

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y ANÁLISIS ENERGÉTICO DE PANELES SOLARES DE AIRE FORZADO PARA UN HORNO DE DESHIDRATADO DE FRUTAS

PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE MAGISTER EN EFICIENCIA ENERGÉTICA

Ing. Lauro Santiago Díaz Santamaría

(laurosantiagod1@hotmail.com)

DIRECTOR: Prof.Dr.Carlos FabiánGallardo Quingatuña,Ph.D.

(carlos.gallardo@epn.edu.ec)

CODIRECTOR: Ing.César Ricardo Ayabaca Sarria, MBA

(cesar.ayabaca@epn.edu.ec)

Quito, Septiembre 2016



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

ORDEN DE ENCUADERNACIÓN

De acuerdo con lo estipulado en el Art. 17 del instructivo para la Aplicación del Reglamento del Sistema de Estudios, dictado por la Comisión de Docencia y Bienestar Estudiantil el 9 de agosto del 2000, y una vez comprobado que se han realizado las correcciones, modificaciones y más sugerencias realizadas por los miembros del Tribunal Examinador al informe de la tesis de grado presentado por Lauro Santiago Díaz Santamaría.

Se emite la presente orden de empastado, con fecha 12 de septiembre del 2016.

Para constancia firman los miembros del Tribunal Examinador:

NOMBRE	FUNCIÓN	FIRMA
Prof. Dr. Carlos Fabián Gallardo Quingatuña Ph.D.	Director	
Ing. César Ricardo Ayabaca Sarria MBA	Codirector	
Ing. Fredy Geovanny Ordoñez Mallado, Ph.D.	Examinador	

Ing. Fausto Oviedo

DECANO

DECLARACIÓN

Yo, Lauro Santiago Díaz Santamaría declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

LAURO SANTIAGO DIAZ SANTAMARIA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por el Ingeniero Lauro Santiago Díaz Santamaría, bajo nuestra supervisión.

Prof. Dr. Carlos Fabián Gallardo Quingatuña, Ph.I

DIRECTOR

Ing. César Ricardo Ayabaca Sarria, MBA

CODIRECTOR

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo de tesis quisiera agradecerte a ti padre Lauro Amílcar Díaz por haberme guiado para llegar a culminar con éxito todas las metas trazadas en mi vida con tu cuidado y protección.

A la Escuela Politécnica Nacional por brindarme la oportunidad de instruirme y capacitarme, para tener una visión más grande dentro del ámbito laboral.

A mis directores de tesis, Prof. Dr. Carlos Gallardo e Ing. César Ayabaca por su fuerza, entusiasmo y comprensión, quienes con sus conocimientos, su guía, y su motivación han hecho que pueda culminar mis estudios de maestría.

A las personas que están aquí conmigo especialmente mi familia y otras en mis recuerdos y en mi corazón, sin importar en donde estén quiero darles las gracias por formar parte de mí, por todo lo que me han brindado y por todas sus bendiciones.

Para todos ellos: Que dios les pague y les llene de bendiciones

Lauro Santiago Díaz Santamaría

DEDICATORIA

A lo más valioso de mi vida mi familia Lizet,
Matías, Aarón y Amelia con mucho amor y cariño
les dedico mi esfuerzo, sacrificio y trabajo
puesto para la culminación de esta tesis

Lauro Santiago Díaz Santamaría

ÍNDICE DE CONTENIDO

Lista de figuras	ix
Lista de tablas	xi
Lista de anexos	xiii
Resumen	xiv
Abstract	xv
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Definición del problema	1
1.2 Objetivos	2
1.3 Alcance	2
1.4 Justificación e importancia	3
1.5 Situación actual	4
2 MARCO TEÓRICO	5
2.1 Colectores solares	5
2.1.1 Introducción	5
2.1.2 Colectores sin cubierta	6
2.1.3 Colectores con cubierta	6
2.1.4 Colectores de vacío	9
2.1.5 Comparación de colectores solares estacionarios.....	10
2.1.6 Física de los colectores con cubierta	11
2.1.7 Eficiencia de colectores solares.....	11
2.2 Transferencia de calor	13
2.3 ENERGÍA SOLAR	16
2.3.1 Introducción	16
2.3.2 El sol	16
2.3.3 Radiación solar	17

2.4	DESHIDRATADORES	18
2.4.1	Deshidratación de alimentos.....	18
2.4.2	Equipos de deshidratación.....	18
2.4.3	Deshidratadores de energía solar.....	21
2.4.4	Selección del modelo de deshidratador	25
2.4.5	Dimensionamiento de la fuente de calor.....	29
2.4.6	Dimensionamiento del ventilador.....	31
2.4.7	Características de los materiales a secar	31
3	DISEÑO DE LOS COLECTORES	37
3.1	Requerimientos del sistema.....	37
3.1.1	Descripción del horno secador	37
3.2	Dimensionamiento de componentes de los colectores.....	38
3.2.1	Dimensionamiento de la fuente de calor.....	38
3.2.2	Dimensionamiento del colector.....	41
3.2.3	Dimensionamiento del ventilador.....	53
3.2.4	Resumen de diseño.....	54
4	CONSTRUCCIÓN DE LOS COLECTORES.....	56
4.1	Introducción	56
4.2	Planos de taller	56
4.3	Construcción de los colectores.....	57
4.3.1	Fabricación del soporte del absorbedor.....	57
4.3.2	Fabricación del absorbedor	58
4.3.3	Fabricación de la bandeja exterior.....	60
4.3.4	Fabricación de la bandeja interior.....	61
4.3.5	Fabricación del seguro de la bandeja exterior	62
4.3.6	Ensamblaje del colector.....	63
4.3.7	Fabricación del soporte del colector	64

5	PRUEBAS Y RESULTADOS	66
5.1	Protocolo de pruebas.....	66
5.2	Verificación de los valores del modelo matemático	67
5.3	Verificación del proceso de deshidratación.....	69
5.3.1	Cálculo de la humedad final.....	69
5.3.2	Deshidratación de la piña	70
5.3.3	Deshidratación de la manzana	72
5.3.4	Deshidratación del banano	74
6	ANÁLISIS ECONÓMICO Y AMBIENTAL.....	77
6.1	Inversión del proyecto.....	77
6.1.1	Inversión inicial	77
6.1.2	Recuperación de la inversión.....	79
6.2	Análisis ambiental.....	82
7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	85
7.1	Conclusiones	85
7.2	Recomendaciones	87
8	REFERENCIAS	88

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Colector solar sin cubierta	6
Figura 2.2. Colector solar con cubierta	7
Figura 2.3. Colector solar de vacío	9
Figura 2.4. Pérdidas producidas en un colector solar plano básico	11
Figura 2.5. Curva de eficiencia de varios modelos de colector solar	13
Figura 2.6. Distribución de radiación solar sobre Ecuador	17
Figura 2.7. Deshidratador de bandeja	18
Figura 2.8. Deshidratador continuo de túnel	19
Figura 2.9. Deshidratador rotatorio	20
Figura 2.10. Deshidratador de spray	20
Figura 2.11. Deshidratador de cabina	22
Figura 2.12. Deshidratador de cabina con chimenea	23
Figura 2.13. Deshidratador de cuarto	23
Figura 2.14. Deshidratador de túnel	24
Figura 2.15. Deshidratador con almacén de calor	25
Figura 2.16. Deshidratador híbrido	25
Figura 2.17. Variación del costo de secado en función del volumen de producción	26
Figura 2.18. Relación de Arrhenius	28
Figura 2.19. Morfología de la piña	32
Figura 2.20. Morfología del plátano	32
Figura 2.21. Morfología del mango	33
Figura 2.22. Morfología de la manzana	34
Figura 2.23. Tomates maduros	34
Figura 2.24. Hierba Luisa	35
Figura 2.25. Planta de cedrón	35
Figura 3.1. Esquema del colector solar.	41
Figura 3.2. Circuito térmico del colector solar.	44
Figura 3.4. Transferencia de calor en secciones tubulares.	53
Figura 4.1. Construcción del soporte del absorbedor.	58

Figura 4.2. Configuraciones de harpa y serpentín para absorbedores solares .	58
Figura 4.3. Construcción del absorbedor.	60
Figura 4.4. Construcción de la bandeja exterior.	61
Figura 4.5. Construcción de la bandeja interior.	62
Figura 4.6. Construcción del seguro de la bandeja exterior.	63
Figura 4.7. Ensamblaje del colector.	64
Figura 4.8. Fabricación del soporte del colector.	65
Figura 5.1. Ubicación de los sensores de temperatura.	67
Figura 5.2. Rodajas de piña deshidratadas.	70
Figura 5.3. Rodajas de manzana deshidratada.	72
Figura 5.4. Rodajas de banano deshidratadas.	74

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1. Materiales utilizados en la construcción del absorbedor.	7
Tabla 2.2. Comparación de diferentes modelos de colectores solares estacionarios.	10
Tabla 2.3. Valores típicos del coeficiente de transferencia de calor por convección.	14
Tabla 2.4. Campos de aplicación de distintos tipos de deshidratadores.	27
Tabla 2.5. Características de los productos a deshidratar.	36
Tabla 3.1. Características del horno deshidratador de este proyecto.	37
Tabla 3.2. Valores requeridos para la resolución del circuito térmico	44
Tabla 3.3. Temperatura de cielo en Quito.	45
Tabla 3.4. Radiación solar sobre el Valle de los Chillos.	46
Tabla 3.5. Máxima temperatura de placa a lo largo del año.	47
Tabla 3.6. Cálculos realizados para hallar el valor real de T1	49
Tabla 3.7. Cálculos realizados para hallar el valor real de T2	50
Tabla 3.8. Eficiencia mensual de los colectores	51
Tabla 3.9. Resumen de diseño de los paneles solares	55
Tabla 5.1. Medición de la temperatura en el colector en vacío.	68
Tabla 5.2. Cálculo de la eficiencia del colector	68
Tabla 5.3 Medición de humedad en lote de piña con horno al 50%.	71
Tabla 5.4 Medición de humedad en lote de piña con horno al 100%.	71
Tabla 5.5. Medición de humedad en lote de manzana con horno al 50%	73
Tabla 5.6. Medición de humedad en lote de manzana con horno al 100%	73
Tabla 5.7. Medición de humedad en lote de banano con horno al 50%.	75
Tabla 5.8. Medición de humedad en lote de banana con horno al 100%.	75
Tabla 6.1. Resumen de la inversión inicial.	77
Tabla 6.2. Inversión del colector	78
Tabla 6.3. Inversión de la estructura.	78
Tabla 6.4. Inversión de la mano de obra.	78
Tabla 6.5. Inversión del sistema de ventilación.	79
Tabla 6.6. Resumen de recuperación de inversión.	79
Tabla 6.7. Heliofanía en la ciudad de Quito durante el 2015.	80

Tabla 6.8. Consumo de energía eléctrica del deshidratador.	81
Tabla 6.9. Análisis ambiental.....	82

LISTA DE ANEXOS

Anexo A: Diagrama de flujo del colector.....	99
Anexo B: Planos de taller.....	100
Anexo C: Diagramas de flujo de procesos de fabricación.....	115
Anexo D: Pruebas realizadas con el deshidratador.....	123
Anexo E: Fotos del Proyecto.....	126

RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo diseñar, construir y analizar energéticamente tres paneles solares de aire forzado para un horno deshidratador de frutas. Este proyecto se divide en cuatro etapas fundamentales: recopilación de información, diseño de los colectores, implementación de los colectores, análisis de resultados. En la primera etapa se realiza la recopilación y análisis de información referente a radiación solar, transferencia de calor, diseño de paneles solares y deshidratación de alimentos. La segunda etapa comprende la identificación de requerimientos y diseño de los colectores solares así como de los componentes adicionales que le permiten acoplarse al sistema de deshidratación. Durante la tercera etapa se implementan los paneles solares previa elaboración de planos de taller y diagramas de flujo de procesos. La etapa final corresponde a la validación del diseño mediante el contraste de los valores de temperatura calculados y los valores medidos durante la operación de los paneles en el deshidratador así como la verificación de la calidad de los productos deshidratados. Para complementar la investigación se realiza el estudio económico – ambiental de los colectores. Como conclusión del proyecto puede afirmarse que el uso la construcción de los paneles solares de este proyecto como fuente de energía para un horno deshidratador en una opción viable desde los puntos de vista tecnológico, de aprovechamiento eficiente de la energía, económico y ambiental.

ABSTRACT

The aim of this project is to design, build and analyze the behavior of two forced – convective solar collectors for a fruit dehydrator. The project is divided in four stages: recompilation of information, collector's design, collector's implementation and analysis of results. During the first stage it recompiles relevant information about solar radiation, heat transfer, solar collectors design and food drying. The second stage includes identification of requirements and designs of the collectors as well as additional components for their integration with the dryer. In the next stage workshop in drawing, flow process charts and implementation of the collectors develops. During final stage, all design's values will be validated through the comparison with their respective measurements; also, quality of the dried products will be verified. In order to complement the investigation, economic and environmental impact analysis will be developed. As a conclusion, it is possible to affirm that the implementation of the solar collectors of this project as an energy source for a fruit dryer is viable from technological, efficient use of energy and environmental points of view.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Definición del problema

La deshidratación de alimentos es una técnica utilizada en Ecuador por grandes, medianos y pequeños productores de cereales y frutas. Mientras que los grandes productores utilizan deshidratadores industriales, la mayoría de medianos y pequeños productores siguen utilizando técnicas tradicionales porque no están en capacidad de adquirir este tipo de maquinaria ya que no pueden cubrir sus costos de operación y mantenimiento. Con la utilización de técnicas tradicionales ocurren una serie de efectos adversos para su comercialización entre las que pueden nombrarse las siguientes:

- Debido a que la deshidratación se realiza al aire libre, se produce contaminación externa del producto debido al polvo y presencia de insectos, aves, roedores y otros pequeños animales.
- El producto sufre cambios físicos - químicos ya que se lo expone a la luz directa del sol y a la lluvia.
- Al no realizarse en un ambiente aséptico, la proliferación de microorganismos en el producto se torna perjudicial.
- El producto no se deshidrata uniformemente por lo que reduce su calidad y precio en el mercado.

Si se analiza el proceso de deshidratación, rápidamente se caerá en cuenta que para cantidades relativamente pequeñas de productos alimenticios la energía requerida para llevar a cabo la deshidratación es pequeña por lo que puede recurrirse a fuentes de energía alternativas. La utilización de este tipo de energías reduce los costos de operación y mantenimiento, pueden ser utilizadas tanto en zonas urbanas como rurales y contribuyen a la lucha contra la contaminación ambiental y el calentamiento global.

1.2 Objetivos

- **Objetivo general**

Diseñar, construir y analizar energéticamente “Paneles Solares de aire forzado” para un horno de deshidratado de frutas buscando maximizar el uso de energía solar.

- **Objetivos específicos**

- Disminuir el consumo de energía eléctrica al combinarlo con la utilización de energía solar.
- Mejorar el proceso de deshidratación de frutas mediante el uso de la energía solar reduciendo los contaminantes.
- Mejorar y controlar el sistema de deshidratación de frutas mediante la utilización de energía solar.

1.3 Alcance

En este proyecto se realizará al diseño, construcción y el análisis energético de los paneles solares de aire forzado para un horno de deshidratación de frutas siguiendo una secuencia lógica que será:

- Se revisará la situación actual del consumo de energía, y se analizará las mediciones de parámetros físicos necesarios para la deshidratación de frutas en un horno.
- Se establecerá los parámetros de diseño del colector y se diseñaran cada uno de sus componentes a fin de satisfacer los requerimientos del horno deshidratador.
- Se realizarán los planos de taller y los diagramas de flujo de proceso en los que se identificará la forma más eficiente de implementar los colectores.

- Se construirá los paneles solares según los requerimientos del diseño siempre tomando en cuenta aspectos importantes como la eficiencia energética, operatividad, y costo.
- Se instalará los paneles en el horno de deshidratado, se realizarán pruebas de funcionamiento y con estos datos realizaremos las conclusiones.
- Se realizará un estudio económico en el que se verificará la factibilidad de la construcción del colector y se calculará además el periodo de recuperación de la máquina.
- Se realizará un estudio ambiental en el que se estudiarán las razones por las que la implementación de los colectores de este proyecto es beneficiosa para el medio ambiente y la salud de los seres vivos.
- Se realizarán las recomendaciones para el uso masivo de la energía solar a nivel semi-industrial.

1.4 Justificación e importancia

Actualmente existe gran interés por el uso eficiente de la energía, y la optimización de los recursos usados en lo que se refiere a energía. En ese sentido este trabajo se enfoca en el levantamiento de información de las variables que participan en la deshidratación de frutas. En la actualidad en el país se encuentran deshidratando con energía eléctrica o GLP[1] y es de interés cambiar a energía solar para reducir el consumo energético.

Para dar solución al alto consumo de energía eléctrica este proyecto se enfoca en el aprovechamiento de la energía solar a través de la utilización de colectores solares de aire forzado como un complemento al horno de deshidratación utilizando principios básicos como análisis energético, un análisis termo económico y parámetros de diseño.

Los beneficios obtenidos para la empresa será la reducción del consumo de energía eléctrica, obviamente será un sistema amigable con el medio ambiente y reducirá los costos de mantenimiento. Se mejorará el principio de deshidratación

ya que al procesar con energías limpias esto incidirá directamente con la calidad final del producto.

1.5 Situación actual

El reporte sobre el estado de energías renovables en 2015 emitido por la Red Mundial de Políticas en Energía Renovable (REN21 por sus siglas en inglés) revela que la capacidad de energía solar en el mundo aumento de 0,4 GW en 2004 a 4,4 GW en 2014 [2]. Sin embargo, la capacidad correspondiente a América Latina es inferior al 1% [3] por lo que puede decirse que en esta región, la explotación de la energía solar apenas está empezando. Ecuador se encuentra ubicado en una zona que recibe abundante energía solar por lo que los proyectos dedicados a aprovechar este recurso son siempre viables.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Colectores solares

Este capítulo está dividido en cuatro secciones; en la primera sección se presenta información referente a la tecnología utilizada en la actualidad para el diseño y construcción de colectores solares además de introducir ciertos conceptos referentes a su comportamiento físico; en la segunda sección se hace un repaso de los fenómenos de transferencia de calor que deben observarse durante el análisis de colectores solares; la tercera sección es un complemento de la anterior en la que se añaden conceptos relacionados con la energía solar y cómo afectan el desempeño de los colectores solares; la sección final de este capítulo estudia la tecnología actual de deshidratación de alimentos así como sus requerimientos de energía que en este proyecto serán suplidos por los colectores solares.

2.1.1 Introducción

Los colectores solares se pueden concebir como intercambiadores de calor que absorben energía proveniente de la radiación solar y la transfieren a un fluido que circula a través del colector. El calor es transportado por el fluido para su uso directo o para su almacenamiento; los colectores solares se agrupan en estacionarios y móviles; mientras que los colectores estacionarios son de fácil implementación, los móviles aprovechan mejor la energía solar[4]. En este capítulo únicamente se estudiarán los colectores solares estacionarios.

El Instituto Austriaco de Energías Sustentables[2] describe los siguientes modelos de colectores solares estacionarios:

- Colector plano sin cubierta.
- Colector plano con cubierta.
- Colector plano con superficie selectiva.
- Colector plano con cubierta anti-reflejante y superficie selectiva.
- Colector de tubo de vacío.

- Colector de tubo de vacío con concentrador parabólico.

Por otro lado, Kalogirou [4] presenta los siguientes tipos:

- Colector solar plano.
- Colector estacionario parabólico
- Colector de tubo de vacío.

2.1.2 Colectores sin cubierta

Este modelo es el más barato y fácil de construir. Los elementos que forman el colector se encuentran descubiertos por lo que gran parte de la energía que reciben se pierde en el medio ambiente y la temperatura que pueden alcanzar es solo ligeramente superior a la ambiental. La Figura 2.1 muestra un colector solar sin cubierta.



Figura 2.1. Colector solar sin cubierta [5]

2.1.3 Colectores con cubierta

La Figura 2.2 muestra los componentes principales de un colector con cubierta. El corazón del colector está conformado por una placa metálica (2) con buena conducción térmica y recubierta con material selectivo (1) para mejorar la captación de energía. Adheridas al absorbedor se encuentran las tuberías de calentamiento del fluido (3). Para reducir las pérdidas dentro del colector se forra la parte posterior con material aislante (4). La cubierta del colector (8) está

fabricada de un material transparente que facilite la entrada de la radiación solar y dificulte la salida de la radiación térmica emitida por la placa absorbedora, fenómeno conocido como efecto invernadero.

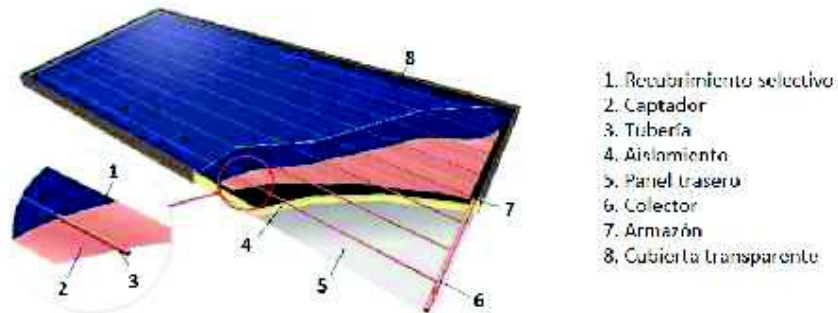


Figura 2.2. Colector solar con cubierta [2].

- **Absorbedor**

El absorbedor está compuesto por una placa metálica y una red de tuberías. El fluido de transporte circula a través de la red de tuberías para absorber el calor proveniente del sol. Algunos de los materiales utilizados para fabricar el colector se muestran en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Materiales utilizados en la construcción del absorbedor.

Material del absorbedor	Conductividad térmica [W/mK]
Acero inoxidable	50
Aluminio	210
Cobre	380

Nota: Tomado de [2]

A fin de mejorar la captación de radiación por parte de la placa, esta se pinta de negro aunque es posible utilizar también recubrimientos selectivos para disminuir la emisión de energía por parte de la placa debido al aumento de temperatura. Un recubrimiento no selectivo tiene una emisividad entre 0,5 y 1; por otro lado, un recubrimiento semi-selectivo

tiene valores de emisividad entre 0,2 y 0,5; un recubrimiento selectivo presenta valores de emisividad entre 0 y 0,2 [2].

- **Circuito del fluido de transporte**

El circuito del fluido de transporte debe ser lo más corto posible y ofrecer la menor resistencia térmica para que la transferencia de calor sea máxima. En caso que el fluido sea aire, este se encuentra en contacto directo con el absorbedor. Si el fluido es líquido, debe existir continuidad entre el absorbedor y la tubería para que la transferencia ocurra por conducción y no por convección; la continuidad es generalmente lograda a través procesos de soldadura.

- **Cuerpo del colector**

El cuerpo del colector es el responsable de soportar el resto de componentes, crear una atmosfera hermética para la transferencia y proteger el fluido de transporte contra la contaminación ambiental. El material del que debe estar construido debe tener baja conductividad térmica y ser resistente contra condiciones ambientales adversas.

- **Aislamiento térmico**

Cuando la temperatura del colector aumenta, empieza a transferir calor al medio ambiente de manera espontánea. La fuga de calor a través de la cubierta se ve mitigada por el efecto invernadero mientras que en la cara posterior es necesario colocar una capa de material aislante. Entre los materiales más utilizados para este propósito se encuentran la espuma de poliuretano, lana de roca, fibra de vidrio, corcho, etc.

- **Cubierta**

La cubierta del colector crea un ambiente con mayor temperatura dentro del colector e impide las pérdidas por convección al separar el aire caliente del interior y el aire frío del exterior. Un fenómeno adicional que produce la placa es la creación del “efecto invernadero” por el cual le es fácil a la radiación solar ingresar al colector y a la radiación térmica del interior le es difícil abandonar el colector. Los materiales más utilizados son plástico y vidrio; el plástico es más barato que el vidrio pero tiende a deteriorarse con más facilidad; el vidrio mantiene por más tiempo sus propiedades pero es frágil y el costo de utilizar vidrio templado es elevado.

2.1.4 Colectores de vacío

Los colectores de vacío constan de un absorbedor encapsulado dentro de un tubo sellado al vacío. Debido a las características del vacío, las pérdidas por convección se ven reducidas. La Figura 2.3 muestra un colector de vacío.



Figura 2.3. Colector solar de vacío [6].

2.1.5 Comparación de colectores solares estacionarios

En la Tabla 2.2 se muestra una comparación entre los diferentes colectores solares estacionarios.

Los colectores planos sin cubierta son económicos y fáciles de instalar; sin embargo alcanzan temperaturas relativamente bajas. Los colectores de cubierta tienen un costo mayor que los anteriores pero alcanzan mayor temperatura. Finalmente, los colectores de mayor tecnología y costo son los de vacío pero alcanzan temperaturas elevadas.

Tabla 2.2. Comparación de diferentes modelos de colectores solares estacionarios.

Tipo de colector	Eficiencia óptica	Coefficiente de pérdida de calor [W/m²*K]	Temperatura de trabajo [°C]
Colector plano sin cubierta	0,9	20	15 – 30
Colector plano con cubierta	0,8	4	30 – 80
Colector plano con superficie selectiva	0,8	3	40 – 90
Colector plano con cubierta anti-reflejante y superficie selectiva	0,8	2,5	50 – 100
Colector de tubo de vacío	0,65	3	90 – 130
Colector de tubo de vacío con concentrador parabólico	0,6	2,5	110 – 200

Nota: Tomado de [2]

Para el trabajo con deshidratadores, la mejor elección para suministrar energía son los colectores solares planos con cubierta ya que la temperatura requerida no supera los 80 C.

2.1.6 Física de los colectores con cubierta

De acuerdo con el Instituto de tecnologías sostenibles Austriaco [2], la interacción entre la radiación solar y un colector con cubierta ocurre como se muestra en la Figura 2.4:

- La radiación proveniente del sol choca contra la cubierta del colector; 8% de esta radiación es reflejada por la cubierta. Además de reflejar la radiación solar, el cuerpo de la cubierta absorbe 2% de la radiación que recibe.
- El absorbedor del colector refleja el 8% de la radiación que recibe el colector e irradia el 6%.
- A pesar de los esfuerzos por aislar el sistema, cerca del 13% de energía se pierde por convección y un 3% por conducción entre los diferentes componentes del colector.
- La energía que el absorbedor logra convertir en calor es aproximadamente el 60% de la energía total que recibe llega al colector.

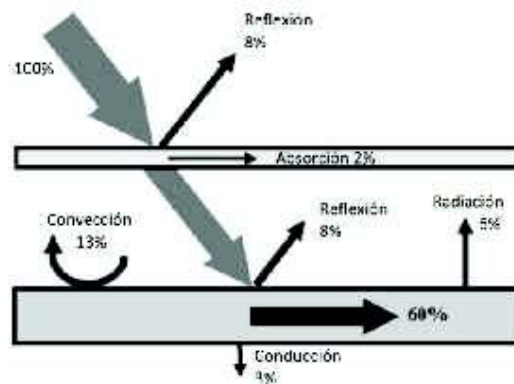


Figura 2.4. Pérdidas producidas en un colector solar plano básico [2].

2.1.7 Eficiencia de colectores solares

La eficiencia del colector es la relación existente entre la energía que el colector transforma en calor y la energía total incidente sobre el colector y depende, entre

otros parámetros, del tipo de colector, de los materiales con los que esté construido y de las condiciones ambientales.

Goswami [7] indica que el balance térmico en un colector solar plano está dado por la Ecuación 2.1.

$$\dot{q}_u = G * A_c * \tau_s * \alpha_s - \dot{q}_p \quad \text{Ecuación 2.1}$$

Donde:

\dot{q}_u	Calor útil	[W]
G	Irradiación global	$\left[\frac{W}{m^2} \right]$
A_c	Coefficiente de pérdidas equivalente del sistema	$\left[\frac{W}{m^2 * K} \right]$
τ	Transmitancia de la cubierta	
α	Absortancia de la cubierta	
\dot{q}_p	Calor perdido	[W]

El segundo término de la ecuación anterior está determinado por la Ecuación 2.2.

$$\dot{q}_p = h_e * A_c * (T_p - T_a) \quad \text{Ecuación 2.2}$$

Donde:

h_e	Coefficiente de pérdidas equivalente del sistema	$\left[\frac{W}{m^2 * K} \right]$
T_p	Temperatura del absorbedor	[K]
T_a	Temperatura ambiente	[K]

La eficiencia del colector es la relación entre el calor útil y el calor total:

$$\eta = \frac{G * A_c * \tau_s * \alpha_s - h_e * A_c * (T_p - T_a)}{G * A_c * \tau_s * \alpha_s}$$

$$\eta = 1 - \frac{h_e * (T_p - T_a)}{\tau * \alpha * G}$$

La Figura 2.5 muestra una curva de eficiencia de varios modelos de colectores; la eficiencia máxima ocurre, en teoría, cuando la temperatura del colector y la temperatura ambiente son iguales si solamente se toman en cuenta pérdidas de tipo óptico

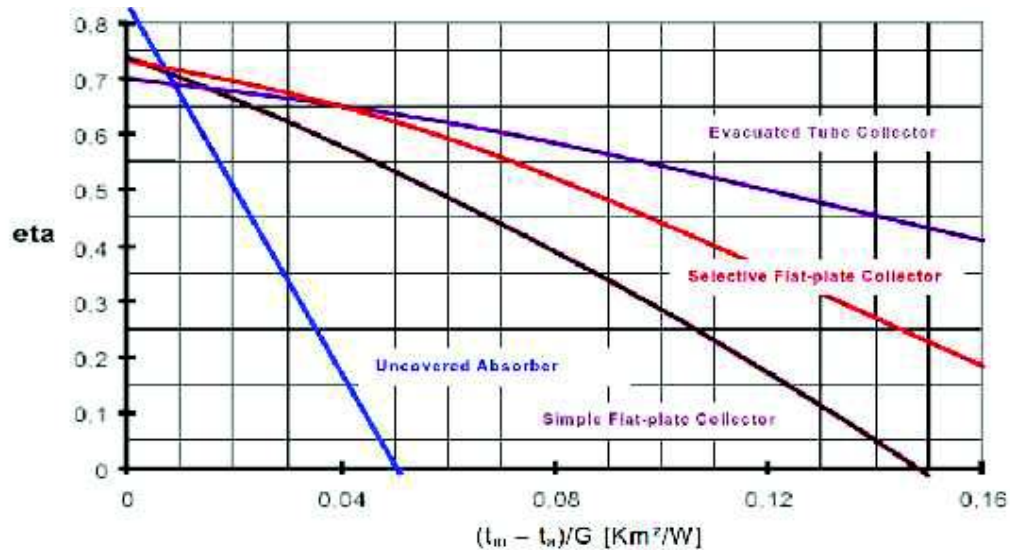


Figura 2.5. Curva de eficiencia de varios modelos de colector solar [2].

Un concepto interesante en el estudio de la eficiencia de colectores solares es la temperatura de estancamiento; esta es la máxima temperatura que puede alcanzar el absorbedor con una radiación solar de $1000 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$ en la cubierta más exterior. Valores típicos de la temperatura de estancamiento son 140-150 °C para colectores planos sencillos, 180-210 °C para colectores planos con recubrimiento selectivo y 260 °C para tubos de vacío [2].

2.2 Transferencia de calor

Al analizar un colector solar como sistema termodinámico, se identificarán dos procesos: convección y radiación; ambos se estudian a continuación.

El proceso de convección de mayor interés para este proyecto es el que ocurre entre un fluido y una superficie. En este caso el calor se transfiere desde el cuerpo con mayor energía (mayor temperatura) al de menor energía (menor temperatura) por interacción de sus moléculas y por el movimiento macroscópico

del fluido. La convección puede ser forzada o natural dependiendo si el flujo se induce o no por medios externos como ventiladores o bombas. El fenómeno de la convección puede modelarse gracias a la ley de enfriamiento de Newton (Ecuación 2.3):

$$\dot{Q} = h * A * (T_M - T_{Iri}) \quad \text{Ecuación 2.3}$$

Donde:

\dot{Q}	Flujo de calor transferido por convección	[W]
h	Coefficiente de transferencia de calor por convección	$\left[\frac{W}{^\circ K * m^2} \right]$
T_M	Temperatura mayor del sistema	[°K]
T_{Iri}	Temperatura menor del sistema	[°K]

La Tabla 2.3 muestra valores típicos del coeficiente de transferencia de calor por convección.

Tabla 2.3. Valores típicos del coeficiente de transferencia de calor por convección.

Proceso	h (W/m ² *°K)
Convección natural	
Gases	2 – 25
Líquidos	50 – 1000
Convección forzada	
Gases	25 – 250
Líquidos	50 – 20000
Convección con cambio de fase	
Ebullición o condensación	2500 – 100000

Nota: Tomado de[7, p. 25]

La radiación térmica tiene su origen en las alteraciones en el equilibrio electrónico de átomos y moléculas de un cuerpo. A diferencia de la conducción y convección,

la radiación se transmite por ondas electromagnéticas y no ocupa medio material alguno. El fenómeno de la radiación puede ser modelado por la ley de Stefan-Boltzmann expresada mediante la Ecuación 2.4.

$$E_b = \sigma * T_s^4 \quad \text{Ecuación 2.4}$$

Donde:

E_b	Potencia emisiva	$\left[\frac{W}{m^2} \right]$
σ	Constante de Stefan – Boltzmann	$\left[\frac{W}{m^2 \cdot K^4} \right]$
T	Temperatura absoluta	$[^{\circ}K]$

El fenómeno modelado con la Ecuación 2.4 se asocia a los radiadores ideales o cuerpos negros [8]. El modelamiento del flujo de calor emitido por un cuerpo diferente al ideal añade un término denominado emisividad (ϵ) que es la medida de la eficiencia con la que un cuerpo emite energía y se encuentra en el rango (0,1). La Ecuación 2.5 modela el comportamiento de los cuerpos no ideales.

$$E_b = \epsilon * \sigma * T_s^4 \quad \text{Ecuación 2.5}$$

El fenómeno de la radiación puede producirse desde el medio ambiente hacia un cuerpo. La velocidad con la que la radiación llega a una unidad de superficie se conoce como irradiación y se la representa con la letra G. La velocidad con la que un cuerpo absorbe energía proveniente de la radiación puede determinarse en base a la absorptividad α de la superficie de acuerdo con la Ecuación 2.6

$$G_a = \alpha * G \quad \text{Ecuación 2.6}$$

Si se requiere encontrar la velocidad neta de calor por radiación de una superficie, han de tenerse en cuenta la energía absorbida y la liberada. La Ecuación 2.7 modela el proceso.

$$\dot{Q} = \epsilon * \sigma * (T_s^4 - T_a^4) \quad \text{Ecuación 2.7}$$

Donde:

T_s	Temperatura del cuerpo	[°K]
T_a	Temperatura el medio que rodea al cuerpo	[°K]

Una expresión también útil de la velocidad de transferencia de calor por radiación está dada por la Ecuación 2.8.

$$\dot{Q} = h_r * A * (T_s - T_a) \quad \text{Ecuación 2.8}$$

Donde:

$$h_r = \varepsilon * \sigma * (T_s + T_a) * (T_s^2 + T_a^2) \quad \text{Ecuación 2.9}$$

2.3 ENERGÍA SOLAR

2.3.1 Introducción

La energía que llega a la Tierra proveniente del Sol se estima en 885'000000 TWh por año. Esta cifra es 6200 veces la energía comercial consumida en 2008 y 4200 veces la energía que se prevé utilizar en 2035 [9]. Existen en el planeta lugares más rentables que otros para montar proyectos relacionados con energía solar. Es recomendable que la zona geográfica reciba más de 4000 Wh/m²*día; Ecuador por ejemplo recibe un promedio de 4575 Wh/m²*día [10] convirtiéndose en un sitio idóneo para aprovechar energía solar.

En la actualidad se conocen dos formas de aprovechar la energía solar: transformación en energía eléctrica mediante paneles fotovoltaicos y transformación en calor mediante colectores solares.

2.3.2 El sol

El sol puede considerarse una gigantesca esfera de gas caliente con un diámetro de 1,39x10⁹ m. En el núcleo del sol constantemente se están produciendo

reacciones de fusión nuclear; la energía generada es transportada hacia el exterior del núcleo por radiación, después de lo cual, la energía continua hacia el exterior del sol por convección debida a los gases de las capas exteriores. Para aplicaciones térmicas simples, el sol puede considerarse como un cuerpo negro a una temperatura de 5762 °K. [11].

2.3.3 Radiación solar

De toda la radiación producida por el Sol, a la Tierra llega una pequeña fracción estimada en $1360 \frac{\text{K}}{\text{m}^2}$ y conocida como constante solar; una porción de este valor se pierde mientras la radiación atraviesa la atmósfera por lo que en un día despejado es posible medir entre 800 y $1000 \frac{\text{K}}{\text{m}^2}$ en el suelo. En Ecuador, la radiación solar promedio se estima en $4575 \frac{\text{W}\cdot\text{h}}{\text{m}^2\cdot\text{día}}$, tal como se puede apreciar en la Figura 2.6.

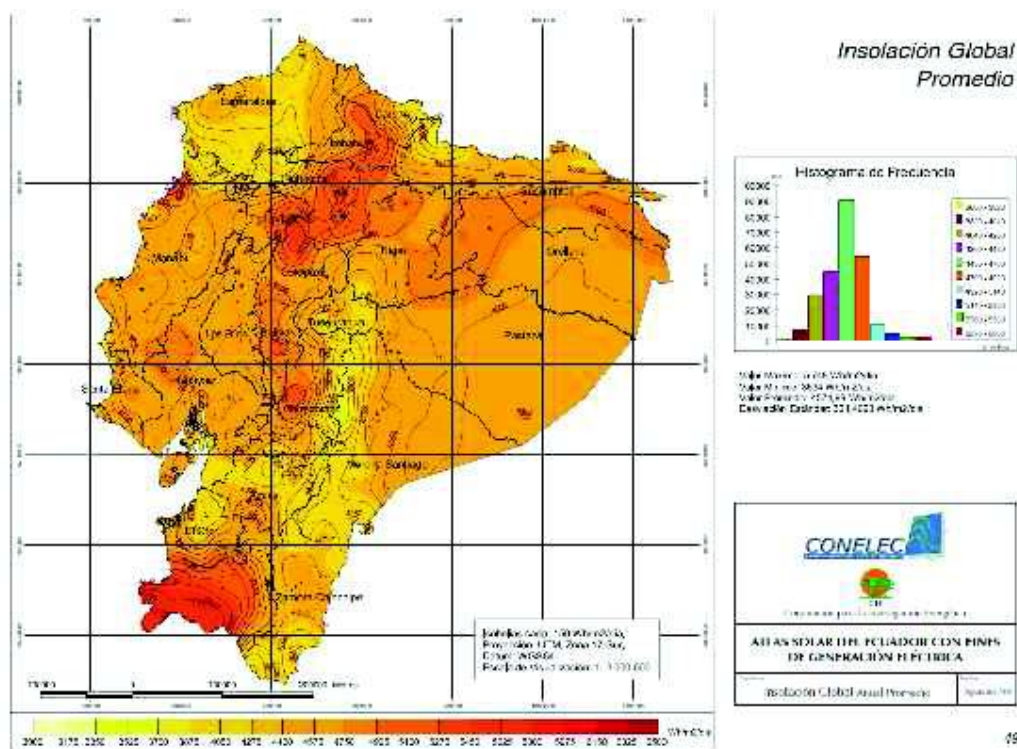


Figura 2.6. Distribución de radiación solar sobre Ecuador [9].

2.4 DESHIDRATADORES

2.4.1 Deshidratación de alimentos

La deshidratación se puede concebir como la técnica de remover agua de un cierto material. En el caso de los alimentos la deshidratación es utilizada principalmente como técnica de conservación ya que “los microorganismos que provocan la descomposición de los alimentos no pueden crecer y multiplicarse en ausencia de agua” [12]. Para evitar la reproducción de estos microorganismos el porcentaje de agua debe ser inferior a 10% pero es mucho mejor dejarlo por debajo de 5% para no alterar su sabor ni su valor nutritivo [12].

2.4.2 Equipos de deshidratación

Los equipos de deshidratación se distinguen unos de otros de acuerdo a su morfología, la tecnología que utilizan y el tipo de material que deshidratan; varios modelos se estudian a continuación:

- **Deshidratadores de bandeja**

En este tipo de equipos el producto es colocado en bandejas apiladas en varios pisos. La configuración de las entradas y salidas de aire debe permitir el ingreso de aire caliente y la salida del aire húmedo. Es común utilizar mecanismos para forzar el flujo de aire y disminuir el tiempo del proceso. La Figura 2.7 muestra un deshidratador de bandejas típico.

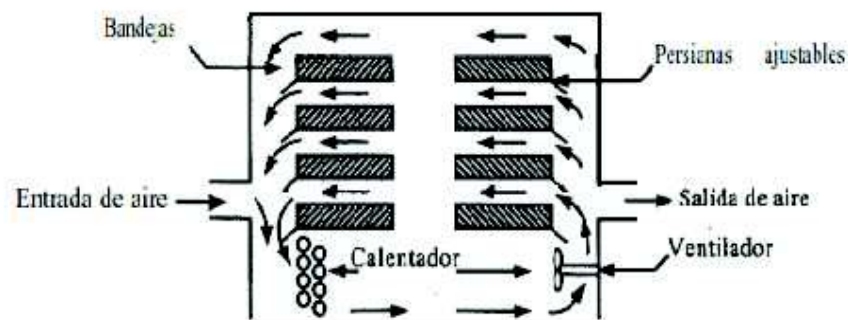


Figura 2.7. Deshidratador de bandeja [11].

- **Deshidratadores continuos de túnel**

En este tipo de equipos el producto se coloca sobre bandejas móviles conectadas en serie. El producto pasa a través de una cámara donde se expone a aire caliente. El deshidratador posee varias fuentes de calor a través de la cámara para mantener temperatura constante. Es común el uso de bandejas perforadas y mecanismos de circulación de aire para mejorar la distribución de calor. La Figura 2.8 muestra un deshidratador continuo de túnel típico.

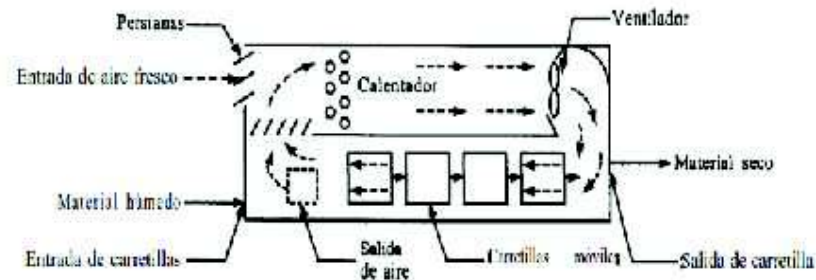


Figura 2.8. Deshidratador continuo de túnel [11].

- **Deshidratadores rotatorios**

Este tipo de equipos constan de un cilindro dispuesto horizontalmente que gira sobre su propio eje. El cilindro se encuentra ligeramente inclinado hacia la salida para que el producto se desplace por acción de la gravedad. El calor se transfiere a través del aire aunque es posible que el medio conductor sean las paredes del cilindro. La Figura 2.9 muestra un deshidratador rotatorio típico.

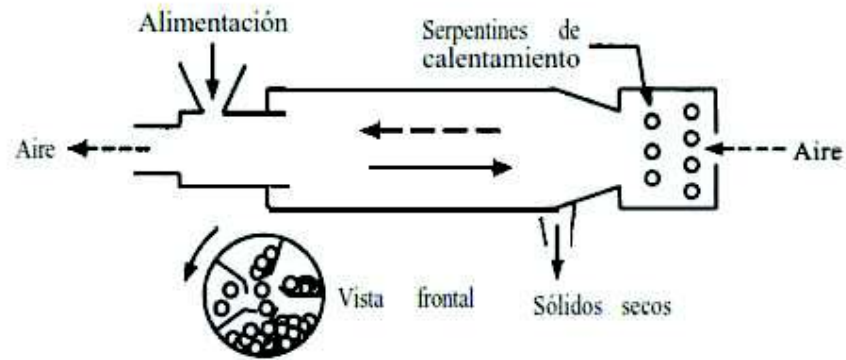


Figura 2.9. Deshidratador rotatorio [11].

- **Deshidratadores de spray**

Este tipo de equipos atomizan una mezcla semilíquida en el interior de una cámara llena de gas caliente. La evaporación del agua de las gotas de mezcla se produce casi instantáneamente y el producto seco es recogido en el fondo de la cámara. La Figura 2.10 muestra el esquema de un deshidratador de spray típico.

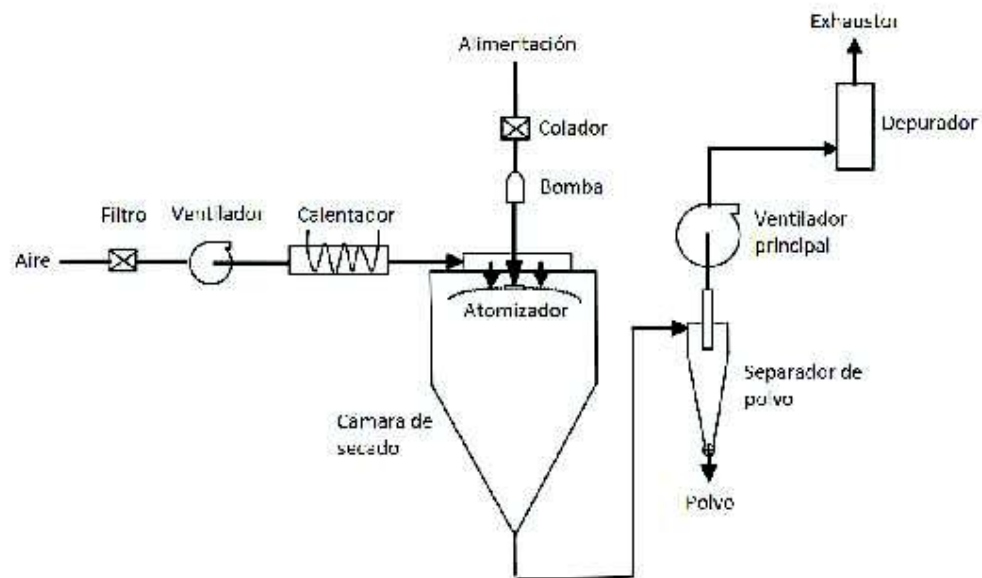


Figura 2.10. Deshidratador de spray[12].

2.4.3 Deshidratadores de energía solar

Ventajas de los deshidratadores solares

La técnica más antigua utilizada para conservar alimentos, semillas y madera es la deshidratación al aire libre en donde se exponen los productos directamente a la radiación solar. Esta técnica se sigue utilizando en zonas rurales de Ecuador por las siguientes razones:

- La energía solar es abundante
- No requiere instalaciones especializadas.
- No tiene costo de operación.
- No requiere conocimientos de tecnología alguna.

La deshidratación al aire libre conlleva algunos problemas entre los que se pueden mencionar los siguientes [13]:

- Proliferación de microorganismos.
- Degradación por exposición directa al sol y la lluvia.
- Contaminación por polvo y contaminación ambiental
- Daños producidos por insectos, aves, roedores y otros pequeños animales
- Algunas secciones del producto no quedan apropiadamente deshidratadas

En comparación con otros equipos de deshidratación, los de energía solar tienen una capacidad muy baja y difícilmente pueden ser utilizados a nivel industrial. Sin embargo, muchos de los diseños de deshidratadores solares tienen bajos costos de implementación y ningún costo de operación por lo que resultan adecuados para mejorar la producción en aquellas zonas donde se sigue utilizando la deshidratación al aire libre.

Equipos de deshidratación natural

Este tipo de equipos emplean únicamente fenómenos naturales para la deshidratación. Diferentes configuraciones de estos equipos se presentan a continuación:

- **Deshidratadores de cabina simples**

La cabina de estos equipos posee paredes transparentes. El producto descansa sobre bandejas perforadas de manera que el aire caliente fluye a través del producto y abandona la cabina por la parte superior de esta. El diseño de estos deshidratadores es simple y tienen muy bajo costo. Preferentemente debe utilizarse con productos granulados y en cantidades que estén entre 10 y 20 kg [13]. La Figura 2.11 muestra un deshidratador de cabina típico.

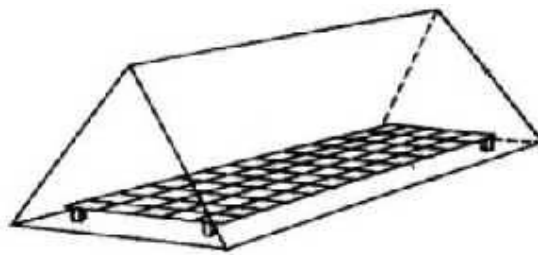


Figura 2.11. Deshidratador de cabina [12].

- **Deshidratadores de cabina con chimenea**

Este modelo permite deshidratar mayor cantidad de producto ya que este se apila en varios pisos en bandejas perforadas. El flujo de aire caliente se incrementa utilizando el efecto chimenea tal como se muestra en la Figura 2.12.

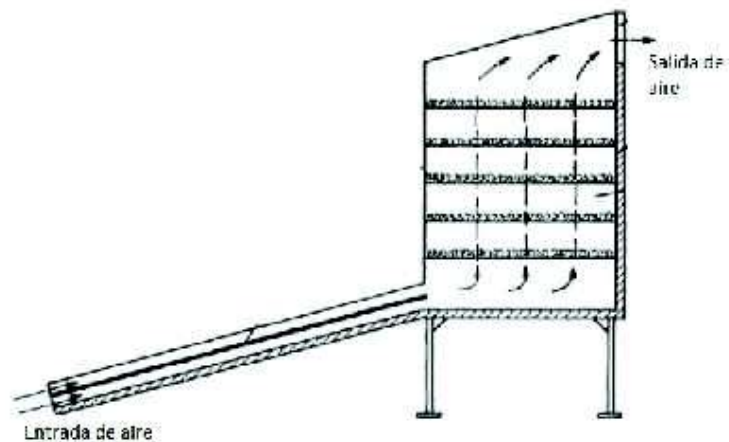


Figura 2.12. Deshidratador de cabina con chimenea[13].

Equipos de deshidratación semi-artificial

Estos equipos presentan una mejora en el flujo de aire ya que este se ve forzado por uno o más ventiladores. Entre las configuraciones destacables pueden mencionarse las siguientes:

- **Deshidratadores de cuarto**

Este modelo tiene forma de caja con la tapa transparente. El colector de calor se encuentra bajo la tapa. El aire caliente es desplazado hacia la zona donde está almacenado el producto gracias a la acción de un ventilador y un sistema de distribución de aire. La Figura 2.13 muestra un deshidratador de cuarto típico.

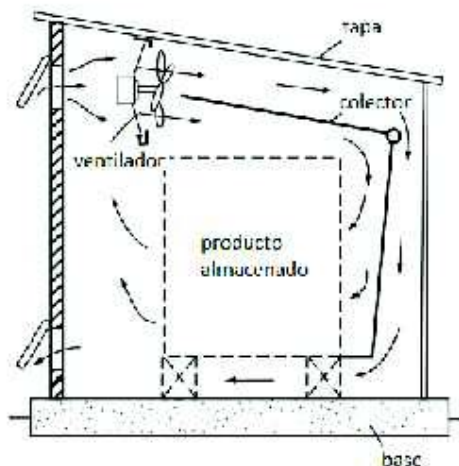


Figura 2.13. Deshidratador de cuarto [13].

- **Deshidratadores de túnel**

Estos equipos constan de un cuerpo principal en forma de túnel dividido en dos secciones. La primera sección alberga los colectores solares mientras que en la segunda se coloca el producto a secar. El aire fluye desde los colectores solares hacia el área de secado gracias a la acción de un ventilador que puede ser accionado con paneles solares o con energía de la red. La Figura 2.14 muestra un deshidratador de túnel típico.

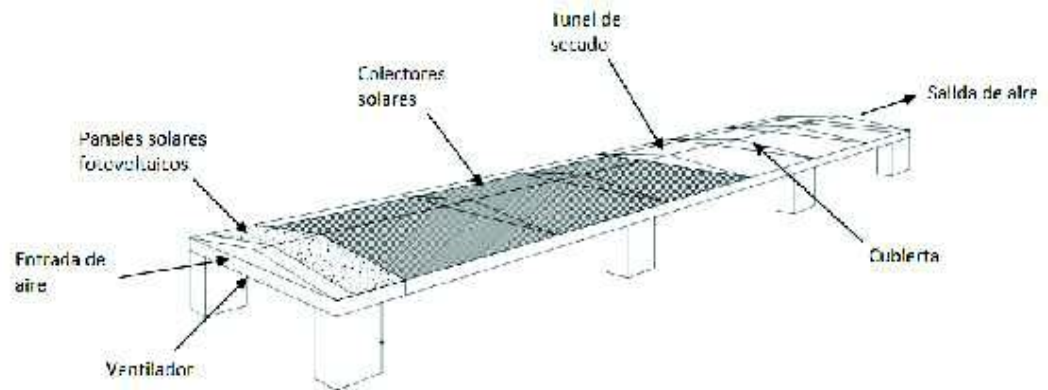


Figura 2.14. Deshidratador de túnel [14].

- **Deshidratadores con almacenamiento de calor**

Estos equipos cuentan con un almacén de calor para continuar operando durante el periodo sin radiación solar. Para el almacén de calor puede utilizarse agua, lecho de guijarros, lecho de roca o soluciones salinas [13]. Los deshidratadores con almacén de calor mejoran la conversión de energía pero tienen un diseño complejo y por ende mayor costo de instalación y mantenimiento. La Figura 2.15 muestra un deshidratador con almacén de calor típico.

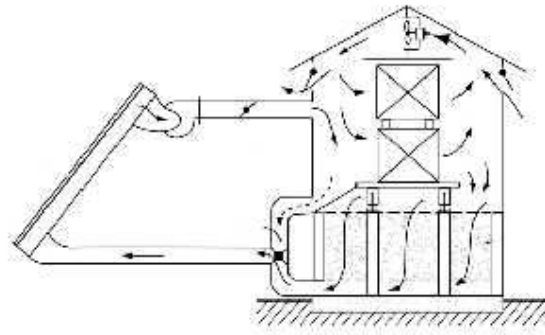


Figura 2.15. Deshidratador con almacén de calor [13].

Equipos de deshidratación híbridos

Estos equipos son capaces de utilizar energía solar como fuente primaria y energía convencional como fuente auxiliar. La Figura 2.16 muestra un deshidratador híbrido. La fuente de alimentación primaria son los colectores solares instalados en el techo mientras que la fuente auxiliar corresponde al calentador de gas colocado en el compartimento adjunto. Este tipo de secadores son ideales para sitios en los que se dispone parcialmente de energía solar

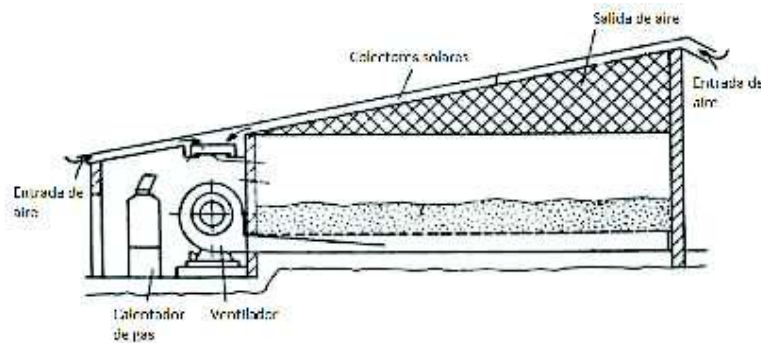


Figura 2.16. Deshidratador híbrido [13].

2.4.4 Selección del modelo de deshidratador

En el proceso de selección de un equipo de deshidratación, algunas de las siguientes interrogantes deben ser planteadas:

- ¿Se requiere una operación por lote o continua?
- ¿Cuáles son las características del producto que va a deshidratar?
- ¿Qué fuente de calor va a emplear?

- ¿Cómo va a transferir el calor al producto?
- ¿Cuáles son los costos de implementación y operación del equipo?

Algunos conceptos alrededor de la selección de deshidratadores se estudian a continuación para dar respuestas a las interrogantes anteriores.

2.4.4.1 Tipo de operación

En lo que se refiere al tipo de operación, por lote o continua, la selección está determinada por el volumen de producto a ser procesado. La Figura 2.17 muestra que para volúmenes de producción pequeños la mejor opción es la operación por lotes; pero mientras el volumen aumenta, se hace más rentable la operación continua.

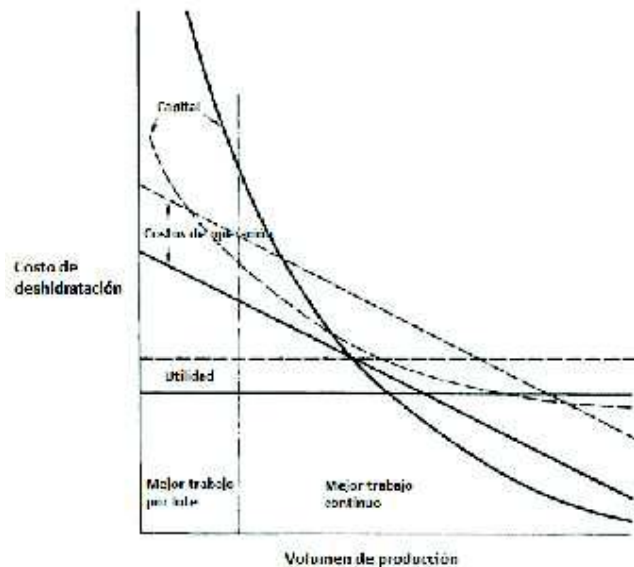


Figura 2.17. Variación del costo de secado en función del volumen de producción [15].

2.4.4.2 Tecnología de deshidratación

Para la selección de la morfología del deshidratador es necesario identificar la tecnología más adecuada para determinados tipos y presentaciones de productos; un estudio a este respecto se muestra en la Tabla 2.4.

Tabla 2.4. Campos de aplicación de distintos tipos de deshidratadores.

Deshidratador	Campo de aplicación							
	Líquidos	Lechadas	Pastas	Polvos	Granulados	Piezas de sólidos	Planchas discontinuas	Planchas continuas
Convección								
Bandeja fija	-	Lotes muy pequeños	Adecuado	Adecuado. La limpieza puede ser un problema	Adecuado. La limpieza puede ser un problema	Ampliamente utilizados en operación continua	Adecuado	-
Bandeja móvil	-	-	-	Adecuado excepto para materiales pegajosos	Adecuado excepto para materiales pegajosos	-	-	-
Banda transportadora	-	Adecuado, en especial para control fino de la humedad	Adecuado, en especial para control fino de la humedad	Adecuado. Equipo costoso	Adecuado. Equipo costoso	Adecuado, en especial para control fino de la humedad	Adecuado, en especial para control fino de la humedad	-
Banda transportadora vibratoria	-	-	-	Adecuado excepto para materiales pegajosos	Adecuado excepto para materiales pegajosos	-	-	-
Rotacional	-	-	El producto debe ser recirculado	Adecuado para materiales abrasivos	Adecuado para materiales no abrasivos	-	-	-
Cama líquida	-	-	El producto debe ser recirculado	Adecuado para productos con bajo porcentaje de humedad	Adecuado para productos con bajo porcentaje de humedad	-	-	-
Aire ascendente	-	-	El producto debería ser recirculado	-	-	-	-	-

Nota: Tomado de [15]

2.4.4.3 Tipo de transferencia de calor

Un factor importante en la selección de un modelo de deshidratador adecuado es determinar si la transferencia de calor va a ser directa o indirecta. La transferencia directa es más fácil de implementar y menos costosa; sin embargo, pueden surgir problemas como una pobre eficiencia energética, exposición del producto a reacciones químicas con el oxígeno, para el caso de polvos pueden presentarse pérdidas de material, etc. La transferencia indirecta permite mitigar los inconvenientes de la directa con mayor costo de implementación y mantenimiento. Para este proyecto se selecciona la transferencia directa ya que la exposición de frutas y vegetales al oxígeno ambiental no es perjudicial.

2.4.4.4 Medio circundante

Los medios circundantes más utilizados son aire y vacío. La selección apropiada de uno de estos para una determinada aplicación permitirá elevar la rentabilidad del producto final. Para determinar esta característica del deshidratador es posible reflexionar sobre la relación de Arrhenius representada en la Figura 2.18; en deshidratadores de lote que retienen el producto por largo tiempo, para mantener temperaturas bajas de evaporación, es recomendable el vacío mientras que la operación a presión atmosférica es adecuada para deshidratadores continuos donde el tiempo de exposición es reducido.

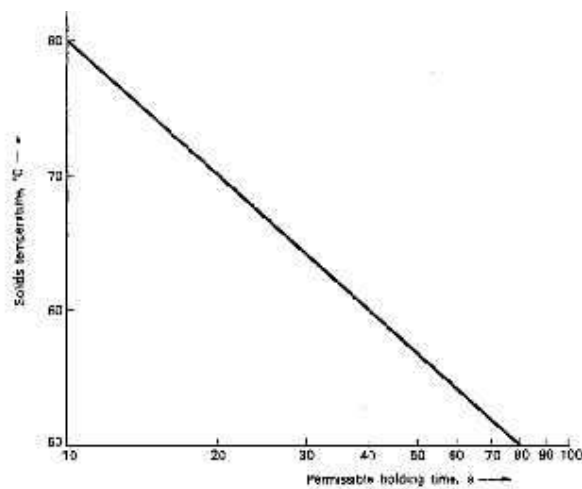


Figura 2.18. Relación de Arrhenius [15].

2.4.5 Dimensionamiento de la fuente de calor

El primer paso en el dimensionamiento de la fuente de calor es conocer la masa del producto que se desea secar. Si el dato conocido es el volumen, la masa puede calcularse con la Ecuación 2.10:

$$m_T = \delta * V \quad \text{Ecuación 2.10}$$

Donde:

m_T	Masa total del producto	[Kg]
δ	Densidad del producto	$\left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}\right]$
V	Volumen del producto	$[\text{m}^3]$

Una vez que se ha determinado la masa total del producto fresco es necesario conocer el porcentaje de agua contenido en la masa total. El porcentaje de humedad en la cosecha de la mayoría de alimentos ya se encuentra determinado. La masa de agua que debe evaporarse puede calcularse con la Ecuación 2.11:

$$m_a = m_T * (H_{f1} - H_{s1}) \quad \text{Ecuación 2.11}$$

Donde:

m_a	Masa de agua presente en el producto que debe evaporarse	[Kg]
m_T	Masa total del producto	[Kg]
H_{f1}	Fracción de agua en el producto fresco	
H_{s1}	Fracción de agua que debe tener el producto deshidratado	

El calor necesario para evaporar el excedente de agua tiene dos componentes: calor sensible y calor latente. El calor sensible puede calcularse con la Ecuación 2.12:

$$Q = m_a * C_p * (T_s - T_a) \quad \text{Ecuación 2.12}$$

Donde:

Q	Calor requerido para elevar la temperatura del agua	[J]
m_a	Masa de agua que debe evaporarse	[Kg]
C_p	Calor específico del agua	$\left[\frac{J}{kg \cdot ^\circ K} \right]$
T_s	Temperatura a la cual debe ocurrir la deshidratación	[°K]
T_a	Temperatura ambiente	[°K]

El calor latente puede calcularse gracias a la Ecuación 2.13.

$$Q_l = m_a * (h_v - h_{lq}) \quad \text{Ecuación 2.13}$$

Donde:

Q_l	Calor requerido para evaporar el excedente de agua	[KJ]
m_a	Masa de agua que debe removerse en kg	[Kg]
h_v	Entalpía del agua en estado de vapor a una determinada temperatura	$\left[\frac{KJ}{kg} \right]$
h_{lq}	Entalpía del agua en estado líquido a una determinada temperatura	$\left[\frac{KJ}{kg} \right]$

Si se conoce el tiempo de secado que requiere el producto, la potencia que debe entregar la fuente de calor puede calcularse con la Ecuación 2.14:

$$P = \frac{Q}{t} \quad \text{Ecuación 2.14}$$

Donde:

P	Potencia requerida por la fuente de calor	[W]
-----	---	-----

Q	Calor requerido para evaporar el excedente de agua	[J]
t	Tiempo de secado	[s]

2.4.6 Dimensionamiento del ventilador

El ventilador ayuda a una mejor distribución del calor dentro de la cabina además de agilizar la entrada de aire seco y la salida de aire húmedo. Para determinar el caudal que debe manejar el ventilador, el diseñador debe conocer la velocidad del aire dentro del deshidratador y el área transversal del deshidratador; con estos datos es posible utilizar la Ecuación 2.15 para determinar el caudal del ventilador.

$$Q = v * A \quad \text{Ecuación 2.15}$$

Dónde:

Q	Caudal que debe mover el ventilador	$\left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]$
v	Velocidad del aire	$\left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$
A	Área transversal del deshidratador	$[\text{m}^2]$

2.4.7 Características de los materiales a secar

Frutas

- **Piña**

La piña es una planta perenne, pequeña y de hojas duras y lanceoladas de hasta 1 m de largo, que fructifica una vez cada tres años produciendo un único fruto fragante y dulce. Se trata de un fruto compuesto (formado por la unión de los frutos de varias flores alrededor de un eje carnoso), de gran tamaño, con cáscara gruesa y dura, con escamas de color marrón y que tiene en uno de sus extremos un conjunto muy vistoso de hojas verdes. Su pulpa es amarillenta, aromática y dulce con tintes ácidos. La piña tropical proviene de Sudamérica, concretamente de Brasil. Es el fruto de la planta conocida como Ananás. Se conocen tres variedades botánicas de piña tropical: Sativus (sin semillas), Comosus (forma semillas capaces de germinar) y Lucidus (permite una recolección más fácil porque sus hojas no

poseen espinas). La humedad de la piña fresca está medida en 87%; la temperatura de deshidratación de este producto no debe superar los 60 C y el proceso demora entre 12 y 20 horas [16]. La Figura 2.19 muestra la morfología de la piña



Figura 2.19. Morfología de la piña [17].

- **Plátano**

El plátano (*Musa acuminata*) es una fruta tropical procedente del árbol que recibe el mismo nombre, banano o platanera, planta monocotiledónea perteneciente a la familia de las Musáceas y al género *Musa*. Las condiciones óptimas para su cultivo son: buena luminosidad, bastante humedad y una temperatura aproximada de 25°C. La piel es gruesa, de color amarillo y fácil de pelar, y la pulpa es blanca o amarillenta y carnosa (Figura 2.20). La humedad del plátano fresco está medida en 74%; la temperatura de deshidratación de este producto no debe superar los 70 C y el proceso demora entre 12 y 16 horas [16]



Figura 2.20. Morfología del plátano [18].

- **Mango**

El mango (*Mangúífera índica*) pertenece a la familia de las Anacardiáceas o Marañón, que abarca más de 50 especies, de las que muy pocas son utilizadas como fruto comestible. El fruto es carnoso, su peso varía de 150 g a 2 kg con forma ovalada, obtusa por sus extremos. Su piel es lisa, con un color que varía desde el verde al amarillo con tonalidades rosadas, rojas y violetas donde recibe la luz directa del sol. La pulpa es de color amarillo intenso, casi anaranjado, jugosa y refrescante, especialmente cuando está maduro el fruto. Su hueso es fibroso y muchas veces penetra la pulpa. La humedad del mango fresco está medida en 88%; la temperatura de deshidratación de este producto no debe superar los 60 C y el proceso demora entre 14 y 18 horas [16]. La Figura 2.21 muestra la morfología del mango.



Figura 2.21. Morfología del mango[19].

- **Manzana**

La manzana es el fruto del manzano. La piel puede ser de color verde, amarilla o rojiza, y la pulpa, harinosa o crujiente, presenta un sabor que varía entre el agrio y el dulce. Contiene en su interior varias semillas de color marrón oscuro. Entre las propiedades de esta fruta puede nombrarse que un 85% de su composición es agua, por lo que resulta muy refrescante e hidratante. Es una fuente de fibra: contiene pectina, fibra soluble. Contiene aminoácidos esenciales como la cistina. Se aconseja en dietas y para diabéticos por ser la fructosa el azúcar que contiene en mayor proporción; la temperatura de deshidratación de este producto no debe

superar los 50 C y el proceso demora entre 6 y 12 horas [16]. La Figura 2.22 muestra la morfología de la manzana.



Figura 2.22. Morfología de la manzana [20].

- **Tomate**

El tomate (*Lycopersicon esculentum*) es el fruto de una planta de la familia de las Solanáceas. Entre otras especies de su misma familia se encuentran el pimiento y la berenjena; los tres, atendiendo a su parte comestible, son considerados frutos. La planta, perenne y de porte arbustivo, está totalmente cubierta por unos pelillos absorbentes especializados en tomar agua y nutrientes. Tiene hojas fuertemente aromáticas con bordes dentados. Florece con abundancia y sus flores pequeñas y amarillas producen frutos muy coloreados, de tonos que van del amarillento al rojo, debido a la presencia de pigmentos como el licopeno y los carotenos. La humedad del mango fresco está medida en 94%; la temperatura de deshidratación de este producto no debe superar los 65 C y el proceso demora entre 10 y 14 horas [16]. La Figura 2.23 muestra tomates maduros.



Figura 2.23. Tomates maduros [21].

Hierbas aromáticas

- **Hierba Luisa**

Planta que puede llegar a alcanzar los dos metros de altura. Es un arbusto, ya que las ramas están en cierta forma lignificadas. Las hojas son alargadas y aparecen unidas al tallo por un nudo, agrupadas en número de tres, aunque a veces pueden aparecer cuatro. La unión al tallo se hace de forma directa, casi sin existir peciolo.



Figura 2.24. Hierba Luisa [22].

- **Cedrón**

El Cedrón es una planta arbustiva que puede medir entre 1,50 y 2,50 metros de altura. Sus tallos son largos, leñosos, redondos o angulosos, ramificados en la parte superior, provistos de finas rayas lineares. Las hojas son simples, rugosas, reunidas en verticilos de tres, raro cuatro, su limbo, entero o un poco dentado, de color verde pálido, presenta una nervadura mediana, saliente en la cara inferior, de la cual se destaca una serie de nervaduras secundarias paralelas, que se reúnen para formar una especie de cordón paralelo al borde foliar.



Figura 2.25. Planta de cedrón [23].

Los productos a deshidratar se agrupan en tres categorías:

- Frutas: manzana, banana, piña, frutilla, naranja y mango.
- Vegetales: tomate.
- Hierbas aromáticas: cedrón y hierba luisa

Para llevar a cabo el proceso de deshidratación, es importante conocer la humedad inicial del producto, humedad final, temperatura a la que debe ocurrir el proceso y el tiempo de duración del proceso. Adicionalmente, si se está utilizando un dispositivo de convección forzada, es necesario conocer el flujo de aire que debe existir en la cámara de deshidratación.

La Tabla 2.5 resume los datos que se requieren para la deshidratación de los productos contemplados en este proyecto.

Tabla 2.5. Características de los productos a deshidratar.

Producto	Humedad inicial	Humedad inicial	Humedad inicial	Temperatura máxima	Horas de deshidratación	
	Fuente 1	Fuente 2	Fuente 3		Fuente 3	Fuente 4
Manzana	84		84	50	6 – 12	12
Banana	74		80	70	12 – 16	8 – 12
Piña	87	86		54 – 60	12 – 20	12 – 24
Frutilla	92	90		55	10 – 14	12 – 24
Naranja	87	86		50	6 – 14	
Mango	88		85		14 – 18	12 – 24
Tomate	94		95	65		10 – 14
Hierbas			80	50		4 – 8

Nota: Fuente1: [24], Fuente2: [25], Fuente 3: [16], Fuente 4: [26]

En referencia a la velocidad del aire dentro de la cámara de deshidratado, García [27] recomienda que para frutas como la piña sea de 2 m/s; por su lado, Tchaya[28] menciona que para productos agrícolas en general la velocidad debe variar entre 1 y 2 m/s; para hierbas aromáticas, Bagheri [29] encontró que la velocidad más adecuada es 3 m/s.

CAPÍTULO III

PARAMETROS DE DISEÑO DE LOS COLECTORES

3.1 Requerimientos del sistema

Como se ha indicado, este proyecto busca emplear energía solar como fuente de energía para un deshidratador de alimentos con capacidad de 30 kg. A fin de lograr este objetivo, los colectores solares deben ser analizados y diseñados a fin de suplir los requerimientos de energía del colector. Este capítulo consta de dos secciones; la primera recolecta todas las características del sistema de deshidratación que son útiles para el diseño de los colectores; la segunda sección abarca el diseño mismo de los colectores.

3.1.1 Descripción del horno secador

Las características del horno deshidratador de este proyecto se presentan en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Características del horno deshidratador de este proyecto.

	Material	Acero inoxidable	
	Capacidad (Kg)	30	
	Fuente de calor	Resistencia eléctrica	
	Potencia máxima (W)	5000	
	Temperatura máxima (C)	120	
	Dimensiones	Largo (m)	0,9
		Ancho (m)	1,1
		Alto (m)	1,6
	Número de bandejas	13	
	Material de bandejas	Acero inoxidable	
Dimensione	Largo	0,6	

	s de bandeja	(m)	
		Ancho (m)	0,45
		Alto (m)	0,2
	Porcentaje de abertura de bandejas	de de	50%

3.2 Dimensionamiento de componentes de los colectores

3.2.1 Dimensionamiento de la fuente de calor

Para dimensionar la fuente de calor es necesario conocer la máxima cantidad de agua que debe removerse del producto por lote. Para conocer este valor se emplea la siguiente expresión:

$$m_a = m_T * (H_{f1} - H_{s1})$$

Donde:

- m_a Masa de agua presente en el producto que debe evaporarse [Kg]
- m_T Masa total del producto [Kg]
- H_{f1} Fracción de agua en el producto fresco
- H_{s1} Fracción de agua que debe tener el producto deshidratado

La capacidad máxima de la cabina es 30Kg. El producto con mayor porcentaje de agua considerado en este proyecto es la piña con un valor correspondiente a 87% [30]. La recomendación de porcentaje de agua luego del deshidratado es 15% [12, p. 597]. El cálculo de la masa de agua que debe removerse de la piña se realiza a continuación:

$$m_a = 30 * (0,87 - 0,15)$$

$$m_a = 21,6 \text{ Kg}$$

La masa de producto deshidratado se calcula con la siguiente expresión:

$$m_{ú.i} = m_T - m_a$$

$$m_{ú.i} = 30 - 21,6$$

$$m_{ú.i} = 8,4 \text{ Kg}$$

El calor requerido para remover la masa de agua consta de dos partes: calor sensible y calor latente. El calor sensible es la cantidad de calor requerida por un kilogramo de masa para elevar la temperatura en un grado Celsius. La cantidad de calor sensible requerido se calcula con la siguiente expresión:

$$Q = m_a * C_p * (T_s - T_a)$$

Donde:

Q	Calor requerido para elevar la temperatura del agua	[J]
m_a	Masa de agua que debe evaporarse	[kg]
C_p	Calor específico del agua	$\left[\frac{J}{Kg * K} \right]$
T_s	Temperatura a la cual debe ocurrir la deshidratación	[K]
T_a	Temperatura ambiente	[K]

La masa de agua que debe calentarse es 21,6 kg. El calor específico correspondiente al agua es $4182 \frac{J}{K * K}$ CITATION Eng16 \1 12298 [31]. La temperatura del aire de deshidratación recomendable para la piña es 60° C [32]. La temperatura ambiente en el lugar de operación (Valle de los Chillos) es 20° C [33]. El cálculo del calor sensible requerido se realiza a continuación:

$$Q_e = 21,6 * 4182 * (60 - 20)$$

$$Q_e = 3,61 \text{ MJ}$$

El calor latente se define como la cantidad de calor requerida por una sustancia para cambiar de fase. Por regla general, el cambio de fase del agua ocurre a 100° C ; a esta temperatura serán requeridos $2257,1 \text{ kJ}$ de calor para evaporar un Kg de agua. Si la evaporación ocurre a una temperatura inferior la temperatura de ebullición del agua, el calor latente de vaporización del agua puede calcularse de

las tablas de vapor saturado. Este proceso requiere identificar calor contenido en el agua como vapor a una temperatura dada y el calor contenido en el agua como líquido a la misma temperatura; la diferencia entre los dos valores identificados será la cantidad de calor requerida por un kilogramo de agua para transformarse en vapor a una temperatura dada. La expresión que permite calcular el calor latente se muestra a continuación:

$$Q_I = m_a * (h_v - h_{lq})$$

Donde:

Q_I	Calor requerido para evaporar el excedente de agua	[KJ]
m_a	Masa de agua que debe removerse en kg	[Kg]
h_v	Entalpía del agua en estado de vapor a una determinada temperatura	$\left[\frac{KJ}{kg} \right]$
h_{lq}	Entalpía del agua en estado líquido a una determinada temperatura	$\left[\frac{KJ}{Kg} \right]$

La masa de agua que debe evaporarse es 21,6 Kg. La temperatura a la que debe ocurrir la evaporación es 60 C; los valores de la entalpía en estado de vapor y el estado líquido del agua a esa temperatura son 2608,9 $\frac{KJ}{Kg}$ y 251,4 $\frac{KJ}{Kg}$ respectivamente [26]. El cálculo del calor específico requerido se realiza a continuación:

$$Q_I = 21,6 * (2608,9 - 251,4)$$

$$Q_I = 50,9 \text{ MJ}$$

El calor total que debe entregar la fuente para deshidratar el producto se calcula con la siguiente expresión:

$$Q_T = Q_s + Q_I$$

$$Q_T = 3,61 + 50,9 = 54,5 \text{ MJ}$$

La potencia que debe entregar la fuente de calor puede calcularse con la siguiente expresión:

$$P = \frac{Q}{t}$$

Donde:

P	Potencia requerida por la fuente de calor	[W]
Q	Calor requerido para evaporar el excedente de agua	[J]
t	Tiempo de secado	[s]

El tiempo de deshidratación de la piña a 60 C oscila entre 12 y 24 horas (Tabla 2.5). El valor de la potencia de la fuente se calcula considerando el valor promedio de este rango:

$$P = \frac{54,97 \text{ MJ}}{18 * 3600 \text{ s}} = 841,6 \text{ [W]}$$

3.2.2 Dimensionamiento del colector

El primer paso en el dimensionamiento del colector es determinar su eficiencia. La Figura 3.1 muestra un esquema transversal del colector en el que se especifican todos los puntos en los que se registran cambios significativos de temperatura:

- T_a es la temperatura ambiente [K]
- T_1 es la temperatura de la cubierta exterior [K]
- T_2 es la temperatura de la cubierta interior [K]
- T_p es la temperatura del absorbedor [K]

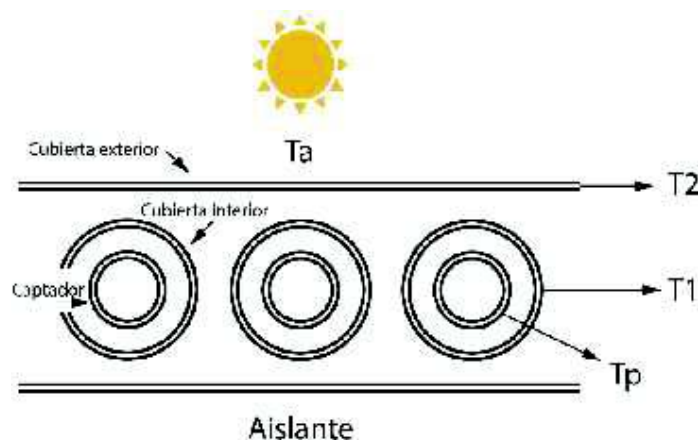


Figura 3.1. Esquema del colector solar.

La Figura 3.2 muestra el circuito térmico equivalente del colector que pretende implementarse. En este circuito se presentan las siguientes resistencias:

- h_1 es el coeficiente de pérdida de calor correspondiente a la transferencia por convección entre el absorbedor y la cubierta interior; el cálculo se realiza con la Ecuación 3.1 [35].

$$h_1 = 1,161 * \frac{\Delta T^{0,3}}{l^{0,0}} * e^{-0,01} * \bar{T} \quad \text{Ecuación 3.1}$$

Donde:

ΔT Diferencia entre las temperaturas del absorbedor y la cubierta interior [C]

l Distancia existente entre el absorbedor y la cubierta interior [cm]

\bar{T} Promedio entre las temperaturas del absorbedor y la cubierta interior [C]

- h_2 es el coeficiente de pérdida de calor correspondiente a la transferencia por convección entre las cubiertas del colector. La ecuación correspondiente es análoga a la de h_1 .
- h_3 es el coeficiente de pérdida de calor correspondiente a la transferencia por convección entre la cubierta exterior y el medio ambiente; el cálculo se realiza con la Ecuación 3.2 [35]:

$$h_3 = 5,7 + 3,8 * v \quad \text{Ecuación 3.2}$$

Donde:

v Velocidad del viento $\left[\frac{m}{s}\right]$

- h_4 es el coeficiente de pérdida de calor correspondiente a la transferencia por radiación entre el absorbedor y la cubierta interior; el cálculo se realiza con la Ecuación 3.3 [35]:

$$h_4 = \frac{\sigma * (T_p^2 + T_i^2) * (T_p + T_i)}{\frac{1}{\epsilon_p} + \frac{1}{\epsilon_c} - 1} \quad \text{Ecuación 3.3}$$

Donde:

σ	Constante de Stefan Boltzman	$\left[\frac{W}{m^2 * K^4} \right]$
T_p	Temperatura del absorbedor	[K]
T_c	Temperatura de la cubierta interior	[K]
ϵ_p	Emisividad del absorbedor	
ϵ_c	Emisividad de la cubierta interior	

- h_5 es el coeficiente de pérdida de calor correspondiente a la transferencia por radiación entre las cubiertas del absorbedor. La ecuación correspondiente es análoga a la de h_4 .
- h_6 es el coeficiente de pérdida de calor correspondiente a la transferencia por radiación entre la cubierta exterior y el medio ambiente; el cálculo se realiza con la Ecuación 3.4:

$$h_6 = \epsilon_c * \sigma * (T_c^2 + T_a^2) * (T_c + T_a) \quad \text{Ecuación 3.4}$$

- El coeficiente equivalente del circuito puede calcularse con la Ecuación 3.5 [6]:

$$h_e = \left(\frac{1}{h_1 * h_4} + \frac{1}{h_2 * h_5} + \frac{1}{h_3 * h_6} \right)^{-1} \quad \text{Ecuación 3.5}$$

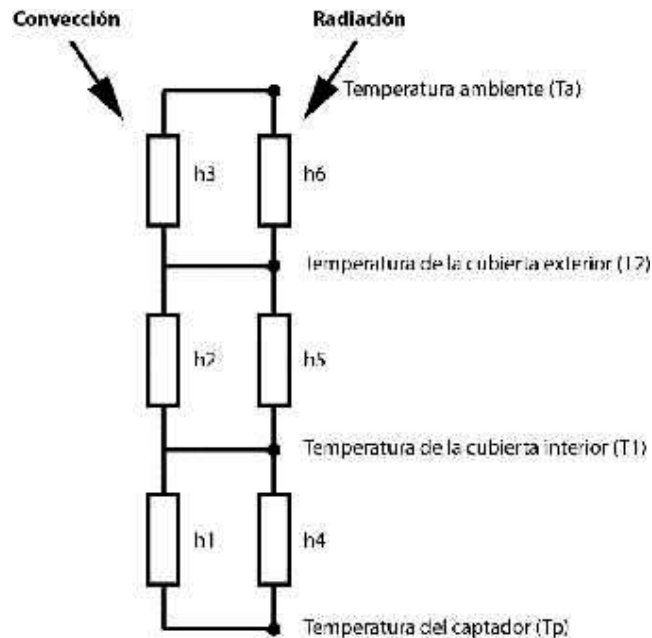


Figura 3.2. Circuito térmico del colector solar.

- Hallar el valor definitivo del coeficiente equivalente de pérdidas exige la resolución interactiva de los coeficientes parciales del circuito puesto que en el principio, T_1 y T_2 son desconocidas y sus valores se asumen dentro del rango comprendido entre T_p y T_a . Los parámetros necesarios para resolver el circuito de la Figura 3.2 se muestran en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2. Valores requeridos para la resolución del circuito térmico

Parámetro	Símbolo	Valor
Distancia entre la placa y la primera cubierta [cm]	l_1	0,5
Distancia entre cubiertas [cm]	l_2	1,5
Emisividad del absorbedor ¹	ϵ_p	0,95
Emisividad de las cubiertas	ϵ_c	0,88
Transmitancia del vidrio	τ	0,91
Absortancia del absorbedor (cobre pintado de negro)	α	0,85
Velocidad del viento $\left[\frac{m}{s}\right]$	v	$0,833^2$
Constante Stefan – Boltzman $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K^4}\right]$	σ	$5,6697 \times 10^{-8}$
Radiación solar global $\left[\frac{W}{m^2}\right]$	G	517^3

¹Los valores de emisividad, transmitancia, absortancia y Constante Stefan – Boltzman fueron tomados de [6]

²Valor promedio de velocidad de viento en Quito durante 2015. Tomado de: [25]

³ Valor mínimo de la radiación global registrado en Ecuador durante el año. Tomado de: [9]

El paso número 1 en la resolución del circuito es determinar los valores de temperatura ambiente T_a , temperatura de la superficie del absorbedor T_p , temperatura de la cubierta exterior T_1 y temperatura de la cubierta interior T_2 .

La temperatura ambiente en el Valle de los Chillos varía a lo largo del año, los valores se muestran en la Tabla 3.3. Un valor relevante para calcular la temperatura de la placa que puede calcularse a partir de la temperatura ambiente es la temperatura de cielo que Mackay [36] define como:

$$T_s = 0,0552 * T_a^{1,5} \quad \text{Ecuación 3.6}$$

Donde:

T_a Es la temperatura ambiente [°K]

La temperatura de cielo de cada mes se muestra en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3. Temperatura de cielo en el Valle de los Chillos.

Mes	Ta (°C)	Ta (°K)	Tsky (°K)
Enero	14,1	287,1	268,53
Febrero	14,1	287,1	268,53
Marzo	15,5	288,5	270,49
Abril	14,2	287,2	268,67
Mayo	15,3	288,3	270,21
Junio	15,9	288,9	271,06
Julio	16,6	289,6	272,04
Agosto	16,2	289,2	271,48
Septiembre	16,6	289,6	272,04
Octubre	15,2	288,2	270,07
Noviembre	14,8	287,8	269,51
Diciembre	15,1	288,1	269,93

Nota: datos de la columna 2 tomados de [33]

Para determinar la temperatura del absorbedor es necesario conocer, además de la temperatura de cielo, la radiación solar directa que tampoco es constante a lo largo del año; la Tabla 3.4 muestra los valores calculados en la Escuela Politécnica del Ejército.

Tabla 3.4. Radiación solar sobre el Valle de los Chillos.

Mes	Radiación solar directa $\left[\frac{W}{m^2}\right]$
Enero	371,25
Febrero	383,92
Marzo	388,63
Abril	377,95
Mayo	358,08
Junio	345,33
Julio	349,92
Agosto	367,47
Septiembre	382,27
Octubre	382,79
Noviembre	372,49
Diciembre	365,48
Promedio	370,47

Nota: Tomado de[37].

La temperatura que alcanza el absorbedor de un colector solar está dada por la siguiente expresión [36]:

$$T_p = \sqrt[4]{\frac{G}{\epsilon * \sigma} + T_s^4}$$

Donde:

G	Radiación solar directa	$\left[\frac{W}{m^2}\right]$
T_p	Temperatura del absorbedor	[K]
σ	Constante de Stefan Boltzman	$\left[\frac{W}{m^2 * K^4}\right]$
T_s	Temperatura de cielo	[K]
ϵ	Emisividad del absorbedor	

La Tabla 3.5 muestra la máxima temperatura que puede alcanzar el absorbedor durante el año.

Tabla 3.5. Máxima temperatura de placa a lo largo del año.

Mes	Ta (°C)	Ta (°K)	Tsky (°K)	G	Tp (°K)	Tp (°C)
Enero	14,1	287,1	268,53	371,25	331,69	58,69
Febrero	14,1	287,1	268,53	383,92	333,29	60,29
Marzo	15,5	288,5	270,49	388,63	334,91	61,91
Abril	14,2	287,2	268,67	377,95	332,61	59,61
Mayo	15,3	288,3	270,21	358,08	330,91	57,91
Junio	15,9	288,9	271,06	345,33	329,73	56,73
Julio	16,6	289,6	272,04	349,92	330,87	57,87
Agosto	16,2	289,2	271,48	367,47	332,79	59,79
Septiembre	16,6	289,6	272,04	382,27	334,95	61,95
Octubre	15,2	288,2	270,07	382,79	333,96	60,96
Noviembre	14,8	287,8	269,51	372,49	332,37	59,37
Diciembre	15,1	288,1	269,93	365,48	331,71	58,71

El paso número 2 consiste en determinar el valor de h_1 con la Ecuación 3.1. En principio las temperaturas de las placas no son conocidas y deben aproximarse; el rango comprendido entre T_p y T_a se divide en tres partes iguales y los dos valores intermedios se asignan a T_1 y T_2 respectivamente. Para Enero se tiene los siguientes valores:

$$T_1 = T_p - \frac{T_p - T_a}{3} = 58,69 - \frac{58,69 - 14,1}{3} = 43,82 \text{ C} = 316,82 \text{ °K}$$

$$T_2 = T_1 - \frac{T_1 - T_a}{3} = 34,42 - \frac{34,42 - 14,1}{3} = 28,96 \text{ C} = 301,96 \text{ °K}$$

$$h_1 = 1,161 * \frac{\Delta T^{0,3}}{10,0} * e^{-0,001 * T}$$

$$h_1 = 1,161 * \frac{24,26^{0,3}}{0,500} * e^{-0,001 * \frac{5,6 + 31,8}{2}}$$

$$h_1 = 2,61 \left[\frac{W}{m^2 * K} \right]$$

El paso número 3 consiste en determinar el valor de h_4 con la Ecuación 3.3:

$$h_4 = \frac{\sigma * (T_p^2 + T_1^2) * (T_p + T_1)}{\frac{1}{\epsilon_p} + \frac{1}{\epsilon_c} - 1}$$

$$h_4 = \frac{5,6697 \times 10^{-8} * (316,82^2 + 331,69^2) * (316,82 + 331,69)}{\frac{1}{0,9} + \frac{1}{0,8} - 1}$$

$$h_4 = 6,50 \left[\frac{W}{m^2 * K} \right]$$

El paso número 4 consiste en determinar el valor de h_2 que se calcula con la misma expresión que h_1 .

$$h_2 = 1,161 * \frac{\Delta T^{0,3}}{10,0} * e^{-0,001 * T}$$

$$h_2 = 1,161 * \frac{24,26^{0,3}}{1,50,0} * e^{-0,001 * \frac{1,1+2,9}{2}}$$

$$h_2 = 2,47 \left[\frac{W}{m^2 * K} \right]$$

El paso número 4 consiste en determinar el valor de h_5 cuya expresión es similar a la de h_4

$$h_5 = \frac{\sigma * (T_1^2 + T_2^2) * (T_1 + T_2)}{\frac{1}{\epsilon_p} + \frac{1}{\epsilon_c} - 1}$$

$$h_5 = \frac{5,6697 \times 10^{-8} * (287,10^2 + 301,96^2) * (287,10 + 301,96)}{\frac{1}{0,9} + \frac{1}{0,8} - 1}$$

$$h_5 = 5,28 \left[\frac{W}{m^2 * K} \right]$$

El paso número 5 consiste en determinar el valor del coeficiente de pérdidas equivalente h_e con la Ecuación 3.5:

$$h_e = \left(\frac{1}{h_1 + h_4} + \frac{1}{h_2 + h_5} \right)^{-1}$$

$$h_e = \left(\frac{1}{2,61 + 6,50} + \frac{1}{2,47 + 5,28} \right)^{-1}$$

$$h_e = 4,15 \left[\frac{W}{m^2 * K} \right]$$

El paso número 6 consiste en determinar el valor real de T_1 con ayuda de la Ecuación 3.7.

$$T_1 = T_{1i} - \frac{h_e * (T_{1i} - T_2)}{h_1 + h_4} \quad \text{Ecuación 3.7}$$

$$T_1 = 331,69 - \frac{4,15 * (331,69 - 301,96)}{2,61 + 6,50}$$

$$T_1 = 317,93 \text{ [K]}$$

Con el nuevo valor de T_1 , se repite la secuencia de pasos 2 a 6 hasta que T_1 deje de oscilar y alcance su valor real. Los cálculos efectuados para encontrar el valor real de la temperatura de la cubierta interior (T_1) se muestran en la Tabla 3.6; su valor real es 317,97 [°K].

Tabla 3.6. Cálculos realizados para hallar el valor real de T_1

Parámetro	Interacciones placa – cubierta 1			
	1	2	3	4
T_{1ii}	316,827	318,031	317,973	317,976
h_1	2,614	2,612	2,612	2,612
h_4	6,506	6,542	6,540	6,541
h_2	2,473	2,531	2,528	2,529
h_5	5,281	5,312	5,310	5,310
h_e	4,191	4,224	4,222	4,223
T_{1fi}	318,031	317,973	317,976	317,976

De manera similar al cálculo de T_1 , puede procederse para hallar el valor real de T_2 . Los cálculos realizados para encontrar el valor real de la temperatura en la cubierta exterior (T_2) se muestran en la Tabla 3.7; su valor real es 298,32°K.

Tabla 3.7. Cálculos realizados para hallar el valor real de T_2

Parámetro	Interacciones cubierta 2 – medio ambiente			
	1	2	3	4
T_{2ii}	301,963	298,199	298,326	298,322
h_2	2,529	2,707	2,701	2,701
h_5	5,310	5,216	5,219	5,219
h_3	8,865	8,865	8,865	8,865
h_6	5,102	5,004	5,007	5,007
h_e	5,021	5,042	5,042	5,042
T_{2fi}	298,199	298,326	298,322	298,322

Con los valores reales de temperatura de las cubiertas es posible calcular el coeficiente de pérdidas equivalente.

$$h_e = \left(\frac{1}{h_1 + h_4} + \frac{1}{h_2 + h_5} + \frac{1}{h_3 + h_6} \right)^{-1}$$

$$h_e = \left(\frac{1}{2,61 + 6,54} + \frac{1}{2,70 + 5,21} + \frac{1}{8,87 + 5} \right)^{-1}$$

$$h_e = 3,27 \left[\frac{W}{m^2 * K} \right]$$

Un cálculo similar al realizado para calcular h_e puede efectuarse para todos los meses del año.

La eficiencia del colector puede calcularse gracias a la siguiente expresión:

$$\eta = 1 - \frac{h_e * (T_{im} - T_a)}{\tau * \alpha * G}$$

Donde:

η (eta)	Eficiencia del colector	
h_e	Coefficiente de pérdidas equivalente del sistema	$\left[\frac{W}{m^2 * K} \right]$
T_{im}	Temperatura del absorbedor	[K]
T_a	Temperatura ambiente	[K]
τ	Transmitancia de la cubierta	
α	Absortancia de la cubierta	
G	Irradiación global	$\left[\frac{W}{m^2} \right]$

Los valores de radiación directa mensual permiten calcular la eficiencia para cada mes del año; los resultados se muestran en la Tabla 3.8.

Tabla 3.8. Eficiencia mensual de los colectores

Mes	G	η
Enero	371,25	0,432
Febrero	383,92	0,431
Marzo	388,63	0,435
Abril	377,95	0,431
Mayo	358,08	0,437
Junio	345,33	0,441
Julio	349,92	0,442
Agosto	367,47	0,439
Septiembre	382,27	0,439
Octubre	382,79	0,434
Noviembre	372,49	0,434
Diciembre	365,48	0,435

Para calcular el área que debe tener el absorbedor del colector puede utilizarse el coeficiente de pérdidas más alto y la Ecuación 3.8:

$$A_s = \frac{\dot{Q}_u}{\tau * \alpha * G_t - U_t * (T_p - T_a)} \quad \text{Ecuación 3.8}$$

$$A_s = \frac{841,6}{0,91 * 0,85 * 370 - 3,18(60 - 20)}$$

$$A_s = 5,3 \text{ m}^2$$

La tubería de cobre que funciona como colector tiene un diámetro de 0,025 m y un perímetro de 0,079 m; si el área superficial de todos los tubos es 5,3 m², la longitud del absorbedor se calcula como la razón entre el área superficial y el perímetro del tubo.

$$L = \frac{5,3}{0,079} = 67 \text{ [m]}$$

Por lo tanto, para la construcción de los colectores solares será necesario utilizar 67 m de tubería de cobre.

La Ecuación 3.9 [34] permite calcular el calor transferido desde el absorbedor hacia el fluido transportador del colector; esta ecuación se deduce gracias a la Figura 3.3.

$$Q = 2 * \pi * L * k * \frac{T_1 - T_2}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} \quad \text{Ecuación 3.9}$$

Donde:

Q	Calor transferido a través de una tubería	[W]
L	Longitud de la tubería	[m]
k	Conductividad térmica del material de la tubería	$\left[\frac{W}{m^2 * K} \right]$
T ₁	Temperatura de la superficie interior	[K]
T ₂	Temperatura de la superficie exterior	[K]
r ₁	Radio interior de la tubería	[m]

r_2

Radio exterior de la tubería

[m]

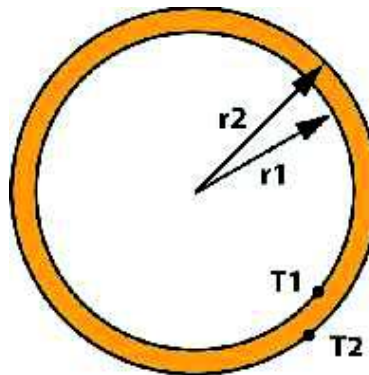


Figura 3.3. Transferencia de calor en secciones tubulares.

En el caso de que el calor fluya desde afuera hacia adentro de la tubería, la Ecuación 3.9 puede reordenarse en la Ecuación 3.10 para encontrar la temperatura interior.

$$T_1 = T_2 - \frac{Q \cdot l \cdot \left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2 \cdot \pi \cdot L \cdot k} \quad \text{Ecuación 3.10}$$

$$T_1 = 80 - \frac{2105 \cdot \ln\left(\frac{0,0}{0,0}\right)}{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 385}$$

$$T_1 = 79,9 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

Con el resultado de T_1 se verifica que el material y la geometría seleccionados para el absorbedor son adecuados ya que no se generan cambios de temperatura apreciables en las superficies.

3.2.3 Dimensionamiento del ventilador

El caudal que deberá mover el ventilador puede ser calculado con la siguiente expresión:

$$Q = v \cdot A \quad \text{Ecuación 3.11}$$

Dónde:

Q	Caudal que debe mover el ventilador	$\left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]$
v	Velocidad del aire	$\left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$
A	Área transversal del deshidratador	$[\text{m}^2]$

La velocidad recomendada del flujo de aire dentro de la cabina de un deshidratador de frutas es 2 m/s . Las dimensiones de la base del deshidratador son $0,9 \times 1 \text{ m}$ y su área $0,9 \text{ m}^2$; por lo tanto el caudal es:

$$Q = 2 * 0,9$$

$$Q = 1,8 \text{ [m}^3/\text{s]}$$

Para facilitar el proceso de selección el caudal del ventilador debe ser expresado en cfm:

$$Q = 3814 \text{ [cfm]}$$

El valor estándar para cfm de ventiladores que más se aproxima al calculado es 4000.

3.2.4 Resumen de diseño

Los colectores diseñados en este capítulo deben suplir el requerimiento energético de un horno deshidratador de fruta de 30 kg de capacidad. Para esto, es necesario que los colectores tengan las siguientes características:

- Material del absorbedor: Cobre recubierto con pintura negra de acuerdo con la recomendación de Paz [35].
- Área del absorbedor: 4 m^2 ; de acuerdo con la recomendación de Canivan [38], la mejor manera de implementarlo es con tubería de 1" por lo que serán requeridos 67 metros de este material.
- Material de las cubiertas: ya que las cubiertas de plástico se deterioran con gran facilidad, la selección más favorable recae sobre el vidrio.
- Material del cuerpo del colector: el cuerpo del colector no requiere características mecánicas especiales por lo que puede ser fabricado de los

materiales que más convengan desde el punto de vista de facilidad de manufactura.

- Material aislante: se selecciona el material denominado Styroplan ya que es considerado el mejor aislante térmico del mercado ecuatoriano.
- Material de la placa reflectora: para este componente se selecciona el acero inoxidable ya que posee la reflectividad más alta de entre todos los materiales disponibles en Ecuador.

La Tabla 3.9 muestra el resumen de diseño de los colectores solares de este proyecto.

Tabla 3.9. Resumen de diseño de los paneles solares

Elemento	Material	Cantidad	Observaciones
Absorbedor de calor	Cobre	5,3 m ²	Recubierto pintura antioxidante negro
Cubierta	Vidrio	2,5 m ²	Transparente 6 mm de espesor
Cuerpo del colector	Toll	3 unidades	Galvanizado
Aislante	Styroplan	2,5 m ²	Color blanco 2 cm de espesor
Placa reflectora	Inox	3 unidades	Brillante

CAPÍTULO IV

CONSTRUCCIÓN DE LOS COLECTORES SOLARES

4.1 Introducción

Una vez que todos los componentes del sistema de deshidratación solar de aire forzado están dimensionados, se da comienzo a los procesos de construcción y montaje. Aquí son de gran importancia dos herramientas: planos de taller y diagramas de flujo de procesos, que ayudarán a mejorar la calidad de los componentes de la máquina para alcanzar los resultados esperados de desempeño del deshidratador.

Los componentes del colector solar son:

- Soporte del absorbedor
- Absorbedor de Calor
- Bandeja exterior
- Bandeja interior
- Cubierta
- Seguro de cubierta
- Ensamble del colector
- Soporte del colector

El funcionamiento del sistema de deshidratado y el aporte de los paneles en cuanto a la energía se observan en el **Anexo A**.

4.2 Planos de taller

Los planos de taller son documentos gráficos que contienen información respecto de la geometría y dimensiones de los componentes de un conjunto mecánico y del conjunto en sí. Los planos correspondientes al colector solar de este proyecto

se encuentran en el **Anexo B** están realizados de acuerdo con la norma INEN de dibujo técnico mecánico.

4.3 Construcción de los colectores

4.3.1 Fabricación del soporte del absorbedor

El soporte del absorbedor es una pieza auxiliar que permite integrar el absorbedor al cuerpo del colector; no requiere características mecánicas especiales por lo que se construye de tubería cuadrada de aluminio de 1". El plano de este componente es el CSPA – ST – 001 del **Anexo B** y se construye de acuerdo con el siguiente algoritmo

- Selección del perfil
- Transporte del perfil a la mesa de trabajo
- Dimensionamiento del perfil
- Corte del perfil
- Inspección de dimensiones
- Transporte al taladro de pedestal
- Taladrado de agujeros
- Inspección de tolerancias geométricas
- Transporte al esmeril
- Eliminación de rebabas

La Figura 4.1 muestra parte del proceso de construcción del soporte del absorbedor mientras que el **Anexo C** presenta el correspondiente diagrama de flujo de procesos.



Figura 4.1. Construcción del soporte del absorbedor.

4.3.2 Fabricación del absorbedor

Existen dos configuraciones ampliamente utilizadas para la fabricación de absorbedores solares que se muestran en la Figura 4.2; a la izquierda se muestra la de harpa y a la derecha la de serpentín. La configuración más adecuada para este proyecto es la de serpentín ya que el caudal es constante a lo largo de toda la tubería y su manufactura es más sencilla. El absorbedor se construye de tubería y uniones U de cobre de $\frac{3}{4}$ " ya que este material posee gran conductividad térmica y no presenta complejidades durante la soldadura.

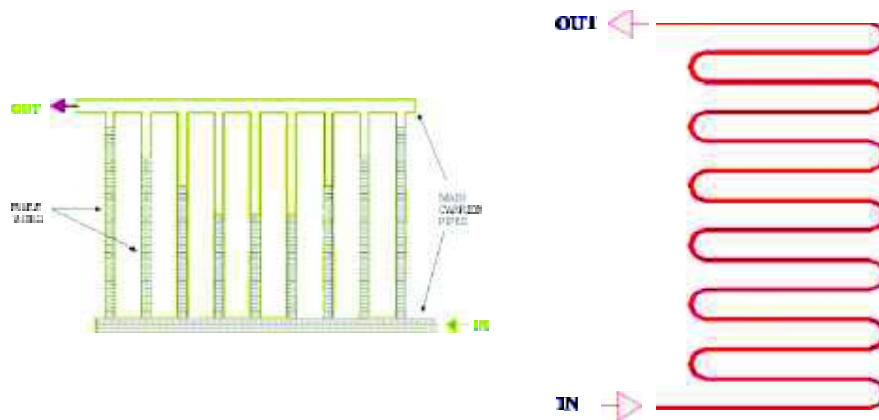


Figura 4.2. Configuraciones de harpa y serpentín para absorbedores solares[38].

Para la fabricación del absorbedor se utiliza el siguiente algoritmo:

- Selección del perfil y uniones de cobre además del soporte del absorbedor.
- Transporte de los componentes a la mesa de trabajo.
- Dimensionamiento del perfil.
- Corte del perfil.
- Inspección de dimensiones.
- Dimensionamiento de las uniones U.
- Corte de las uniones U.
- Inspección de dimensiones.
- Cuando todos los componentes han sido cortados, se debe ensamblar completamente el absorbedor para inspeccionar la geometría del conjunto y que todos los componentes se acoplen correctamente.
- Una vez ensamblado el colector, se procede a la soldadura provisional de todos los componentes, inspección de la geometría y, de ser necesario, corrección de la misma.
- Con todos los componentes ubicados correctamente, se procede a la soldadura definitiva del absorbedor durante la cual debe asegurarse que en las soldaduras no queden fugas.
- A fin de aumentar la absorción del absorbedor, este debe recubrirse con una capa de pintura negra que además lo protegerá de agentes corrosivos presentes en el medio ambiente.

La Figura 4.3 muestra parte del proceso de fabricación del absorbedor solar mientras que el **Anexo C** presenta el diagrama de flujo de procesos.



Figura 4.3. Construcción del absorbedor.

4.3.3 Fabricación de la bandeja exterior

La bandeja exterior tiene entre sus funciones servir como soporte y protección de los componentes del colector, ayudar a la fijación del material aislante y permitir la integración del colector solar al deshidratador.

Este componente se fabrica a partir de una lámina de tol que se procesa de acuerdo a la siguiente secuencia:

- Selección de la hoja de tol
- Transporte de la hoja de tol a la mesa de trabajo
- Dimensionamiento de la plancha
- Transporte de la plancha a la cortadora
- Corte de la plancha de tol
- Inspección de dimensiones
- Transporte de la plancha a la dobladora
- Doblado de la plancha
- Inspección de geometría
- Transporte a la mesa de trabajo
- Soldadura de las esquinas
- Limpieza de la bandeja

La Figura 4.4 muestra parte del proceso de fabricación de la bandeja exterior mientras que el **Anexo C** presenta el diagrama de flujo de procesos correspondientes.



Figura 4.4. Construcción de la bandeja exterior.

4.3.4 Fabricación de la bandeja interior

La bandeja interior es un componente auxiliar a la bandeja exterior en su función de soportar el material aislante y el resto de componentes. Debido a que este componente no requiere características mecánicas especiales, se fabrica a partir de una hoja de tol de acuerdo a la siguiente secuencia.

- Selección de la hoja de tol.
- Transporte de la hoja de tol a la mesa de trabajo.
- Dimensionamiento de la plancha.
- Transporte a la cortadora.
- Corte de la plancha de tol.
- Inspección de dimensiones.
- Transporte a la dobladora.
- Doblado de la plancha.
- Inspección de geometría y corrección en caso de requerirse.
- Transporte a la mesa de trabajo.
- Soldadura de esquinas.

- Limpieza de la bandeja.

La Figura 4.5 muestra parte del proceso de fabricación de la bandeja interior mientras que el **Anexo C** presenta el diagrama de flujo de procesos correspondientes.



Figura 4.5. Construcción de la bandeja interior.

4.3.5 Fabricación del seguro de la bandeja exterior

El seguro de la cubierta exterior tiene como objetivos aislar el interior del colector, soportar la cubierta exterior y complementar la función de la bandeja exterior. Este complemento se fabrica a partir de un perfil en T de acuerdo a la siguiente secuencia:

- Selección del perfil en T
- Transporte del perfil a la mesa de trabajo
- Dimensionamiento del perfil
- Corte de los perfiles
- Inspección de dimensiones
- Soldadura provisional
- Inspección de tolerancias geométricas
- Soldadura definitiva
- Limpieza del seguro

La Figura 4.6 muestra parte del proceso de fabricación del seguro de la bandeja exterior mientras que el **Anexo C** presenta el diagrama de flujo de procesos correspondientes.



Figura 4.6. Construcción del seguro de la bandeja exterior.

4.3.6 Ensamblaje del colector

Una vez que se ha fabricado el absorbedor, el soporte del absorbedor, la bandeja exterior e interior y el seguro de la cubierta exterior, se procede al ensamblaje del colector de acuerdo a la siguiente secuencia:

- Selección de los componentes: absorbedor, bandeja exterior, bandeja interior, tubos para cubierta interior, cubierta exterior y material aislante.
- Transporte de los componentes a la mesa de trabajo.
- Instalación de la cubierta interior en el absorbedor.
- Instalación del absorbedor en los soportes.
- Instalación de los soportes en la bandeja interior.
- Inspección de tolerancias geométricas
- Instalación del material aislante.
- Instalación de la cubierta exterior.
- Instalación del seguro de la cubierta exterior.
- Inspección de tolerancias geométricas.

La Figura 4.7 muestra parte del proceso de ensamblaje del colector mientras que el **Anexo C** presenta el diagrama de flujo de procesos correspondientes.



Figura 4.7. Ensamblaje del colector.

4.3.7 Fabricación del soporte del colector

El soporte del colector permite ubicar el colector sobre el horno deshidratador. Ya que este componente no requiere características mecánicas especiales se fabrica con perfiles cuadrados de $\frac{1}{2}$ " de acuerdo a la siguiente secuencia:

- Selección de los perfiles cuadrados.
- Transporte de los perfiles a la mesa de trabajo.
- Dimensionamiento de los tubos.
- Corte de los tubos.
- Inspección de dimensiones.
- Soldadura provisional de la estructura.
- Inspección de tolerancias geométricas.
- Soldadura definitiva de la estructura.
- Limpieza de la estructura.

La Figura 4.8 muestra parte del proceso de fabricación del soporte del colector mientras que el **Anexo C** presenta el diagrama de flujo de procesos correspondientes.



Figura 4.8. Fabricación del soporte del colector.

CAPÍTULO V

PRUEBAS Y RESULTADOS

5.1 Protocolo de pruebas

Para la evaluación del deshidratador del proyecto fueron planteadas las siguientes pruebas:

- **Verificación de los valores del modelo matemático**

Para verificar el modelo matemático desarrollado en el capítulo de diseño deben medirse las temperaturas ambiental, de la cubierta exterior, de la cubierta interior, del absorbedor y comparándolas con las calculadas en la fase de diseño.

- **Verificación del proceso de deshidratación**

Como complemento a la verificación del diseño del colector se requiere conocer si el deshidratador cumple con el tiempo de deshidratación propuesto.

Para esto realizaremos varias pruebas como son:

Con el horno en vacío.- que consiste en hacer funcionar el horno sin ninguna carga, es decir sin ingreso de frutas y por un tiempo de prueba que será el mismo tiempo de deshidratación promedio de la fruta que se encuentra alrededor de 18horas; posterior a esto se tomarán las medidas de temperatura dentro del horno y a la salida del horno.

Con el horno en carga Media.- que consiste en hacer funcionar el horno con la carga en el 50% de su capacidad es decir con la mitad de las bandejas de frutas y por un tiempo de prueba que será el tiempo de

deshidratación de la fruta tomada para la prueba posterior a esto se tomara las medidas tanto en el exterior como en el interior.

Con el horno en carga Alta- que consiste en hacer funcionar el horno con la carga en el 100% de su capacidad es decir con todas las bandejas de frutas y por un tiempo de prueba que será el tiempo de deshidratación de la fruta tomada para la prueba posterior a esto se tomará las medidas tanto en el exterior como en el interior. Además debe verificarse que la calidad del sabor y textura del producto final sea aceptable.

5.2 Verificación de los valores del modelo matemático

Para esta prueba se colocaron sensores de temperatura en cada una de las superficies de interés: tubo absorbedor, cubierta interior, cubierta exterior además de medirse la temperatura ambiente. La colocación de los sensores se ilustra en la Figura 5.1.

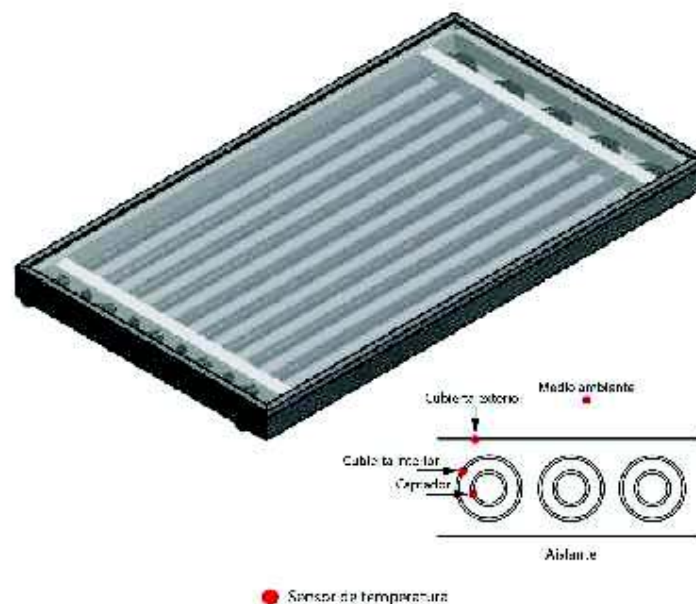


Figura 5.1. Ubicación de los sensores de temperatura.

Los resultados de la medición de temperaturas en el colector se muestran en la Tabla 5.1. El cálculo de la eficiencia del colector se realiza en la Tabla 5.2.

Tabla 5.1. Medición de la temperatura en el colector en vacío.

Fecha: 20/08/2015

Medición	Hora	Temperatura (C)				Velocidad del viento (m/s)	Radiación directa ($\frac{W}{m^2}$)
		Colector	Cubierta interior	Cubierta exterior	Temperatura ambiente		
1	7:00	68,000	48,667	29,333	10,000	0,96	180
2	8:00	74,000	53,667	33,333	13,000	0,79	210
3	9:00	77,000	56,000	35,000	14,000	0,82	300
4	10:00	79,000	58,667	38,333	18,000	0,79	340
5	11:00	79,000	59,000	39,000	19,000	0,75	400
6	12:00	79,000	59,333	39,667	20,000	0,86	445
7	13:00	80,000	60,333	40,667	21,000	0,75	440
8	14:00	81,000	60,667	40,333	20,000	0,75	440
9	15:00	81,000	59,667	38,333	17,000	0,79	390
10	16:00	75,000	55,333	35,667	16,000	0,89	380
11	17:00	74,000	54,000	34,000	14,000	0,81	360
12	18:00	70,000	51,000	32,000	13,000	0,78	200

Tabla 5.2. Cálculo de la eficiencia del colector.

Fecha: 08-03-2016

Hora	Velocidad del viento (m/s)	Coeficientes de pérdida de calor ($W/m^2 \cdot K$)							Radiación global (W/m^2)	Eficiencia η
		h1	h2	h3	h4	h5	h6	heq		
7:00	0,96	2,345	2,201	9,348	5,529	4,693	4,760	2,916	180,000	0,393
8:00	0,79	2,398	2,255	8,702	5,832	4,910	4,936	2,990	210,000	0,411
9:00	0,82	2,542	2,399	8,816	6,272	5,158	5,057	3,146	300,000	0,458
10:00	0,79	2,591	2,450	8,702	6,714	5,467	5,302	3,277	340,000	0,452
11:00	0,75	2,631	2,492	8,550	6,931	5,600	5,383	3,334	400,000	0,494
12:00	0,86	2,732	2,597	8,968	7,425	5,871	5,511	3,501	445,000	0,441
13:00	0,75	2,752	2,619	8,550	7,602	5,982	5,585	3,526	440,000	0,409
14:00	0,75	2,708	2,571	8,550	7,316	5,816	5,493	3,446	440,000	0,463
15:00	0,79	2,707	2,569	8,702	7,069	5,627	5,321	3,383	390,000	0,417
16:00	0,89	2,628	2,488	9,082	6,693	5,415	5,214	3,292	380,000	0,485
17:00	0,81	2,678	2,539	8,778	6,725	5,390	5,136	3,286	360,000	0,422
18:00	0,78	2,335	2,192	8,664	5,693	4,836	4,911	2,937	200,000	0,449

Nota: h1: coeficiente de pérdida por convección absorbador – cubierta interior; h2: coeficiente de pérdida por convección cubierta interior – cubierta exterior; h3: coeficiente de pérdida por convección cubierta exterior – medio ambiente; h4: coeficiente de pérdida por radiación absorbador – cubierta interior; h5: coeficiente de pérdida por radiación cubierta interior – cubierta exterior; h6: coeficiente de pérdida por radiación cubierta exterior – medio ambiente.

La eficiencia promedio medida en un día de marzo es 0,44; la eficiencia calculada para este mes es 0,52 por lo que puede afirmarse que el modelo matemático refleja correctamente el sistema real.

5.3 Verificación del proceso de deshidratación

El deshidratador tiene capacidad para 30 kg de producto con alto porcentaje de humedad. En un lapso de 18 horas el deshidratador debe ser capaz de reducir el porcentaje de humedad a 15%, que reduce la proliferación de microorganismos durante el almacenamiento y permite al producto conservar características de textura y sabor agradables para el consumidor.

5.3.1 Cálculo de la humedad final

El porcentaje de agua evaporado durante el proceso de deshidratación puede calcularse con la siguiente expresión:

$$m_a = m_T * (H_{fi} - H_s)$$

Donde:

m_a	Masa de agua presente en el producto que debe evaporarse	[Kg]
m_T	Masa total del producto	[Kg]
H_{fi}	Fracción de agua en el producto fresco	
H_s	Fracción de agua que debe tener el producto deshidratado	

La masa de producto deshidratado se calcula con la siguiente expresión:

$$m_{ú.d} = m_T - m_a$$

Combinando las dos expresiones anteriores es posible calcular la humedad del producto deshidratado si se conocen masa inicial, masa final y humedad inicial.

$$m_{ú.i} = m_T - m_T * (H_{fi} - H_s)$$

$$H_{fi} - H_s = \frac{m_{ú.i} - m_T}{m_T}$$

$$H_s = H_{fi} - \frac{m_{ú.i} - m_T}{m_T} \quad \text{Ecuación 5.1}$$

5.3.2 Deshidratación de la piña

Para verificar la deshidratación de la piña, el producto debe cortarse como se muestra en la Figura 5.2, con un diámetro de 100 mm y un espesor máximo de 3 mm. Las Tablas 5.3 y 5.4 muestran la humedad alcanzada en 10 lotes de piña. Este proceso se repite dos veces más, los datos obtenidos se presentan en el **Anexo D**.



Figura 5.2. Rodajas de piña deshidratadas.

Tabla 5.3 Medición de humedad en lote de piña con horno al 50%.

Producto		Piña
Tiempo de secado (h)		16
Jornadas		3
Masa inicial (Kg)		15
Humedad inicial		0,87
Prueba	Masa final (kg)	Humedad final
1	4,49	0,15
2	4,28	0,15
3	3,88	0,13
4	3,49	0,12
5	4,89	0,17
6	3,45	0,12
7	4,55	0,16
8	4,77	0,16
9	4,7	0,16
10	4,25	0,15
Promedio	4,28	0,15
Desviación estándar		0,02

Tabla 5.4 Medición de humedad en lote de piña con horno al 100%.

Producto		Piña
Tiempo de secado (h)		18
Jornadas		3
Masa inicial (Kg)		30
Humedad inicial		0,87
Prueba	Masa final (kg)	Humedad final
1	7,86	0,13
2	8,07	0,14
3	8,44	0,15
4	7,96	0,14
5	7,84	0,13
6	8,36	0,15
7	8,12	0,14
8	8,41	0,15
9	8,49	0,15
10	8,27	0,15
Promedio	8,18	0,14
Desviación estándar		0,01

La media de 8,18 Kg y la desviación estándar de la humedad final de 0,01 calculadas en la Tabla 5.4 permiten predecir que la humedad de los lotes se encuentran cerca del valor deseado y estos son aptos para su comercialización.

5.3.3 Deshidratación de la manzana

Para verificar la deshidratación de la manzana el producto debe colocarse en el deshidratador tal como se muestra en la Figura 5.3, con un diámetro de 50 mm y espesor máximo de 4 mm. Las Tablas 5.5 y 5.6 muestran la humedad alcanzada en 10 lotes de manzana. Este proceso se repite dos veces más, los datos obtenidos se presentan en el **Anexo D**.



Figura 5.3. Rodajas de manzana deshidratada.

Tabla 5.5. Medición de humedad en lote de manzana con horno al 50%

Producto		Manzana
Tiempo de secado (h)		15
Jornadas		3
Masa inicial (Kg)		15
Humedad inicial		0,84
Prueba	Masa final (kg)	Humedad final
1	4,47	0,12
2	5,43	0,15
3	5,22	0,15
4	4,49	0,12
5	4,97	0,14
6	5,17	0,15
7	4,36	0,12
8	4,44	0,12
9	5,38	0,15
10	5,72	0,16
Promedio	4,97	0,14
Desviación estándar		0,02

Tabla 5.6. Medición de humedad en lote de manzana con horno al 100%

Producto		Manzana
Tiempo de secado (h)		17
Jornadas		3
Masa inicial (Kg)		30
Humedad inicial		0,84
Prueba	Masa final (kg)	Humedad final
1	9,38	0,15
2	9,23	0,15
3	9,05	0,14
4	9,72	0,16
5	9,75	0,17
6	9,8	0,17
7	8,97	0,14
8	9,04	0,14
9	9,12	0,14
10	9,73	0,16
Promedio	9,38	0,15
Desviación estándar		0,01

La media de 9,38 Kg y la desviación estándar de 0,01 de la humedad final calculadas en la Tabla 5.6 muestran que la humedad de los lotes procesados está muy cerca del valor deseado de 0,15 y estos son aptos para su comercialización.

5.3.4 Deshidratación del banano

Para verificar la deshidratación del banano el producto debe colocarse en el deshidratador tal como se muestra en la Figura 5.4 con un espesor máximo de 3 mm. Las Tablas 5.7 y 5.8 muestran la humedad alcanzada en 10 lotes de banana. Este proceso se repite dos veces más, los datos obtenidos se presentan en el **Anexo D**.



Figura 5.4. Rodajas de banano deshidratadas.

Tabla 5.7. Medición de humedad en lote de banano con horno al 50%.

Producto		Banana
Tiempo de secado (h)		14
Masa inicial (Kg)		15
Humedad inicial		0,74
Prueba	Masa final (Kg)	Humedad final
1	7,61	0,19
2	6,25	0,15
3	6,4	0,15
4	6,68	0,16
5	6,52	0,16
6	7,94	0,2
7	7,42	0,19
8	7,00	0,21
9	7,68	0,2
10	5,78	0,13
Promedio		7,03
Desviación estándar		0,03

Tabla 5.8. Medición de humedad en lote de banana con horno al 100%.

Producto		Banana
Tiempo de secado (h)		15
Masa inicial (Kg)		30
Humedad inicial		0,74
Prueba	Masa final (Kg)	Humedad final
1	12,12	0,14
2	11,5	0,12
3	13,9	0,2
4	11,71	0,13
5	12,38	0,15
6	12,5	0,16
7	12,62	0,16
8	11,33	0,12
9	12,3	0,15
10	11,26	0,12
Promedio		12,16
Desviación estándar		0,03

La media de 12,16 Kg y la desviación estándar de 0,03 de la humedad final calculadas en la Tabla 5.8 permiten afirmar que la humedad de los lotes

procesados está muy cerca del valor deseado y estos son aptos para su comercialización.

CAPÍTULO VI

ANÁLISIS ECONÓMICO Y AMBIENTAL

6.1 Inversión del proyecto

La inversión del proyecto tiene cuatro rubros principales: componentes del colector, componentes de la estructura, componentes del sistema de ventilación y mano de obra; todos estos rubros se desglosan en la primera sección de este capítulo.

A continuación se realiza el cálculo de la “recuperación de la inversión” tomando como punto de partida el ahorro de energía que provocan los colectores en el sistema de deshidratación.

6.1.1 Inversión inicial

La Tabla 6.1 muestra el resumen de la inversión inicial del proyecto mientras que las Tablas 6.2, 6.3, 6.4 y 6.5 detallan los costos de acuerdo a su naturaleza.

Tabla 6.1. Resumen de la inversión inicial.

Inversión del colector solar	
Componente	Costo total
Colector	2302,00
Estructura	98,00
Sistema de Ventilación	443,00
Mano de obra	2300,00
Total	\$ 5143,00

Tabla 6.2. Inversión del colector.

Inversión del colector				
Componente	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Cinta aislante	unidad	2	30	60,00
Codos cobre 3/4"	unidad	150	2,5	375,00
Lámina de acero inoxidable 304	unidad	3	150	450,00
Lámina de tol galvanizado	unidad	3	30	90,00
Espuma de poliuretano	unidad	3	15	45,00
Pintura galvanizado en frio	unidad	1	30	30,00
Styroplan	unidad	3	35	105,00
Suelda de plata 10%	Kg	5	45	225,00
Tubo cuadrado aluminio 50x50x1 mm	unidad	1	37	37,00
Tubo de cobre 3/4"	unidad	18	45	810,00
Vidrio 1500x1000x6 mm	unidad	3	25	75,00
total				\$ 2302,00

Tabla 6.3. Inversión de la estructura.

Inversión de la estructura				
Componente	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Lámina de tol		2	25	50,00
Perfil T 25x25x2 mm		2	8	16,00
Platina 25x25x2 mm		2	8	16,00
Tubo cuadrado 25x25x2 mm		2	8	16,00
total				\$ 98,00

Tabla 6.4. Inversión de la mano de obra.

Inversión en mano de obra				
Componente	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Diseño		1	500,00	500,00
Salario ayudante		2	400,00	800,00
Salario maestro metalmecánico		2	500,00	1000,00
Total				\$ 2300,00

Tabla 6.5. Inversión del sistema de ventilación.

Inversión del sistema de ventilación				
Componente	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Codo plástico 2"		10	2,00	20,00
Codo plástico 3/4"		10	1,00	10,00
Codo PVC 4"		2	3,00	6,00
Colector		1	150,00	150,00
Reducción 2-3/4"		6	2,75	16,50
Tubo plástico 2"		2	57,00	114,00
Tubo plástico 3/4"		6	12,00	72,00
Tubo PVC 4"		1	2,00	2,00
Unión T 2"		5	2,50	12,50
Unión T 3/4"		5	2,00	10,00
Unión T PVC 4"		2	4,00	8,00
Universal 2"		2	5,00	10,00
Universal 3/4"		6	2,00	12,00
Ventilador		2	120,00	240,00
Total				\$ 443,00

6.1.2 Recuperación de la inversión

La Tabla 6.6 muestra el resumen de la recuperación de inversión.

Tabla 6.6. Resumen de recuperación de inversión.

SISTEMA ELÉCTRICO	COSTO MES	COSTO AÑO
	DOLARES	DOLARES
Sistema de Deshidratación eléctrico de 7000 W	126,00	1512,00
Sistema de Deshidratación de Paneles solares		377,00
Ahorro por implementación de paneles		1135,00
SISTEMA DE PANELES	COSTO	AÑOS
Inversión Inicial	5143,00	
Ahorro por implementación de paneles	1135,00	
Recuperación de la inversión		4,50

El sistema de deshidratación sobre el que se implementaron los colectores era eléctrico con una potencia de 7000 W. El costo de funcionamiento mensual del sistema puede calcularse con la Ecuación 6.1.

$$\text{Costo} = P * H * D * \text{Tarifa} \quad \text{Ecuación 6.1}$$

Donde:

P es la potencia que consume el sistema en kW

H es el número de horas al día que el sistema se encuentra en funcionamiento

D es el número de días al mes que el sistema se encuentra en funcionamiento

El deshidratador opera alrededor de 10 horas diarias y un mes posee 20 días laborables; la tarifa por kW en el Distrito Metropolitano de Quito es 0,09 dólares.

El costo de operación mensual del deshidratador eléctrico es entonces:

$$\text{Costo mensual} = 7 * 10 * 20 * 0,09 = 126 \text{ [dólares]}$$

$$\text{Costo anual} = 126 * 12 = 1512 \text{ [dólares]}$$

Con el uso de los colectores solares en condiciones ideales, el ahorro anual por utilización de energía renovable sería de 1512 dólares. Sin embargo, los colectores no pueden utilizarse a máxima capacidad durante todo el año ya que esta depende de la heliofanía de cada región. Los valores de heliofanía para la ciudad de Quito durante el año 2015 se muestran en la Tabla 6.7.

Tabla 6.7. Heliofanía en la ciudad de Quito durante el 2015.

Mes	Heliofanía (h)
Enero	97,8
Febrero	77,5
Marzo	132,2
Abril	91,1
Mayo	150,4
Junio	210,9
Julio	224,7
Agosto	227,8
Septiembre	240,7
Octubre	142,6
Noviembre	-
Diciembre	167,4

Nota: Tomado de [33]

De acuerdo con la Tabla 6.7., en algunos meses se requerirá utilizar energía eléctrica para completar la carga mensual de 200 horas; el costo de la utilización de esta energía se calcula en la Tabla 6.8; para el mes de noviembre, cuyo valor de heliofanía no está disponible, se duplica el valor correspondiente a octubre.

Tabla 6.8. Consumo de energía eléctrica del deshidratador.

Mes	Horas requeridas	Horas de energía solar	Horas de energía eléctrica
Enero	200	97,8	102,2
Febrero	200	77,5	122,5
Marzo	200	132,2	67,8
Abril	200	91,1	108,9
Mayo	200	150,4	49,6
Junio	200	210,9	0
Julio	200	224,7	0
Agosto	200	227,8	0
Septiembre	200	240,7	0
Octubre	200	142,6	57,4
Noviembre	200	142,6	57,4
Diciembre	200	167,4	32,6
Total			598,4

El costo de operar la planta durante 598 horas se calcula con ayuda de la Ecuación 6.1 como sigue:

$$\text{Nuevo costo anual} = 7 * 598 * 0,09 = 377,00 \text{ [dólares]}$$

Por lo tanto el ahorro por consumo de energía no corresponde a 1512 dólares sino a la diferencia entre los consumos calculados antes y después de la implementación de los colectores tal como se muestra a continuación:

$$\text{Ahorro anual} = 1512 - 377 = 1135,00 \text{ [dólares]}$$

El tiempo de recuperación se define como relación entre la inversión inicial y el ahorro anual; este cálculo se realiza a continuación:

$$\text{Tiempo de recuperación} = \frac{5143}{1135} = 4,53 \text{ años}$$

La vida útil de un colector solar se estima entre 20 y 25 años[29][30] por los que se puede concluir que la implementación de los colectores solares de este proyecto es rentable ya que se amortizan en un periodo inferior a su tiempo de vida útil.

6.2 Análisis ambiental

A continuación se estudian el impacto de las energías solar y eléctrica en el medio ambiente con el fin de demostrar como la energía solar es superior a la energía eléctrica en este aspecto (Tabla 6.9).

Tabla 6.9.Análisis ambiental.

Sistema	Emisiones de co2 (t/año)
Sistema de Deshidratación eléctrico de 7000 W	5,26
Sistema de Deshidratación de Paneles solares	1,31
Ahorro por implementación de paneles	3,95

- **Emisión de CO₂**

Antes de la implementación del proyecto, el deshidratador consumía 7KW durante 200 horas al mes o 2400 horas anuales; estos valores reflejan un consumo de:

$$7\text{KW} * 2400 \left[\frac{\text{horas}}{\text{año}} \right] = 16800 \left[\frac{\text{KWh}}{\text{año}} \right]$$

El coeficiente de emisión de CO₂ en Ecuador es de 313,3 g/kWh[31]; entonces la producción de CO₂ del deshidratador será de:

$$16800 \frac{\text{KWh}}{\text{año}} * 313,3 \frac{\text{g}}{\text{KWh}} = 5263440 \frac{\text{g}}{\text{año}} = 5,26 \left[\frac{\text{T}}{\text{año}} \right]$$

Con la implementación del proyecto, el número de horas de consumo eléctrico del deshidratador disminuye a 600 horas aproximadamente; el consumo eléctrico es entonces:

$$7\text{KW} * 600 \frac{\text{h}}{\text{año}} = 4200 \left[\frac{\text{K}}{\text{año}} \right]$$

El coeficiente de emisión de CO₂ se mantiene por lo que la producción de CO₂ será:

$$4200 \frac{\text{KWh}}{\text{año}} * 313,3 \frac{\text{g}}{\text{KWh}} = 1315860 \frac{\text{g}}{\text{año}} = 1,31 \left[\frac{\text{T}}{\text{año}} \right]$$

La cantidad de CO₂ que deja de emitirse anualmente es entonces:

$$5,26 - 1,31 = 3,95 \text{ [T]}$$

- **Calentamiento global**

Al utilizar energía eléctrica en un horno deshidratador se está transformando electricidad en calor que posteriormente es liberado al medio ambiente. La utilización de la energía solar únicamente implica la canalización de la energía calorífica que el planeta recibe de manera natural para el proceso de deshidratación de forma que no se está generando calor y no se está aporta al fenómeno de calentamiento global.

- **Deterioro del ecosistema**

La construcción de un embalse altera drásticamente el comportamiento de un sistema fluvial. Entre los cambios importantes que se producen se incluye reducción de la calidad y cantidad de agua, alteración de la población de organismos bióticos y la sedimentación de la cuenca del río. Se producen además perturbaciones los modelos de flujo del río aguas abajo del embalse porque la descarga de agua se ve determinada por el demanda de energía y no por lo ciclos hidrológicos

El agotamiento del oxígeno ocurre primero en el agua más profunda, donde el oxígeno empleado por la bacteria en el proceso de descomposición no es reemplazado por la fotosíntesis de las plantas. Si la toma para la generación de energía está ubicada a un nivel bajo del reservorio, que, usualmente, es el caso, el agua que se libera de las turbinas puede carecer de oxígeno y tener sulfuro de hidrógeno. Además, puede tener un pH inferior y ser más fría que el agua superficial. Al liberar agua con estas características, se puede afectar, negativamente, las comunidades de plantas y animales del río debajo de la represa.

Las partículas en suspensión que trae el río se asientan en el reservorio, limitando su capacidad de almacenamiento y su vida, privando el río de los sedimentos, aguas abajo. Muchas áreas agrícolas de las planicies de inundación han dependido siempre de los limos ricos en alimentos para sostener su productividad. Como el sedimento ya no se deposita, aguas abajo, en la planicie de inundación, esta pérdida de alimentos deberá ser compensada mediante el uso de fertilizantes, para mantener la productividad agrícola.

Los efectos adicionales de los cambios en la hidrología de la cuenca del río, incluyen las variaciones en el nivel freático, aguas arriba y abajo del reservorio, y la incursión del agua salada a los esteros, causando impactos ecológicos directos y afectando a los usuarios, aguas abajo.

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

- En este proyecto se construyó un deshidratador solar plano de doble cubierta que alcanza una eficiencia promedio de 0,42, misma que se aproxima al promedio registrado en este tipo de máquinas de 0,4 [2].
- Se realizó un estudio de las características de la energía solar en Ecuador así como de los diferentes modelos de deshidratadores para alimentos a fin de determinar el más adecuado para este proyecto.
- Se realizó un estudio de los modelos y características de diferentes colectores solares resultando que el más adecuado era el modelo plano con doble cubierta.
- El modelo térmico del colector fue implementado con éxito ya que los valores de temperatura medidos están muy cerca de los calculados. Además la reducción del costo de energía eléctrica por año fue significativa con un valor de 1 135.00 Dólares haciendo viable el proyecto
- La temperatura máxima del aire entregado por los colectores fue de 80 °C que es la temperatura máxima recomendada para la deshidratación de frutas.
- Con la implementación de los colectores solares, el deshidratador pudo continuar con su ciclo normal de trabajo de 30 kg cada 10 horas.
- Con este sistema de paneles de aire forzado el horno deshidratador se puede ampliar ya que su forma “Modular” permite la ampliación tanto de paneles así como de la capacidad de Deshidratación.

- Los resultados obtenidos en este proyecto como son el costo de 5143.00 dólares frente a costos internacionales de 10 000.00 dólares aproximadamente permiten afirmar que el diseño del colector fue adecuado y cumple las expectativas de deshidratado de frutas y vegetales.
- Se constató que los sistemas de aprovechamiento de energía solar pueden tener bajo rendimiento durante ciertos meses del año por lo que deben complementarse con sistemas que utilicen otro tipo de energía.
- La utilización de los paneles solares de este proyecto representa un ahorro de 100 dólares mensuales por concepto de consumo de energía eléctrica.
- La implementación de sistemas termo-solares en pequeñas y medianas empresas es rentable ya que la inversión inicial es relativamente baja y su recuperación es posible en los primeros 5 años de operación.
- El colector solar de este proyecto está construido con componentes de fácil adquisición en el país por lo que es ideal para ser implementado en zonas poco desarrolladas.
- La implementación de este proyecto ayuda a disminuir el efecto invernadero terrestre ya que la utilización de los colectores solares evita la generación anual de 3,95 toneladas de CO₂.
- La utilización de colectores solares como fuente de energía para deshidratadores ayuda a disminuir el calentamiento global ya que no se está generando calor adicional al que naturalmente llega a la Tierra.
- La utilización de un ventilador de flujo constante de 4000 cfm es adecuada para la deshidratación de todos los productos considerados en este proyecto; sin embargo, para mejorar aún más la deshidratación debería implementarse un sistema de flujo variable.

7.2 Recomendaciones

- Se debe explorar más tecnologías de aprovechamiento de energía solar que permitan mejorar la eficiencia de los colectores solares.
- Se recomienda dar mayor impulso a otro tipo de energías renovables presentes en el país como la eólica y la geotérmica.
- Para un mejor resultado de debe Implementar un sistema de control permanente de temperatura a fin de mantener constante la cantidad de calor a la que se somete el producto.
- Este trabajo se puede mejorar y aplicar para sitios en donde no haya acceso a la energía eléctrica cambiando el sistema eléctrico a paneles fotovoltaicos solo para el uso de ventilación forzada y el sistema de calentamiento con los paneles de aire forzado.
- Es necesario que el gobierno impulse proyectos de esta índole socializándolos y elevándolos a concursos nacionales a fin reducir los costos de producción en pequeñas y medianas empresas dedicadas a la deshidratación y procesamiento de alimentos.

8 REFERENCIAS

- [1] SIRCA, «Secadores de cacao,» [En línea]. Available: <http://www.sircaecuador.com/index.php/productos/secadora>. [Último acceso: 1 agosto 2016].
- [2] AEE INTEC, 2009. [En línea]. Available: <http://www.solarthermalworld.org/sites/gstec/files/Solar%20Thermal%20Systems%20Manual.pdf>. [Último acceso: 17 Diciembre 2015].
- [3] América Economía, «América Latina y la energía solar,» 6 Marzo 2014. [En línea]. Available: <http://www.americaeconomia.com/revista/america-latina-y-la-energia-solar>.
- [4] S. Kalogirou, «Solar thermal collectors and applications,» *Progress in energy and combustion science*, vol. 30, pp. 231-295, 2004.
- [5] Icarus solar, «Colector solar sin cubierta,» 2007. [En línea]. Available: <http://www.icarus-solar.com/Referencias/imagenes/AytoSelaya/EjecucionSelaya%2008.jpg>. [Último acceso: 17 Diciembre 2015].
- [6] Heat web, «Navitron,» 2013. [En línea]. Available: <http://www.heatweb.com/solar/navitron.pdf>. [Último acceso: 17 Diciembre 2015].
- [7] Y. Goswami, Principios de ingeniería solar, Boca Raton: CRC, 2015.
- [8] F. Incropera, Fundamentos de transferencia de calor, México: PRENTICE HALL, 1999.
- [9] Agencia Internacional de Energía, Perspectivas de la energía solar, París: Agencia Internacional de Energía, 2011.
- [10] Consejo Nacional de Electricidad, Atlas solar del Ecuador con fines de generación eléctrica, Quito: Consejo Nacional de Electricidad, 2008.

- [11] J. Duffie y W. Beckman, Ingeniería solar para procesos térmicos, New Jersey: Wiley, 2013.
- [12] C. Geankoplis, Procesos de transporte y operaciones unitarias, 3 ed., México: Compañía Editorial Continental, 1998.
- [13] L. Imre, «Solar Drying,» de *Handbook of Industrial Drying*, A. Mujumdar, Ed., Boca Ratón, CRC Press, 2015.
- [14] T. Swetman, «Solar drying,» 2007. [En línea]. Available: <http://cdn1.practicalaction.org/k/n/541ac389-e3d4-4294-bb00-384d0a000047.pdf>. [Último acceso: 12 Diciembre 2015].
- [15] R. Keey, Principios y prácticas de secado, Pergamon Press, 1972.
- [16] UNESCO, «Manual de secado solar,» [En línea]. Available: <http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/Montevideo/pdf/ED-Guiasecaderosolar.pdf>. [Último acceso: 1 agosto 2016].
- [17] Más que salud, «Más que salud,» [En línea]. Available: <http://www.masquesalud.com/pina-propiedades-y-beneficiosos/>. [Último acceso: 5 Junio 2016].
- [18] Buena Fuente, «Buena Fuente,» [En línea]. Available: <http://buenafuente.info/deliciosas-recetas-base-platano-apuesto-no-las-sabias/>. [Último acceso: 5 Junio 2016].
- [19] Trops, «El mango,» [En línea]. Available: <http://www.trops.es/mango/>. [Último acceso: 20 Junio 2016].
- [20] Energía vital, «La manzana,» [En línea]. Available: <http://energiavital.info/la-manzana-envenenada/>. [Último acceso: 20 Junio 2016].
- [21] Hogar Manía, «El tomate,» [En línea]. Available: <http://www.hogarmania.com/cocina/escuela-cocina/tecnicas/201109/pelar-tomate-11696.html>. [Último acceso: 20 Junio 2016].

- [22] Ecosiembra, «Cultivo de hierba luisa,» [En línea]. Available: <http://ecosiembrablogspot.com/2015/11/cultivo-de-hierbaluisa.html>. [Último acceso: 20 Junio 2016].
- [23] Plantas medicinales 10, «Beneficios del cedrón,» [En línea]. Available: <http://www.plantasmedicinales10.com/articulo/beneficios-cedron.html>. [Último acceso: 20 Junio 2016].
- [24] U. d. Utha, «Deshidratación de productos agrícolas,» [En línea]. Available: <http://extension.usu.edu/files/publications/publication/FN-330.pdf>. [Último acceso: 1 agosto 2016].
- [25] NESCO, «Deshidratador Nesco,» [En línea]. Available: http://www.nesco.com/files/pdf/nah_adj_cu_manual_30001451_update_10_2011.pdf. [Último acceso: 1 agosto 2016].
- [26] R. Johnson, Deshidratación de alimentos, 2012.
- [27] A. García, «Análisis comparativo de la cinética de deshidratación Osmótica y por Flujo de Aire Caliente de la Piña (Ananas Comosus, variedad Cayena lisa),» *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, vol. 22, pp. 62-69, 2013.
- [28] G. Tchaya, M. Kamta y C. Kapseu, «Improvement of an indirect solar dryer with forced convection by variation of airflow mode,» [En línea]. Available: http://www.ijetae.com/files/Volume4Issue1/IJETAE_0114_88.pdf. [Último acceso: 1 agosto 2016].
- [29] N. Bagheri, «Design, Construction and Evaluation of a Fan Speed Controller in a Forced Convection Solar Dryer to Optimize the Overall Energy Efficiency,» [En línea]. Available: http://jast.modares.ac.ir/article_4718_ac4db2be23704624b44334fe414a117b.pdf. [Último acceso: 1 agosto 2016].
- [30] Colegio de Agricultura de la Universidad de Kentucky, «Water Content of Fruits and Vegetables,» [En línea]. Available: <https://www2.ca.uky.edu/enri/pubs/enri129.pdf>. [Último acceso: 19 Enero

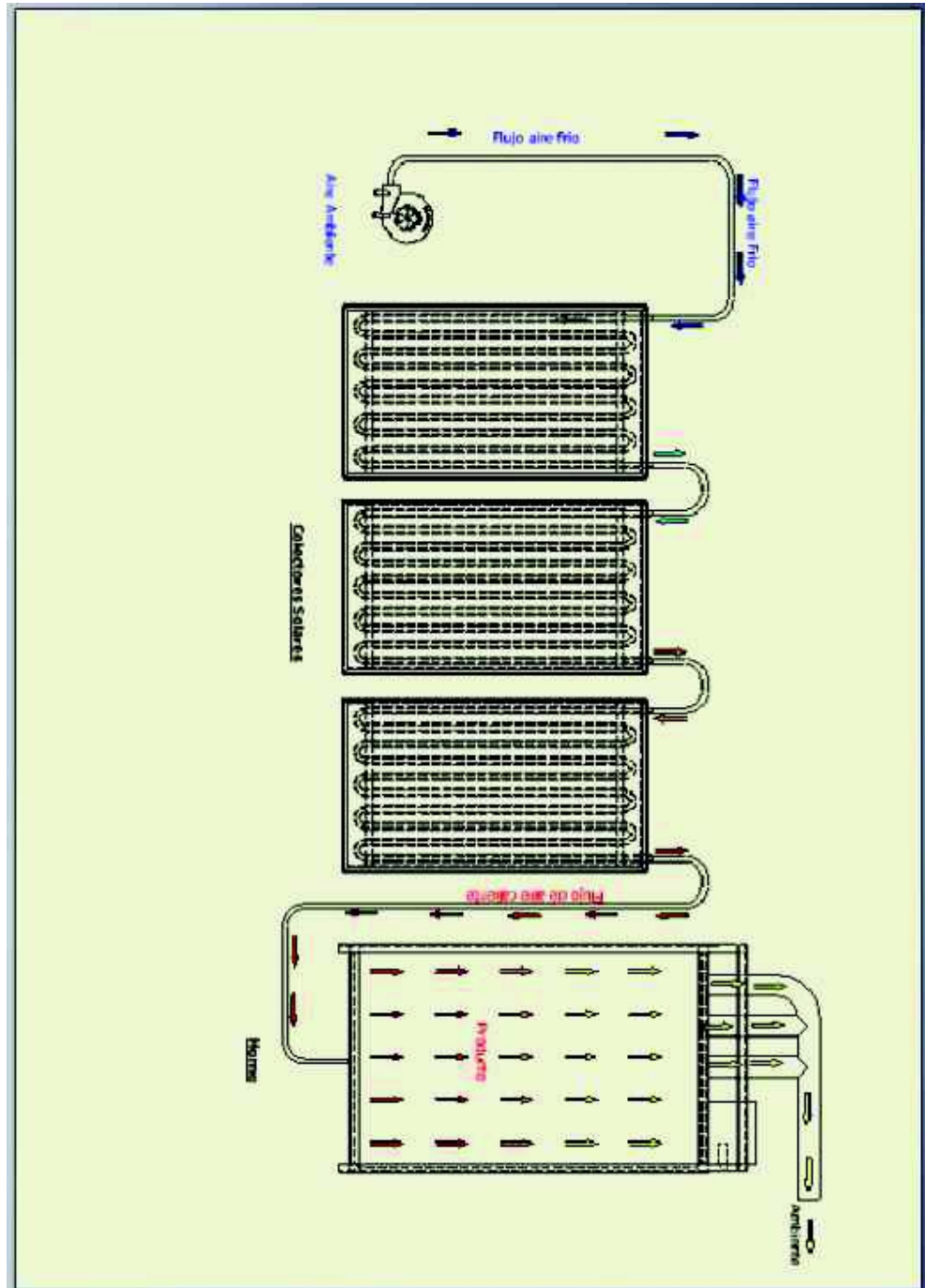
2016].

- [31] Engeeniering.com, «Reflectance of stainless steel,» [En línea]. Available: <http://www.eng-tips.com/viewthread.cfm?qid=33617>. [Último acceso: 17 Mayo 2016].
- [32] BackpackingChef, «Dehydrating fruit,» [En línea]. Available: <http://www.backpackingchef.com/dehydrating-fruit.html#dehydratingpineapples>. [Último acceso: 19 Enero 2016].
- [33] Instituto Nacional de Metereología e Hidrología, «Anuario meteorológico Nro 52-2012,» [En línea]. Available: <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/wp-content/uploads/anuarios/meteorologicos/Am%202012.pdf>. [Último acceso: 6 Abril 2016].
- [34] Y. Cengel, Introducción a la termodinámica, México: McGraw–Hill, 2008.
- [35] J. Paz, Colectores solares planos, tratamiento teórico, Ciudad Juarez: Universidad Autónoma de Cuidad Juarez, 2006.
- [36] M. Mackay, Introducción a la energía solar, Oxford: Oxford, 2015.
- [37] J. Guasumba, Interviewee, *Datos de radiación medidos en la ESPE*. [Entrevista]. 15 agosto 2016.
- [38] J. Canivan, «A homemade sollar collector,» [En línea]. Available: <http://www.mondodesigno.com/ben/serpentine.html>. [Último acceso: 20 Mayo 2016].
- [39] Astersa, «Colectores solares,» [En línea]. Available: http://www.astersa.net/v_portal/apartados/pl_basica.asp?te=25. [Último acceso: 8 Abril 2016].
- [40] Green Heat, «Preguntas Frecuentes,» [En línea]. Available: <https://www.greenheat.es/es/solar-termica/cual-es-la-vida-util-de-la-instalacion>. [Último acceso: 8 Abril 2016].

- [41] Agencia de Regulación y Control de Electricidad, «Balance Nacional de Energía Eléctrica,» [En línea]. Available: <http://www.regulacionelectrica.gob.ec/estadistica-del-sector-electrico/balance-nacional/>. [Último acceso: 18 Abril 2016].
- [42] C. Peña y J. Sanchez, Gestión de la eficiencia energética, Madrid: AENOR, 2012.
- [43] G. Van Wylen y R. Sonntag, Fundamentos de termodinámica, México: Limusa, 2008.
- [44] L. Corral, Termofluidos, Madrid: AENOR, 2008.
- [45] E. Querol, Termoeconomía y optimización energética, Madrid: AENOR, 2009.
- [46] M. Pinzón y C. Villa, Color and flavor changes on the osmotic solution, used in the osmotic dehydration of tree tomato, Bogotá, 2011.
- [47] E. Rotstein, Termodinámica de procesos industriales, Buenos Aires, 1984.

Anexos

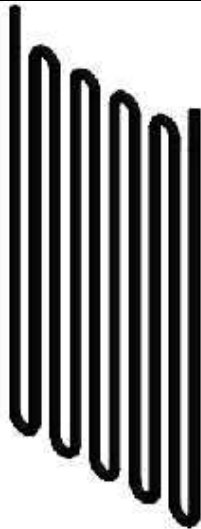
Anexo A: Diagrama de flujo del colector



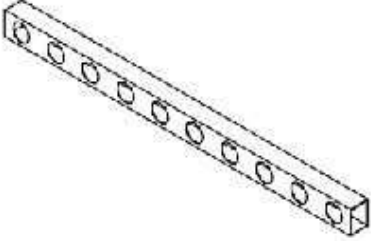
Anexo B: Planos de taller

Anexo C: Diagramas de flujo de procesos de fabricación

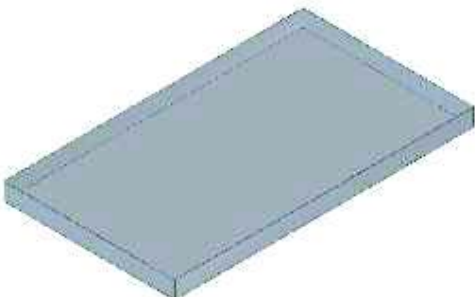
ANEXO C.1 Diagrama de flujo de procesos del absorbedor.

Trabajador / Equipo: Ayudante de taller	Cuadro de flujo de procesos						Hoja 1 de 1												
Tarea: Fabricación del absorbedor Inicio : Selección de los componentes del absorbedor Fin: Almacenamiento del absorbedor Elaborado por: Ing. Santiago Díaz							Resumen de procesos <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 70%;">Operación</td> <td style="text-align: center;">10</td> </tr> <tr> <td>Inspección</td> <td style="text-align: center;">3</td> </tr> <tr> <td>Transporte</td> <td style="text-align: center;">1</td> </tr> <tr> <td>Almacenamiento</td> <td style="text-align: center;">1</td> </tr> <tr> <td>Demora</td> <td style="text-align: center;">1</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td style="text-align: center;">14</td> </tr> </table>	Operación	10	Inspección	3	Transporte	1	Almacenamiento	1	Demora	1	Total	14
	Operación	10																	
	Inspección	3																	
	Transporte	1																	
	Almacenamiento	1																	
	Demora	1																	
	Total	14																	
Proceso	Tiempo (h)	○	□	➔	▽	D													
Selección de los componentes: perfil circular de cobre y uniones de cobre en U	0,25	●																	
Transporte de los componentes a la mesa de trabajo	0,25			●															
Dimensionamiento del perfil	2	●																	
Corte del perfil	4	●																	
Inspección de dimensiones	1		●																
Dimensionamiento de las uniones en U	2	●																	
Corte de las uniones en U	4	●																	
Inspección de dimensiones	1		●																
Ensamblaje del absorbedor	24	●																	
Soldadura provisional de uniones	10	●																	
Inspección de tolerancias geométricas	1		●																
Soldadura definitiva de las uniones	20	●																	
Limpieza del absorbedor	1	●																	
Aplicación de pintura de galvanizado en frío	2	●																	
Secado de la pintura	10					●													
Almacenamiento del absorbedor	0,25				●														
Total	82,75	10	3	1	1	1													


ANEXO C.2 Diagrama de flujo de procesos del soporte del absorbedor.

Trabajador / Equipo: Ayudante de taller	Cuadro de flujo de procesos						Hoja 1 de 1	
Tarea: Fabricación del absorbedor Inicio : Selección de tubo cuadrado Fin: Almacenamiento del soporte del absorbedor Elaborado por: Ing. Santiago Díaz							Resumen de procesos	
							Operación	7
							Inspección	2
							Transporte	1
							Almacenamiento	1
							Demora	11
							Total	13
Procesos	Tiempo (h)	○	□	⇒	▽	D		
Selección de tubo cuadrado	0,25	●						
Transporte del perfil a la mesa de trabajo	0,25			●				
Dimensionamiento del perfil	0,5	●						
Corte del perfil	0,5	●						
Inspección de dimensiones	0,25		●					
Transporte del perfil al taladro de pedestal	0,25	●						
Taladrado de agujeros	2	●						
Inspección de tolerancias geométricas	0,25		●					
Transporte del perfil a la mesa de trabajo	0,25	●						
Eliminación de rebabas	0,5	●						
Almacenamiento del soporte del absorbedor	0,25				●			
Total	5,25	7	2	1	1	0		

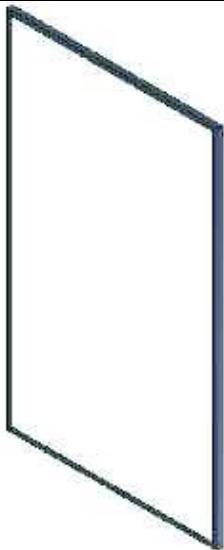
ANEXO C.3 Diagrama de flujo de procesos de la bandeja exterior.

Trabajador / Equipo: Ayudante de taller	Cuadro de flujo de procesos						Hoja 1 de 1		
Tarea: Fabricación de la bandeja exterior Inicio : Selección de hoja de tol Fin: Almacenamiento de la bandeja exterior Elaborado por: Ing. Santiago Díaz							Resumen de procesos		
								Operación	6
								Inspección	3
								Transporte	3
								Almacenamiento	1
								Demora	0
								Total	10
Descripción	Tiempo (h)	○	□	⇒	▽	D			
Selección de la hoja de tol.	0,25	●							
Transporte de la hoja de tol a mesa de trabajo	0,25			●					
Dimensionamiento de la plancha	0,5	●							
Transporte de la plancha a la cortadora	0,25	●							
Corte de la plancha de tol	2		●						
Inspección de dimensiones	0,25			●					
Transporte a la dobladora	0,25	●							
Doblado de la plancha	2		●						
Inspección de geometría	0,25			●					
Transporte a la mesa de trabajo	0,25	●							
Soldadura de esquinas	1	●							
Limpieza de la bandeja	0,25		●						
Almacenamiento de la bandeja exterior	0,25				●				
Total	7,75	6	3	3	1	0			

ANEXO C.4 Diagrama de flujo de procesos de la bandeja interior.

Trabajador / Equipo: Ayudante de taller		Cuadro de flujo de procesos					Hoja 1 de 1	
Tarea: Fabricación de la bandeja exterior Inicio : Selección de hoja de tol Fin: Almacenamiento de la bandeja interior Elaborado por: Ing. Santiago Díaz							Resumen de procesos	
							Operación	6
							Inspección	3
							Transporte	3
							Almacenamiento	1
							Demora	0
							Total	10
							Descripción	Tiempo (min)
Selección de la hoja de tol.	0,25	●						
Transporte de la hoja de tol a mesa de trabajo	0,25			●				
Dimensionamiento de la plancha	0,5	●						
Transporte a la cortadora	0,25	●						
Corte de la plancha de tol	2		●					
Inspección de dimensiones	0,25			●				
Transporte a la dobladora	0,25	●						
Doblado de la plancha	4		●					
Inspección de geometría	0,25			●				
Transporte a la mesa de trabajo	0,25	●						
Soldadura de esquinas	1	●						
Limpieza de la bandeja	0,25		●					
Almacenamiento de la bandeja interior	0,25				●			
Total	9,75	6	3	3	1	0		

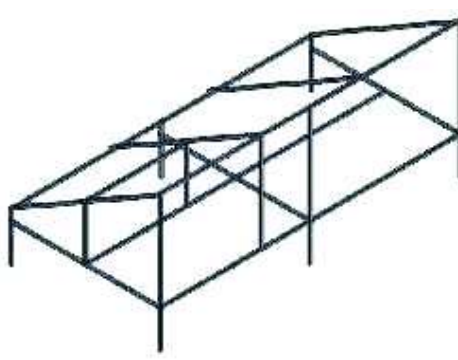
ANEXO C.5 Diagrama de flujo de procesos del seguro de la cubierta exterior.

Trabajador / Equipo: Ayudante de taller	Cuadro de flujo de procesos						Hoja 1 de 1
Tarea: Fabricación de la bandeja exterior Inicio : Selección de perfil T Fin: Almacenamiento del seguro de la cubierta exterior Elaborado por: Ing. Santiago Díaz							Resumen de procesos
	Operación					7	
	Inspección					2	
	Transporte					1	
	Almacenamiento					1	
	Demora					0	
	Total					11	
Descripción	Tiempo (h)	○	□	⇒	▽	D	
Selección del perfil T	0,25	●					
Transporte del perfil a la mesa de trabajo	0,25	●		●			
Dimensionamiento del perfil	1	●					
Corte de perfiles	2	●					
Inspección de dimensiones	0,25		●				
Soldadura provisional de los perfiles	1	●					
Inspección de tolerancias geométricas	0,25		●				
Soldadura definitiva	1,5	●					
Limpieza del seguro	0,5	●					
Almacenamiento del seguro de la cubierta exterior	0,25				●		
Total	7,25	7	2	1	1	0	

ANEXO C.6 Diagrama de flujo de procesos del ensamblaje del colector.

Trabajador / Equipo: Ayudante de taller	Cuadro de flujo de procesos						Hoja 1 de 1
Tarea: Fabricación del cuerpo del colector Inicio : Selección de los componentes del colector Fin: Almacenamiento del colector Elaborado por: Ing. Santiago Díaz Revisado por:							Resumen de procesos
	Operación	7					
	Inspección	2					
	Transporte	1					
	Almacenamiento	1					
	Demora	0					
	Total	11					
Descripción	Tiempo (h)	○	□	⇒	▽	D	
Selección de los componentes: absorbedor, bandeja exterior, bandeja interior, tubos para cubierta interior, cubierta exterior, seguro para cubierta exterior, material aislante	0,25	●					
Transporte de los componentes a la mesa de trabajo	0,25			●			
Instalación de la cubierta interior	16	●					
Instalación del absorbedor en los soportes	16	●					
Instalación de los soportes en la bandeja interior	2	●					
Inspección de tolerancias geométricas	0,5		●				
Instalación del material aislante en la bandeja exterior	8	●					
Instalación de cubierta exterior	6	●					
Instalación del seguro de la cubierta exterior	4	●					
Inspección de tolerancias geométricas	0,5		●				
Almacenamiento del colector	0,25				●		
Total	53,75	7	2	1	1	0	

ANEXO C.7. Diagrama de flujo de procesos del soporte del colector.

Trabajador / Equipo: Ayudante de taller		Cuadro de flujo de procesos					Hoja 1 de 1	
Tarea: Fabricación del cuerpo del colector Inicio : Selección de los componentes del colector Fin: Almacenamiento del colector Elaborado por: Ing. Santiago Díaz Revisado por:							Resumen de procesos	
							Operación	11
							Inspección	4
							Transporte	3
							Almacenamiento	1
							Demora	0
							Total	19
							Descripción	Tiempo (min)
Selección de tubos cuadrados	0,25	●						
Transporte de los tubos a la mesa de trabajo	0,25			●				
Dimensionamiento de los tubos	6	●						
Corte de los tubos	3	●						
Inspección de dimensiones	0,5			●				
Soldadura provisional de la estructura	16	●						
Inspección de tolerancias geométricas	8		●					
Soldadura definitiva de la estructura	24	●						
Limpieza de la estructura	1	●						
Almacenamiento del colector	0,25				●			
Total	59,25	6	1	1	1	0		

Anexo D: Pruebas realizadas con el deshidratador

- Pruebas realizadas con piña

Producto	Piña	
Tiempo de secado (h)	8	
Masa inicial (Kg)	30	
Humedad inicial	0,87	
Prueba	Masa final (Kg)	Humedad final
1	8,49	0,15
2	8,28	0,15
3	7,88	0,13
4	7,49	0,12
5	8,89	0,17
6	7,45	0,12
7	8,55	0,16
8	8,77	0,16
9	8,7	0,16
10	8,25	0,15
	8,28	0,15
	Desviación estándar	0,02

Producto	Piña	
Tiempo de secado (h)	8	
Masa inicial (Kg)	30	
Humedad inicial	0,87	
Prueba	Masa final (Kg)	Humedad final
1	8,8	0,16
2	8,22	0,14
3	9,1	0,17
4	8,15	0,14
5	8,26	0,15
6	8,35	0,15
7	8,31	0,15
8	8,59	0,16
9	8,16	0,14
10	8,9	0,17
	8,48	0,15
	Desviación estándar	0,01

- Pruebas realizadas con manzana

Producto		Manzana
Tiempo de secado (h)		8
Masa inicial (Kg)		30
Humedad inicial		0,84
Prueba	Masa final (Kg)	Humedad final
1	8,47	0,12
2	9,43	0,15
3	9,22	0,15
4	8,49	0,12
5	8,97	0,14
6	9,17	0,15
7	8,36	0,12
8	8,44	0,12
9	9,38	0,15
10	9,72	0,16
8,97		0,14
Desviación estándar		0,02

Producto		Manzana
Tiempo de secado (h)		8
Masa inicial (Kg)		30
Humedad inicial		0,84
Prueba	Masa final (Kg)	Humedad final
1	9,92	0,17
2	8,81	0,13
3	9,34	0,15
4	8,61	0,13
5	9,84	0,17
6	9,14	0,14
7	9,58	0,16
8	9,98	0,17
9	10,1	0,18
10	9,83	0,17
9,52		0,16
Desviación estándar		0,02

- Pruebas realizadas con banana

Producto		Banana
Tiempo de secado (h)		7
Masa inicial (Kg)		30
Humedad inicial		0,74
Prueba	Masa final (Kg)	Humedad final
1	13,61	0,19
2	12,25	0,15
3	12,4	0,15
4	12,68	0,16
5	12,52	0,16
6	13,94	0,2
7	13,42	0,19
8	14	0,21
9	13,68	0,2
10	11,78	0,13
13,03		0,17
Desviación estándar		0,03

Producto		Banana
Tiempo de secado (h)		7
Masa inicial (Kg)		30
Humedad inicial		0,74
Prueba	Masa final (Kg)	Humedad final
1	11,76	0,13
2	13,48	0,19
3	11,63	0,13
4	13,74	0,2
5	11,39	0,12
6	13,71	0,2
7	11,46	0,12
8	12,37	0,15
9	11,13	0,11
10	13,02	0,17
12,37		0,15
Desviación estándar		0,03

Anexo E: Fotos del Proyecto



Figura 1. Construcción del soporte del absorbedor



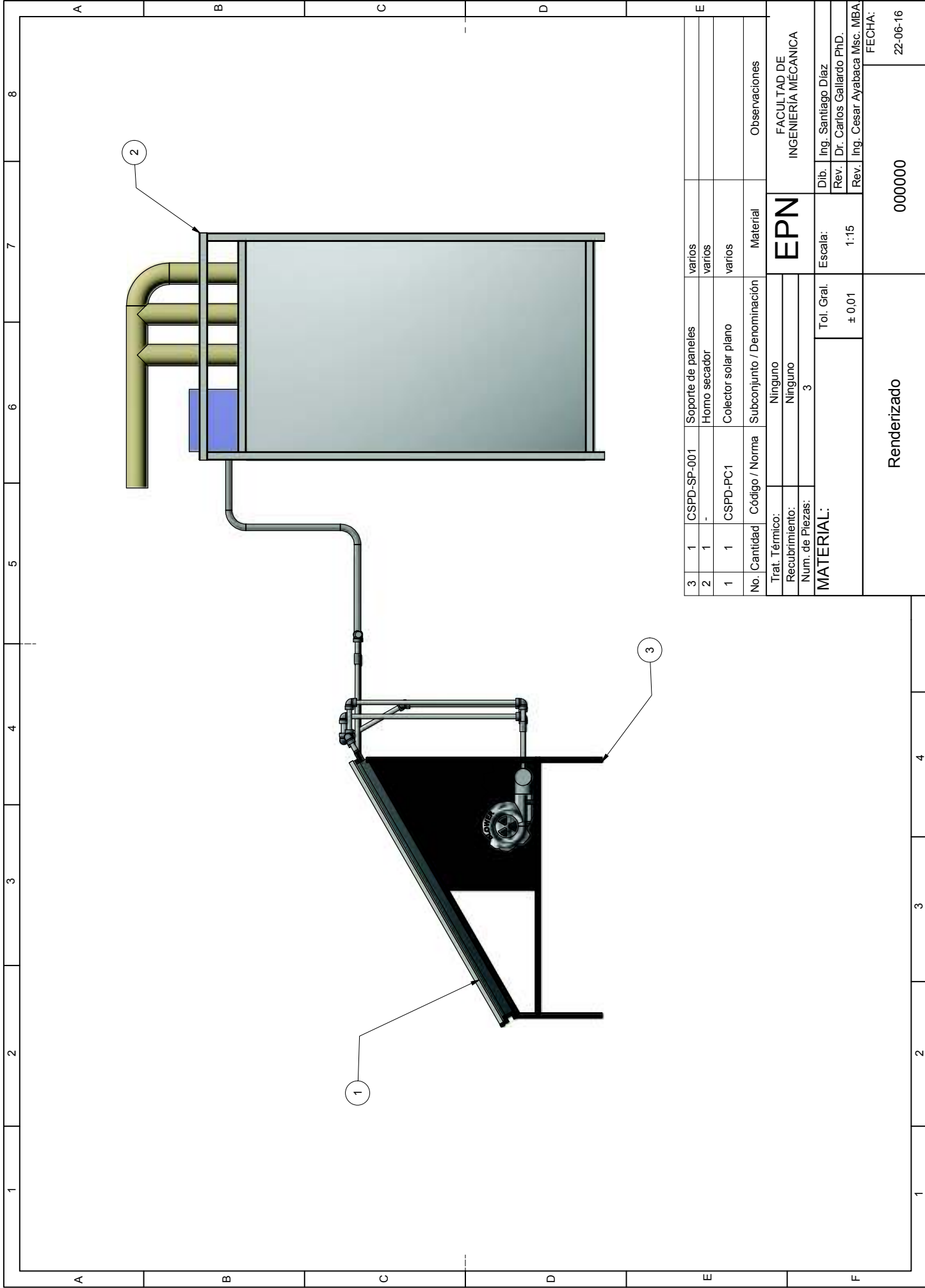
Figura 2. Instalación de tuberías del absorbedor



Figura 3. Absorbedor Solar de Aire Forzado



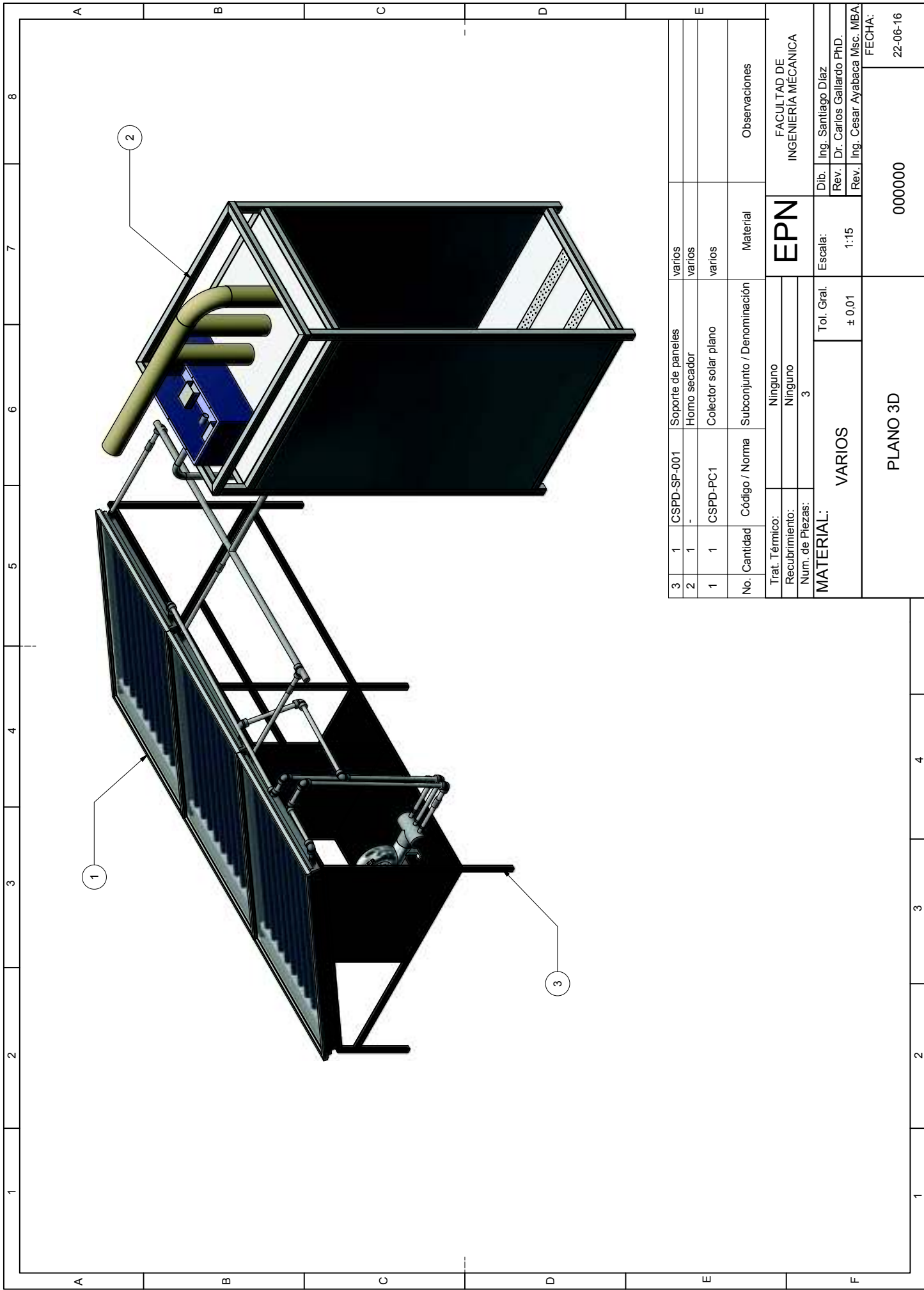
Figura 4. Paneles solares instalados con el Horno de Deshidratado



3	1	CSPD-SP-001	Soporte de paneles	varios	
2	1	-	Horno secador	varios	
1	1	CSPD-PC1	Colector solar plano	varios	
No. Cantidad	Código / Norma	Subconjunto / Denominación	Material	Observaciones	
Trat. Térmico:		Ninguno			
Recubrimiento:		Ninguno			
Num. de Piezas:		3			
MATERIAL:			Tol. Gral.	1:15	
			± 0,01		
			Escala:		
			Dib.	Ing. Santiago Diaz	
			Rev.	Dr. Carlos Gallardo PhD.	
			Rev.	Ing. Cesar Ayabaca Misc. MBA.	
			FECHA:		
					22-06-16
Renderizado			000000		

EPN

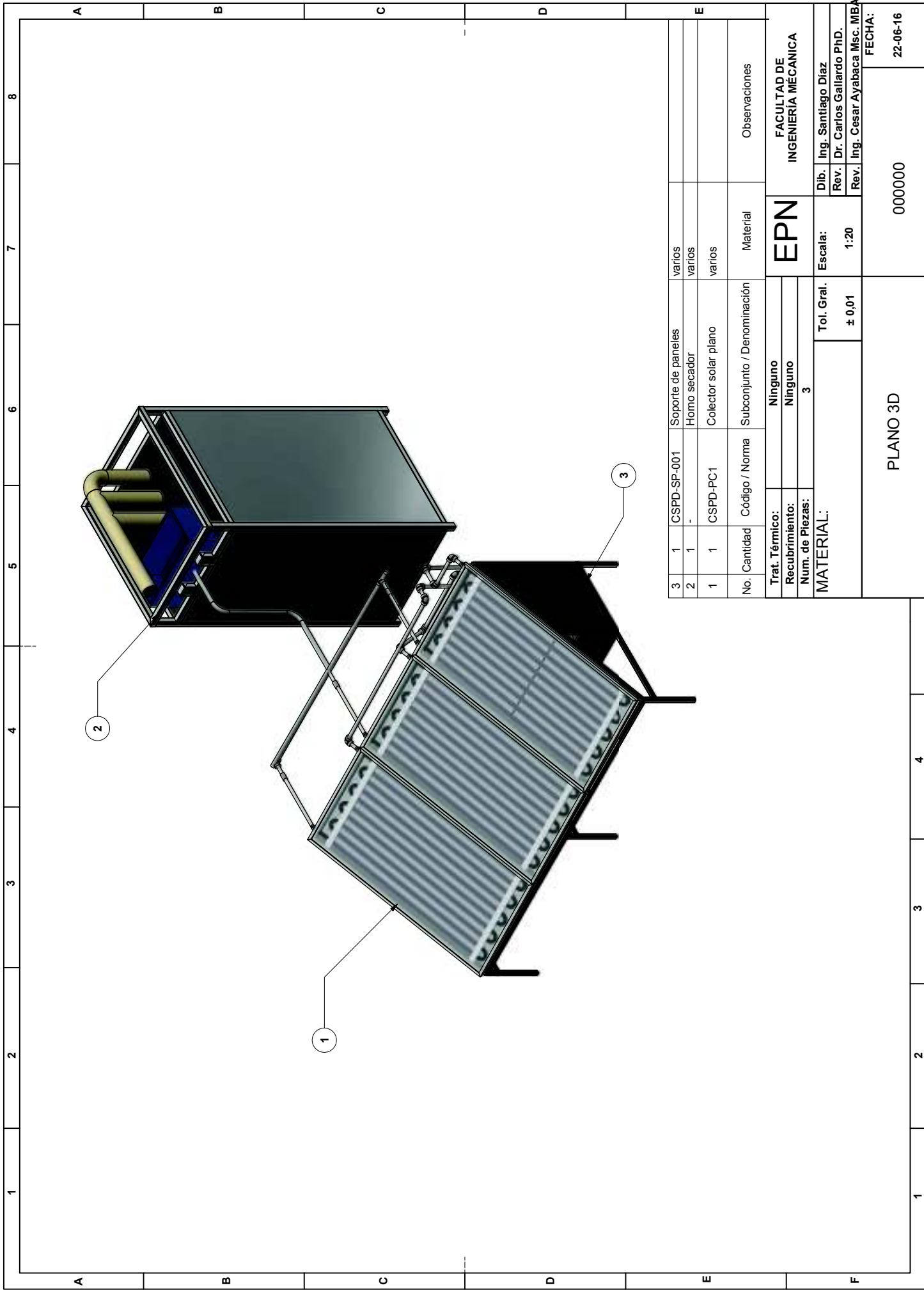
FACULTAD DE
INGENIERIA MECANICA



3	1	CSPD-SP-001	Soporte de paneles	varios	
2	1	-	Horno secador	varios	
1	1	CSPD-PC1	Colector solar plano	varios	
No.	Cantidad	Código / Norma	Subconjunto / Denominación	Material	Observaciones
Trat. Térmico:			Ninguno		
Recubrimiento:			Ninguno		
Num. de Piezas:			3		
MATERIAL:			VARIOS	Tol. Gral. ± 0,01	Escala: 1:15
					Dib. Ing. Santiago Diaz
					Rev. Dr. Carlos Gallardo PhD.
					Rev. Ing. Cesar Ayabaca Msc. MBA.
					FECHA: 22-06-16
			PLANO 3D	000000	

EPN

FACULTAD DE
INGENIERIA MECANICA



No.	Cantidad	Código / Norma	Subconjunto / Denominación	Material	Observaciones
3	1	CSPD-SP-001	Soporte de paneles	varios	
2	1	-	Horno secador	varios	
1	1	CSPD-PC1	Colector solar plano	varios	

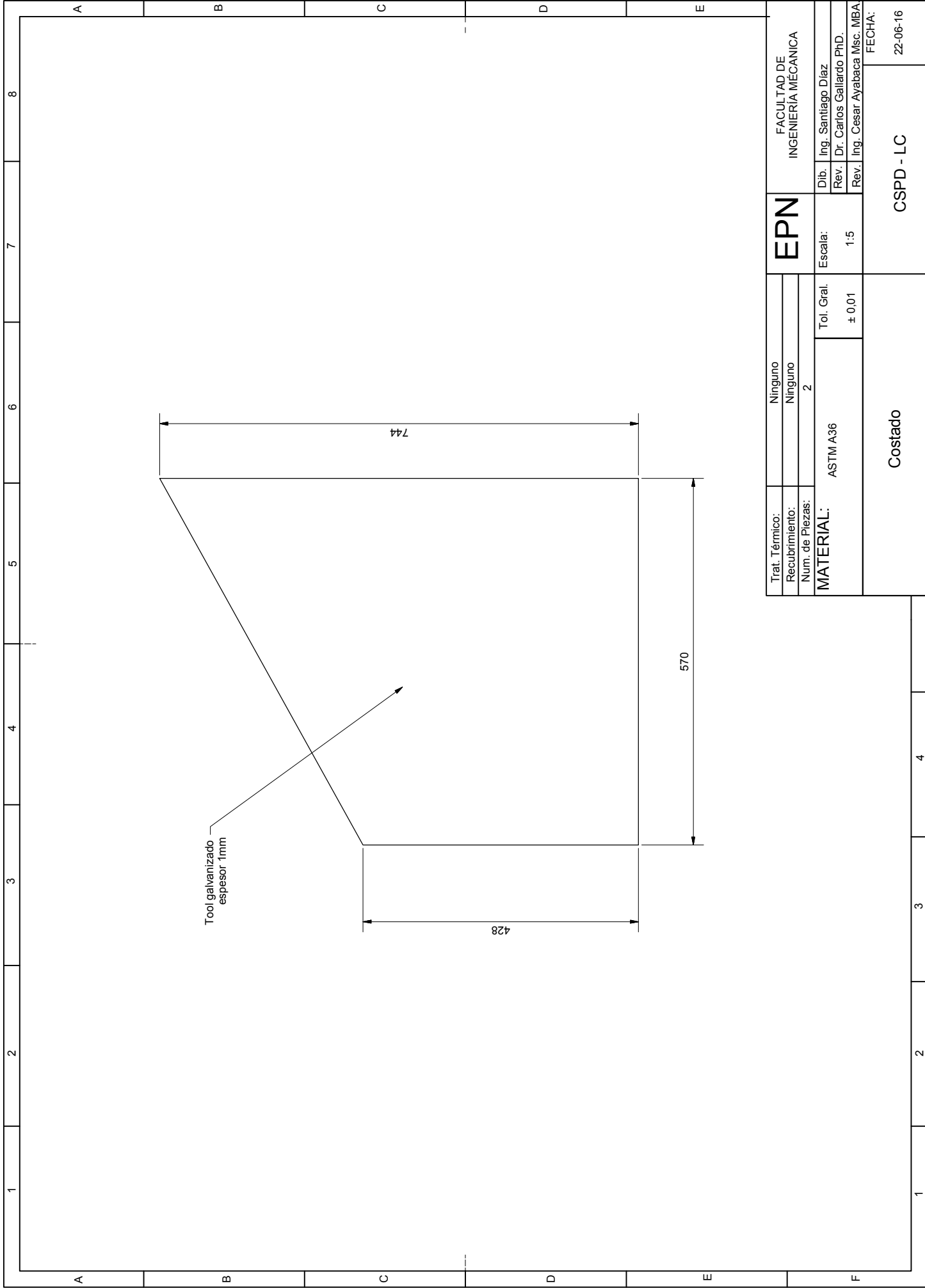
Trat. Térmico:	Ninguno
Recubrimiento:	Ninguno
Num. de Piezas:	3
MATERIAL:	
Tol. Gral.	± 0,01
Escala:	1:20

EPN	
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA	
Dib.	Ing. Santiago Diaz
Rev.	Dr. Carlos Gallardo Ph.D.
Rev.	Ing. Cesar Ayabaca Msc. MBA
FECHA: 22-06-16	

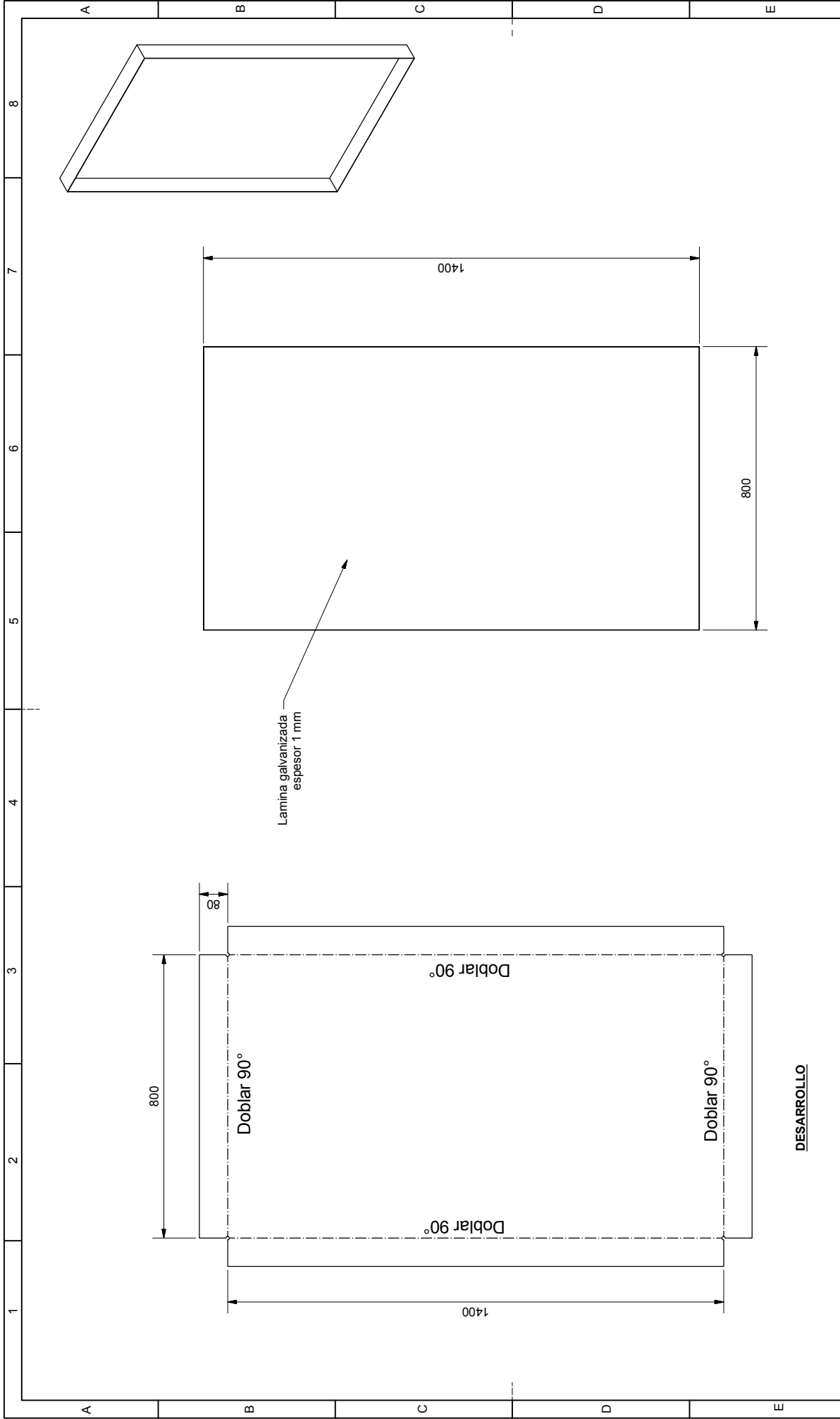
PLANO 3D

000000





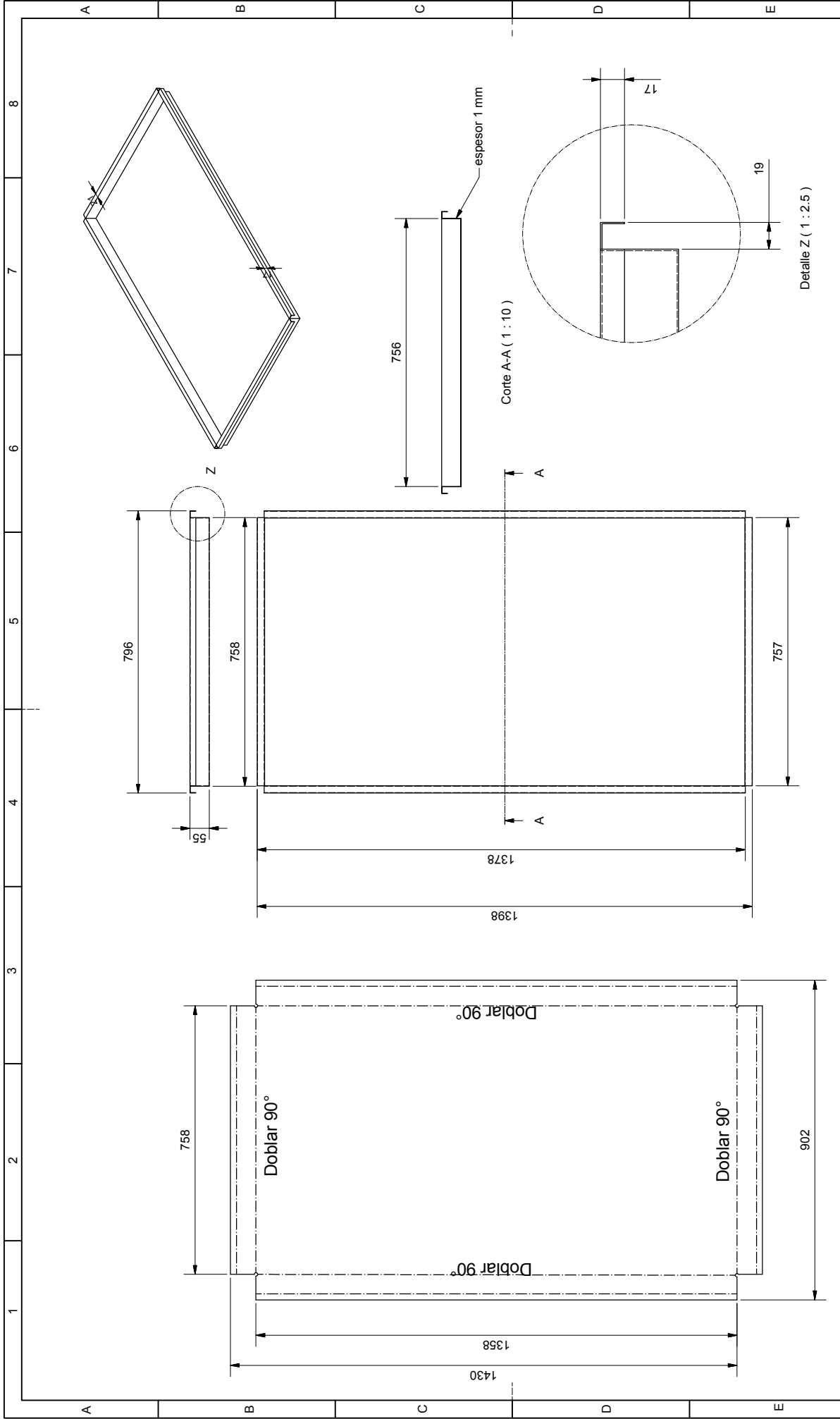
Trat. Térmico:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA		
Recubrimiento:	Ninguno		Dib.	Ing. Santiago Diaz	
Num. de Piezas:	2		Rev.	Dr. Carlos Gallardo PhD.	
MATERIAL: ASTM A36		Tol. Gral.	± 0,01	Rev.	Ing. Cesar Ayabaca Msc. MBA.
Escala:		1:5	FECHA:		22-06-16
Costado		CSPD - LC			



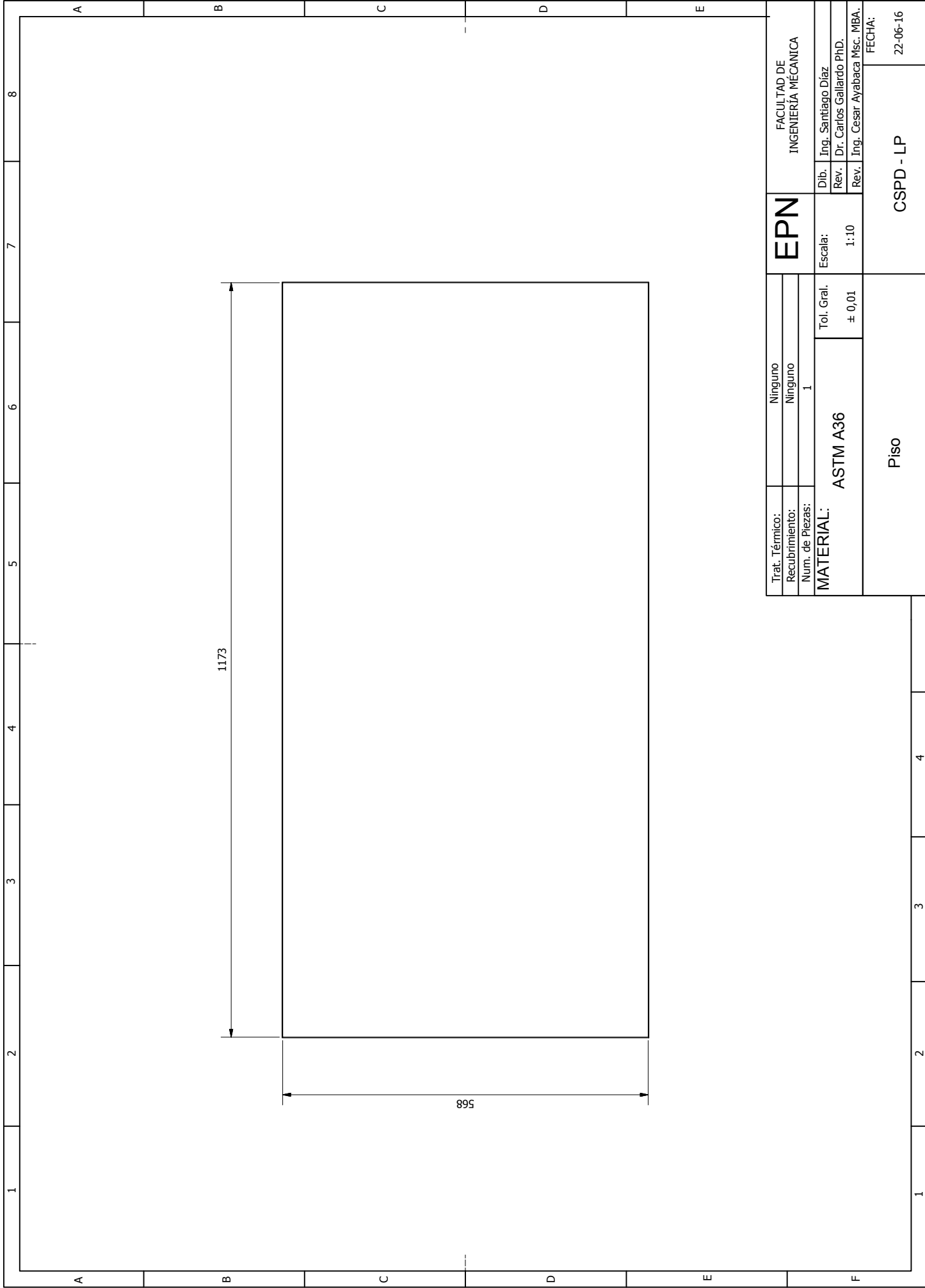
Trat. Térmico:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA	
Recubrimiento:	Ninguno		Dib.	Ing. Santiago Diaz
Num. de Piezas:	1		Rev.	Dr. Carlos Gallardo PhD.
MATERIAL:		ASTM A36	Escala:	1:10
			Tol. Gral.	± 0,01
			FECHA: 22-06-16	
			CSPD - BE - 001	
			Bandeja exterior	

DESARROLLO

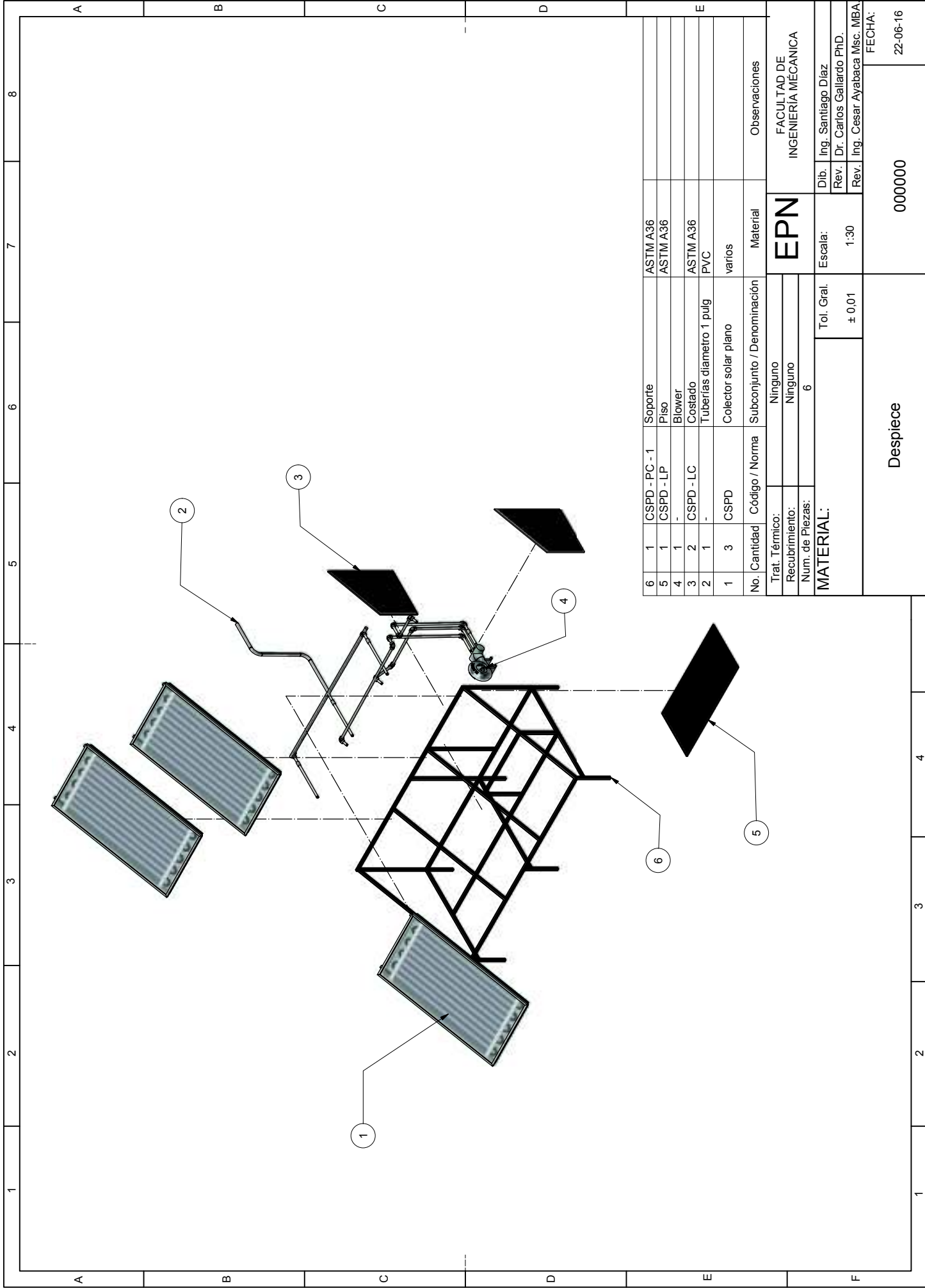
1 2 3 4



Trat. Térmico:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA		
Recubrimiento:	Ninguno		Dib.	Ing. Santiago Diaz	
Num. de Piezas:	1		Rev.	Dr. Carlos Gallardo PhD.	
MATERIAL: ASTM A36		Tol. Gral.	± 0,01	Rev.	Ing. Cesar Ayabaca Msc. MBA
Bandeja interior		Escala:	1:10	FECHA:	
				CSPD - BI - 001	
				22-06-16	



Trat. Térmico:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento:	Ninguno		Dib.	Ing. Santiago Díaz
Num. de Piezas:	1		Rev.	Dr. Carlos Gallardo Ph.D.
MATERIAL:		ASTM A36	Escala:	1:10
			Tol. Gral.	± 0,01
Piso			CSPD - LP	
			FECHA: 22-06-16	



No.	Cantidad	Código / Norma	Subconjunto / Denominación	Material	Observaciones
6	1	CSPD - PC - 1	Soporte	ASTM A36	
5	1	CSPD - LP	Piso	ASTM A36	
4	1	-	Blower		
3	2	CSPD - LC	Costado	ASTM A36	
2	1	-	Tuberías diametro 1 pulg	PVC	
1	3	CSPD	Colector solar plano	varios	

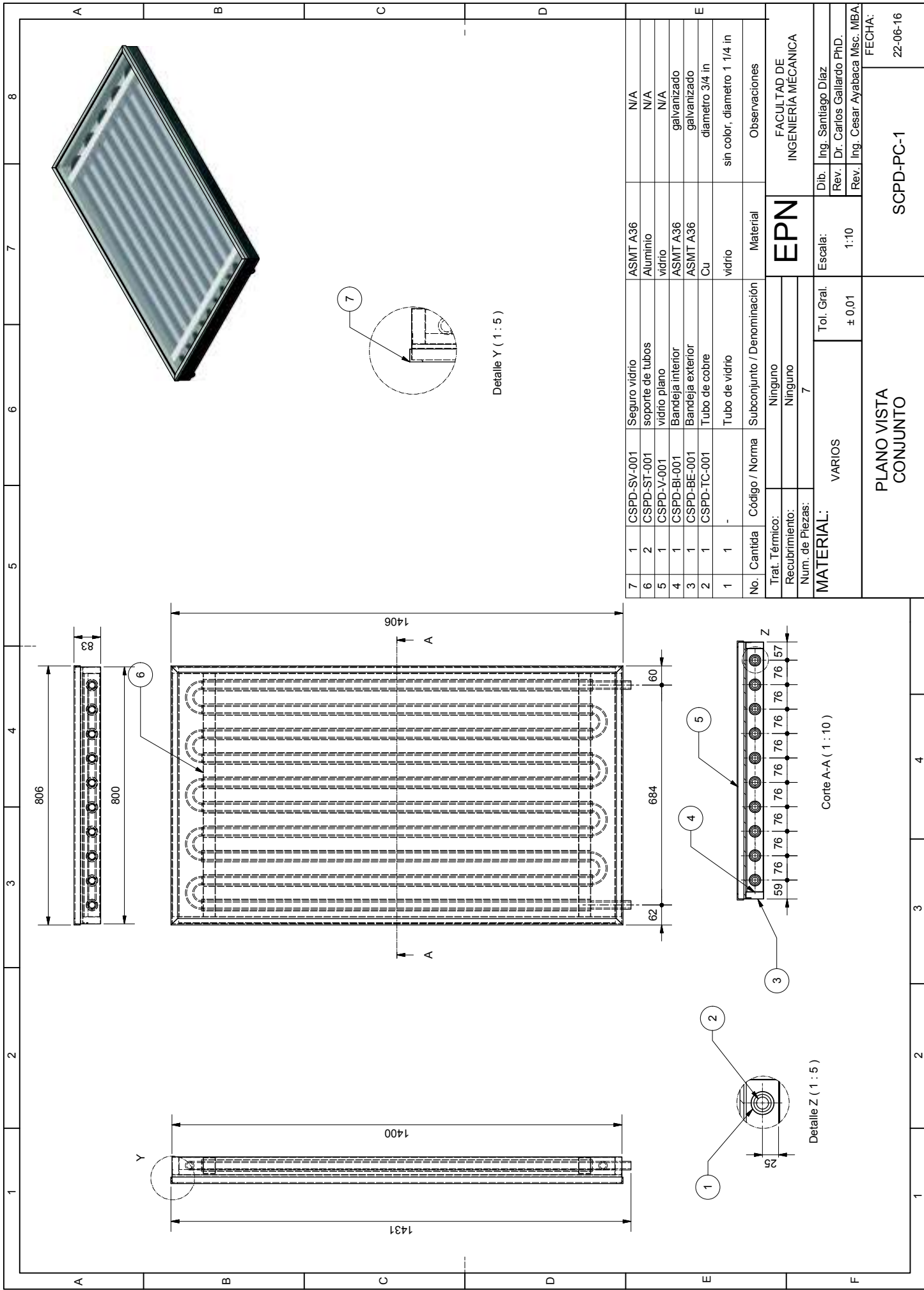
Trat. Térmico:	Ninguno
Recubrimiento:	Ninguno
Num. de Piezas:	6

MATERIAL:

Tol. Gral.	± 0,01
Escala:	1:30

EPN		FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA	
Dib.	Ing. Santiago Diaz		
Rev.	Dr. Carlos Gallardo PHD.		
Rev.	Ing. Cesar Ayabaca Misc. MBA		

000000	Despiece	22-06-16
--------	----------	----------



Detalle Y (1 : 5)

Detalle Z (1 : 5)

Corte A-A (1 : 10)

No.	Cantidad	Código / Norma	Subconjunto / Denominación	Material	Observaciones
7	1	CSPD-SV-001	Seguro vidrio	ASMT A36	N/A
6	2	CSPD-ST-001	soporte de tubos	Aluminio	N/A
5	1	CSPD-V-001	vidrio plano	vidrio	N/A
4	1	CSPD-BI-001	Bandeja interior	ASMT A36	galvanizado
3	1	CSPD-BE-001	Bandeja exterior	ASMT A36	galvanizado
2	1	CSPD-TC-001	Tubo de cobre	Cu	diámetro 3/4 in
1	1	-	Tubo de vidrio	vidrio	sin color, diametro 1 1/4 in

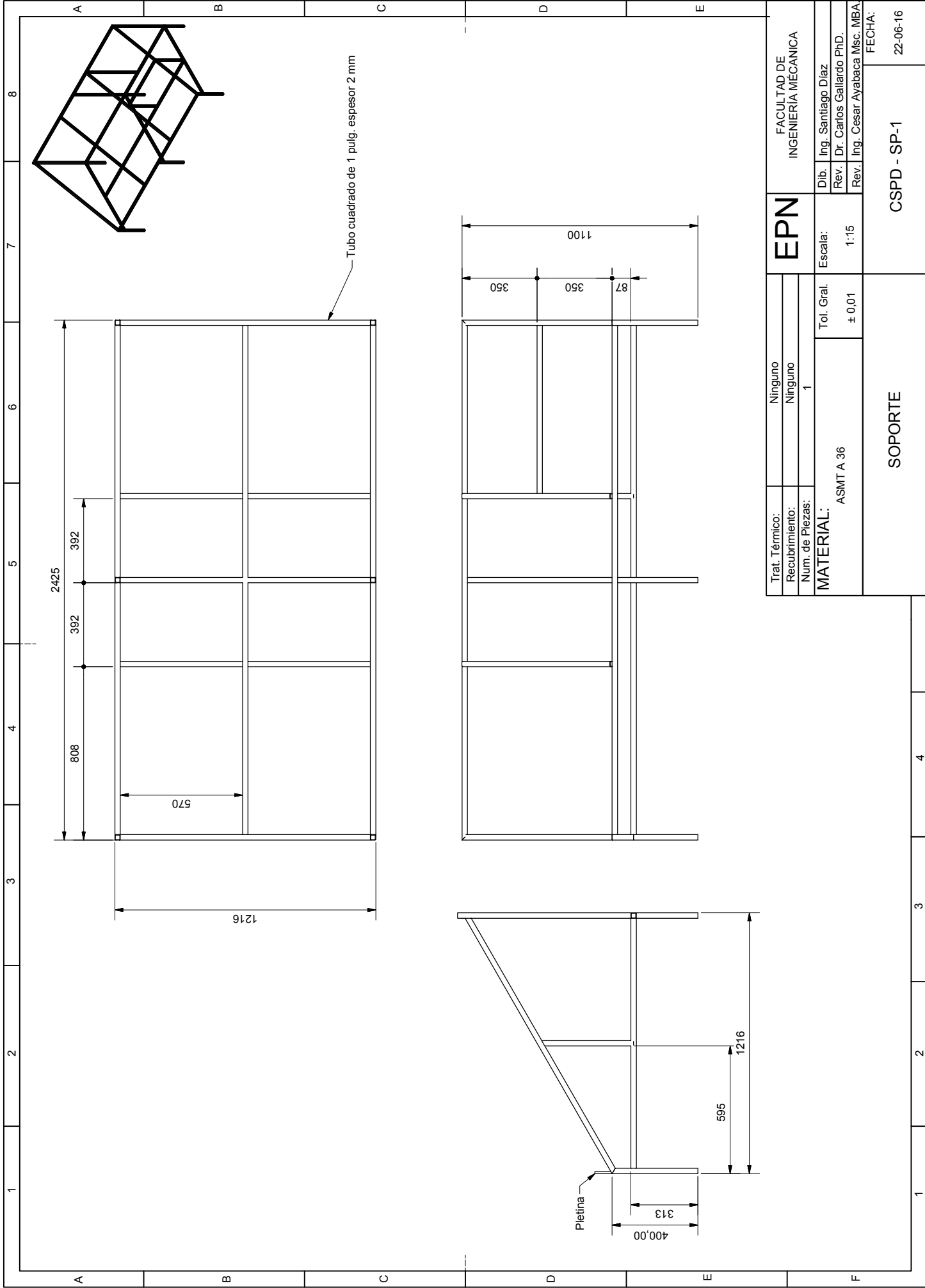
Trat. Térmico:	Ninguno
Recubrimiento:	Ninguno
Num. de Piezas:	7

MATERIAL:	VARIOS
Tol. Gral.	± 0,01
Escala:	1:10

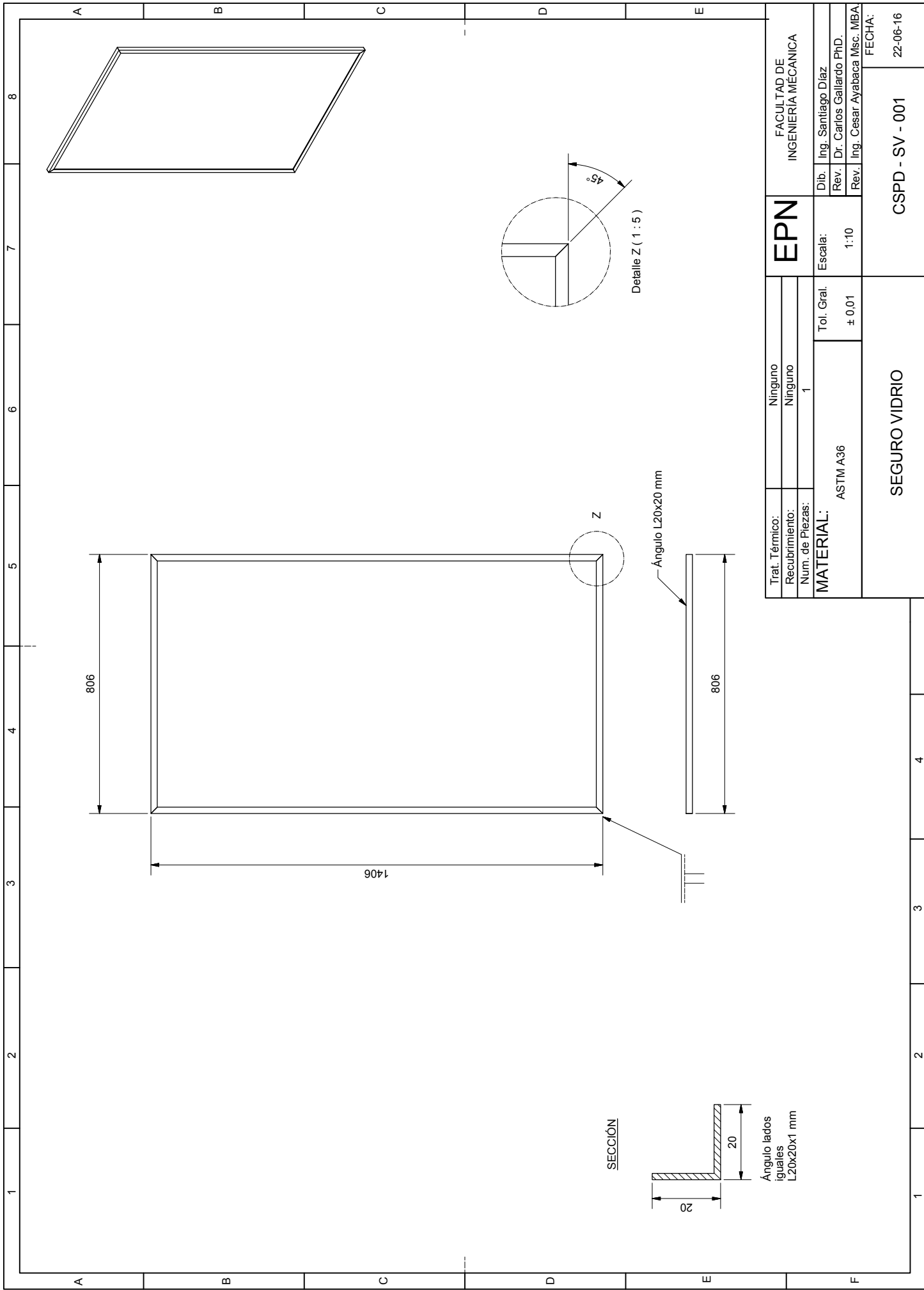
EPN	
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA	
Dib.	Ing. Santiago Diaz
Rev.	Dr. Carlos Gallardo PHD.
Rev.	Ing. Cesar Ayabaca Misc. MBA
FECHA: 22-06-16	

PLANO VISTA CONJUNTO

SCPD-PC-1

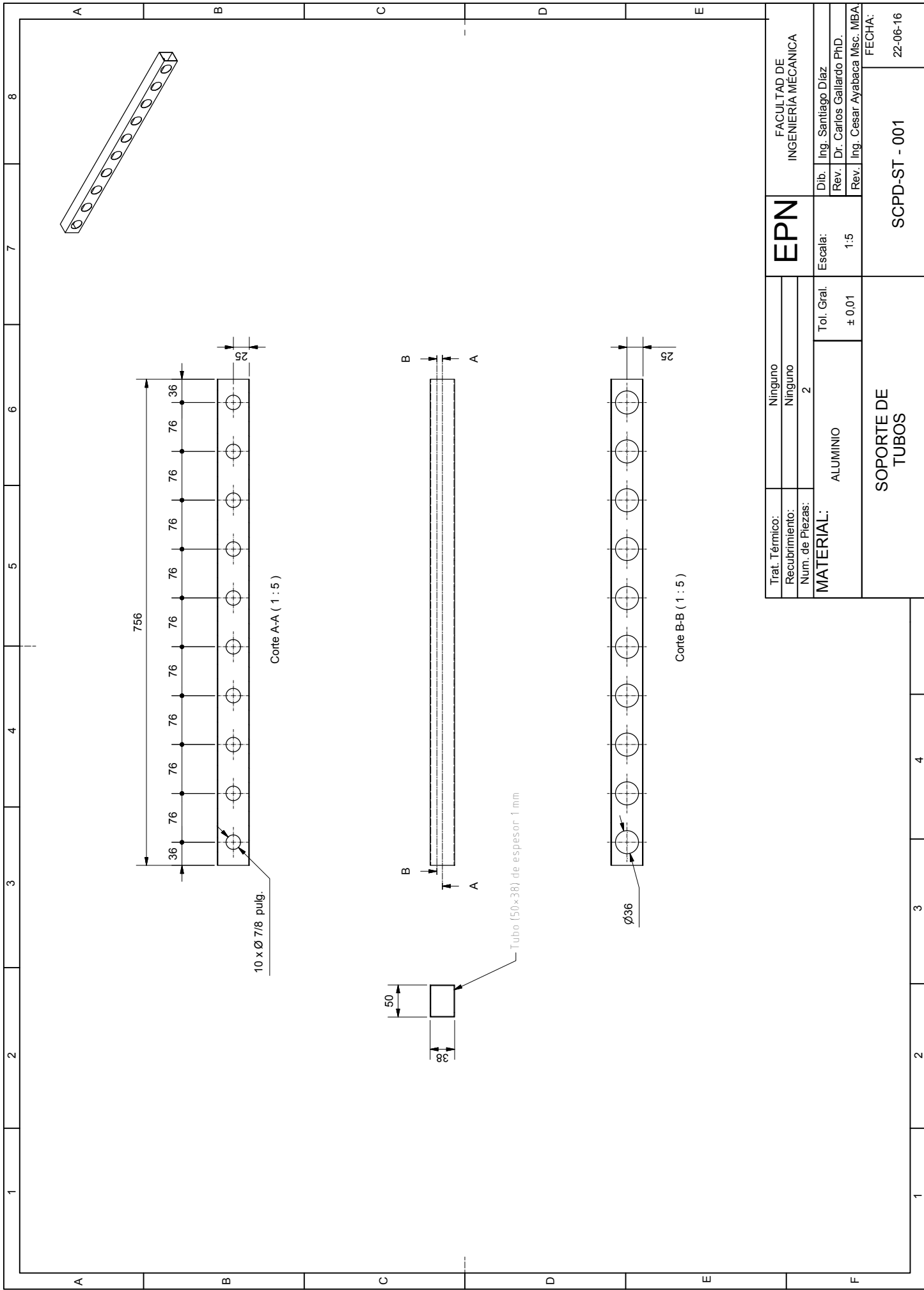


Trat. Térmico:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA		
Recubrimiento:	Ninguno		Dib.	Ing. Santiago Diaz	
Num. de Piezas:	1		Rev.	Dr. Carlos Gallardo PHD.	
MATERIAL: ASMT A 36		Tol. Gral.	± 0,01	Rev.	Ing. Cesar Ayabaca Msc. MBA.
		ESCALA:	1:15	FECHA:	
		SOPORTE		CSPD - SP-1	
				22-06-16	



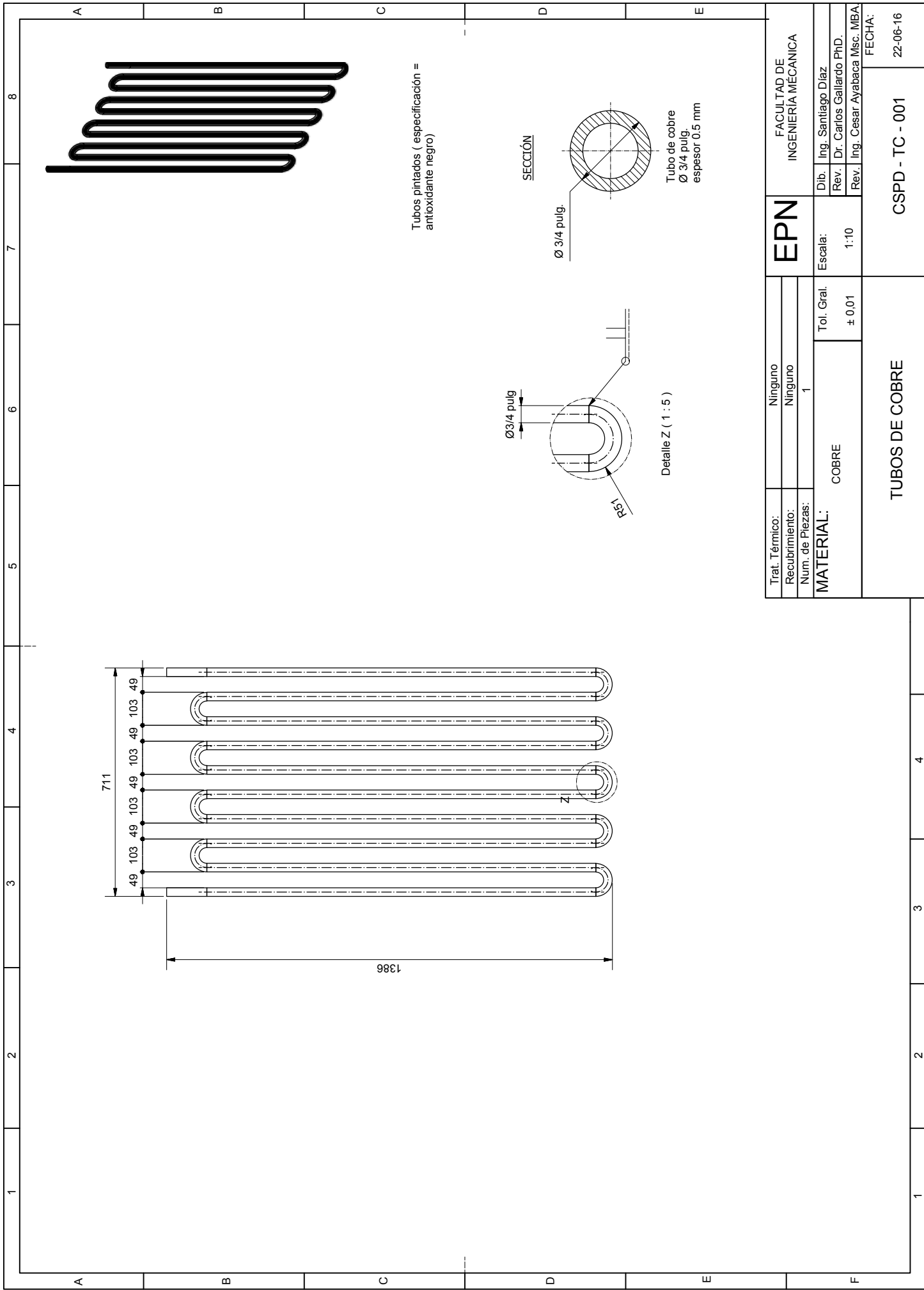
Trat. Térmico:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA	
Recubrimiento:	Ninguno		Dib.	Ing. Santiago Diaz
Num. de Piezas:	1		Rev.	Dr. Carlos Gallardo PhD.
MATERIAL:		ASTM A36	Escala:	1:10
			Tol. Gral.	± 0,01
			CSPD - SV - 001	
			SEGURO VIDRIO	
			FECHA: 22-06-16	

1 2 3 4 5 6 7 8 A B C D E F

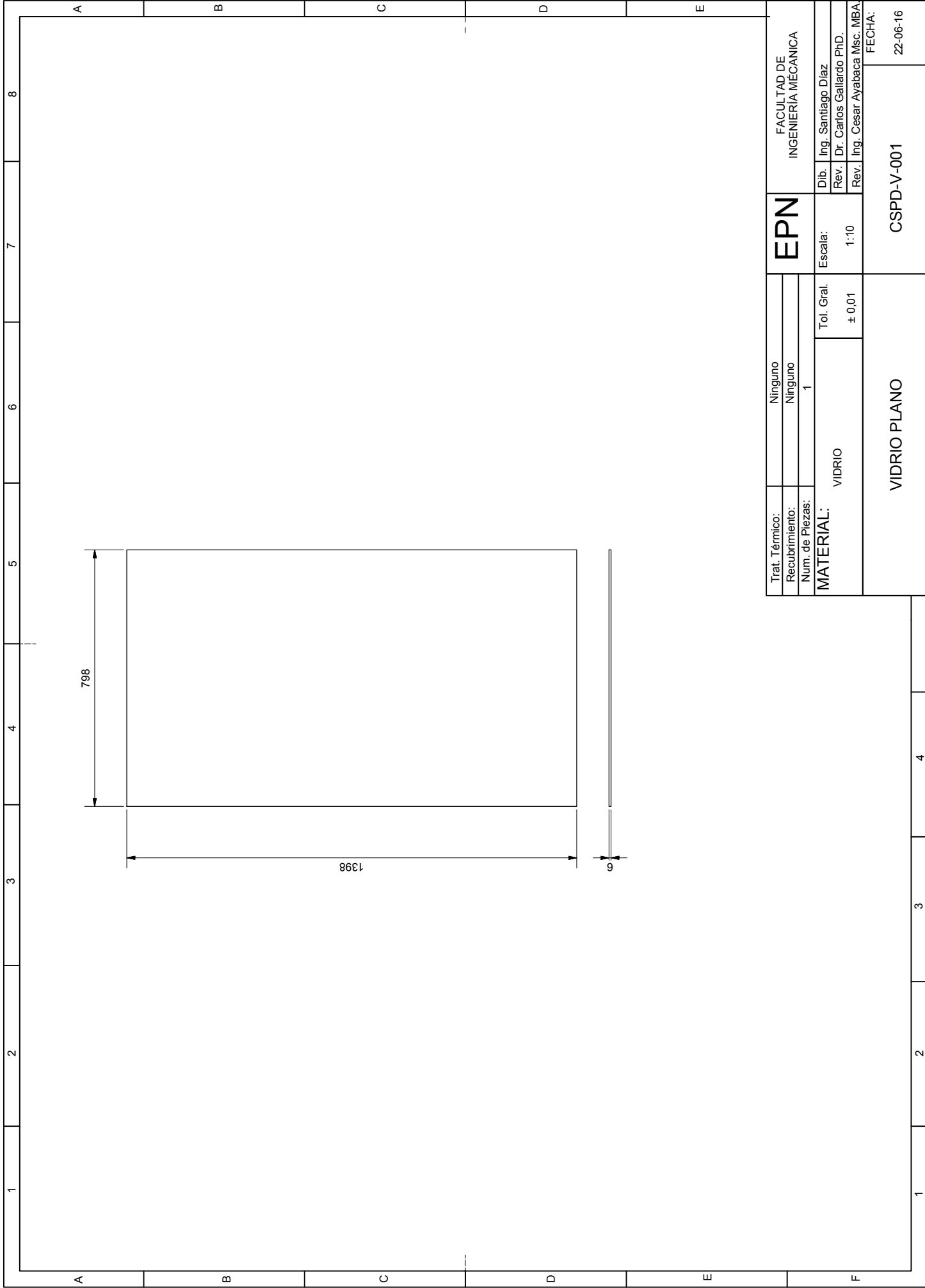


Trat. Térmico:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
Recubrimiento:	Ninguno		
Num. de Piezas:	2		
MATERIAL:	ALUMINIO	Escala:	1:5
		Tol. Gral.	± 0,01
SOPORTE DE TUBOS		SCPD-ST - 001	
		FECHA: 22-06-16	

Dib.	Ing. Santiago Diaz
Rev.	Dr. Carlos Gallardo PhD.
Rev.	Ing. Cesar Ayabaca Msc. MBA.



Trat. Térmico:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA		
Recubrimiento:	Ninguno		Dib.	Ing. Santiago Diaz	
Num. de Piezas:	1		Rev.	Dr. Carlos Gallardo PHD.	
MATERIAL: COBRE		Tol. Gral.	± 0,01	Rev.	Ing. Cesar Ayabaca Msc. MBA
TUBOS DE COBRE		Escala: 1:10		FECHA:	22-06-16
CSPD - TC - 001					



Trat. Térmico:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA		
Recubrimiento:	Ninguno		Dib.	Ing. Santiago Diaz	
Num. de Piezas:	1		Rev.	Dr. Carlos Gallardo PHD.	
MATERIAL: VIDRIO		Tol. Gral.	Escala:	Rev.	Ing. Cesar Ayabaca Msc. MBA
		± 0,01	1:10	FECHA:	22-06-16
VIDRIO PLANO			CSPD-V-001		