicas de la plancha de acero inoxidable A304.

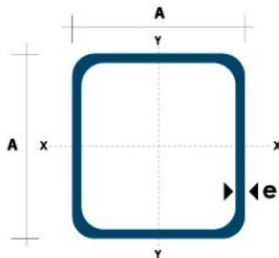
En la figura A.3.6, se presentan las especificaciones técnicas de las planchas galvanizadas para el exterior del horno de secado.



Acero Base:	Calidad comercial o según tabla de laminado al frío
Norma:	NTE INEN 115
Espesores:	0,40mm a 4mm
Rollos:	X 1219mm y por flejes
Planchas:	1220x2440mm, 4x8 pies y medidas especiales
Flor:	Grande, Regular, Mínima, Zero

Figura A.3.6. Especificaciones técnicas de la plancha de acero galvanizado.

En la figura A.3.7, se presentan las especificaciones técnicas de los tubos cuadrados galvanizados para la estructura.



Dimensiones			Área	Ejes X-Xe Y-Y		
A mm	Espesor mm (e)	Peso Kg/m	Área cm ²	I cm ⁴	W cm ³	I cm ³
20	1.2	0.72	0.90	0.53	0.53	0.77
20	1.5	0.88	1.05	0.58	0.58	0.74
20	2.0	1.15	1.34	0.69	0.69	0.72
25	1.2	0.90	1.14	1.08	0.87	0.97
25	1.5	1.12	1.35	1.21	0.97	0.95
25	2.0	1.47	1.74	1.48	1.18	0.92
30	1.2	1.09	1.38	1.91	1.28	1.18
30	1.5	1.35	1.65	2.19	1.46	1.15
30	2.0	1.78	2.14	2.71	1.81	1.13
40	1.2	1.47	1.80	4.38	2.19	1.25
40	1.5	1.82	2.25	5.48	2.74	1.56
40	2.0	2.41	2.94	6.93	3.46	1.54
40	3.0	3.54	4.44	10.20	5.10	1.52
50	1.5	2.29	2.85	11.06	4.42	1.97
50	2.0	3.03	3.74	14.13	5.65	1.94
50	3.0	4.48	5.61	21.20	4.48	1.91
60	2.0	3.66	3.74	21.26	7.09	2.39
60	3.0	5.42	6.61	35.06	11.69	2.34
75	2.0	4.52	5.74	50.47	13.46	2.97
75	3.0	6.71	8.41	71.54	19.08	2.92
75	4.0	8.59	10.95	89.98	24.00	2.87
100	2.0	6.17	7.74	122.99	24.60	3.99
100	3.0	9.17	11.41	176.95	35.39	3.94
100	4.0	12.13	14.95	226.09	45.22	3.89
100	5.0	14.40	18.36	270.57	54.11	3.84

Figura A.3.7. Especificaciones técnicas de los tubos cuadrados galvanizados.

En la figura A.3.8, se presentan las especificaciones técnicas de los pernos expansivos de anclaje.

PERNO DE EXPANSIÓN GALVANIZADO



TIPO DE CAMISA: 

FAMILIA: PE
 MEDIDAS: PULGADAS
 TIPO DE CAMISA: CORTA
 MATERIAL: ACERO GALVANIZADO
 HILO: ESTÁNDAR

CÓDIGO: FAMILIA PE VENTA: UNIDAD - CIENTOS

NOMENCLATURA DE CÓDIGO

PES0380375

Longitud
 Diámetro
 Perno
 Expansión



D= Diámetro del Perno
 L= Longitud del Perno

CÓDIGO:	DIÁMETRO:	LONGITUD:	MÁSTER (CT)
PES0380375	3/8"	3 3/4"	3 CT.
PES0500275	1/2"	2 3/4"	3 CT.
PESN0250175	1/4"	1 3/4"	14 CT.
PESN0250300	1/4"	3"	8 CT.
PESN0380225	3/8"	2 1/4"	6 CT.
PESN0380275	3/8"	2 3/4"	4 CT.
PESN0380300	3/8"	3"	4 CT.
PESN0380375	3/8"	3 3/4"	3 CT.
PESN0380400	3/8"	4"	3 CT.
PESN0500275	1/2"	2 3/4"	2 CT.
PESN0500375	1/2"	3 3/4"	2 CT.
PESN0500425	1/2"	4 1/4"	2 CT.
PESN0620350	5/8"	3 1/2"	1.2 CT.
PESN0620500	5/8"	5"	1 CT.
PESN0620600	5/8"	6"	1 CT.
PESN0620700	5/8"	7"	1 CT.
PESN0620850	5/8"	8 1/2"	1 CT.
PESN0750475	3/4"	4 3/4"	1 CT.
PESN0750700	3/4"	7"	1 CT.
PESN0750850	3/4"	8 1/2"	1 CT.
PESN0751000	3/4"	10"	1 CT.
PESN0751200	3/4"	12"	1 CT.
PESN0870600	7/8"	6"	1 CT.

Figura A.3.8. Especificaciones técnicas de los pernos expansivos de anclaje.

ANEXO IV. Radiación Solar en Quito

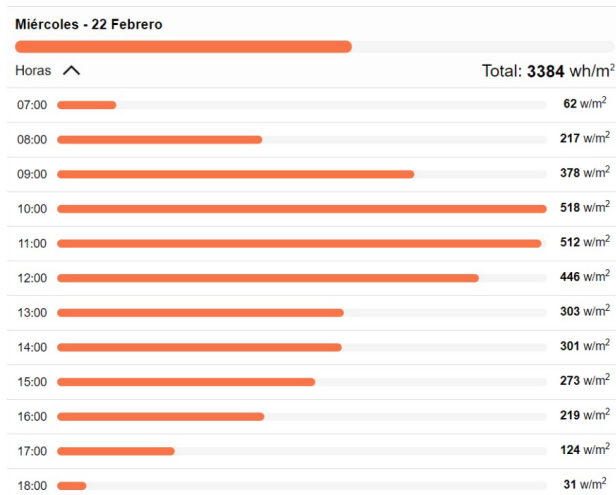


Figura A.4.1. Radiación solar en Quito 22 de febrero.

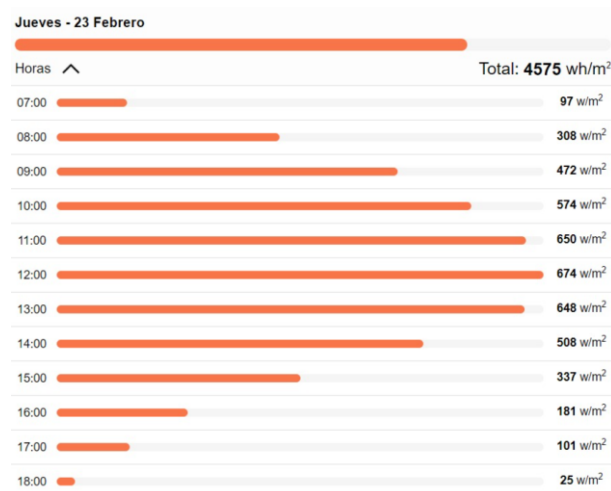


Figura A.4.2. Radiación solar en Quito 23 de febrero.

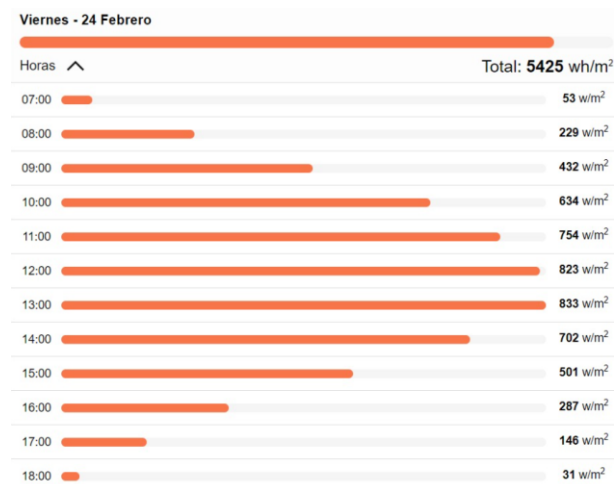
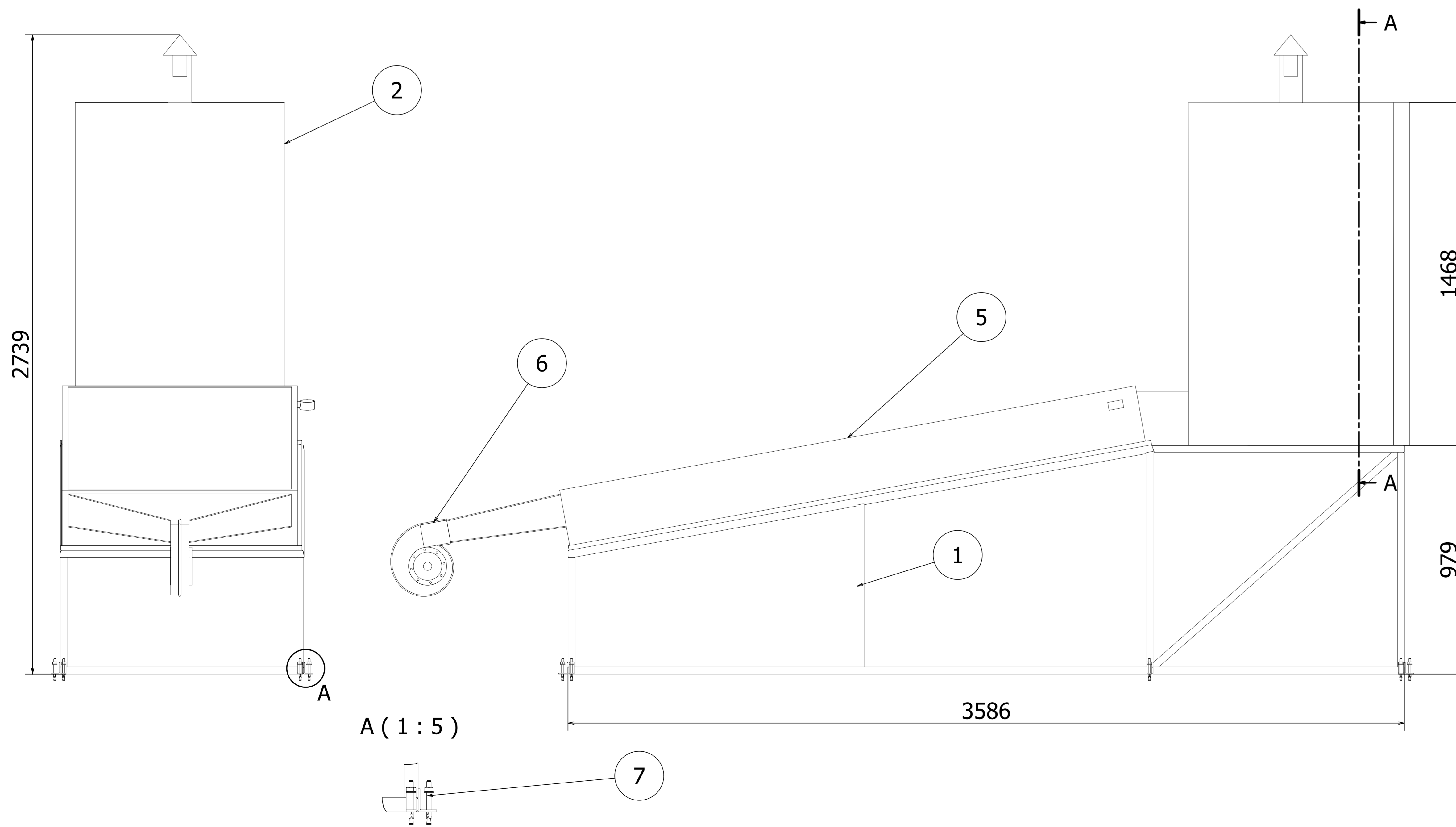
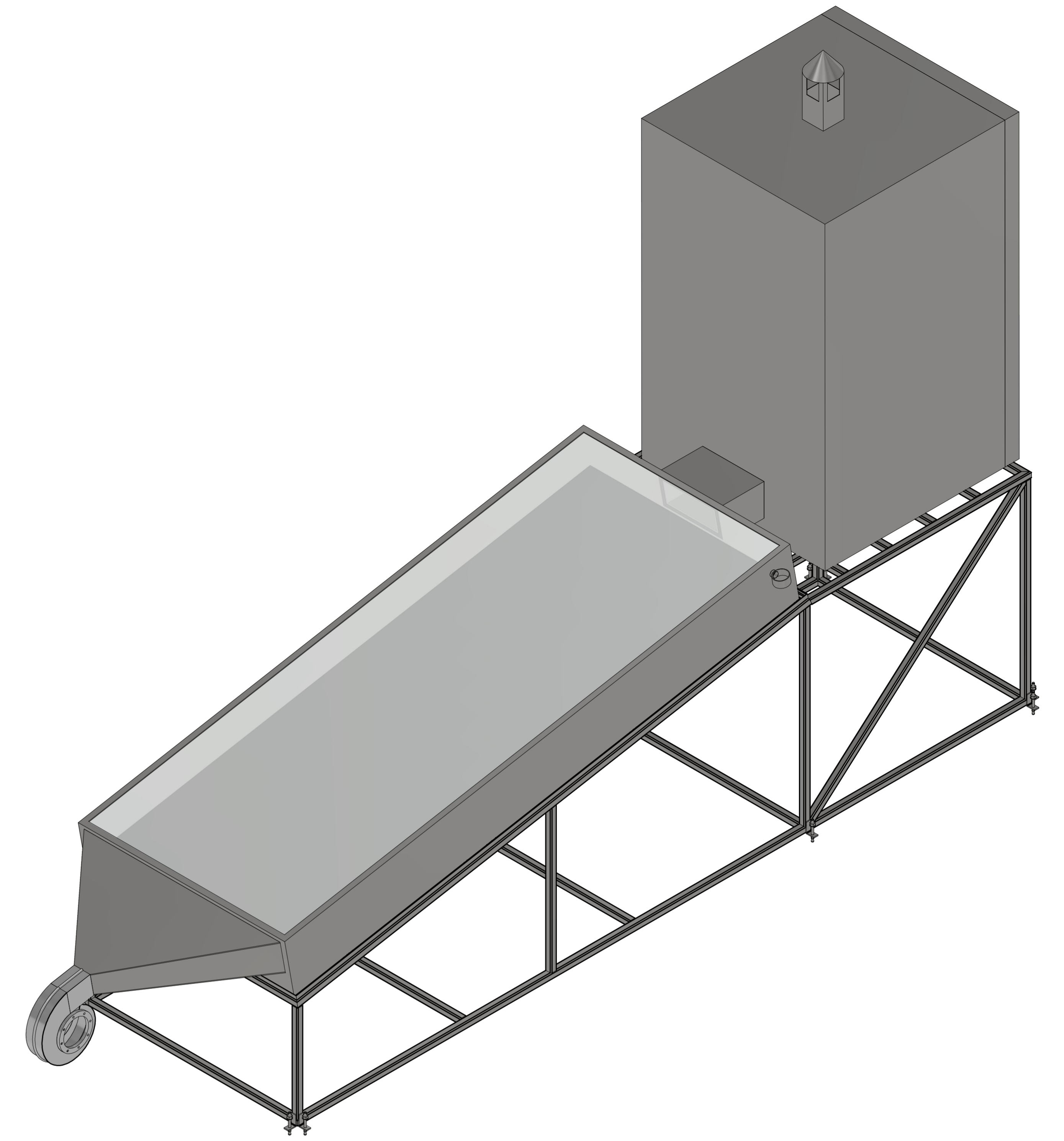
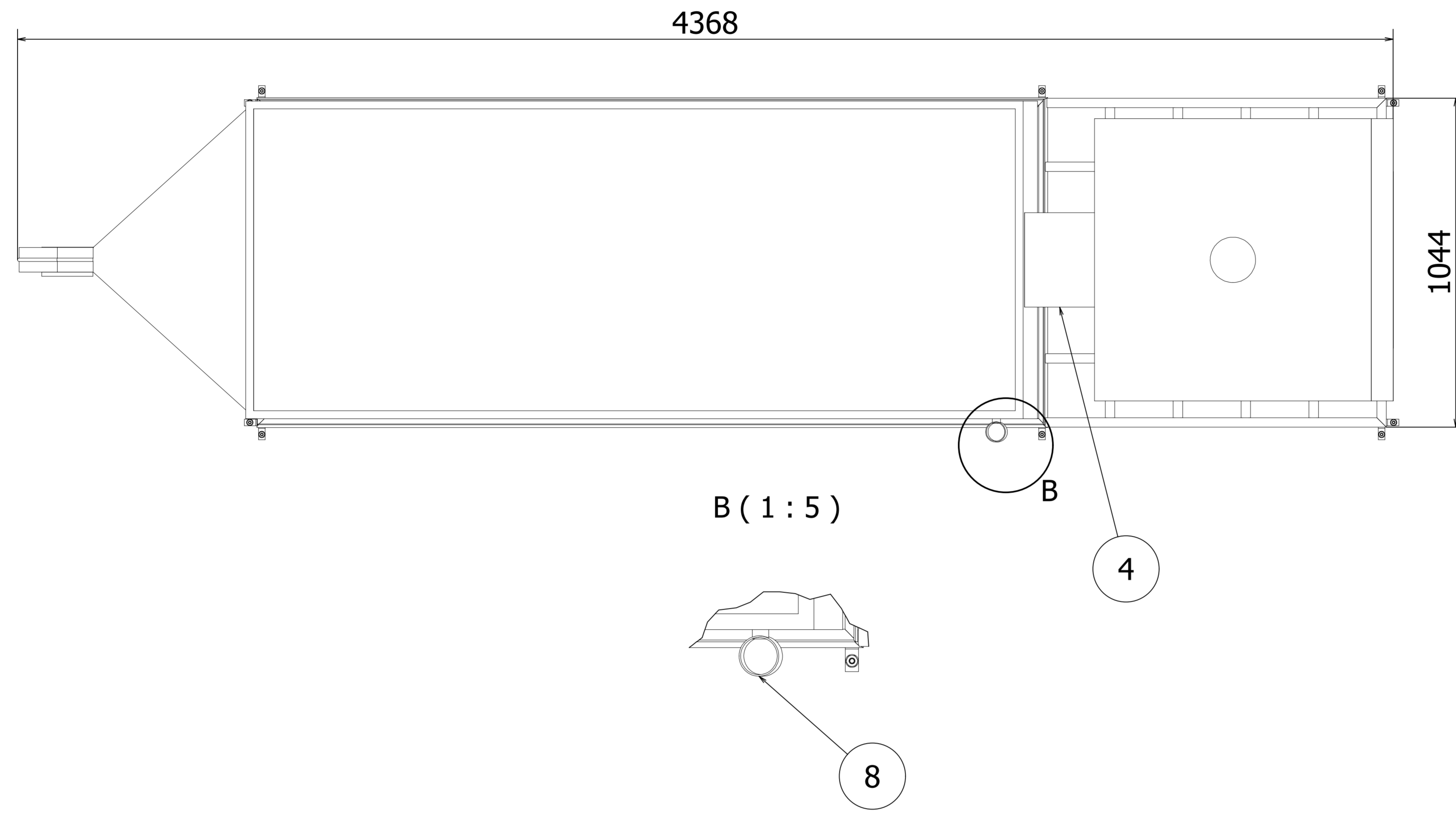


Figura A.4.3. Radiación solar en Quito 24 de febrero

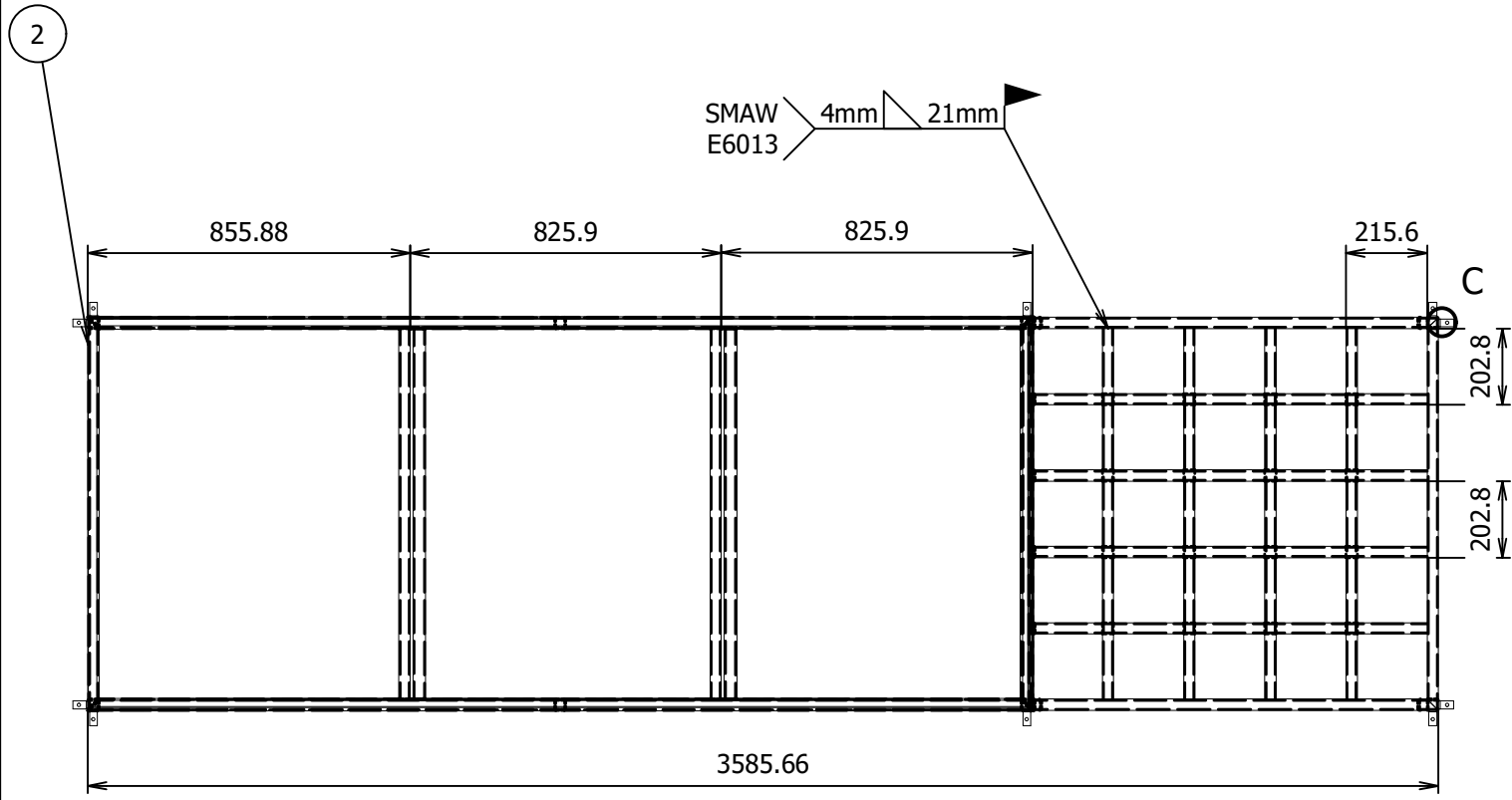
ANEXO V. Planos del horno de Pre-secado



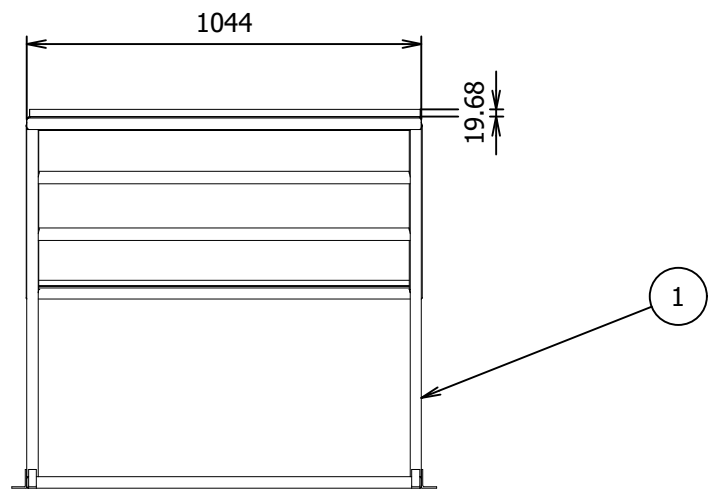
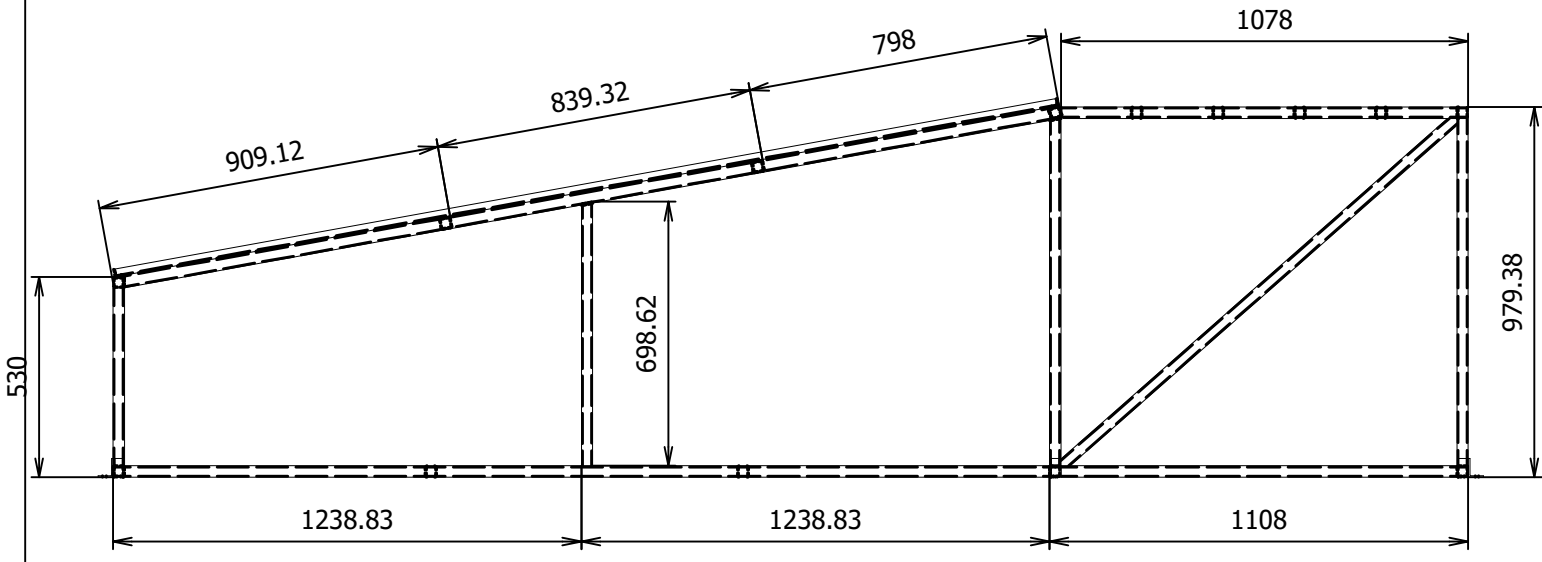
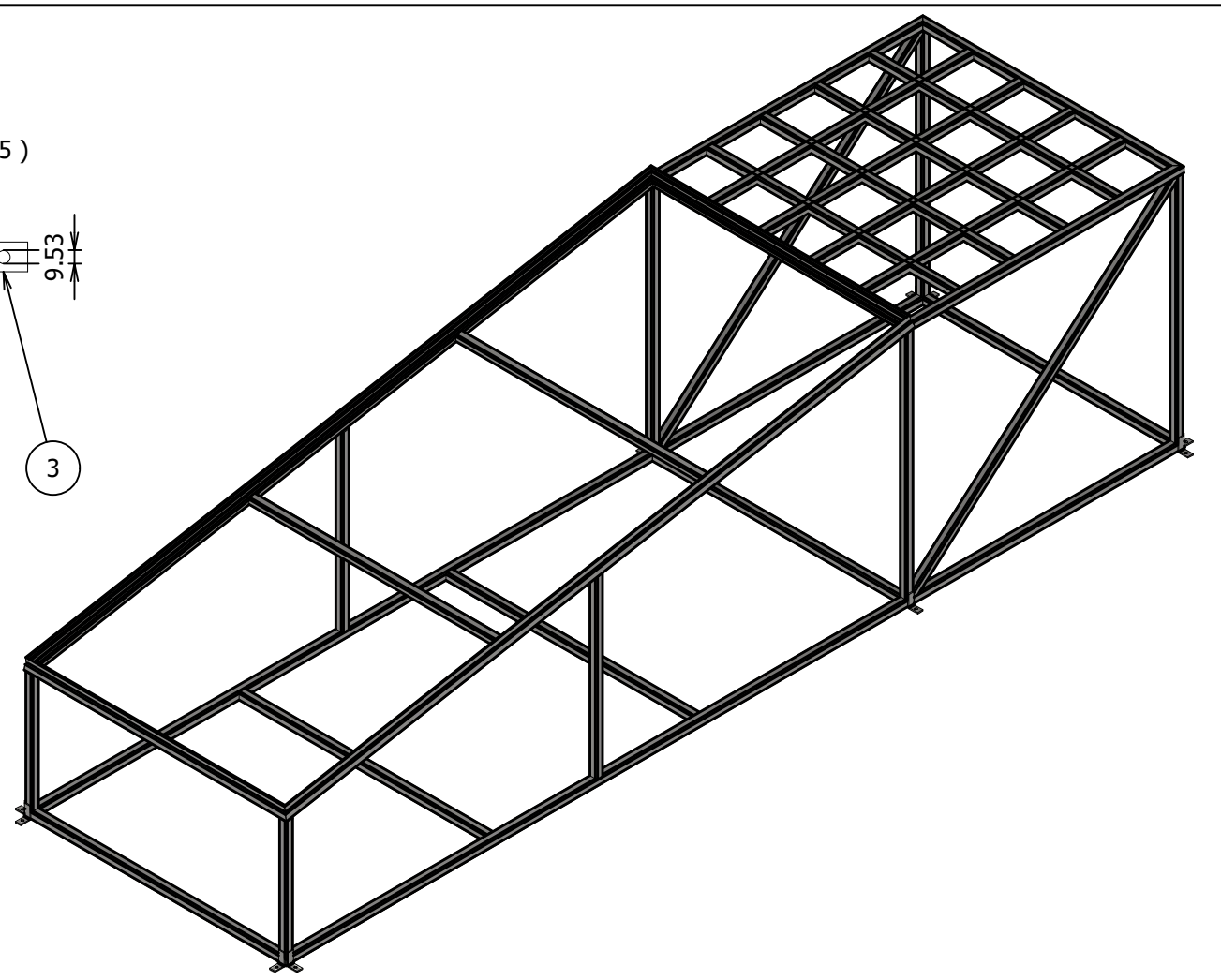
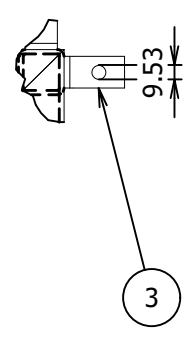
DATOS TÉCNICOS	
Capacidad total	25 Kg de fruta
Capacidad por bandeja	La fruta puede cubrir un area de 750 x 750 mm, con un espacio entre bandejas de 4 cm.
Alto	2,7 m
Largo	4,3 m
Ancho	1 m
Peso del Equipo	828 Kg
Ventilación	Ventilador centrifugo 0,105 Kw de potencia y 295 m3/h de caudal.
% Humedad Final	50%-60%

Nº	ZONA	DENOMINACIÓN	PLANO Y/O NORMA	CANT.	MATERIAL	OBSERVACIÓN
8		Termometro Bimetálico	ASME B40.3		Varios	
7		Pernos Expansivos	ASTM A307		Acero Inox	Pernos de 3/8 pulg
6		Ventilador			Varios	
5		Colector	01.05.00		Varios	
4		Conector	01.04.00		Varios	
3		Chimenea	01.03.00		Acero Galvanizado	
2		Camara de Secado	01.02.00		Varios	
1		Estructura	01.01.00		Acero Galvanizado	

E.P.N.	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	Dib. Fabrizio Almeida	Escal. 1:1
CAMARA COLECTORA		Rev. Salvatore Reina, PhD	Fecha: 06/01/23
		DCS: 01.00.00	



C (1 : 5)

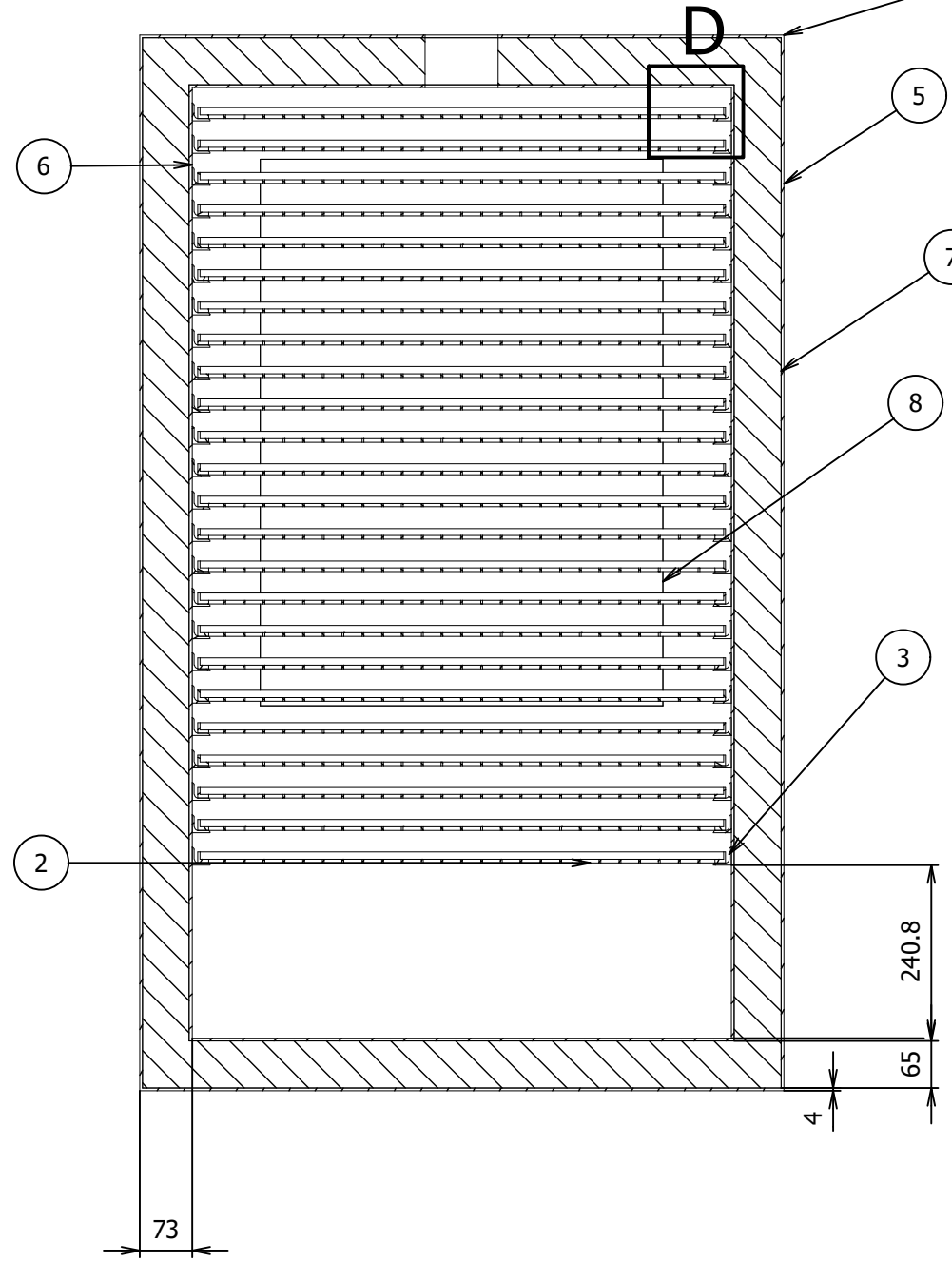
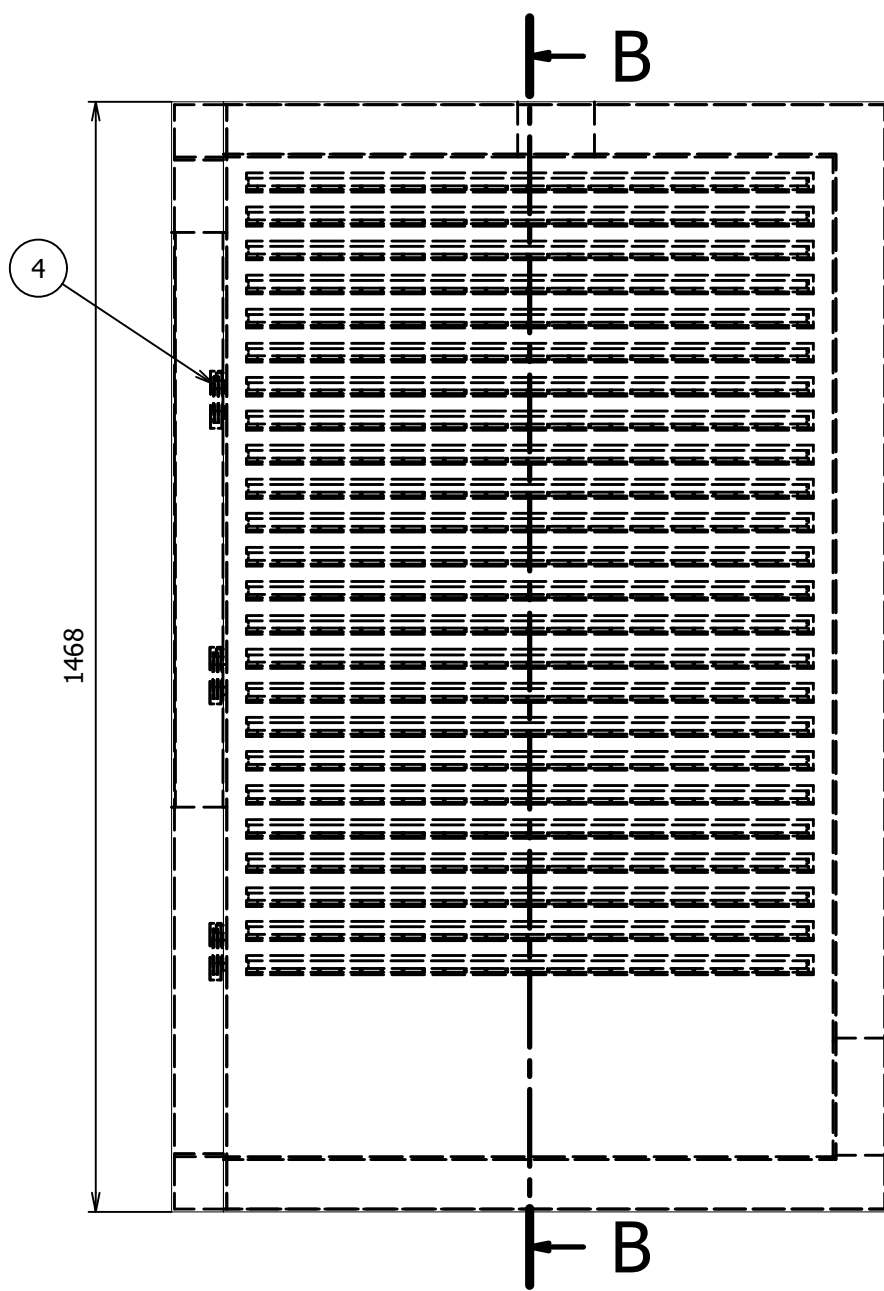


3		Platina	NTE INEN 115		Acero Galvanizado	Para colocar los pernos expansivos
2		Ángulo	ASTM A653		Acero Galvanizado	
1		Tubo Cuadrado	INEN 2415		Acero Galvanizado	
N°	ZONA	DENOMINACIÓN	PLANO Y/O NORMA	CANT.	MATERIAL	OBSERVACIÓN

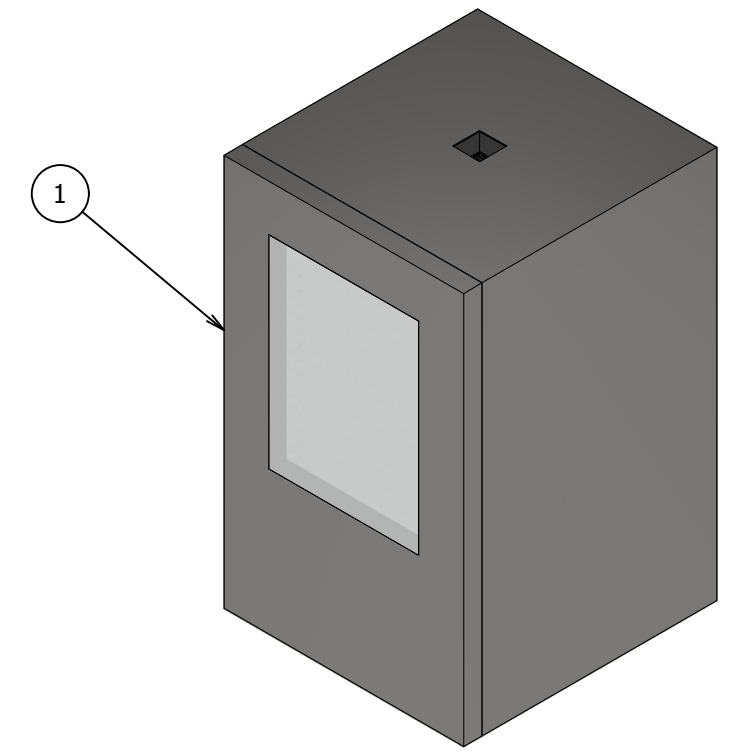
Trat. Térmico	Recocido	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA		
Recubrimiento	Zinc				
MATERIAL: Acero Galvanizado		Tol.Gral +0.05	Escala: 1 : 20	Dib. Fabrizio Almeida	
				Dis. Salvatore Reina, PhD	
					Rev.
ESTRUCTURA			DSC: 01.01.00		Fecha: 06/02/23

Nota:
 -Los perfiles son de Tubo Cuadrado 30X30X3
 -Los ángulos son de 20x20x3
 -Todas las uniones son soldadas con electrodo E6013

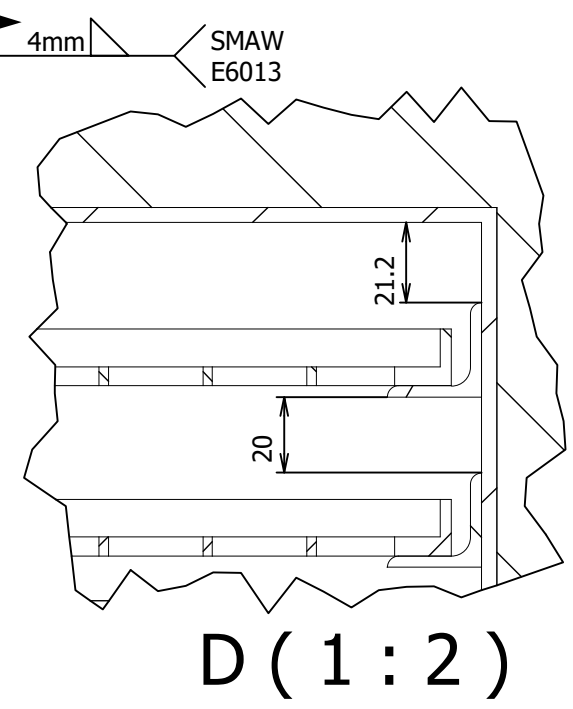
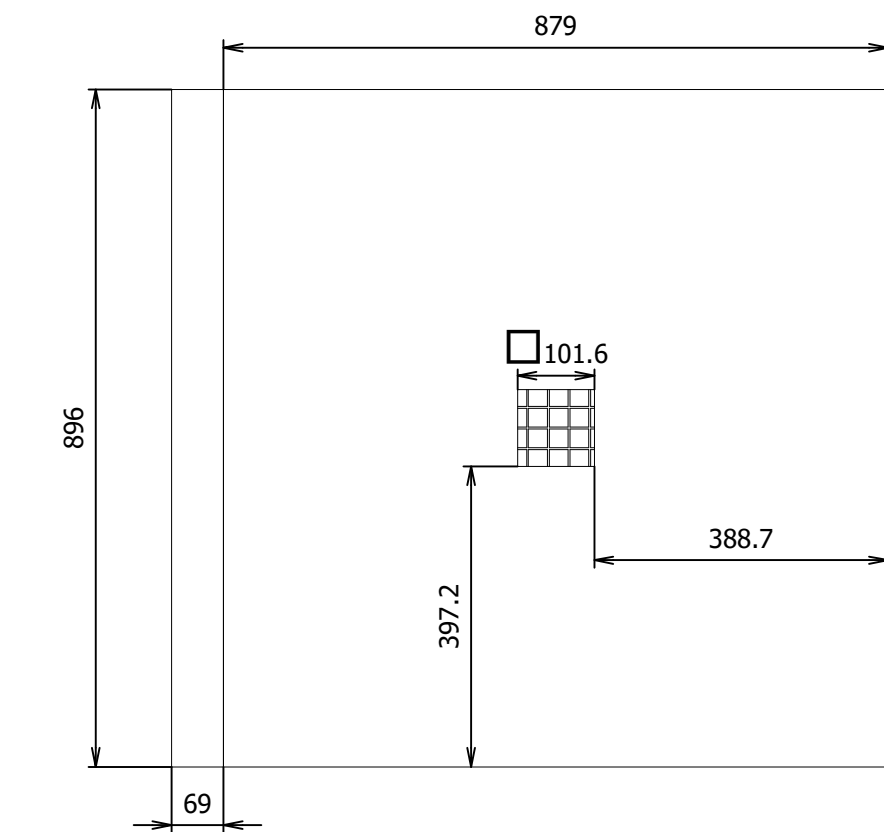
B-B (1 : 10)



4mm SMAW E6013

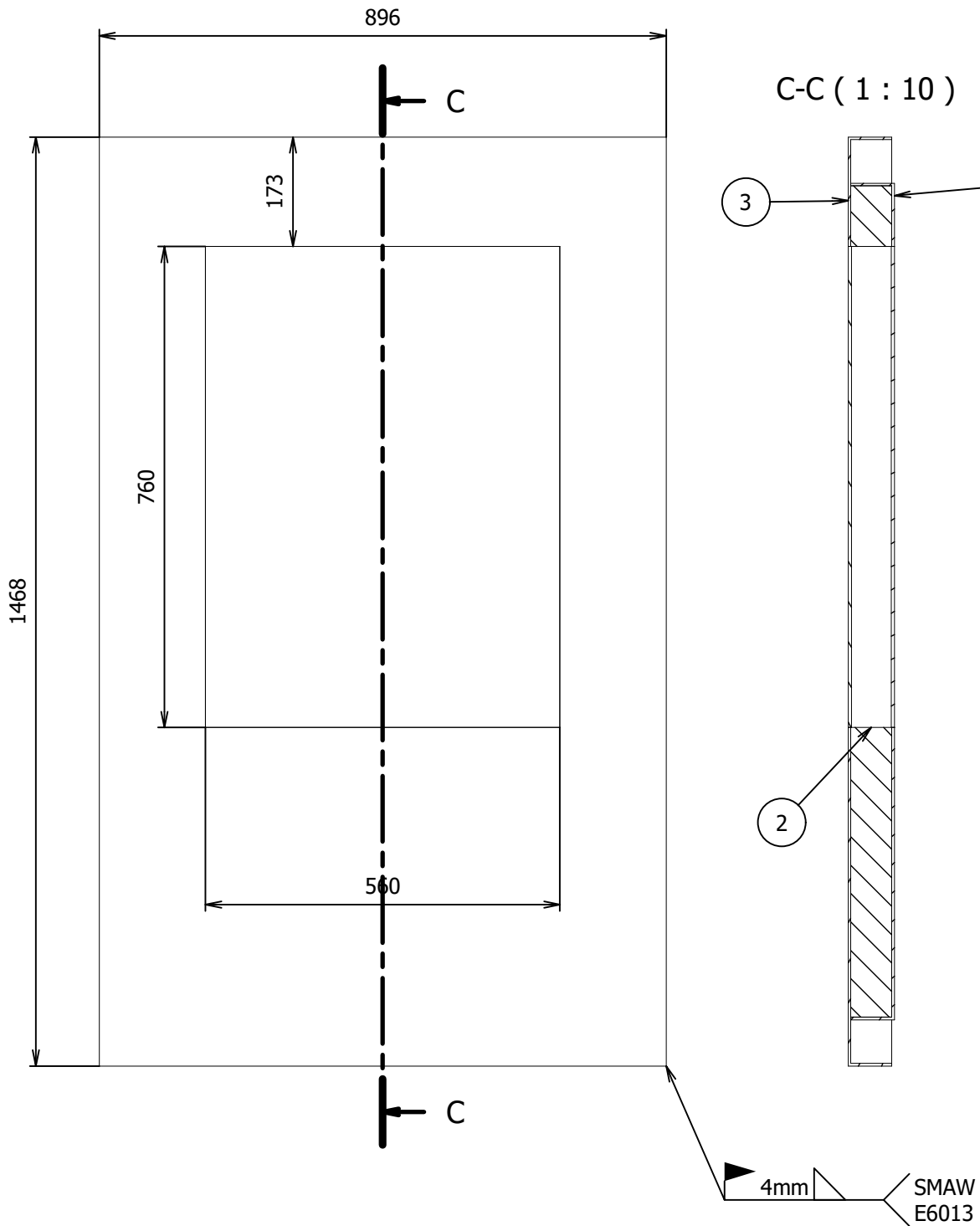


Nota: Los bordes de acero de la cámara de secado se encuentra soldado con electrodo E6013 y pulido.

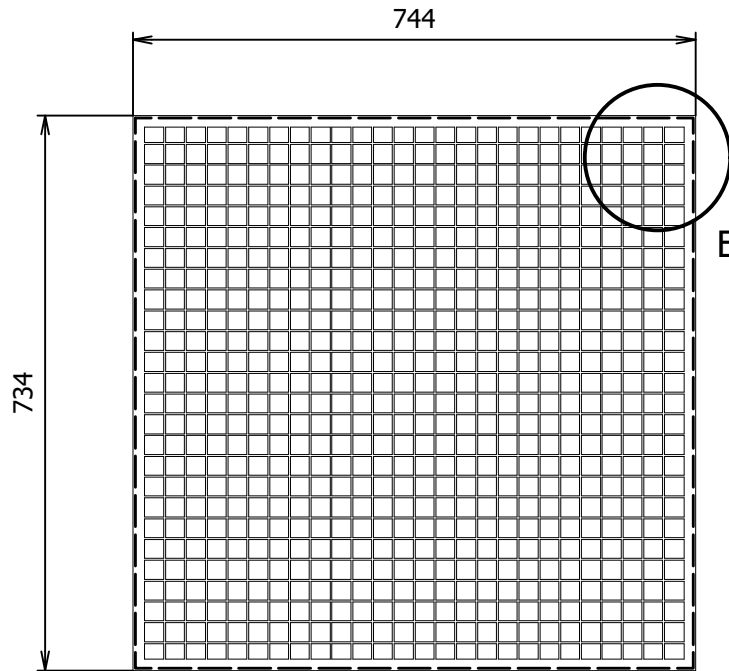


D (1 : 2)

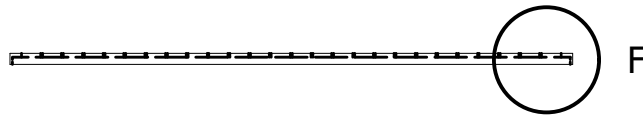
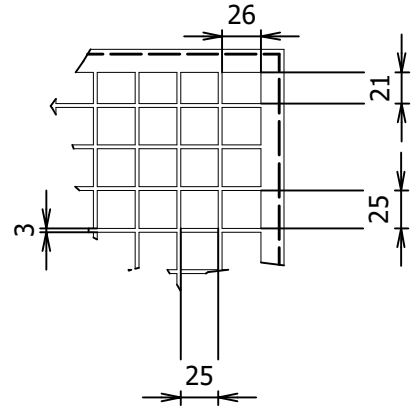
8		Vidrio	01.02.03		Vidrio	espesor de 5mm
2		Aislante	ASTM C 612		Lana de Roca	
1		Carcasa Interior	AISC 304		A 304	
3		Carcasa Exterior	NTE INEN 115		Acero Galvanizado	
4		Bisagra giratoria	AISC		Acero Inox	
3		Angulos	AISC 304		A304	
2		Bandejas	01.02.02		A304	
1		Puerta	01.02.01		Varios	
N°	ZONA	DENOMINACIÓN	PLANO Y/O NORMA	CANT.	MATERIAL	OBSERVACIÓN
Trat. Térmico					EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
Recubrimiento						
MATERIAL:			Tol.Gral	Escala:	Dib.	Fabrizio Almeida
Varios			+0.05	1 : 10	Dis.	
					Rev.	Salvatore Reina, PhD
CÁMARA DE SECADO				DSC: 01.02.00		Fecha: 06/02/23



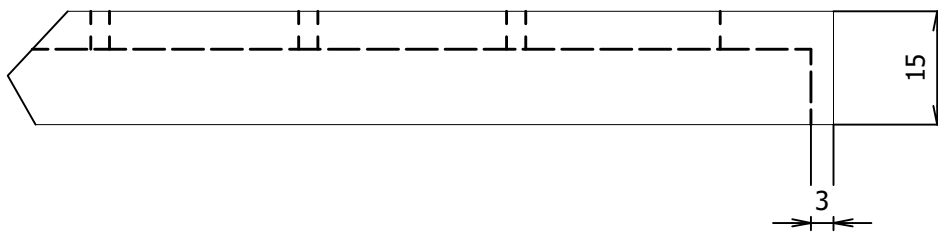
3		Carcaza Exterior	NTE INEN 115		Acero Galvanizado	
2		Aislante	ASTM C 612		Lana de Roca	
1		Carcaza Interior	AISC 304		A 304	
N°	ZONA	DENOMINACIÓN	PLANO Y/O NORMA	CANT.	MATERIAL	OBSERVACIÓN
Trat. Térmico		Ninguno			EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
Recubrimiento		Ninguno				
MATERIAL:			Tol.Gral	Escala:	Dib.	Fabrizio Almeida
Varios			+0.05	1 : 10	Dis.	
					Rev.	Salvatore Reina, PhD
PUERTA DE CÁMARA DE SECADO				DSC: 01.02.01		Fecha: 06/02/23



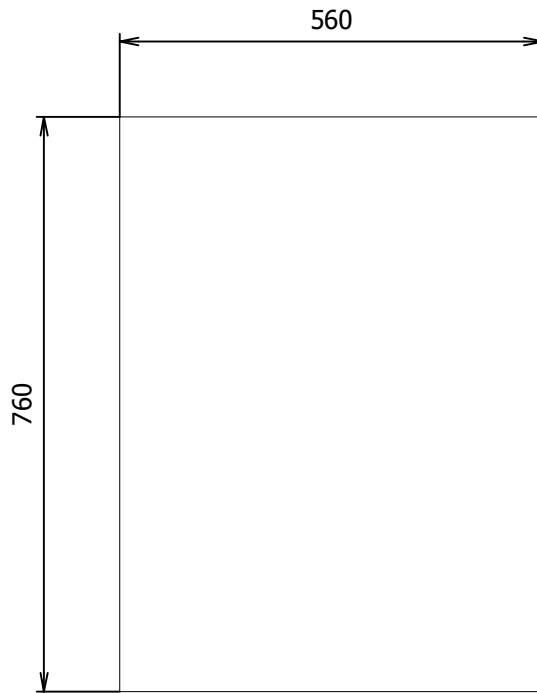
E (1 : 5)



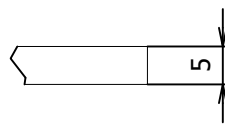
F (1 : 1)



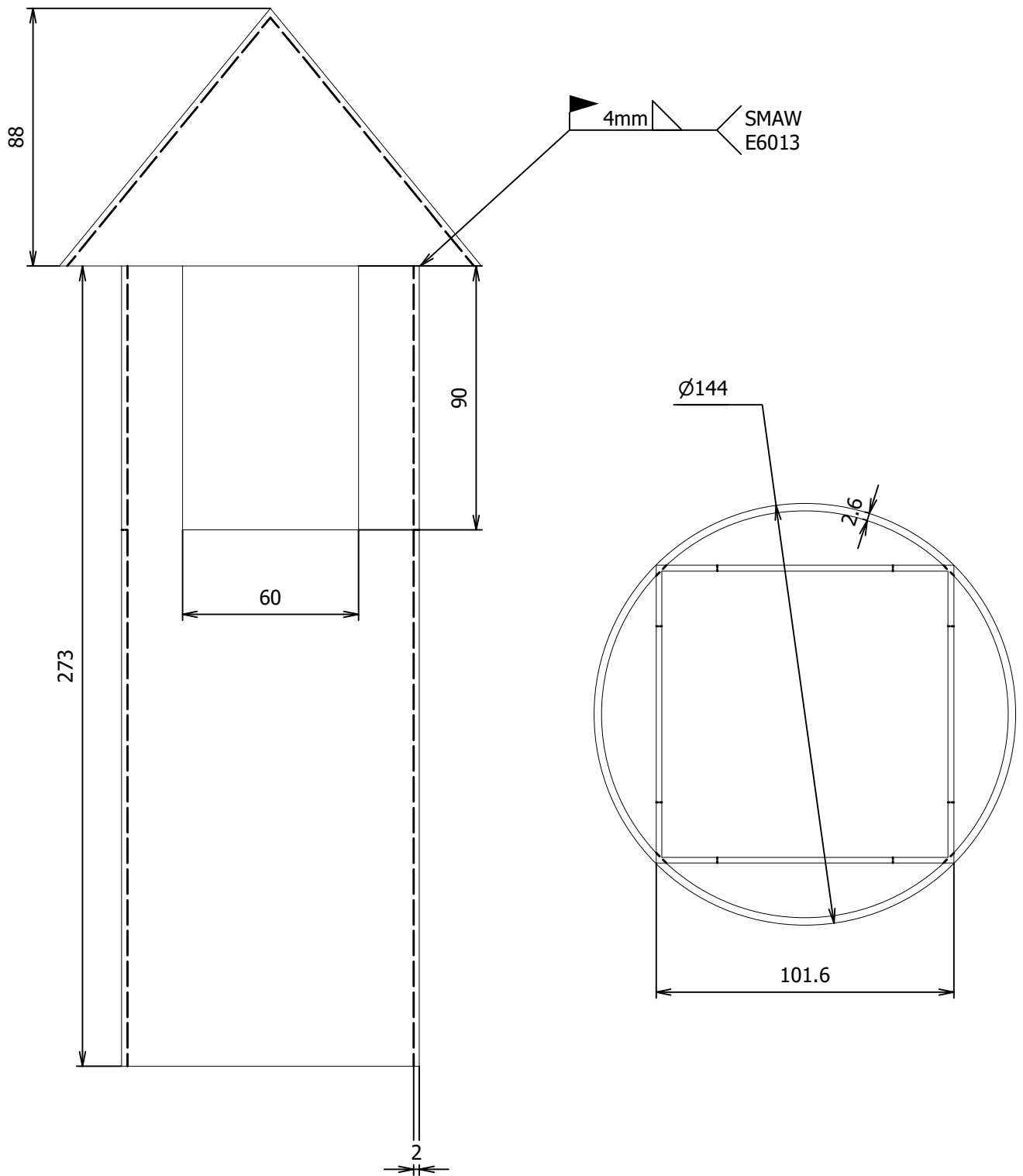
Trat. Térmico	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	Ninguno		Dib.	Fabrizio Almeida
MATERIAL:	Acero A304	Tol.Gral +0.05	Escala: 1 : 10	Dis.
				Rev.
				Salvatore Reina, PhD
BANDEJA		DSC: 01.02.02		Fecha: 06/02/23



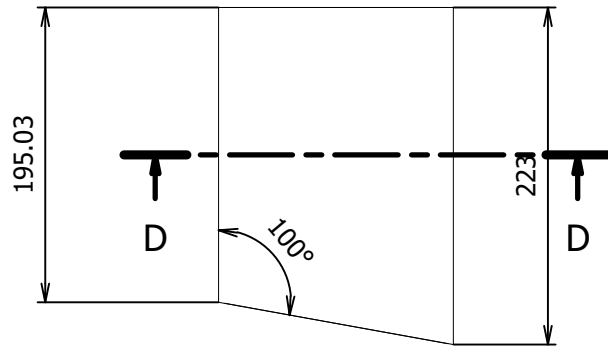
G (1 : 1)



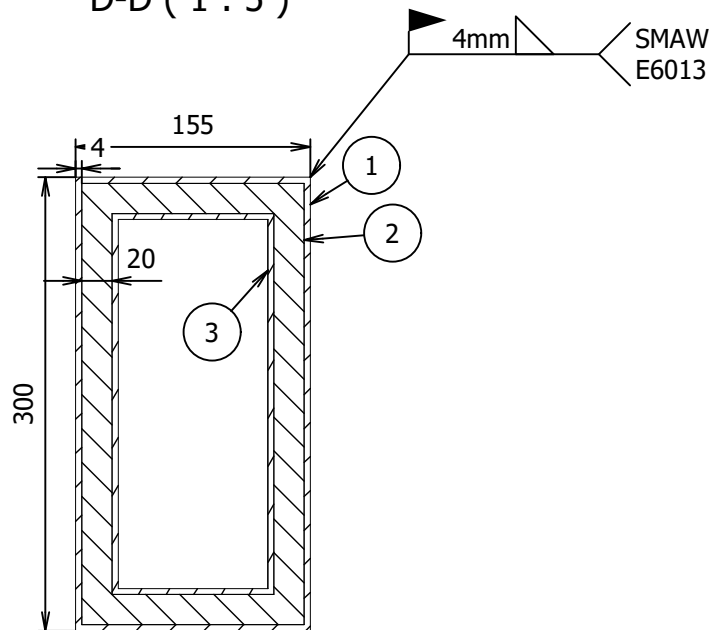
Trat. Térmico	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	Ninguno		Dib.	Fabrizio Almeida
MATERIAL:	Vidrio	Tol.Gral +0.05	Escala: 1 : 10	Dis.
				Rev.
				Salvatore Reina, PhD
VIDRIO DE PUERTA		DSC: 01.02.03		Fecha: 06/02/23



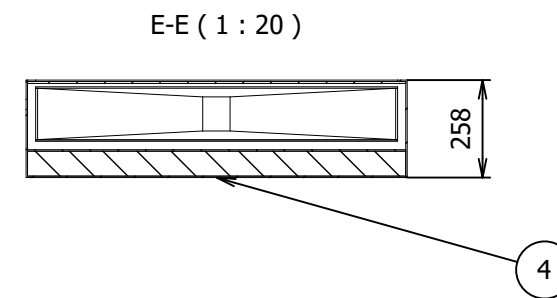
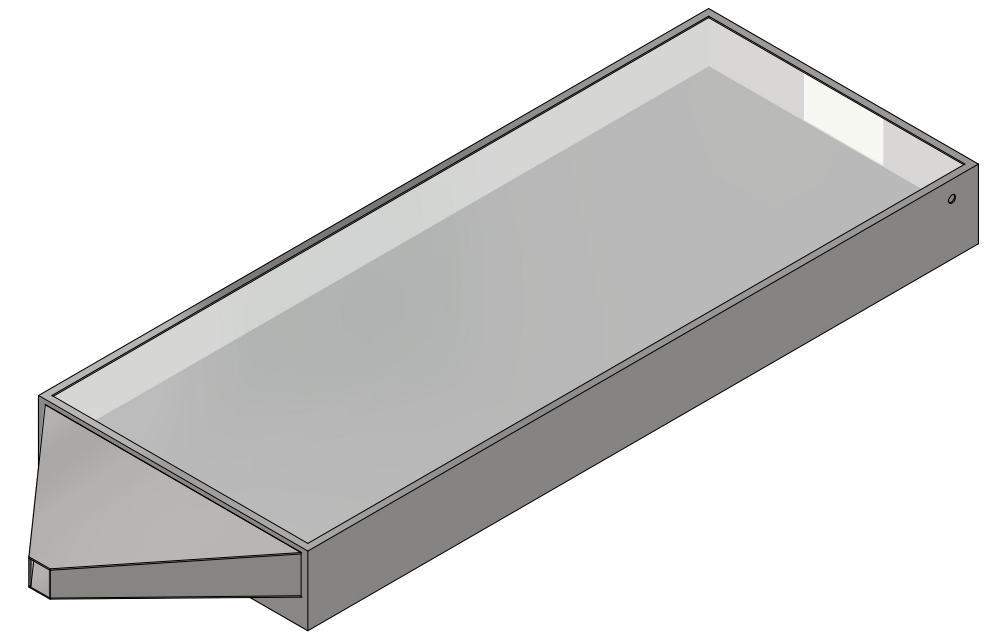
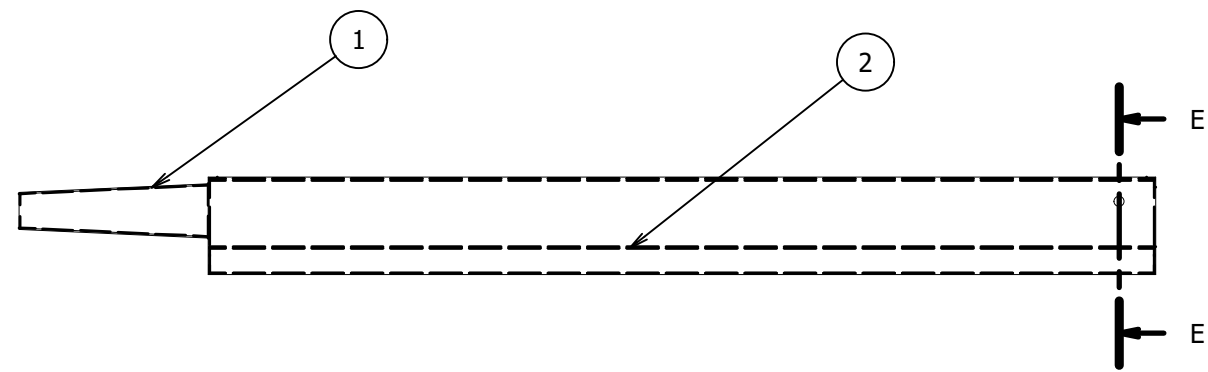
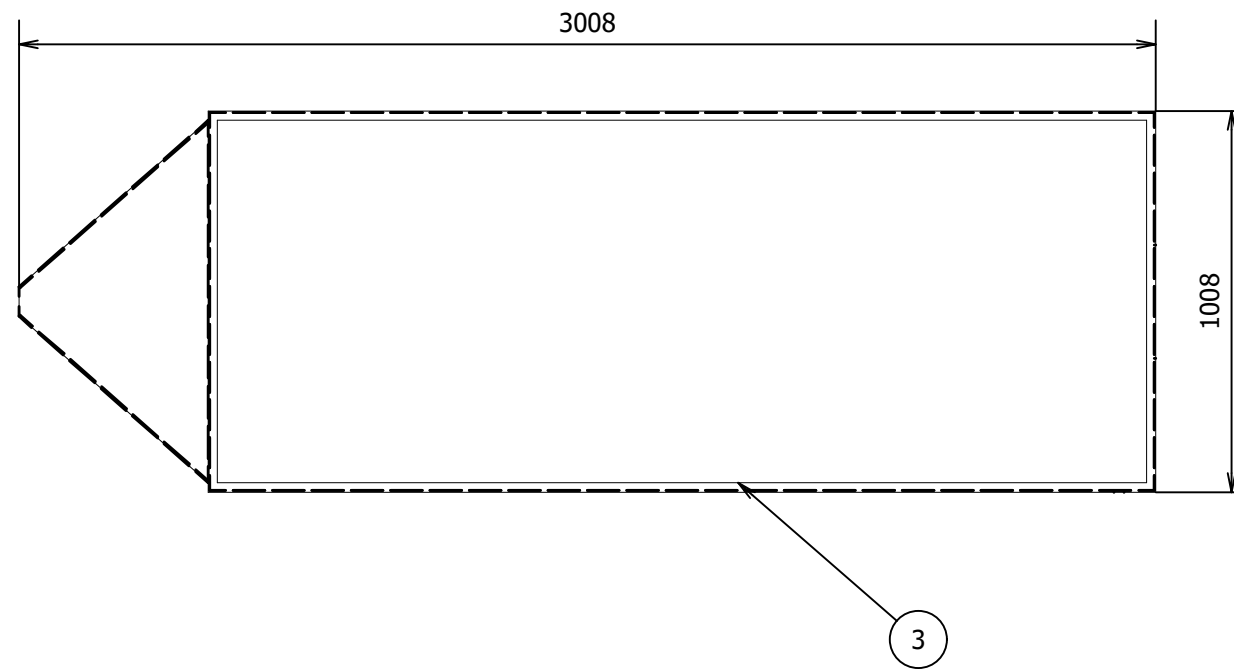
Trat. Térmico	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	Ninguno		Dib.	Fabrizio Almeida
MATERIAL:	Acero Galvanizado	Tol.Gral +0.05	Escala: 1 : 2	Dis.
				Rev.
				Salvatore Reina, PhD
CHIMENEA		DSC: 01.03.00		Fecha: 06/02/23



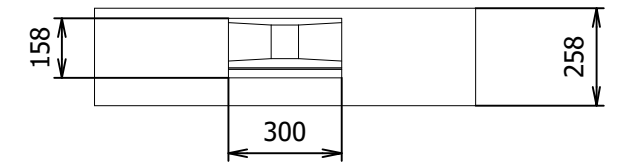
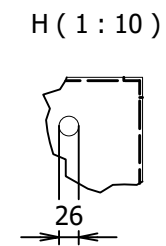
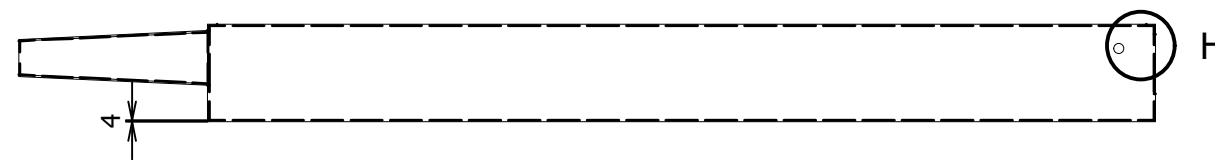
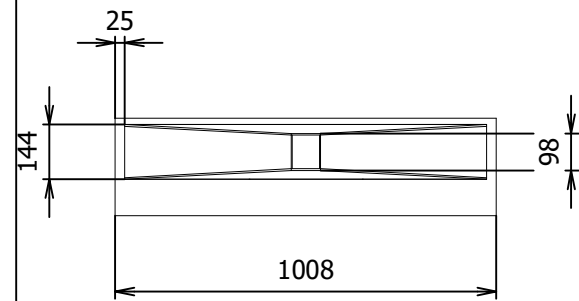
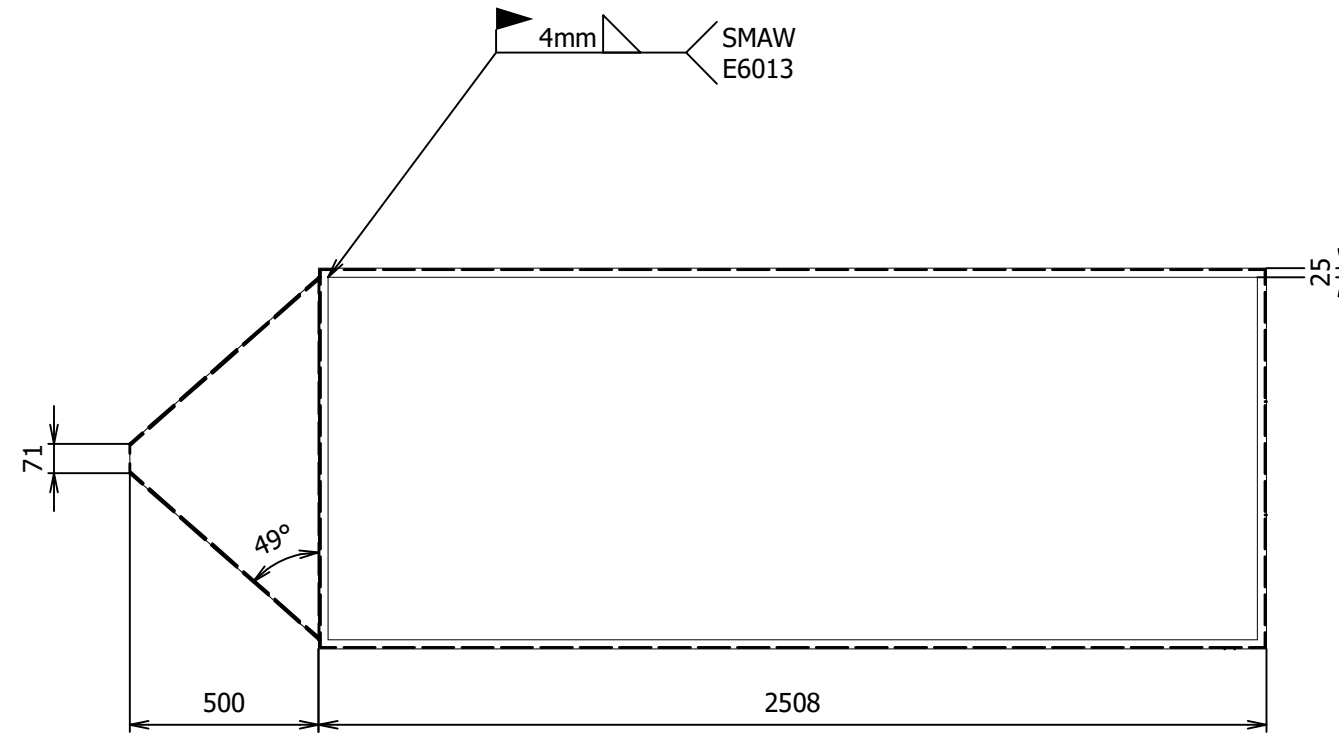
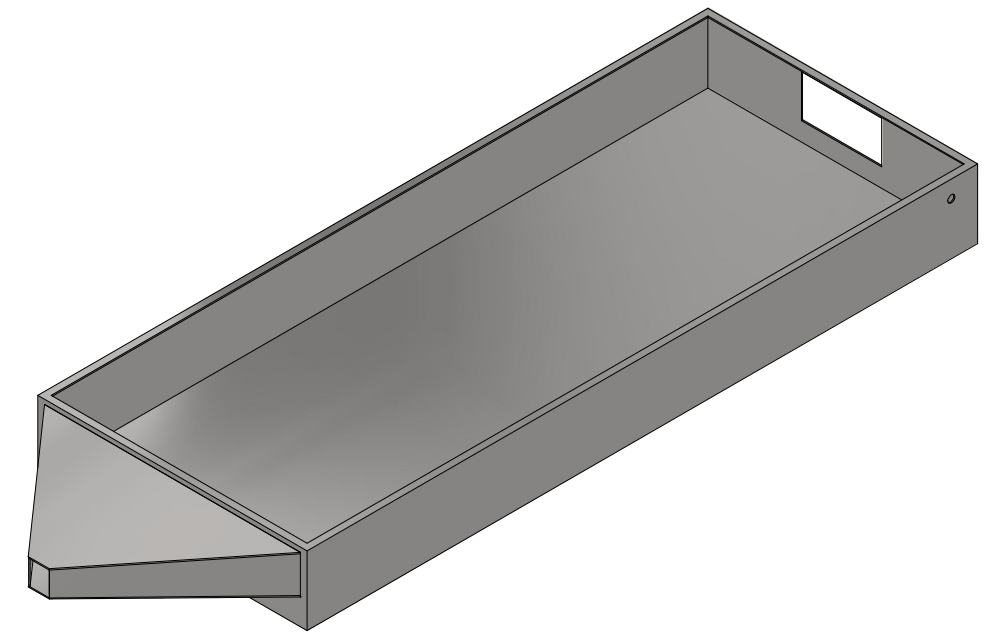
D-D (1 : 5)



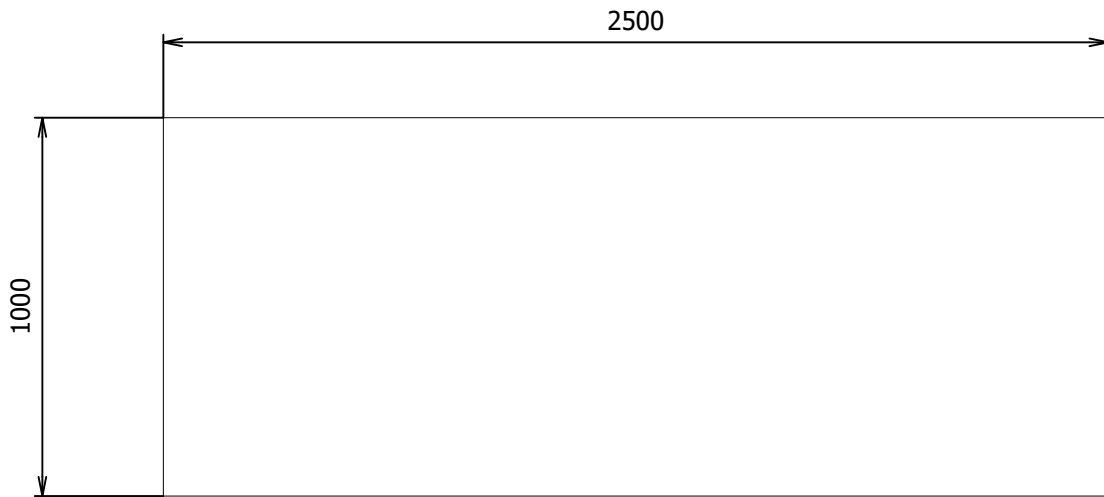
3		Exterior	NTE INEN 115		Acero Galvanizado	
2		Aislante	ASTM C612		Lana de Roca	
1		Interior	AISC 304		A304	
N°	ZONA	DENOMINACIÓN	PLANO Y/O NORMA	CANT.	MATERIAL	OBSERVACIÓN
Trat. Térmico		Ninguno			EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
Recubrimiento		Ninguno				
MATERIAL:			Tol.Gral	Escala:	Dib.	Fabrizio Almeida
Varios			+0.05	1 : 5	Dis.	
					Rev.	Salvatore Reina, PhD
CONECTOR				DSC: 01.04.00		Fecha: 06/02/23



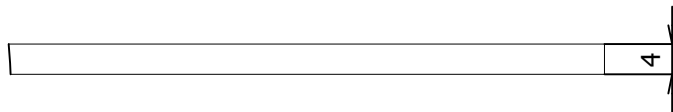
4		Aislante	ASTM C612		Lana de roca	
3		Vidrio	01.05.03		Vidrio	
2		Placa Captadora	01.05.02		A304	
1		Carcaza	01.05.01		Acero Galvanizado	
N°	ZONA	DENOMINACIÓN	PLANO Y/O NORMA	CANT.	MATERIAL	OBSERVACIÓN
Trat. Térmico		Ninguno		EPN		FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
Recubrimiento		Ninguno				
MATERIAL:			Varios	Tol.Gral +0.05	Escala: 1 : 20	Dib. Fabrizio Almeida
						Dis.
COLECTOR					DSC: 01.05.00	Fecha: 06/02/23



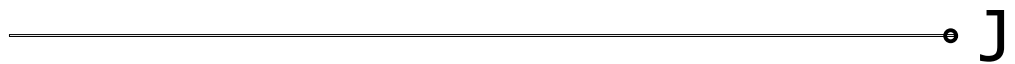
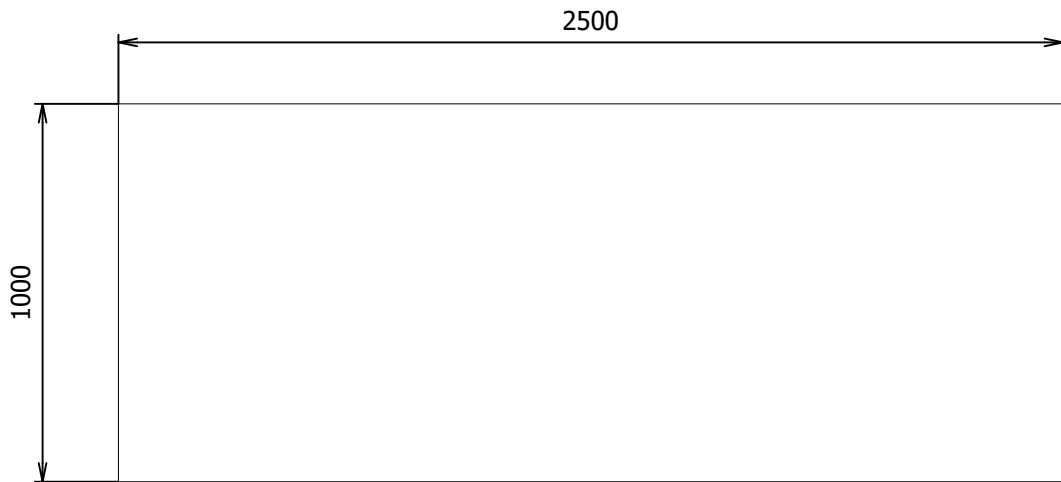
Trat. Térmico	Recocido	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	Zinc		Dib.	Fabrizio Almeida
MATERIAL:	Acero Galvanizado	Tol.Gral	Escala:	Dis.
		+0.05	1 : 20	Rev.
				Salvatore Reina, PhD
CARCAZA DEL COLECTOR			DSC: 01.05.01	Fecha: 06/02/23



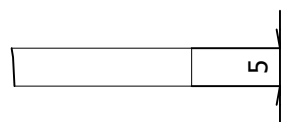
I (1 : 1)



Trat. Térmico	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	Ninguno		Dib.	Fabrizio Almeida
MATERIAL:	Acero A304	Tol.Gral +0.05	Escala: 1 : 20	Dis.
				Rev.
				Salvatore Reina, PhD
PLACA CAPTADORA DEL COLECTOR		DSC: 01.05.02		Fecha: 06/02/23



J (1 : 1)



Trat. Térmico	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	Ninguno		Dib.	Fabrizio Almeida
MATERIAL:	Vidrio	Tol.Gral +0.05	Escala: 1 : 20	Dis.
				Rev.
				Salvatore Reina, PhD
VIDRIO DEL COLECTOR		DSC: 01.05.03		Fecha: 06/02/23