

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

“Diseño de un Secador Solar para Productos Agrícolas”

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Mecánico

Presentado por:

Víctor Daniel Sánchez Villamar

Wilmer Patricio Yuquilema Guamán

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2020

DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a mis padres y amigos, quienes siempre velaron por mi integridad, brindándome su apoyo incondicional durante los momentos más difíciles.

Víctor Daniel Sánchez Villamar

DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico primeramente a Dios, a mi Madre Rosa Guamán que estuvo pendiente en todo momento para darme los ánimos necesarios, a mi Padre José Yuquilema que me impulsó a seguir con mis obligaciones académicas y laborales y no ceder en ningún instante, a mi hermano Cristhian Yuquilema por haberme guiado en estudiar la carrera de ingeniería mecánica. Gracias a ellos he logrado esta meta exitosamente.

Wilmer Patricio Yuquilema Guamán

AGRADECIMIENTO

Mi más sincero agradecimiento a los tutores del proyecto, Ph.D. Freddy Jervis y Ph.D. Cesar Moreira, por sus consejos y ayuda durante el desarrollo del proyecto; a mis padres y amigos quienes siempre me apoyaron durante toda mi carrera universitaria.

Víctor Daniel Sánchez Villamar

AGRADECIMIENTO

Agradezco a los profesores tutores, Ph.D. Freddy Jervis y Ph.D. Cesar Moreira por su contribución continua en el desarrollo del presente proyecto integrador. Y en especial a mis padres y hermano quienes me brindaron su apoyo incondicional para culminar con éxito mis estudios.

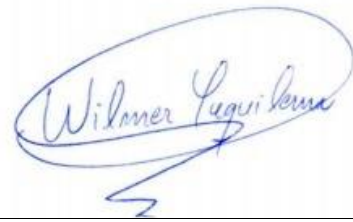
Wilmer Patricio Yuquilema Guamán

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Víctor Daniel Sánchez Villamar y Wilmer Patricio Yuquilema Guamán damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”



Víctor Daniel Sánchez Villamar



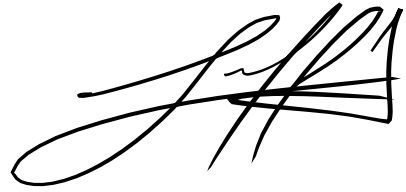
Wilmer Patricio Yuquilema Guamán

EVALUADORES



.....
PhD. Ángel Ramírez

PROFESOR DE LA MATERIA



.....
PhD. Freddy Jervis

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

El secado de productos agrícolas es un factor clave para cualquier agricultor, sin embargo, la adquisición de un secador supone un elevado costo para pequeños agricultores por lo que recurren al secado por tendal, lo cual afecta a la calidad del producto ya que no cuentan con un control adecuado. Es por esto por lo que diseñar un secador solar para productos agrícolas, que permita un control adecuado sobre el proceso de secado y que sea económicamente viable representa un beneficio para este grupo de agricultores.

Se establecieron modelos climatológicos para cada región, ya que se buscó abarcar la mayor cantidad de condiciones climáticas del país; además se escogieron distintos productos agrícolas con parámetros de secado tales como humedad y temperatura máxima de secado. Aplicando estas condiciones y parámetros se estableció el diseño y simulación de un secador solar de cabina, el cual cuenta con un colector solar, una cámara de secado y una estructura soporte.

Los resultados obtenidos mostraron que el secador se alcanza una temperatura uniforme de secado de aproximadamente 55 °C siendo un valor óptimo para el secado de productos, adicionalmente se estableció un análisis de costos en base a la potencia necesaria para el secado de productos mostrando que los lugares de la región sierra presentan un menor costo.

Para concluir, el diseño propuesto mejora el proceso de secado para los pequeños agricultores obteniendo productos de mejor calidad, además de que su costo de implementación y de funcionamiento busca ofrecer un equilibrio de costo – beneficio durante el secado.

Palabras Clave: Secador solar, humedad, temperatura de secado, condiciones climáticas.

ABSTRACT

The drying of agricultural products is a key factor for any farmer, however the acquisition of a dryer represents a high cost for small farmers, so they use open sun drying, which affects the quality of the product since they do not have a proper control. Therefore, designing a solar dryer for agricultural products, which allows adequate control over the drying process and is economically viable, represents a benefit for this group of farmers. Climatic models were established for each region, since it was sought to cover the greatest number of climatic conditions in the country; also, different agricultural products were chosen with their drying parameters such as humidity and maximum drying temperature. Applying these conditions and parameters, the design and simulation of a cabin solar dryer was established, which has a solar collector, a drying chamber, and a support structure.

The results obtained show that the dryer reaches a uniform drying temperature of approximately 55 °C, being an optimal value for drying products, additionally a cost analysis was established based on the power necessary for drying products showing that the places of the Highlands region have a lower cost.

To conclude, the proposed design improves the drying process for small farmers obtaining better quality products, also, its implementation and operating cost offers a cost-benefit balance during drying.

Keywords: solar dryer, humidity, drying temperature, climatic conditions.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	I
ABSTRACT	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS	V
SIMBOLOGÍA.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ÍNDICE DE TABLAS	XII
ÍNDICE DE PLANOS.....	XIV
CAPÍTULO 1	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Definición del Problema	1
1.2 Justificación del proyecto	1
1.3 Objetivos	2
1.3.1 Objetivo General.....	2
1.3.2 Objetivos Específicos.....	2
1.4 Marco teórico	2
1.4.1 Definición de un secador solar.....	2
1.4.2 Clasificación de secadores solares	3
1.4.3 Principio de funcionamiento	5
1.4.4 Condiciones climáticas y agrícolas del Ecuador.....	7
1.4.5 Productos agrícolas	9
CAPÍTULO 2.....	10
2. METODOLOGÍA.....	10
2.1 Consideraciones de meteorológicas de diseño	10
2.2 Consideración de los productos agrícolas	11
2.3 Factores de influencia	11
2.4 Formulación de alternativas de solución.....	12
2.4.1 Tipo de secador	13
2.4.2 Tipo de colector	15
2.5 Selección de la mejor alternativa.....	16
2.6 Diseño detallado	17
2.6.1 Metodología del diseño.....	17

2.6.2	Condiciones de secado del cacao.....	19
2.6.3	Diseño de la cámara de secado.....	20
2.6.4	Diseño del colector solar.....	23
2.6.5	Diseño de la estructura soporte	29
CAPÍTULO 3.....		30
3.	RESULTADOS Y ANÁLISIS	30
3.1	Resultados de diseño.....	30
3.1.1	Cámara de secado	30
3.1.2	Colector solar.....	31
3.1.3	Estructura de soporte.....	33
3.2	Resultados obtenidos en la simulación en ANSYS Fluent.....	34
3.2.1	Temperatura	35
3.3	Análisis de costos.....	37
3.3.1	Selección del tipo de colector solar placa plana.....	37
3.4	Costos totales	39
3.4.1	Evaluación del costo de secado.....	41
CAPITULO 4.....		43
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	43
4.1	Conclusiones.....	43
4.2	Recomendaciones.....	43
BIBLIOGRAFÍA		
APÉNDICES		

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
EPN	Escuela Politécnica Nacional
ESPAC	Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua
SAE	Society of Automotive Engineers
MAG	Ministerio de Agricultura y Ganadería
GHI	Global Horizontal Irradiance
INAMHI	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología

SIMBOLOGÍA

α	Absortancia de la placa absorbidora
g	Aceleración gravitacional $\left[\frac{m}{s^2}\right]$
h	Altura de la bandeja [m]
h'_{cs}	Altura de la cámara de secado [m]
a_b	Ancho de la bandeja [m]
β	Ángulo de inclinación del colector [°]
ω_s	Ángulo horario para una superficie horizontal [°]
ω'_s	Ángulo horario para una superficie inclinada [°]
A_c	Área del colector [m ²]
A_{Tcs}	Área total de la cámara de secado [m ²]
A_t	Área transversal del flujo de aire [m ²]
Q_{perd}	Calor de pérdidas [kJ]
c_{pH_2O}	Calor específico del agua $\left[\frac{kJ}{kg\ K}\right]$
$\bar{c}_{p\ cacao}$	Calor específico promedio del cacao $\left[\frac{kJ}{kg\ K}\right]$
Q_{vap}	Calor latente de vaporización [kJ]
Q_{secado}	Calor necesario para el secado [kJ]
$Q_{remanente}$	Calor remanente en el producto seco [kJ]
Q_{cacao}	Calor requerido para elevar la temperatura del producto hasta la temperatura de trabajo [kJ]
Q_{H_2O}	Calor sensible del agua [kJ]
N	Cantidad de bandejas en la cámara de secado
c_{vap}	Capacidad de vaporización del aire $\left[\frac{g_{agua}}{kg_{aire\ seco}}\right]$
C_{req}	Carga mensual energética [kJ]
U_b	Coefficiente de pérdidas a través de la base $\left[\frac{W}{m^2\ K}\right]$
U_t	Coefficiente de pérdidas a través de la parte superior de la placa $\left[\frac{W}{m^2\ K}\right]$
h_e	Coefficiente de transferencia de calor combinado $\left[\frac{W}{m^2\ K}\right]$
h_{conv}	Coefficiente de transferencia de calor por convección del aire exterior $\left[\frac{W}{m^2\ K}\right]$

h_{rad}	Coeficiente de transferencia de calor por convección del aire exterior de la cámara de secado $\left[\frac{W}{m^2 K}\right]$
h_{c1}	Coeficiente de transferencia de calor por convección en la parte superior del ducto de aire $\left[\frac{W}{m^2 K}\right]$
h_{c2}	Coeficiente de transferencia de calor por convección en la parte inferior del ducto de aire $\left[\frac{W}{m^2 K}\right]$
h_r	Coeficiente de transferencia de calor por radiación a través del ducto de aire $\left[\frac{W}{m^2 K}\right]$
U_L	Coeficiente global de pérdidas $\left[\frac{W}{m^2 K}\right]$
k_a	Conductividad térmica de la capa de aislamiento $\left[\frac{W}{m K}\right]$
k_m	Conductividad térmica de la capa metálica
k	Conductividad térmica del aire $\left[\frac{W}{m K}\right]$
σ	Constante de Stefan-Boltzmann $\left[\frac{W}{m^2 K^4}\right]$
G_{sc}	Constante solar $\left[\frac{W}{m^2}\right]$
MR	Contenido de humedad o humedad específica $\left[\frac{g_{H_2O}}{kg_{aire\ seco}}\right]$
δ	Declinación solar $[^\circ]$
ρ_{aire}	Densidad del aire $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$
ρ	Densidad del producto $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$
D_h	Diámetro hidráulico [m]
α	Difusividad térmica del aire $\left[\frac{m^2}{s}\right]$
ε	Emitancia de las placas metálicas
ε_c	Emitancia de la cubierta transparente
ε_p	Emitancia de la placa absorbedora
ε_b	Emitancia de la placa absorbedora de la base
h_{vap}	Entalpía de vaporización del agua a $T_{f_{secado}}$ $\left[\frac{kJ}{kg}\right]$
h_{espec}	Entalpía específica del aire $\left[\frac{kJ}{kg}\right]$
σ	Esfuerzo de flexión [MPa]

S_y	Esfuerzo de fluencia del material [MPa]
L_a	Espesor de la capa de aislamiento [m]
L_1	Espesor de la primera capa metálica [m]
L_2	Espesor de la última capa metálica [m]
e	espesor del producto a secar [m]
$\frac{F'_R}{F_R}$	Factor de corrección de las caídas de temperatura entre el colector y tanque de almacenamiento
F'	Factor de eficiencia
F''	Factor de flujo
F_R	Factor de ganancia
FS	Factor de seguridad
$(\tau\alpha)$	Factor de transmitancia – absorptancia
q_p	Flujo de calor de pérdidas [W]
q_i	Flujo de calor incidente [W]
q_{secado}	Flujo de calor necesario para el secado [W]
q_u	Flujo de calor útil [W]
\dot{m}_{aire}	Flujo másico de aire necesario para el proceso de secado $\left[\frac{\text{kg}}{\text{s}}\right]$
f	Fracción de calor aprovechada
V	Fuerza cortante [N]
w	Fuerza por unidad de área $\left[\frac{\text{N}}{\text{m}}\right]$
ω_{hb}	Humedad en base húmeda $\left[\frac{\text{g}_{\text{agua}}}{\text{kg}_{\text{producto húmedo}}}\right]$
ω_{db}	Humedad en base seca $\left[\frac{\text{g}_{\text{agua}}}{\text{kg}_{\text{producto seco}}}\right]$
HR	Humedad relativa [%]
$\overline{K_T}$	Índice de claridad
GHI	Irradiación solar global horizontal $\left[\frac{\text{kW H}}{\text{m}^2 \text{ día}}\right]$
l_b	Largo de la bandeja [m]
ϕ	Latitud [°]
$m_{\text{H}_2\text{O}}$	Masa de agua a evaporar [kg]
m_{rem}	Masa de agua en el producto después del proceso de secado [kg]
m_{ps}	Masa de producto seco [kg]

m	Masa del producto a secar [kg]
m_{ph}	Masa del producto húmedo [kg]
m_{total}	Masa total de la cámara de secado / colector solar [kg]
S	Módulo de resistencia [cm ³]
M	Momento flector [N m]
$N_{bandejas}$	Número de bandejas
$N_{cubiertas}$	Número de cubiertas transparentes
N_m	Número de días del mes
Nu	Número de Nusselt
n	Número del día del año
W	Peso total de la cámara de secado / colector solar [kg]
$\overline{H_T}$	Promedio mensual de radiación incidente diaria en la superficie del colector por unidad de área. $\left[\frac{J}{m^2}\right]$
$\overline{(\tau\alpha)}$	Promedio mensual del producto de transmisividad – absortividad.
$\overline{H_d}$	Radiación difusa mensual promedio sobre una superficie inclinada $\left[\frac{kWh}{m^2}\right]$
\overline{H}	Radiación global mensual promedio sobre una superficie horizontal $\left[\frac{kWh}{m^2}\right]$
$\overline{H_T}$	Radiación global mensual promedio sobre una superficie inclinada $\left[\frac{kWh}{m^2}\right]$
S_{abs}	Radiación solar absorbida $\left[\frac{W}{m^2}\right]$
G_T	Radicación solar global total incidente $\left[\frac{W}{m^2}\right]$
ρ_d	Reflectancia de la radiación difusa del sistema
ρ_g	Reflectancia del suelo
$\overline{R_b}$	Relación entre la radiación solar directa mensual para una superficie inclinada y una superficie horizontal
t	Separación entre las bandejas [m]
T_∞	Temperatura ambiente [K]
T_∞	Temperatura ambiente [K]
$\overline{T_\infty}$	Temperatura ambiente mensual promedio [°C]
T_{bs}	Temperatura de bulbo seco [°C]
$T_{f_{secado}}$	Temperatura de final de secado [K]
$T_{i_{secado}}$	Temperatura de inicial de secado [K]

T_{ext}	Temperatura de la superficie exterior de la cámara de secado [K]
T_{PR}	Temperatura de punto de rocío [°C]
T_{fe}	Temperatura del fluido de entrada [K]
T_{fs}	Temperatura del fluido de salida [K]
T_{ref}	Temperatura empírica referencia de 100 [°C]
T_{pm}	Temperatura media de la placa [K]
T_s	Temperatura superficial de la cámara de secado [K]
t_{secado}	Tiempo de secado [s]
Δt	Total de horas mensual [H]
τ	Transmitancia de la cubierta transparente
\bar{v}	Velocidad promedio del aire $\left[\frac{m}{s}\right]$
ν	Viscosidad cinemática del aire $\left[\frac{m^2}{s}\right]$
μ	Viscosidad dinámica del aire $\left[\frac{Ns}{m^2}\right]$

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Clasificación general de los tipos de secadores. (Visavale, 2014).....	4
Figura 1.2 Secador solar directo. (Mustayen, Mekhilef, & Saidur, 2014)	5
Figura 1.3 Secador solar indirecto. (Mustayen, Mekhilef, & Saidur, 2014).....	6
Figura 1.4 Secador solar mixto. (Mustayen, Mekhilef, & Saidur, 2014).....	7
Figura 1.5 Mapa de irradiación solar global horizontal anual del Ecuador en el 2019. (Vaca-Revelo & Ordóñez, 2020)	8
Figura 1.6 Mapa agropecuario del Ecuador en el 2019. (ESPAC, 2020)	9
Figura 2.1 Diseño de forma de la mejor alternativa de solución.	17
Figura 2.2 Metodología de diseño	18
Figura 2.3 Puntos de interés en el proceso de secado	19
Figura 2.4 Perfil de temperatura en las paredes de la cámara de secado	21
Figura 2.5 Circuito térmico en el colector solar.....	25
Figura 2.6 Correlación del número de Nusselt para área no circulares (Duffie & Beckman, 2013)	27

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Datos meteorológicos del modelo 1: Sierra	10
Tabla 2.2 Datos meteorológicos del modelo 2: Costa/Oriente	10
Tabla 2.3 Datos meteorológicos del modelo 3: Costa	10
Tabla 2.4 Productos agrícolas seleccionados (Prakash & Kumar, 2017)	11
Tabla 2.5 Alternativas de solución	12
Tabla 2.6 Información recopilada utilizada para la selección del colector	14
Tabla 2.7 Matriz de selección de tipo de secador solar	15
Tabla 2.8 Matriz de selección de tipo de colector solar	16
Tabla 2.9 Parámetros iniciales para el diseño	18
Tabla 2.10 Condiciones psicométricas del proceso de secado	19
Tabla 2.11: Aislantes térmicos disponibles en el mercado	22
Tabla 3.1 Selección del aislante de la cámara de secado	30
Tabla 3.2 Dimensiones de la cámara de secado	31
Tabla 3.3 Calor requerido para el secado de cacao	31
Tabla 3.4 Radiación solar disponible (Modelo 1)	32
Tabla 3.5 Resultados del diseño del colector (modelo 1)	32
Tabla 3.6 Resultados de simulación estructural de la cámara de secado	33
Tabla 3.7 Resultados de simulación estructural del colector solar	33
Tabla 3.8 Variantes de colectores solares a evaluar	34
Tabla 3.9 Principales valores de temperatura obtenidos (Modelo 1)	35
Tabla 3.10 Principales valores de temperatura obtenidos (Modelo 2)	36
Tabla 3.11 Principales valores de temperatura obtenidos (Modelo 3)	36
Tabla 3.12 Costo por unidad de potencia de los diseños de colectores solares para el modelo 1 (Región Sierra)	37
Tabla 3.13 Costo por unidad de potencia de los diseños de colectores solares para el modelo 2 (Regiones Costa y Oriente)	38
Tabla 3.14 Costo por unidad de potencia de los diseños de colectores solares para el modelo 3 (Región Costa)	38
Tabla 3.15 Costos de materiales de fabricación	39
Tabla 3.16 Costos de los elementos de medición y monitoreo	40
Tabla 3.17 Costo de mano de obra	40
Tabla 3.18 Costos de diseño	40

Tabla 3.19 Costos totales del secador solar	41
Tabla 3.20 Evaluación del diseño final en función al costo de implementación para el cacao por modelo meteorológico.....	41
Tabla 3.21 Evaluación del diseño final en función al costo de implementación para el café por modelo meteorológico	42

ÍNDICE DE PLANOS

- PLANO 1 Ensamble del secador solar
- PLANO 2 Cámara de secado
- PLANO 3 Bandeja
- PLANO 4 Colector solar
- PLANO 5 Tobera
- PLANO 6 Estructura de la cámara de secado
- PLANO 7 Estructura del secador solar
- PLANO 8 Vista en explosión del secador solar

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Definición del Problema

El secado de los productos agrícolas es un factor de calidad importante para la comercialización y conservación de estos por parte de la agroindustria. El secado se realiza por diversos métodos de deshidratado los cuales son: al aire libre o empleando secadores solares. Este último presenta innovaciones para su implementación ya que permite una mayor producción, sin embargo, debido a su alto costo económico y consumo de combustibles adicional ocasiona que este equipo no sea atractivo económicamente para el pequeño agricultor. Por tal motivo, el método de deshidratado más utilizado para este grupo de agricultores es el secado al sol o al aire libre, que básicamente consiste en esparcir el producto agrícola sobre el suelo. Este método de secado presenta desventajas que afectan directamente al producto a secar: el proceso de secado es lento debido a la humedad presente en el ambiente; el producto está expuesto al polvo, impurezas, hongos, animales y de las condiciones climáticas como lluvia; por último, los rayos solares ultravioletas al impactar sobre el producto terminan afectando la calidad del producto seco.

Por tal razón, el presente proyecto consiste en diseñar de un secador solar que permita realizar un correcto proceso de secado de los productos agrícolas el cual emplee como fuente de energía, la solar y sea de bajo costo económico para la adquisición de los pequeños agricultores.

1.2 Justificación del proyecto

El Ecuador tiene a su disposición por sus tierras fértiles una gran variedad de productos agrícolas para el consumo de la población. Estos productos necesitan de un proceso de secado para su conservación a largo plazo para la alimentación de las personas en tiempos de sequía o de baja producción en los cultivos. Los productos tales como el cacao, café entre otros requieren

de un secado óptimo ya que estos son empleados para la obtención de subproductos que servirán para la comercialización y/o exportación.

El presente trabajo tiene como finalidad diseñar un secador solar que cumpla con los requerimientos de diseño planteados: permita un secado óptimo de todo tipo de producto agrícola para su conservación a largo plazo, preservar la calidad del producto al no exponerlo directamente con los rayos solares, emplear energía solar ya que esta energía es renovable y no contaminante, y de bajo costo económico accesible especialmente para los pequeños agricultores.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar un secador solar para productos agrícolas el cual permita un control adecuado sobre el proceso de secado para mejorar los procesos de los pequeños agricultores.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Simular el funcionamiento de los elementos mínimos necesarios que componen el secador solar.
- Diseñar a detalle los elementos estructurales mecánicos para la construcción del secador.
- Realizar un estudio económico y factibilidad de construcción del secador y funcionamiento en base a la disponibilidad local de insumos.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Definición de un secador solar

La población en especial los agricultores han empleado el secado artesanal como principal método de conservación de los alimentos ya que permite una mayor durabilidad y abastecimiento en tiempos de escases. En la actualidad debido a la industrialización, los países desarrollados han

innovado sus métodos de secado con el fin de ser más rentables, pero de gran impacto ambiental debido al uso de combustibles fósiles, y económico para los pequeños productores. (Patil & Gawande, 2016)

El secador solar es un equipo que emplea como fuente de energía, la energía térmica proveniente del sol. De uso común y generalizado el método de secado por convección es el más aplicado. Este trabaja con aire circulante que es calentado por la radiación solar y se encarga de absorber la humedad necesaria para el deshidratado de los productos agrícolas, productos marinos, cárnicos entre otros. Con esto se ayuda a la conservación a largo plazo de los alimentos, y consecuentemente es de gran beneficio económico para el agricultor de pequeñas a mediana producción. (Visavale, 2014).

1.4.2 Clasificación de secadores solares

La clasificación de los secadores solares se basa en dos grandes categorías:

1.4.2.1 Convección Natural: secador pasivo

En este tipo de secado solar de convección natural, el aire ingresa a la velocidad del ambiente, se calienta y fluye de forma natural debido a la fuerza de flotación o al cambio de presión del viento, en ciertas ocasiones se debe a una combinación de ambos efectos. Las regiones donde son más utilizados estos tipos de secado son en regiones tropicales y subtropicales alrededor del mundo, aunque también lo aplican los países en vía de desarrollo gracias a su bajo costo de diseño y fabricación. (Prakash & Kumar, 2017)

Los secadores pasivos son utilizados principalmente por agricultores que tienen pequeños lotes de terrenos de cultivos, es decir, producción a pequeña escala, lo cual les favorece ya que estos trabajan en una menor área en comparación con el secado al aire libre. Adicional, estos

secadores son más utilizados para productos que contienen bajo porcentaje de humedad. (Prakash & Kumar, 2017).

1.4.2.2 Convección Forzada: secador activo

El secado solar de convección forzada depende ampliamente de la energía solar para obtener una alta fuente de calor, ya que trabaja con un equipo externo que ayuda a incrementar el flujo de aire, ventilador. Al presentarse un ventilador, este favorece a mayor cantidad de secado de los productos en comparación con el secado pasivo. (Prakash & Kumar, 2017)

Los secadores activos son empelados para operaciones de secado de grandes escalas de productos. Al emplear dimensiones grandes de secadores, la energía solar a emplear debe ser comparativo si se utilizara como fuente de energía, los combustibles fósiles. Estos secadores también son utilizados para disecar productos que contiene alto porcentaje de humedad. (Prakash & Kumar, 2017)

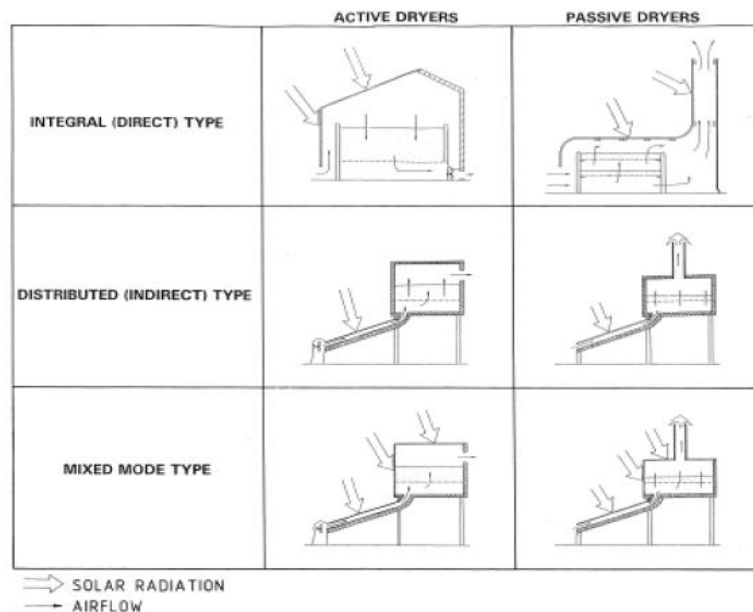


Figura 1.1 Clasificación general de los tipos de secadores. (Visavale, 2014)

Como se observa en la figura 1.1, los tipos de secadores solares (directo, indirecto y mixto) son los mismos para la clasificación general. El tipo de

secador solar a seleccionar o trabajar depende de las condiciones que se necesiten o los requerimientos solicitados para implementarlo. Por tal razón, a continuación, se realiza una descripción de los tres tipos de secadores solares mostrados.

1.4.3 Principio de funcionamiento

1.4.3.1 Secador solar directo

Debido a la contaminación de los productos al emplear el método de secado al sol abierto, los agricultores que producían pequeñas cantidades de sus cosechas elaboraron secadores que ayude a impedir la contaminación por agentes externos. Estos secadores presentaban la forma de cajas o carpas, constituido por una cubierta, el cual ayudaba a disminuir las pérdidas de calor y a proteger a los productos de agentes externos como: agua y partículas de polvo. (Mustayen, Mekhilef, & Saidur, 2014)

El secador de tipo directo se emplea en áreas donde hay mayor intensidad de radiación solar durante un día. El sistema base de este secador es la caja de secado el cual puede ser construido con madera por las paredes laterales e inferior, la cubierta superior está formada por una hoja de vidrio q va a permitir el paso de la luz solar. Estas paredes deben de presentar su respectivo aislante térmico para una mejor concentración del calor. Adicionalmente, este secador debe de presentar agujeros en la caja de secado para permitir el ingreso y salida del aire seco y húmedo respectivamente. (Mustayen, Mekhilef, & Saidur, 2014)

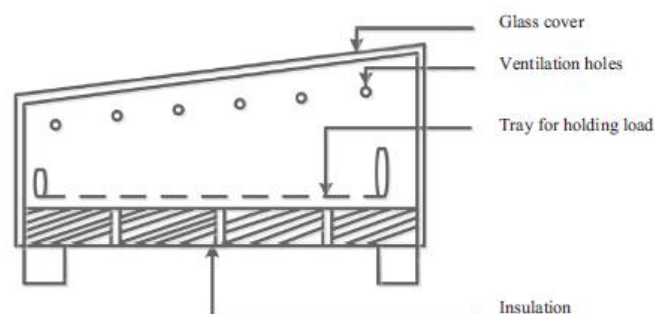


Figura 1.2 Secador solar directo. (Mustayen, Mekhilef, & Saidur, 2014)

La principal desventaja de utilizar el secado directo se debe a la exposición directa de los rayos solares sobre los productos agrícolas, ya que, dependiendo del producto a secar, este se puede decolorar. Además, al concentrarse la humedad dentro de la caja de secado, va a ocasionar que la transmisividad de la capa de vidrio disminuya. (Visavale, 2014).

1.4.3.2 Secador solar indirecto

El secador de tipo indirecto consta de dos partes generales: colector y cámara de secador. A diferencia del secador directo el cual presenta estas dos partes en una sola estructura. El colector consta de una capa de vidrio el cual va a absorber la energía solar, y la cámara de secado está aislada para no permitir el ingreso de la radiación solar. El aire al ingresar al colector es calentado por el calor del sol, aumentando su temperatura para posterior dirigirse a la cámara de secado y absorber la humedad presente en los productos a secar. (Mustayen, Mekhilef, & Saidur, 2014)

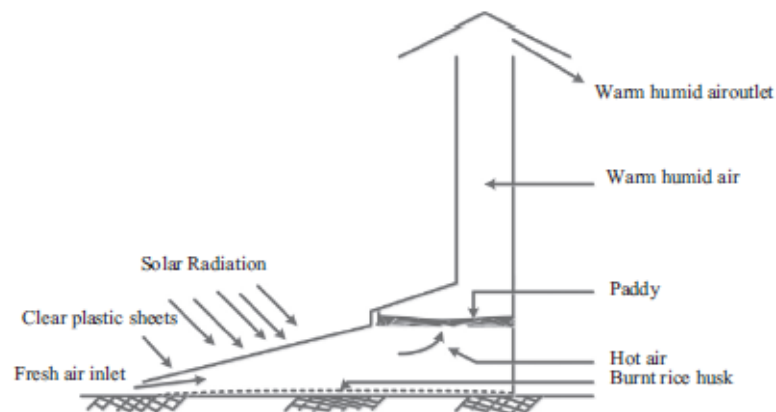


Figura 1.3 Secador solar indirecto. (Mustayen, Mekhilef, & Saidur, 2014)

La principal ventaja de este tipo de secador es en el rendimiento. En condiciones climáticas desfavorables, el secador indirecto con tuberías para transporte de aire trabaja eficientemente en comparación con el secador directo. Además, es factible su diseño para los pequeños agricultores gracias a su bajo costo de inversión. (Visavale, 2014).

1.4.3.3 Secador solar mixto

El secador solar de tipo mixto es una combinación entre los dos secadores descritos: secador directo y secador indirecto. Las partes que componen el secador mixto son la cámara de secado, el cual presenta una cubierta de vidrio para absorción de la energía solar; y la cámara de secado, que en este caso la parte frontal y superior también presenta una cubierta de vidrio, mientras que las demás paredes permanecen aisladas. Debido a su diseño, este tipo de secador presenta una alta eficiencia en el proceso de secado acelerado, y a su vez mejora la capacidad de secar los productos agrícolas en un menor tiempo a un nivel de humedad adecuado. (Mustayen, Mekhilef, & Saidur, 2014)

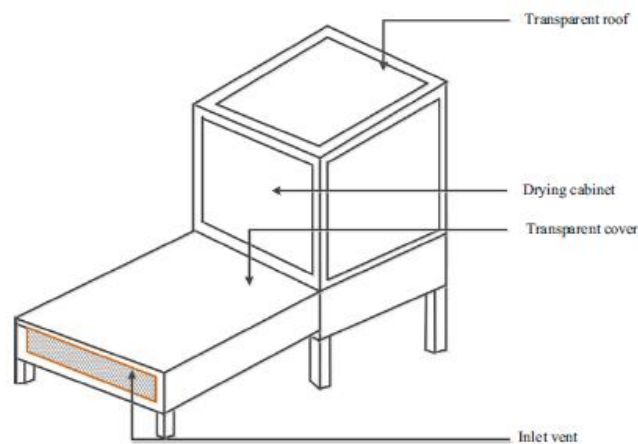


Figura 1.4 Secador solar mixto. (Mustayen, Mekhilef, & Saidur, 2014)

La ventaja que se puede destacar del secador mixto es su capacidad de secar los productos agrícolas en menor tiempo, lo que conlleva a deshidratar mucho más volumen de productos en un determinado día laboral en comparación con los secadores directo e indirecto. (Visavale, 2014).

1.4.4 Condiciones climáticas y agrícolas del Ecuador

1.4.4.1 Condiciones climáticas

Las condiciones climáticas del país posibilitan la utilización de la energía solar en diferentes campos de aplicación, esto depende de la ubicación

geográfica que determinará el potencial energético, lo cual está definido de sus condiciones meteorológicas. Para la implementación de secadores solares es necesario conocer las condiciones de los parámetros meteorológicos. Esto se determina revisando los datos de irradiación solar, temperatura y humedad. La figura 1.5 muestra la distribución de la irradiación solar global durante el año 2019, donde se puede observar que hay una mayor densidad de energía en sectores de la región interandina posibilitando la implementación de una fuente aprovechable de energía solar.

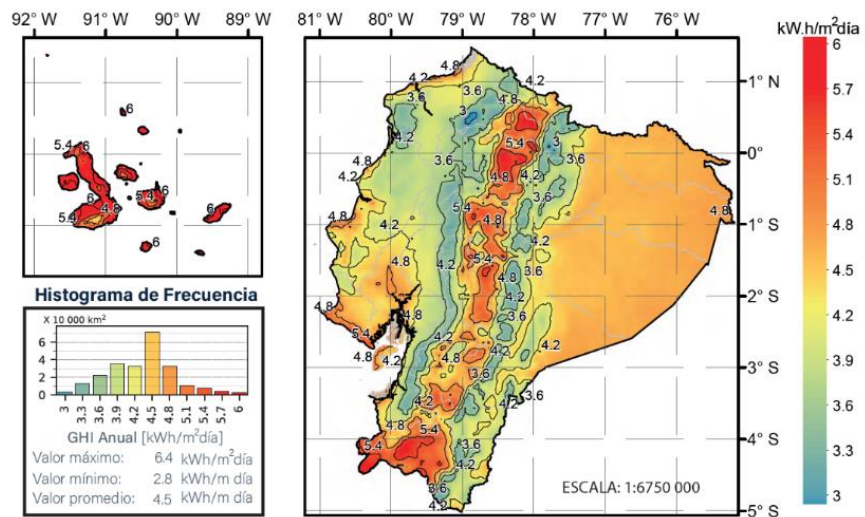


Figura 1.5 Mapa de irradiación solar global horizontal anual del Ecuador en el 2019. (Vaca-Revelo & Ordóñez, 2020)

1.4.4.2 Condiciones agrícolas

La figura 1.6 muestra la participación de cada provincia del Ecuador en el campo agropecuario siendo Guayas y Manabí las de mayor aporte agropecuario, además que la mayoría de las provincias de la sierra también aportan de manera considerable, mientras que la región amazónica tiene una participación menor en este tipo de actividades.

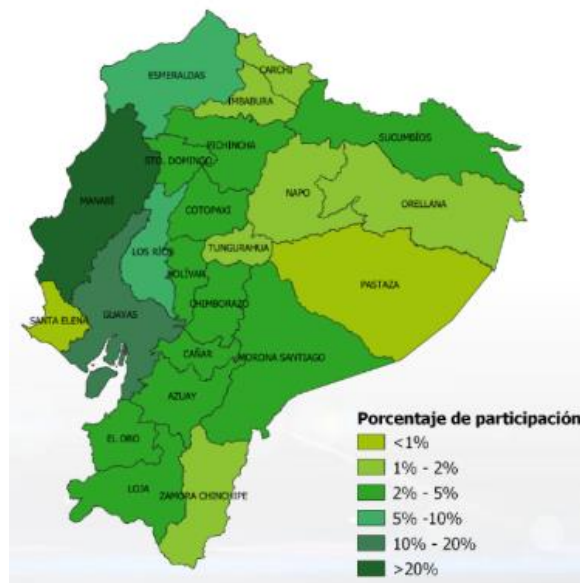


Figura 1.6 Mapa agropecuario del Ecuador en el 2019. (ESPAC, 2020)

1.4.5 Productos agrícolas

En el Ecuador existe una gran variedad de productos agrícolas destinados a la alimentación de la población en general. Los productos de más relevancia por provincia están estadísticamente registrados por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG).

Para objeto de estudio del presente proyecto se escogieron los productos agrícolas que más son cultivados por las tres regiones naturales continentales del Ecuador: Costa, Sierra y Amazonia. Por tal razón los productos agrícolas seleccionados son:

- Cacao
- Café
- Cebada

Los datos estadísticos son tomados de la página web del Ministerio de Agricultura y Ganadería. (Ver Apéndice A).

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

2.1 Consideraciones de meteorológicas de diseño

Se definieron diferentes lugares del país para la obtención de los datos meteorológicos correspondientes a temperatura, humedad relativa e irradiación solar global del año 2019. Dichos datos fueron agrupados considerando la altitud y el rango de humedad relativa durante el periodo de muestreo con el fin de obtener modelos climatológicos que fueron utilizados como parámetros de entrada para el diseño del secador. (Ver Apéndice B).

Tabla 2.1 Datos meteorológicos del modelo 1: Sierra

Parámetro	Rango de variación
Temperatura ambiente [°C]	12.5 – 14.4
Humedad relativa [%]	75.9 – 86.8
Irradiación solar global horizontal $\left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \text{ día}}\right]$	4.5 – 5.2
Altitud promedio [m]	2000

Tabla 2.2 Datos meteorológicos del modelo 2: Costa/Oriente

Parámetro	Rango de variación
Temperatura ambiente [°C]	19.8 – 21.3
Humedad relativa [%]	67.1 – 84.4
Irradiación solar global horizontal $\left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \text{ día}}\right]$	3.6 – 4.4
Altitud promedio [m]	0

Tabla 2.3 Datos meteorológicos del modelo 3: Costa

Parámetro	Rango de variación
Temperatura ambiente [°C]	24.2 – 24.9
Humedad relativa [%]	62.4 – 85.6
Irradiación solar global horizontal $\left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \text{ día}}\right]$	3.3 – 4.3
Altitud promedio [m]	0

2.2 Consideración de los productos agrícolas

Para los productos agrícolas a seleccionar se consideraron productos agrícolas que formen parte de las cifras agro-productivas del año 2019 del apéndice A, además que pase por un proceso de secado para su posterior procesamiento y que posea parámetros deseados (humedad deseada y temperatura máxima de trabajo) elevados ya que con esto se pudo diferenciar cuales fueron los productos más críticos en el proceso de secado. Los productos escogidos fueron los mostrados en la tabla 2.4.

Tabla 2.4 Productos agrícolas seleccionados (Prakash & Kumar, 2017)

Producto	Humedad inicial en base húmeda [%]	Humedad deseada en base húmeda [%]	Temperatura de secado recomendada [°C]	Cantidad de vapor a remover [kg/Ton]
Cacao	50	7	55	462.4
Café	55	12	47	448.6
Cebada	20	11	45	157.6

2.3 Factores de influencia

Los factores de influencia ayudaron a contextualizar las condiciones iniciales de diseño, así como la formulación de las alternativas de solución. Cada uno de estos fueron en base a los objetivos planteados, así como de la investigación previa.



- 1. Capacidad de la cámara de secado:** Se debe ajustar a la producción de cultivos agrícolas del pequeño agricultor en temporadas de cosechas sin afectar los tiempos de entrega de sus productos secados.
- 2. Costo:** El secador debe ser económicamente viable para el pequeño agricultor o inclusive para personas que tienen pequeños huertos y deseen preservar sus alimentos.
- 3. Disponibilidad de materiales:** Los materiales preferiblemente deben de encontrarse a la venta en el mercado nacional facilitando el cambio de partes sin afectar su operación continua.





4. **Mantenimiento:** Debe ser de fácil ejecución sin necesidad de adquirir equipos adicionales para realizar este trabajo.
5. **Impacto ambiental:** Priorizar el uso de la energía solar, tratando de minimizar el uso de energías no renovables que ocasionen un costo adicional de operación del secador.
6. **Ensamble:** De fácil montaje y desmontaje para facilitar el transporte del equipo.
7. **Entorno de trabajo:** El equipo debe de ajustarse a las condiciones climáticas donde se desea implementar, con el fin de presentar un desempeño favorable en su funcionamiento.

2.4 Formulación de alternativas de solución

Las alternativas de solución fueron propuestas en base a las configuraciones utilizadas en los secadores solares, tal como estableció en la tabla 2.5.

Tabla 2.5 Alternativas de solución

Parámetro que seleccionar	Alternativas consideradas
Tipo de secador	<p>Directo</p> 
	<p>Indirecto</p> 

	<p>Mixto</p> 
	<p>Placa plana</p> 
<p>Tipo de colector</p>	<p>Con tubos</p> 
	<p>Sin cubierta</p> 

2.4.1 Tipo de secador

Los parámetros de evaluación se determinaron en base a los factores de influencia, y estos fueron ponderados basándose en estudios comparativos

realizados por diversos autores. La tabla 2.6 muestra el resumen de lo evaluado.

Tabla 2.6 Información recopilada utilizada para la selección del colector

	Estudio comparativo	Resultados
Eficiencia de secado	Estudio comparativo de secadores solares directo e indirecto para el secado de mango (Dissa, H., & Bathiebo, 2011)	$\eta_{directo} = 7\% - 32\%$ $\eta_{indirecto} = 10\% - 49\%$
	Estudio comparativo de secadores solares indirecto y mixto para secado de maíz (Molla, Alavi, Subramanyam, Workneh, & Gabbiye, 2019)	$\eta_{indirecto} = 24\% - 33\%$ $\eta_{mixto} = 27\% - 38\%$
	Estudio comparativo de secadores solares directo y mixto para verduras y chiles africanos (E., y otros, 2016)	$\eta_{directo} = 14\% - 28\%$ $\eta_{mixto} = 25\% - 58\%$
Costo de funcionamiento / fabricación	Estudio comparativo de secadores solares directo e indirecto para el secado de mango (Dissa, H., & Bathiebo, 2011)	$Costo_{directo} = \$156.8$ $Costo_{indirecto} = \$571.9$
	Estudio comparativo de secadores solares indirecto y mixto para secado de maíz (Molla, Alavi, Subramanyam, Workneh, & Gabbiye, 2019)	$Costo_{indirecto} = \$12.76/Ton$ $Costo_{mixto} = \$16.05/Ton$
Productos admisibles	Características de diferentes sistemas para el secado solar de cultivos (Prakash & Kumar, 2017)	De una muestra de 50 productos agrícolas incluyendo: frutas, vegetales y granos; el 25% de estos presentan sensibilidad a la luz solar durante el secado afectando sus propiedades vitamínicas

Tabla 2.7 Matriz de selección de tipo de secador solar

Parámetro Alternativa	Eficiencia de secado	Costo de funcionamiento / implementación	Productos admisibles	Total
	45%	35%	20%	
Secador Directo	4	3	3	3.45
Secador Indirecto	3	4	5	3.75
Secador mixto	2	5	4	3.45

2.4.2 Tipo de colector

Entre los parámetros más relevantes a considerar para la selección del colector solar son aquellos los cuales favorezcan en eficiencia y económicamente a las personas que deseen preservar sus alimentos para almacenamiento y/o posterior venta. Además de favorecer en un aumento de temperatura idóneo para calentar el flujo de aire entrante, el cual permita una correcta absorción de humedad de los productos agrícolas a disecar.

Los colectores solares de placa plana y de tubos al vacío favorecen el aumento del coeficiente de transferencia de calor del fluido circundante. Estos dos tipos de colectores presentan diseños diferentes. La eficiencia y temperatura de salida del fluido del secador de tubo al vacío es relativamente superior al del colector de placa plana. El material empleado en los tubos al vacío es de cobre, en cambio en el de placa plana es aluminio, por tal razón los tubos al vacío son menos corrosivos al contacto con el fluido de trabajo. Los colectores de placa plana son más económicos en fabricar gracias a su diseño simple y fácil construcción, mientras que los colectores de tubos al vacío son más costosos por los materiales a emplear y diseño de construcción. Por tanto, el colector de tubo al vacío presenta mayor capacidad de calentamiento con respecto al colector de placa plana. (Vijayakumar, Sathish, Sakthivelu, & Shanmuga, 2017)

El colector solar de placa plana sin cubierta no presenta cubierta de vidrio como el colector solar convencional, por eso también es llamado colector

no protegido. En este tipo de colector los rayos solares impactan directamente a la placa absorbadora. La eficiencia de este colector es inferior con respecto al colector de placa plana con cubierta de vidrio y al colector de tubos al vacío. En relación con el costo, estos colectores son más económicos con respecto a los dos colectores descritos anteriormente, debido a los materiales que son empleados en su construcción. (SOLEPANEL, 2014)

Tabla 2.8 Matriz de selección de tipo de colector solar

Parámetro	Eficiencia de calentamiento de aire	Costo de fabricación	Mantenimiento	Total
Alternativa	45%	35%	20%	
Colector de placa plana	4	4	3	3.80
Colector de placa plana sin cubierta	2	5	5	3.65
Colector de tubos al vacío	5	3	2	3.70

2.5 Selección de la mejor alternativa

Para la selección de la mejor alternativa se va a escoger la opción óptima de cada parámetro a considerar con su respectiva alternativa elegida. Por tanto, el diseño del secador solar va a presentar las siguientes características:

- Secador solar indirecto
- Colector de placa plana

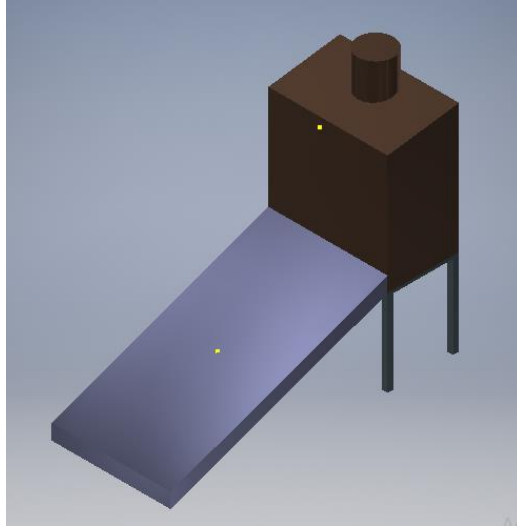


Figura 2.1 Diseño de forma de la mejor alternativa de solución.

2.6 Diseño detallado

2.6.1 Metodología del diseño

La metodología inició con la determinación de las condiciones iniciales que fueron consideraciones en base a los modelos y recomendaciones de diseño, definido esto se halló los parámetros de secado, esto con el fin obtener los diferentes valores contenido de humedad y demás variables psicométricas que fueron utilizadas posteriormente para el diseño de la cámara de secado.

Para el diseño de la cámara de secado se analizó el flujo de calor dentro de esta para determinar así las medidas de los materiales seleccionados, así como la obtención del calor necesario para el proceso de secado.

Para el diseño del colector se necesitó el valor del calor necesario para el secado, el cual determinó el flujo de aire necesario y con eso se dimensionó el tamaño del colector en base a la irradiación global mensual y el consumo del colector mensual.

Finalmente, obtenida las dimensiones del colector y la cámara se seleccionó la viga de la estructura soporte en función del peso que soporta.

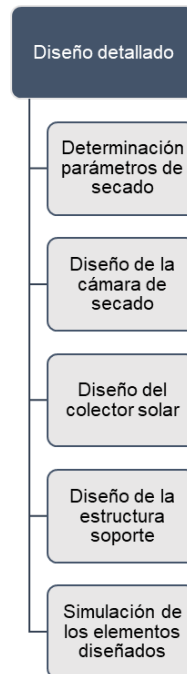


Figura 2.2 Metodología de diseño

Para la definición de las condiciones iniciales de diseño se escogió al modelo climático más crítico basado en los valores de humedad relativa de este siendo el modelo 1 el que cumplió con esta característica. El producto más crítico se lo determinó mediante el valor estimado de humedad a retirar de la tabla 2.4 el cual fue el cacao, donde se obtuvieron sus condiciones de secado.

Tabla 2.9 Parámetros iniciales para el diseño

	Variable	Simbología	Valor
Condiciones atmosféricas	Temperatura ambiente [°C]	T_{∞}	14
	Humedad relativa ambiente [%]	RH_i	88
	Contenido de humedad inicial $\left[\frac{g_{\text{agua}}}{kg_{\text{aire seco}}} \right]$	MR_i	11.5
	Irradiación solar global $\left[\frac{kWh}{m^2 \text{ día}} \right]$	GHI	4.3
	Velocidad del viento $\left[\frac{m}{s} \right]$	v	2
Condiciones de la cámara de secado	Capacidad nominal [kg]	m	20
	Número de bandejas	N_{bandejas}	4
	Producto por secar seleccionado	-	Cacao

2.6.2 Condiciones de secado del cacao

2.6.2.1 Datos psicrométricos del proceso de secado

Se utilizó los parámetros de temperatura ambiente y humedad relativa de la tabla 2.8, para determinar las demás variables con la carta psicrométrica en los puntos más importantes del proceso de secado. Estos puntos se definieron en la figura 2.3.

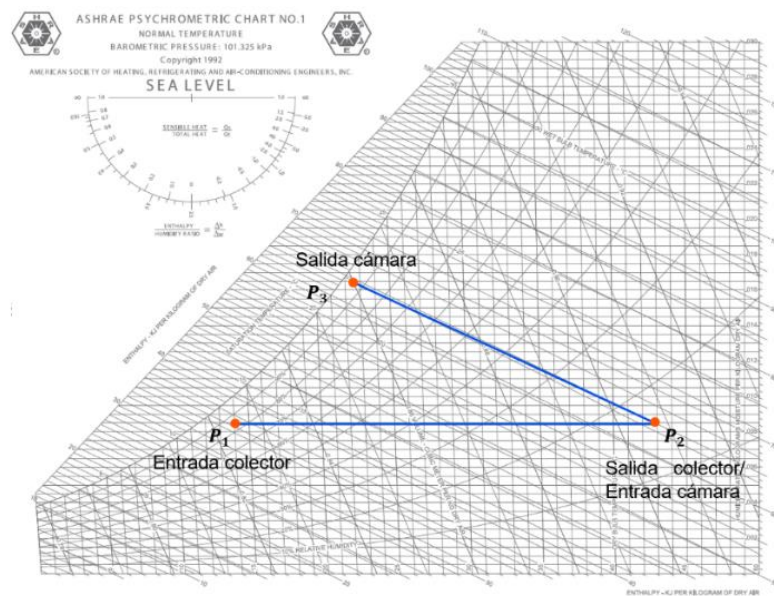


Figura 2.3 Puntos de interés en el proceso de secado

Determinada las condiciones psicrométricas correspondientes se las resumió en la tabla 2.10

Tabla 2.10 Condiciones psicrométricas del proceso de secado (Modelo 1)

	P ₁	P ₂	P ₃
T _{bs} [°C]	14.40	55.00	24.27
HR [%]	86.80	9.30	95.00
T _{PR} [°C]	12.30	12.30	22.20
MR $\left[\frac{\text{g}_{\text{H}_2\text{O}}}{\text{kg}_{\text{aire}}} \right]$	11.35	11.29	23.40
$\rho_{\text{aire}} \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$	0.96	0.84	0.92
$h_{\text{espec}} \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$	43.16	83.97	83.97

2.6.2.2 Tiempo de secado

La determinación del tiempo de secado fue en base a un estudio previo, que replicaba condiciones iniciales muy similares al de la tabla 2.9, obteniendo una curva de secado que determinaba un tiempo total de secado para el producto seleccionado. Una descripción detallada se encuentra en el apéndice C.

2.6.3 Diseño de la cámara de secado

Para el diseño de la cámara de secado se utilizaron los valores obtenidos en las tablas 2.9 y 2.10 como parámetros de diseño en este apartado.

2.6.3.1 Dimensionamiento de las bandejas

Se tomó en consideración que se utilizarán 4 bandejas, el ancho de la bandeja de 60 cm, y la altura inicial de la bandeja de 0.020m; por lo cual para calcular la dimensión restante se utilizó la siguiente ecuación.

$$\rho = \frac{M}{V} = \frac{M}{a_b * l_b * e} \quad (2.1)$$

Se despejó la dimensión restante obteniendo la ecuación 2.2:

$$l_b = \frac{M}{a_b * e * \rho} \quad (2.2)$$

Para determinar la altura de la bandeja se debe tener en cuenta que esta debe ser mayor a la altura inicial que ocupa el producto a secar evitando así que este se caiga de la bandeja. Se asumió una altura adicional de 10 mm, por lo que la dimensión restante queda:

$$h = e + 10 \text{ mm} \quad (2.3)$$

2.6.3.2 Altura de la cámara de secado

Con el valor de la altura de la bandeja se puede calcular la altura de la cámara de secado, tomando en cuenta la separación por bandejas, se

recomienda una separación de 5 a 13 cm (Green & Perry, 2008), y la cantidad de bandejas a utilizar en el secador, de tal manera que la altura de la cámara de secado se determinó de la siguiente manera:

$$h'_{cs} = N_{bandejas}(h + t) \quad (2.4)$$

2.6.3.3 Determinación de aislante

Para calcular el espesor del aislante necesario dentro de la cámara de secado se realizó el circuito térmico en la pared de la cámara de secado, tal como se presenta en la figura 2.4; donde estableciendo el flujo de calor disipado a través de la pared hasta el exterior.

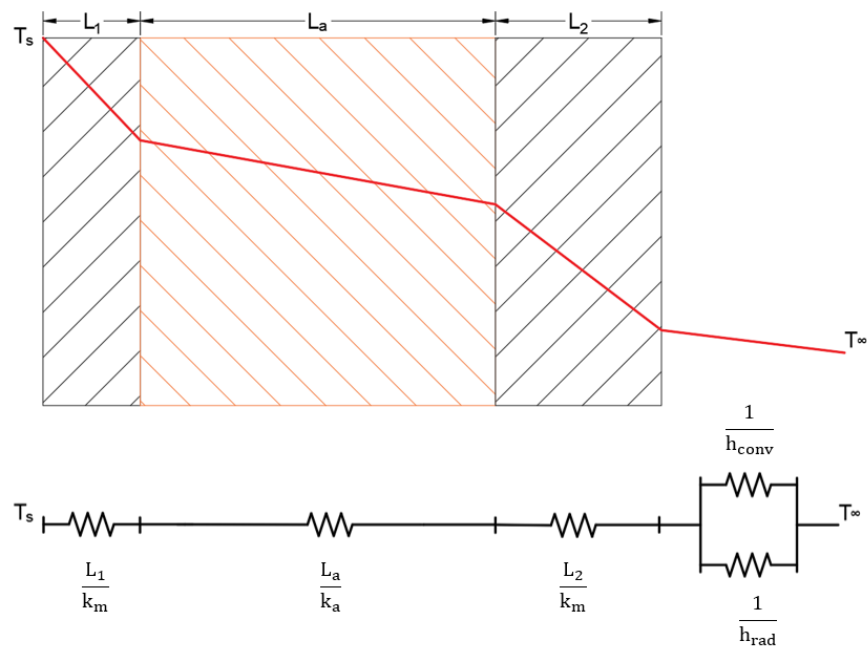


Figura 2.4 Perfil de temperatura en las paredes de la cámara de secado

$$q_p = A_{Tcs} * \left(\frac{T_s - T_{\infty}}{\frac{L_1}{k_m} + \frac{L_a}{k_a} + \frac{L_2}{k_m} + \frac{1}{h_e}} \right) \quad (2.5)$$

Agrupando los coeficientes de convección y radiación externos se obtuvo:

$$h_e = h_{c,ext} + h_{rad} \quad (2.6)$$

2.6.3.4 Área total de la cámara de secado

Conocidas las dimensiones de la cámara de secado se procedió a determinar el área interior de la cámara.

$$A_{TotalCS} = A_{basesCS} + A_{lateralCS} \quad (2.7)$$

2.6.3.5 Aislamiento térmico

Los tipos de aislantes a emplear en el diseño del secador se basan en los disponibles en mercado nacional según la tabla 2.11. Las características de estos se resumieron a continuación:

Tabla 2.11: Aislantes térmicos disponibles en el mercado

Aislante térmico	Conductividad térmica $\left[\frac{W}{m K}\right]$
Espuma de poliuretano	0.023
Lana de vidrio	0.035
Lana de roca	0.037

2.6.3.6 Coeficiente de transferencia por convección en el ambiente

Una aproximación para el cálculo del coeficiente de convección es la ecuación de Watmuff (Duffie & Beckman, 2013), la cual es dependiente de la velocidad del viento en lugar.

$$h_{c,ext} = 2.8 + 3v \quad (2.8)$$

2.6.3.7 Coeficiente de transferencia por radiación en el ambiente

Para el cálculo del coeficiente de radiación en el ambiente se utilizó la siguiente expresión que relaciona la temperatura en la superficie exterior de la cámara con la temperatura ambiente (Bergman, Lavine, Incropera, & Dewitt, 2011).

$$h_{rad} = \varepsilon\sigma(T_{ext} + T_{\infty})(T_{ext}^2 + T_{\infty}^2) \quad (2.9)$$

La temperatura de la superficie exterior se la obtuvo mediante la expresión del flujo de calor de la figura 2.4. A diferencia de la ecuación

2.5 se estableció el flujo desde la pared interior hasta la pared exterior de la cámara de secado, donde se despejó T_{ext} , obteniendo la ecuación 2.10.

$$T_{ext} = - \left\{ \left[\frac{q_{perd}}{A_{TotalCS}} \left(\frac{L_1}{k_m} + \frac{L_a}{k_a} + \frac{L_2}{k_m} \right) \right] - T_s \right\} \quad (2.10)$$

Para encontrar la temperatura exterior y el flujo de calor por pérdidas se iteró asumiendo T_{ext} , para luego calcular h_{rad} utilizando la ecuación 2.7, se halla q_{perd} con la ecuación 2.3 y finalmente con la ecuación 2.8 se comprobó si el valor asumido era el correcto, todo esto en para cada aislante con espesores disponibles en el mercado.

Para obtener las dimensiones y el tipo de aislante se realiza otro cálculo iterativo asumiendo que las paredes de la cámara de secado están conformadas por una plancha metálica sin aislante, se determina el flujo de calor por pérdidas, para luego establecer el porcentaje de aislamiento que es relación del calor por perdidas con aislante y sin este. Se considera que para la cámara de secado las pérdidas no deben ser mayores al 5%. (Green & Perry, 2008).

2.6.3.8 Cálculo del calor de secado

Determinado el diseño de la cámara de secado se procedió a calcular el calor necesario para el proceso de secado. (Ver Apéndice D).

2.6.4 Diseño del colector solar

2.6.4.1 Flujo másico de aire requerido

El flujo másico de aire estuvo en función de la tasa de calor requerido para el proceso de secado definido como:

$$q_{secado} = \dot{m}_{aire} c_{p_{aire}} (T_{f_{secado}} - T_{\infty}) \quad (2.11)$$

Despejando el flujo másico y expresando el flujo de calor en términos de energía se obtuvo la siguiente ecuación:

$$\dot{m}_{aire} = \frac{Q_{secado}/t_{secado}}{c_{p_{aire}} (T_{f_{secado}} - T_{\infty})} \quad (2.12)$$

2.6.4.2 Flujo de calor útil

El flujo de calor útil fue la cantidad de energía que se aprovechó para el calentamiento del aire, se expresó como la diferencia del flujo de energía que recibe de la radiación solar con las pérdidas producidas durante el calentamiento.

$$q_u = q_i - q_p \quad (2.13)$$

Otra forma para expresarlo fue en base a las temperaturas de entrada y salida del fluido de trabajo.

$$q_u = \dot{m}c_p(T_{fs} - T_{fe}) \quad (2.14)$$

2.6.4.3 Flujo de calor incidente

El calor incidente dependió del área de captación y a la irradiancia total que absorbe, que a su vez depende de la radiación global en el colector y las condiciones de transmitancia y absortancia de la cubierta transparente y la placa absorbedora respectivamente.

$$q_i = A_c S \quad (2.15)$$

$$q_i = A_c G_T (\tau\alpha) \quad (2.16)$$

El factor de transmitancia – absortancia depende de las propiedades de la cubierta de transparente y la placa absorbedora. (Duffie & Beckman, 2013).

$$(\tau\alpha) = \frac{\tau\alpha}{1 - (1 - \alpha)\rho_d} \quad (2.17)$$

2.6.4.4 Flujo de calor de pérdidas

El flujo de calor de pérdidas fue definido por el coeficiente de transferencia de calor de pérdidas global, el área del colector y las temperaturas ambiente y media de la placa.

$$q_p = A_c U_L (T_{pm} - T_\infty) \quad (2.18)$$

A su vez el coeficiente de pérdidas consta de dos tramos: las pérdidas superiores y las pérdidas inferiores.

$$U_L = U_t + U_b \quad (2.19)$$

Según la figura 2.5 se tiene la distribución de las pérdidas térmicas en el colector solar, estas son referentes principalmente a las pérdidas de convección y radiación a medida que la energía se transfiere al fluido de trabajo. Adicionalmente se desprecian las pérdidas por conducción en la cubierta y placa absorbedora ya que representan un porcentaje menor al 2% de las pérdidas globales para la mayoría de los colectores solares. (Duffie & Beckman, 2013).

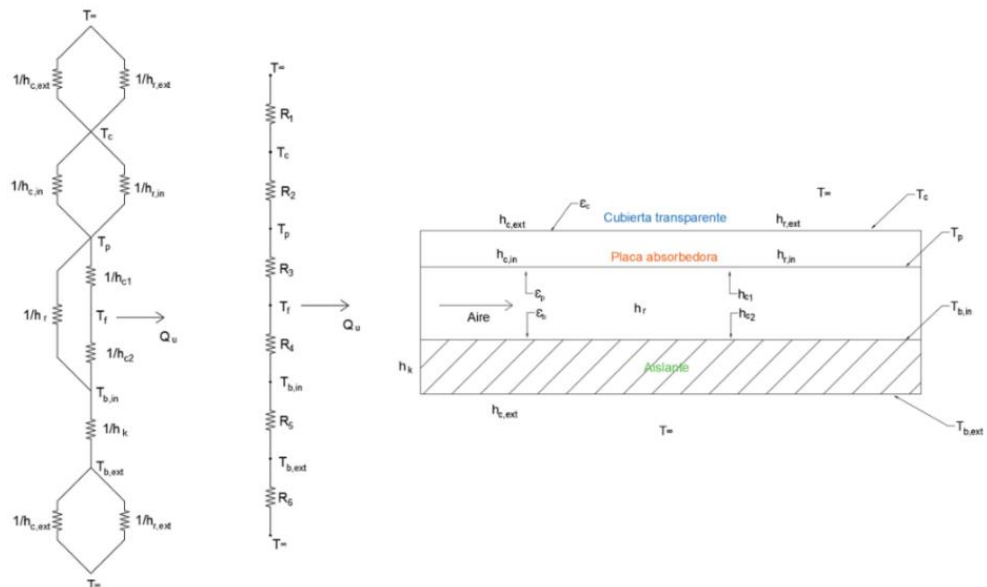


Figura 2.5 Circuito térmico en el colector solar

La dependencia de valores intermedios de temperatura dificulta el cálculo por lo que se utilizó la correlación de Klein que expresó las

pérdidas de calor en la parte superior utilizando parámetros conocidos o estimables. (Duffie & Beckman, 2013).

$$U_t = \left[\frac{N}{\frac{C(\beta)}{T_{pm}} \left(\frac{T_{pm} - T_{\infty}}{N + f} \right)^e + \frac{1}{h_{c,ext}}} \right]^{-1} + \frac{\sigma(T_{pm} + T_{\infty})(T_{pm}^2 + T_{\infty}^2)}{(\varepsilon_p + 0.00591Nh_{c,ext})^{-1} + \frac{2N + f - 1 + 0.133\varepsilon_p}{\varepsilon_c} - N} \quad (2.20)$$

Donde:

$$\beta = 10^\circ$$

$$e = 0.430 \left(1 - \frac{100}{T_{pm}} \right).$$

$$f = (1 + 0.089h_{c,ext} - 0.1166h_{c,ext}\varepsilon_p)(1 + 0.07866N).$$

$$C(\beta) = 520(1 - 0.000051\beta^2) \text{ para } 0^\circ < \beta < 70^\circ.$$

Para el coeficiente de pérdidas en la base se asumió un valor referencial que permitirá obtener el espesor de aislante en el colector $(U_b \leq 1 \frac{W}{m^2 K})$.

Definida las expresiones para determinar los calores de incidencia y de pérdidas se puede reformuló al flujo de calor útil como:

$$q_u = A_c [G_T(\tau\alpha) - U_L(T_{pm} - T_{\infty})] \quad (2.21)$$

Donde se introduce al factor de ganancia que permitió expresar el calor útil en términos de la temperatura de entrada del fluido, en lugar de la temperatura media de la placa.

$$q_u = A_c F_R [G_T(\tau\alpha) - U_L(T_{fe} - T_{\infty})] \quad (2.22)$$

No obstante, el factor de ganancia depende los factores de eficiencia y de flujo, estos sirvieron para la determinación de la temperatura media de la placa.

2.6.4.5 Factor de eficiencia

Este determina la relación entre la energía útil real con la energía útil si se considerase la temperatura de la placa igual a la temperatura del fluido en un mismo punto.

$$F' = \frac{1}{1 + \frac{U_L}{h_{c1} + \frac{1}{\frac{1}{h_{c2}} + \frac{1}{h_r}}}} \quad (2.23)$$

Para determinar los coeficientes de convección en el ducto de aire (se consideró un flujo a través de placas paralelas) se aplicó las relaciones de flujo interno siendo dependientes de la temperatura media del fluido T_{mf} .

$$Re = \frac{\rho v D_h}{\mu} = \frac{\dot{m} D_h}{A_t \mu} \quad (2.24)$$

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} \quad (2.25)$$

Se aplicó la correlación de Heaton que describe la variación del número de Nusselt en colectores solares de placa plana.

$$Nu = Nu_{\infty} + \frac{a \left(Re Pr \frac{D_h}{L} \right)^m}{1 + b \left(Re Pr \frac{D_h}{L} \right)^n} \quad (2.26)$$

Prandtl Number	a	b	m	n
0.7	0.00190	0.00563	1.71	1.17
10	0.00041	0.00156	2.12	1.59
∞	0.00021	0.00060	2.24	1.77

$Nu_{\infty} = 5.4$

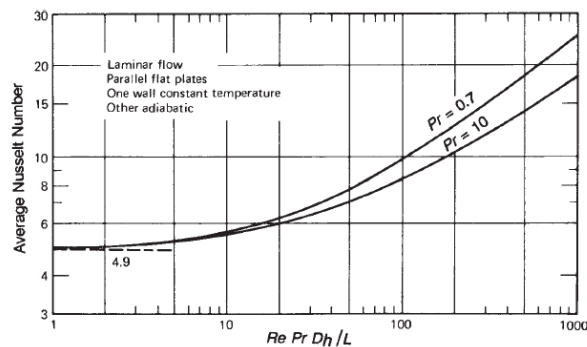


Figura 2.6 Correlación del número de Nusselt para área no circulares (Duffie & Beckman, 2013)

En base a estas expresiones definidas se encontró el número de Nusselt para el cálculo del coeficiente de transferencia de calor por convección.

$$Nu = \frac{h_c D_h}{k} \rightarrow h_c = Nu \frac{k}{D_h} \quad (2.27)$$

Para la determinación del coeficiente de transferencia de calor por radiación se utilizó la siguiente expresión que depende la temperatura media del fluido.

$$h_r = \frac{4\sigma T_{mf}^3}{\frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{1}{\varepsilon_b} - 1} \quad (2.28)$$

2.6.4.6 Factor de ganancia

Relaciona la energía útil real con la energía útil cuando el colector tiene la misma temperatura del fluido de entrada.

$$F_R = \frac{\dot{m}c_p(T_{fs} - T_{fe})}{A_c[G_T(\tau\alpha) - U_L(T_{fe} - T_\infty)]} \quad (2.29)$$

$$F_R = \frac{\dot{m}c_p}{A_c U_L} \left[1 - \exp\left(-\frac{A_c U_L F'}{\dot{m}c_p}\right) \right] \quad (2.30)$$

2.6.4.7 Factor de flujo

Es la relación entre el factor de ganancia con el factor de eficiencia, está definido como:

$$F'' = \frac{F_R}{F'} = \frac{\dot{m}c_p}{A_c U_L F'} \left[1 - \exp\left(-\frac{A_c U_L F'}{\dot{m}c_p}\right) \right] \quad (2.31)$$

Ya con los factores de flujo, eficiencia y ganancia se puede definir la temperatura de salida del fluido y temperatura media de la placa como:

$$T_{fs} = T_{fe} + \frac{q_u}{\dot{m}c_p} \quad (2.32)$$

$$T_{pm} = T_{fe} + \frac{\frac{q_u}{A_c}}{U_L F_R} (1 - F_R) \quad (2.33)$$

En base a estas ecuaciones se procedió a realizar un cálculo iterativo para encontrar las temperaturas desconocidas donde primero fueron asumidas para determinar el coeficiente de pérdidas y el calor útil para luego ser corregidas con las ecuaciones mostradas.

2.6.4.8 Método F – chart

El método F – chart sirvió para determinar el consumo del colector solar con respecto al calor de secado necesario y la radiación solar sobre la superficie inclinada y con esto escoger un área de colector conveniente. (Ver apéndice E).

2.6.5 Diseño de la estructura soporte

Determinado las dimensiones y materiales del colector solar, se procedió a diseñar la estructura soporte para el secador solar, siendo que se seleccionó el perfil de viga que cumpla con lo mencionado con anterioridad. (Ver apéndice F).

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 Resultados de diseño

3.1.1 Cámara de secado

Para el diseño de la cámara de secado primero se seleccionó el tipo de aislante a utilizar según la tabla 2.11, lo cual dio como resultado que la espuma de poliuretano cumple con la recomendación del porcentaje de calor por pérdidas menor al 5% por lo que fue el aislante seleccionado.

Tabla 3.1 Selección del aislante de la cámara de secado

	Espuma de poliuretano	Lana de vidrio	Lana de roca	Sin aislante
q_p [W]	33.95	50.69	53.42	991.17
T_s [°C]	55	55	55	55
T_∞ [°C]	14.4	14.4	14.4	14.4
L_{m_1} [m]	0.0015	0.0015	0.0015	-
L_a [m]	0.05	0.05	0.05	-
L_{m_2} [m]	0.003	0.003	0.003	0.003
$K_m \left[\frac{W}{m K} \right]$	202	202	202	202
$K_a \left[\frac{W}{m K} \right]$	0.023	0.035	0.037	-
T'_{se} [°C]	15.5	16.3	16.4	55
$q_p/q_{p_{sa}}$ [%]	3.43%	6.11%	6.39%	-
Q_p [kJ]	1,833.55	2,189.79	2,307.63	-

Con la selección del aislante se tuvieron las dimensiones de la cámara de secado.

Tabla 3.2 Dimensiones de la cámara de secado

Parámetro	Valor
Dimensiones de la cámara de secado [mm]	709x702x654.5
Dimensiones de la bandeja [mm]	560x600x20
Tipo de aislante	Espuma de poliuretano
Espesor del aislante [mm]	50
Espesor de la placa de metal exterior [mm]	3
Espesor de la placa de metal interior [mm]	1.5

Dimensionada la cámara de secado se obtuvo el calor necesario para el proceso de secado para el cacao, siendo este evaluado en los tres modelos climatológicos lo cual permitió a su vez obtener el flujo masico de aire requerido, donde este último valor fue más alto para el modelo 3 (región costa) ya que presenta una menor diferencia de temperatura y mayor humedad en el ambiente por lo que la remoción de humedad será menor requiriendo un mayor flujo de aire.

Tabla 3.3 Calor requerido para el secado de cacao

PRODUCTO: CACAO			
	MODELO 1	MODELO 2	MODELO 3
$Q_{\text{café}}$ [kJ]	1,075.57	884.07	789.63
Q_{agua} [kJ]	1,587.55	1,304.88	1,165.49
Q_{vap} [kJ]	21,914.28	22,145.46	22,145.46
Q_{reman} [kJ]	129.18	106.21	94.87
Q_{perd} [kJ]	1,815.77	1,709.86	1,617.89
Q_{secado} [kJ]	26,522.35	26,150.48	25,813.33
q_{secado} [W]	491.15	427.30	398.35
\dot{m}_{aire} [kg/s]	0.0120	0.0122	0.0127

3.1.2 Colector solar

Para el diseño del colector solar, se obtuvo que de acuerdo con la estimación de radiación solar en la superficie inclinada se tienen mejores condiciones de trabajo en las épocas de junio a septiembre para los tres modelos, mientras que para los primeros meses del año se observan menor

radiación solar por lo que en estos periodos de tiempo el secador trabajaría con un menor desempeño.

Tabla 3.4 Radiación solar disponible (Modelo 1)

Modelo 1					
Mes	Día	$\bar{H} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \right]$	$\bar{H}_0 \left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \right]$	$\bar{H}_d \left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \right]$	$\bar{H}_t \left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \right]$
Enero	17	4.650	10.163	2.192	4.378
Febrero	16	4.625	10.470	2.256	4.457
Marzo	16	4.575	10.539	2.269	4.527
Abril	15	4.500	10.177	2.193	4.584
Mayo	15	4.500	9.576	2.064	4.706
Junio	11	4.725	9.204	1.968	5.024
Julio	17	4.800	9.331	1.994	5.074
Agosto	16	5.175	9.855	2.098	5.350
Septiembre	15	5.150	10.331	2.217	5.155
Octubre	15	4.875	10.424	2.247	4.732
Noviembre	14	4.800	10.194	2.197	4.539
Diciembre	10	4.825	10.015	2.156	4.501

Definido los periodos de menor radiación se diseñó el colector donde se obtuvo los resultados de la tabla 3.5, siendo que para un área de 1.5 m² el factor de consumo se acerca al mínimo establecido cumpliendo con el requerimiento establecido.

Tabla 3.5 Resultados del diseño del colector (modelo 1)

Parámetro	Valor
Área del colector [m ²]	1.5
Largo del colector [m]	1.875
Ancho del colector [m]	0.8
Tipo de aislante	Espuma de poliuretano
Espesor del aislante [mm]	40
Coefficiente global de pérdidas $\left[\frac{W}{m^2K} \right]$	3.47
Temperatura media de la placa [°C]	61.2
Carga térmica mensual [kWh]	156.02
Factor de consumo	0.497

3.1.3 Estructura de soporte

Los resultados de las simulaciones fueron realizados en Autodesk Inventor Professional 2018 se encuentran en el Apéndice L. Los resultados obtenidos mediante el software para las dos estructuras fueron: esfuerzo de Von Mises, desplazamiento y factor de seguridad.

3.1.3.1 Estructura de la cámara de secado

Con todos estos resultados obtenidos con el software y mostrados en la tabla 3.5 se concluye que la estructura diseñada con perfil tubo estructural cuadrado 25X25X2mm de acero SAE J403 1008 soportará la carga de diseño de la cámara de secado. Por tanto, los elementos que la conforman no sufrirán fallas por los esfuerzos aplicados.

Tabla 3.6 Resultados de simulación estructural de la cámara de secado

Descripción	Cantidad	Unidad
Masa total para soportar	73.31	kg
Esfuerzo de Von Mises máximo	20	MPa
Deformación máxima	0.1626	mm
Coefficiente de seguridad mínimo	2.53	u

3.1.3.2 Estructura del colector solar

Con los resultados obtenidos con Autodesk Inventor mostrados en la tabla 3.6 se concluye que la estructura diseñada para soportar la carga de diseño del colector solar no sufrirá fallas por los esfuerzos aplicados. El material y perfiles son iguales para las dos estructuras.

Tabla 3.7 Resultados de simulación estructural del colector solar

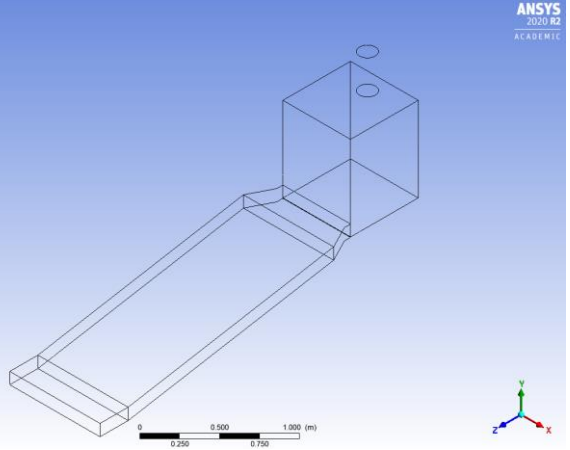
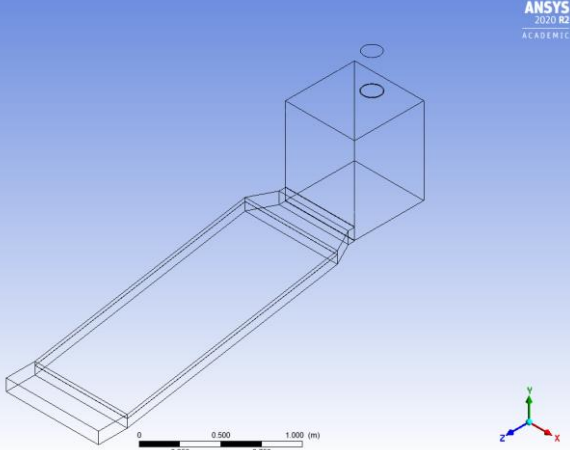
Descripción	Cantidad	Unidad
Masa total para soportar	61.46	kg
Esfuerzo de Von Mises máximo	20	MPa
Deformación máxima	1.695	mm
Coefficiente de seguridad mínimo	1.49	u

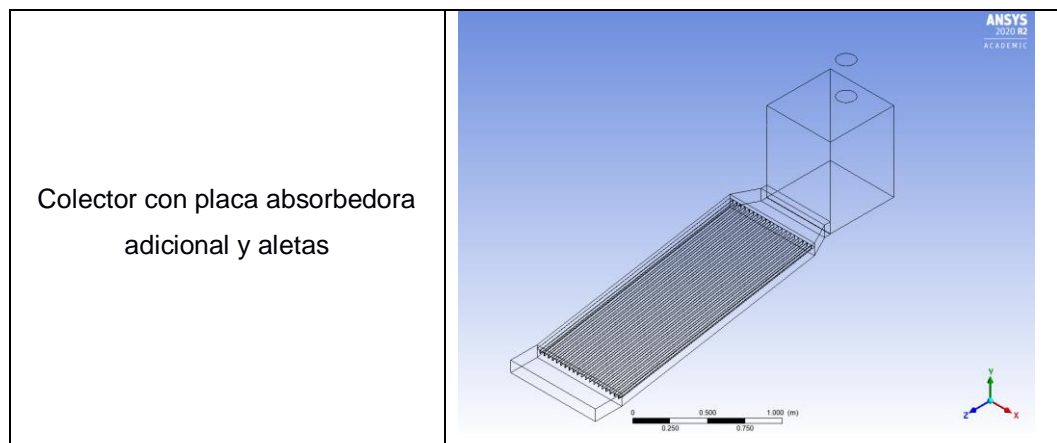
3.2 Resultados obtenidos en la simulación en ANSYS Fluent

Los resultados obtenidos en la simulación fueron en base a tres diseños de colector solar en el secador, lo cual sirvió para determinar la distribución de temperatura, la trayectoria de velocidad y la distribución de presión. (Ver apéndice I).

Además, según Duffie & Beckman (2013), establece que los colectores solares de placa plana pueden presentarse en diferentes diseños que pueden mejorar su desempeño por lo que se establecieron estas variantes para evaluar su funcionamiento y costos.

Tabla 3.8 Variantes de colectores solares a evaluar

Diseño propuesto	Volumen de control a simular
Colector con placa absorbadora	
Colector con placa absorbadora adicional	



3.2.1 Temperatura

El modelo 1 representa a los lugares de la región Sierra, donde se tiene un aire a menor temperatura, sin embargo posee mejores condiciones de irradiación solar lo cual favorece al calentamiento del aire en el colector solar, con respecto a las temperaturas obtenidas se consiguió llegar a temperaturas cercanas a la de trabajo ($T = 55^{\circ}\text{C}$) a excepción del colector con una sola placa absorbadora, a diferencia del diseño con la placa absorbadora adicional y aletas que presentó la mayor temperatura media dentro de la cámara de secado, tal y como se muestra en la tabla 3.9.

Tabla 3.9 Principales valores de temperatura obtenidos (Modelo 1)

Modelo 1 (Región Sierra)			
	\bar{T}_{amb} [$^{\circ}\text{C}$]	$\bar{T}_{placa\ abs}$ [$^{\circ}\text{C}$]	$\bar{T}_{cámara}$ [$^{\circ}\text{C}$]
Colector con placa absorbadora	14.40	69.35	45.64
Colector con placa absorbadora adicional	14.40	76.45	53.31
Colector con placa absorbadora adicional y aletas	14.40	90.17	59.85

A diferencia del modelo 1, la tabla 3.10 muestra los resultados del modelo de la región Costa y el Oriente quienes presentan una mayor temperatura ambiente una irradiación solar menor que el modelo 1 pero mejor que el modelo 3, siendo que se obtuvo un mejor calentamiento de aire en los tres

diseños analizados con respecto al modelo anterior; no obstante a pesar de tener temperaturas resultantes más elevadas la diferencia de estas con el otro modelo es 3 °C para el mejor de los casos, esto se debe a la presencia de mayor irradiación solar difusa en las regiones Costa y Oriente lo cual perjudicó el calentamiento de aire en un colector solar.

Tabla 3.10 Principales valores de temperatura obtenidos (Modelo 2)

Modelo 2 (Regiones Costa y Oriente)			
	\bar{T}_{amb} [°C]	$\bar{T}_{placa\ abs}$ [°C]	$\bar{T}_{cámara}$ [°C]
Colector con placa absorbadora	21.30	73.28	47.26
Colector con placa absorbadora adicional	21.30	88.15	56.14
Colector con placa absorbadora adicional y aletas	21.30	93.58	62.76

La tabla 3.11 muestra los resultados obtenidos para el modelo de la región de la costa, donde se vio favorecido por la temperatura ambiente propuesta la cual es las elevada de los modelos, contando con temperaturas dentro de la cámara cercana a la temperatura máxima de trabajo para el diseño con el colector con placa absorbadora adicional, para el diseño del colector con aletas se tiene que la temperatura de la cámara se aproxima a los 65 °C lo cual comienza a representar un problema para los productos a secar ya que a partir de esa temperatura ciertos productos pierden nutrientes u otras propiedades importantes.

Tabla 3.11 Principales valores de temperatura obtenidos (Modelo 3)

Modelo 3 (Región Costa)			
	\bar{T}_{amb} [°C]	$\bar{T}_{placa\ abs}$ [°C]	$\bar{T}_{cámara}$ [°C]
Colector con placa absorbadora	24.90	75.40	49.34
Colector con placa absorbadora adicional	24.90	87.15	55.94
Colector con placa absorbadora adicional y aletas	24.90	96.16	64.28

3.3 Análisis de costos

En esta sección se estimaron y analizaron todos los costos referentes al proceso de diseño y manufactura del diseño del secador; así como la evaluación de factibilidad de los diseños del colector solar simulados en base al costo de fabricación con la potencia necesaria para calentar el aire; esto con el fin de seleccionar un diseño de colector de placa plana para el secador.

3.3.1 Selección del tipo de colector solar placa plana

Como se obtuvieron los resultados del secador solar para tres diseños de colector solar placa plana se procedió a seleccionar el mejor diseño en base a la relación de costo/beneficio. Para realizar esto se requirió determinar el costo de fabricación de cada diseño del colector para realizar dicha estimación, estas descripciones de costo de fabricación de cada diseño de colector se presentan en las tablas del apéndice J.

Tabla 3.12 Costo por unidad de potencia de los diseños de colectores solares para el modelo 1 (Región Sierra)

Modelo 1 (Región Sierra)				
$\dot{m}_{aire} = 0.012 \text{ kg/s}$				
	$\bar{T}_{colect} - \bar{T}_{\infty}$ [°C]	q_{disp} [W]	Costo de fabricación	Costo/ q_{disp} [\$/W]
Colector con placa absorbedora	31.64	375.588	\$500.75	1.33
Colector con placa absorbedora adicional	39.31	466.637	\$540.36	1.16
Colector con placa absorbedora adicional y aletas	45.85	544.271	\$788.48	1.45

Tabla 3.13 Costo por unidad de potencia de los diseños de colectores solares para el modelo 2 (Regiones Costa y Oriente)

Modelo 2 (Regiones Costa y Oriente)				
$\dot{m}_{aire} = 0.017 \text{ kg/s}$				
	$\bar{T}_{colect} - \bar{T}_{\infty}$ [°C]	q_{disp} [W]	Costo de fabricación	Costo/ q_{disp} [\$/W]
Colector con placa absorbedora	26.26	414.006	\$500.75	1.21
Colector con placa absorbedora adicional	35.14	554.005	\$540.36	0.98
Colector con placa absorbedora adicional y aletas	41.76	658.374	\$788.48	1.20

Tabla 3.14 Costo por unidad de potencia de los diseños de colectores solares para el modelo 3 (Región Costa)

Modelo 3 (Región Costa)				
$\dot{m}_{aire} = 0.019 \text{ kg/s}$				
	$\bar{T}_{colect} - \bar{T}_{\infty}$ [°C]	q_{disp} [W]	Costo de fabricación	Costo/ q_{disp} [\$/W]
Colector con placa absorbedora	24.34	453.731	500.75	1.10
Colector con placa absorbedora adicional	30.94	576.764	540.36	0.94
Colector con placa absorbedora adicional y aletas	39.28	732.233	788.48	1.08

Las tablas 3.12, 3.13 y 3.14 muestran los resultados obtenidos en base al costo que requiere calentar el flujo de aire hasta la temperatura en la cámara de secado, las relaciones de costo de fabricación están en base al

colector ya que el diseño de la cámara de secado se mantiene en los tres diseños. Los resultados obtenidos de las tres tablas mostraron que el diseño del colector solar con una placa absorbadora adicional presenta un menor costo de calentamiento de aire, siendo este el que mejor beneficio presenta al momento de calentar el aire por lo que es el modelo escogido para el diseño final.

3.4 Costos totales

Determinado el colector solar a implementar en el secador, se realizó la determinación de los costos totales de diseño los cuales comprenden: materiales, elementos electrónicos, mano de obra y diseño.

Tabla 3.15 Costos de materiales de fabricación

MATERIALES				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio total
Tubo estructural cuadrado 25x25x2mm	m	26.00	\$1.85	\$ 47.90
Plancha de Aluminio 1220X2440X1mm	m ²	3.30	\$13.08	\$ 43.03
Plancha de Aluminio 1220X2440X1,5mm	m ²	4.50	\$18.73	\$ 83.16
Plancha de Aluminio 1220X2440X3mm	m ²	5.40	\$40.55	\$218.56
Plancha de poliuretano 1000X1000X40mm	m ²	2.00	\$14.07	\$ 28.14
Plancha de poliuretano 1000X1000X50mm	m ²	2.55	\$16.35	\$ 41.69
Ángulo L acero inoxidable 25X25X3mm	m	4.50	\$1.12	\$ 5.02
Plancha de vidrio 10mm	m ²	1.50	\$98.04	\$145.10
Subtotal				\$612.60

El costo de los materiales de construcción abarca el 63% del costo total, siendo que de este mismo el 55% corresponde a los materiales del colector solar; lo cual indica la importancia de la selección de esta parte tanto de manera funcional como financiera.

Tabla 3.16 Costos de los elementos de medición y monitoreo

Equipos de medición y monitoreo			
Producto	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Arduino Mega 2560 (incluye cable USB)	1	\$15.99	\$15.99
LCD Display 20x4 I2C	1	\$7.50	\$7.50
DHT11 Sensor de humedad y temperatura	6	\$1.50	\$9.00
Resistencia de 10k 1/4W	6	\$0.10	\$0.60
Protoboard (830 puntos)	1	\$3.00	\$3.00
Cable para conexiones electrónicas	1	\$3.00	\$3.00
Adaptador de pilas AA para Arduino	1	\$2.50	\$2.50
Pilas recargables AA 1.2V (incluye cargador)	1	\$14.99	\$14.99
Subtotal			\$56.58

A pesar de que económicamente los equipos de medición y monitoreo representan el 6% del total, estos son de vital importancia ya que asisten al operador del secador para monitorear el proceso y obtener un producto final de calidad, por ende, su implementación fue considerada en el diseño final. La descripción del sistema de medición se encuentra en el apéndice M.

Tabla 3.17 Costo de mano de obra

MANO DE OBRA	
Descripción	Costo
Corte de piezas metálicas y aislantes	\$ 50.00
Soldadura de estructura	\$ 40.00
Armado de equipo	\$ 45.00
Pintura	\$ 30.00
Subtotal	\$165.00

Tabla 3.18 Costos de diseño

COSTO DE DISEÑO	
Descripción	Costo
Diseñador y dibujante	\$135.00
Subtotal	\$135.00

Los costos de mano de obra y de diseño abarcaron el 17% y 14% respectivamente, siendo que aquí se tomó en cuenta todas las

consideraciones de operación de ensamblaje y diseño con precios en el mercado nacional; cabe recalcar que estos precios pueden variar dependiendo de la calidad del trabajo, así como de los insumos empleados por lo que los valores descritos en las tablas 3.17 y 3.18 fueron seleccionados considerando todo lo anterior.

Tabla 3.19 Costos totales del secador solar

COSTOS TOTALES	
Descripción	Costo
Materiales	\$ 612.60
Mano de obra	\$ 165.00
Diseño	\$ 135.00
Equipos de medición y monitoreo	\$ 56.58
Total	\$ 969.18

Finalmente se obtuvo el costo de implementación presentando un valor de \$969.18 lo cual sirvió para la evaluación del diseño final en los diferentes modelos meteorológicos, así como en los productos seleccionados.

3.4.1 Evaluación del costo de secado

Con el costo de implementación obtenido se procedió a evaluar este valor dentro de los modelos meteorológicos y con los productos seleccionados, esto con el fin de determinar el precio de secado en base al calor necesario siendo que al tener diferentes situaciones climáticas se obtuvieron diferentes precios.

Tabla 3.20 Evaluación del diseño final en función al costo de implementación para el cacao por modelo meteorológico

	Cacao		
	MODELO 1	MODELO 2	MODELO 3
$q_{secado} [W]$	491.48	424.78	395.24
$\dot{m}_{aire} [kg/s]$	0.0120	0.0121	0.0126
Costo de implementación/Watt [\$/W]	1.86	2.15	2.31

Tabla 3.21 Evaluación del diseño final en función al costo de implementación para el café por modelo meteorológico

	Café		
	MODELO 1	MODELO 2	MODELO 3
$q_{\text{secado}} [W]$	659.55	511.11	441.82
$\dot{m}_{\text{aire}} [kg/s]$	0.0162	0.0146	0.0140
Costo de implementación/Watt [\$/W]	1.46	1.89	2.19

El cacao es el producto más crítico por lo que es el más costoso de secar para cada modelo, siendo que para el modelo 3 (región costa) su precio fue el mayor ya que se retiró menos humedad del producto durante proceso por lo que se requiere de un mayor flujo de aire y un mayor tiempo, esto ocurre principalmente debido a las condiciones climáticas en la región tratándose de un lugar con aire con mayor contenido de humedad. Con respecto a los demás productos, el café y la cebada presentan comportamientos similares que el cacao siendo que el modelo 1 ofrece un menor costo de secado para todos los productos.

CAPITULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- El diseño del secador solar cumple con los requerimientos; la temperatura de secado es cercana a la temperatura de trabajo máxima teórica en los diferentes modelos climatológicos propuestos.
- De los modelos climatológicos establecidos el modelo correspondiente a los lugares de la región sierra presentan una mejor capacidad de secado ya que el aire en estas localizaciones contiene poca humedad.
- De los productos de interés seleccionados, el cacao fue el más crítico ya que requería mayor humedad a retirar, así como de una temperatura de secado más elevada.
- La cámara de secado diseñada aísla de manera eficiente el calor suministrado llegando a alcanzar una temperatura similar a la requerida.
- El colector de placa plana intermedia representó un menor costo por vatio de calentamiento de aire siendo este el diseño final seleccionado.
- El costo de fabricación fue USD \$969.18 el cual consideró todos los materiales, instrumentos y operaciones de manufactura necesarias para su construcción en base a los precios del mercado nacional.
- Se determinó, según los modelos aplicados, que el secado de productos es más económico en la región sierra por sus características.

4.2 Recomendaciones

- Se puede implementar un sistema de captación y almacenamiento de calor para que el secado se realice en periodos de poca irradiación o en horarios nocturnos.
- Para mejorar el control de humedad y de velocidad de secado se puede implementar un ventilador controlado por el sistema de medición de temperatura y humedad.
- Si se desea secar otro tipo de productos agrícolas, revisar la temperatura máxima de secado para evitar la quema del producto.

- Para la optimización del diseño se recomienda establecer un modelamiento de los factores climatológicos del Ecuador, esto con el fin de estudiar el desempeño del secador en situaciones específicas.

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, O., Maldonado, J., Montaña, T., & L, T. (2014). Análisis Climático de la Velocidad del Viento en la Región Sur del Ecuador. *Revista Politécnica-Julio 2014*, Vol. 35, No. 3, 1-7. Obtenido de <https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/images/revista/volumen35/tomo3/AnalisisClimaticodelaVelocidaddelViento.pdf>
- Anecacao. (2018). *Floración, fructificación y cosecha del cacao*. Obtenido de <http://www.anecacao.com/index.php/es/servicios/articulos-tecnicos/floracion-fructificacion-y-cosecha-del-cacao.html#:~:text=La%20frecuencia%20de%20cosecha%20depende,del%20Cultivo%20de%20Cacao%20Anecacao>.
- Anecacao. (2019). *Libre mercado regula el precio del cacao*. Obtenido de <http://www.anecacao.com/index.php/es/noticias/libre-mercado-regula-el-precio-del-cacao.html#:~:text=Actualmente%2C%20los%20productores%20perciben%20un,125%20d%C3%B3lares%20por%20el%20quintal>.
- Bergman, T., Lavine, A., Incropera, F., & Dewitt, D. (2011). *Fundamentals of heat and mass transfer (7th edition)*. Wiley.
- Chinenye, N. M., Ogunlowo, A., & Olukunle, O. (2010). COCOA BEAN (*Theobroma cacao* L.) DRYING KINETICS. *CHILEAN JOURNAL OF AGRICULTURAL RESEARCH*, 633-639. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/228437715_Cocoa_Bean_Theobroma_cacao_L_Drying_Kinetics
- Dissa, A., H., D., & Bathiebo, J. K. (2011). A comparative study of direct and indirect solar drying of mango. *Global Journal of Pure and Applied Sciences Vol. 17, No. 2*, 273-294. Obtenido de <https://www.ajol.info/index.php/gjpas/article/view/78801>
- Duffie, J., & Beckman, W. (2013). *Solar Engineering of Thermal Processes (Fourth edition)*. Madison: Wiley.
- E., A., V., M., J., S., S., W., P., O., & N., N. (2016). Comparison of a mixed modes solar dryer to a direct mode solar. *Journal of food processing and preservation*, 1-7. doi: 10.1111/jfpp.13216

- El Productor (Diario agropecuario). (Mayo de 2019). Revista "El Productor", Edición #30 . Ecuador. Obtenido de <https://elproductor.com/wp-content/uploads/2019/04/REVISTA%20MAYO%20CACAO.pdf>
- ESPAC. (Mayo de 2020). *Boletín Técnico ESPAC 2019*. Obtenido de https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2019/Boletin%20Tecnico%20ESPAC_2019.pdf
- Ghaffari, A. &. (2015). *Modeling and improving the performance of cabinet solar dryer using computational fluid dynamics*. International journal of food engineering. doi:10.1515/ijfe-2014-0266
- Green, D., & Perry, R. (2008). *Perry's Chemical Engineers Handbook (8th edition)*. McGraw-Hill.
- Herramientas de Ingeniería. (2018). *Diagrama y calculadora de parámetros psicrométricos online* . Obtenido de <https://www.herramientasingeneria.com/onlinecalc/spa/psicrometricos/psicrometricos.html>
- Kumar, S., & Singh, S. (2012). Comparative Thermal Performance Study of Indirect and Mixed-mode Solar Dryers. *International Journal of Sustainable Energy Development (IJSED)*. doi:10.20533/ijsed.2046.3707.2012.0002
- Llorca, M. (2015). Modelización de la operación de secado de malta, por aire caliente, en lecho fijo y en capa profunda. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=7248>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2019). *Cifras agroproductivas*. Obtenido de <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/cifras-agroproductivas>
- Molla, A., Alavi, S., Subramanyam, B., Workneh, S., & Gabbiye, N. (2019). Performance Comparisons of Solar Mixed and Indirect Dryers for Maize Grain Drying. *Advances of Science and Technology*. doi:https://doi.org/10.1007/978-3-030-15357-1_12
- Mustayen, A. M., Mekhilef, S., & Saidur, R. (9 de Marzo de 2014). Performance study of different solar dryers: A review. *CrossMark*, 34(2014), 465-467.
- NASA. (2020). Obtenido de Power Data Access Viewer: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>
- Patil, R., & Gawande, R. (2016). *Comparative Analysis of Cabinet Solar Dryer in Natural and Forced Convection Mode for Tomatoes*. International Journal of Research and Scientific Innovation (IJRSI). Researchgate. Obtenido de

https://www.researchgate.net/profile/Rajendra_Patil23/publication/319464503_Comparative_Analysis_of_Cabinet_Solar_Dryer_in_Natural_and_Forced_Convection_mode_for_tomatoes/links/5bcadb4f92851cae21b49768/Comparative-Analysis-of-Cabinet-Solar-Dryer-in-Natura

Patil, R., & Gawande, R. (July de 2016). Comparative Analysis of Cabinet Solar Dryer in Natural and Forced Convection Mode for Tomatoes. *III*, 49. India.

Peralta, J., López, S., Delgado, E., & Barriga, A. (2013). Evaluación energética y Análisis Estadístico del régimen de Vientos del perfil costero Ecuatoriano. doi:10.13140/2.1.4740.0002

Prakash, O., & Kumar, A. (2017). *Solar Drying Technology Concept, Design, Testing, Modeling, Economics and Environment*. New Delhi, India: SPRINGER. doi:10.1007/978-981-10-3833-4

SOLEPANEL. (2014). *Colector y Sistema Solar Térmico*. Obtenido de http://www.solepanel.cl/sistemassolares_sst.html

Tabet, I., Touafek, K., Bellel, N., Khelifa, A., & Baissi, M. T. (Junio de 2017). Thermal Performance of Flat Plate Solar Collector with Reflectors in South Algeria. *JOURNAL OF SUSTAINABLE ENERGY*, 2(8), 47, 50, 51.

Vaca-Revelo, D., & Ordóñez, F. (2020). *Mapa solar del Ecuador (2019)*. Obtenido de Scinergy-EPN:

https://drive.google.com/file/d/1Z6pf4snmOR_gHtBAjYA3KjoES3Uons_Y/view

Vijayakumar, P., Sathish, S., Sakthivelu, S., & Shanmuga, R. (Febrero de 2017). *ResearchGate*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/313918140_Comparison_of_evacuated_tube_and_flat_plate_solar_collector_-_A_review

Visavale, G. (6 de Agosto de 2014). *Principles, Classification and Selection of Solar Dryers*. Obtenido de *ResearchGate*: https://www.researchgate.net/publication/264510127_Principles_Classification_and_Selection_of_Solar_Dryers

Yunus, C., & Boles, M. (2012). *Termodinámica (7ma edición)*. McGraw-Hill.

APÉNDICES

APÉNDICE A

PRINCIPALES CULTIVOS DE LA REGIÓN COSTA – AÑO 2019

Principales Cultivos - 2019

Nivel Provincial: EL ORO, ESMERALDAS, GUAYAS y 3 más

No.	Productos	Superficie Plantada (ha)	Superficie Cosechada (ha)	Producción (toneladas)	Rendimiento (t/ha)
1	Cacao (almendra seca)	395,965	395,965	240,551	0.61
2	Arroz (en cáscara) 20% humedad 5% imp..	285,736	285,736	1,633,501	5.72
3	Maíz Duro Seco (grano seco) 13% humed..	238,611	238,611	1,527,988	6.40
4	Palma Aceitera (fruta fresca)	179,724	141,405	1,611,812	11.40
5	Banano (fruta fresca)	169,714	163,950	6,220,439	37.94
6	Plátano (fruta fresca)	110,662	93,634	511,636	5.46
7	Caña de Azúcar para Azúcar (tallo fresco)	102,235	100,225	7,700,032	76.83
8	Mango (fruta fresca)	18,076	15,824	104,819	6.62
9	Soya (grano seco)	17,056	17,056	32,506	1.91
10	Café Arábigo (Grano Oro)	12,314	12,314	2,827	0.23
11	Naranja (fruta fresca)	8,625	8,112	52,645	6.49
12	Maracuyá (fruta fresca)	6,074	3,451	22,269	6.45
13	Maní (Grano descascarado)	4,989	4,759	4,076	0.86
14	Yuca (raíz fresca)	4,803	4,109	24,440	5.95
15	Tabaco (Hoja seca)	3,650	3,650	4,603	1.26
16	Fréjol Tierno (en vaina)	3,192	2,873	5,741	2.00
17	Piña (Fruta fresca)	2,826	1,877	13,644	7.27
18	Fréjol Seco (grano seco)	2,813	2,740	1,798	0.66
19	Caña de Azúcar para otros usos (Tallo fre..	2,778	2,778	448,891	161.61
20	Café Robusta (Grano Oro)	1,545	1,545	500	0.32
21	Haba Tierna (en vaina)	1,459	1,447	1,935	1.34

PRINCIPALES CULTIVOS DE LA REGIÓN SIERRA – AÑO 2019

Principales Cultivos - 2019 Nivel Provincial: AZUAY, BOLIVAR, CAÑAR y 8 más

No.	Productos	Superficie Plantada (ha)	Superficie Cosechada (ha)	Producción (toneladas)	Rendimiento (t/ha)
1	Cacao (almendra seca)	72,066	72,066	52,675	0.73
2	Maíz Suave Seco (grano seco)	47,608	44,117	59,892	1.36
3	Maíz Duro Seco (grano seco) 13% humed..	35,854	35,854	273,779	7.64
4	Palma Aceitera (fruta fresca)	32,805	31,113	256,206	8.23
5	Plátano (fruta fresca)	31,519	27,966	182,281	6.52
6	Caña de Azúcar para Azúcar (tallo fresco)	24,011	21,587	1,557,669	72.16
7	Fréjol Seco (grano seco)	22,440	21,266	12,946	0.61
8	Papa (tubérculo fresco)	22,094	22,094	517,385	23.42
9	Banano (fruta fresca)	19,541	18,406	358,795	19.49
10	Maíz Suave Choclo (en choclo)	19,227	18,432	74,317	4.03
11	Caña de Azúcar para otros usos (Tallo fre..	11,111	9,241	342,455	37.06
12	Naranja (fruta fresca)	10,235	9,172	62,517	6.82
13	Brócoli (repollo)	9,923	9,919	169,725	17.11
14	Cebada (grano seco)	9,715	9,198	13,450	1.46
15	Cebolla Blanca (Tallo fresco)	7,370	7,323	42,354	5.78
16	Haba Tierna (en vaina)	5,944	5,583	21,487	3.85
17	Fréjol Tierno (en vaina)	4,341	4,113	6,959	1.69
18	Arveja Tierna (en vaina)	3,861	3,669	11,258	3.07
19	Palmito (Tallo fresco)	3,812	3,812	25,475	6.68
20	Café Arábigo (Grano Oro)	3,804	3,804	1,005	0.26
21	Orito (Fruta fresca)	3,779	3,475	20,501	5.90

PRINCIPALES CULTIVOS DE LA REGIÓN AMAZÓNICA – AÑO 2019

Principales Cultivos - 2019

Nivel Provincial: MORONA SANTIAGO, NAPO, ORELLANA y 3 más

No.	Productos	Á ² +	Superficie Plantada (ha)	Superficie Cosechada (ha)	Producción (toneladas)	Rendimiento (t/ha)
1	Palma Aceitera (fruta fresca)		34,046	28,391	407,930	14.37
2	Cacao (almendra seca)		30,764	30,764	20,058	0.65
3	Plátano (fruta fresca)		18,081	14,212	55,533	3.91
4	Café Robusta (Grano Oro)		9,852	9,852	5,915	0.60
5	Yuca (raíz fresca)		6,442	5,963	25,964	4.35
6	Caña de Azúcar para otros usos (Tallo fre..		3,980	3,506	39,823	11.36
7	Café Arábigo (Grano Oro)		2,818	2,818	1,778	0.63
8	Naranja (fruta fresca)		1,743	1,159	18,527	15.98
9	Banano (fruta fresca)		1,126	992	4,242	4.28
10	Orito (Fruta fresca)		1,022	938	3,068	3.27
11	Piña (Fruta fresca)		658	628	3,030	4.82
12	Maíz Suave Seco (grano seco)		307	299	455	1.52
13	Maní (Grano descascarado)		264	264	67	0.25
14	Maíz Duro Choclo (en choclo)		90	90	86	0.95
15	Tomate de Árbol (fruta fresca)		62			
16	Fréjol Tierno (en vaina)		31	31	48	1.52
17	Maracuyá (fruta fresca)		18	18	25	1.38
18	Papa (tubérculo fresco)		13	13	270	21.38
19	Maíz Suave Choclo (en choclo)		1	1	0	0.14

APÉNDICE B

DATOS Y MODELOS METEOROLÓGICOS

Datos meteorológicos de distintas ciudades del Ecuador

Temperatura															
Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Max	Min	Rango
Temp (San Gabriel)	14.9	15.3	15.3	15.2	14.7	14.0	13.6	13.7	14.9	14.4	15.0	14.9	15.3	13.6	1.8
Temp (Quito)	16.1	16.5	16.5	16.5	16.4	16.2	15.8	16.2	16.4	15.9	16.0	16.3	16.5	15.8	0.7
Temp (Riobamba)	11.6	12.2	11.8	12.0	11.4	10.6	9.9	9.9	10.8	11.3	11.9	12.1	12.2	9.9	2.3
Temp (Ingapirca)	12.9	13.6	13.2	13.3	12.6	11.4	10.9	10.7	12.1	12.6	13.4	13.4	13.6	10.7	2.9
Temp (Quevedo)	20.4	20.4	20.2	20.2	20.2	20.1	20.0	21.0	21.2	20.8	20.7	21.0	21.2	20.0	1.3
Temp (Pasaje)	21.8	21.8	21.8	21.9	21.9	21.7	21.1	21.1	21.4	21.1	21.2	21.4	21.9	21.1	0.8
Temp (Francisco de Orellana)	21.5	21.7	21.7	21.7	21.0	20.2	20.0	20.6	22.2	21.3	21.5	21.3	22.2	20.0	2.2
Temp (Zamora)	19.2	19.7	19.3	19.7	19.4	18.2	18.1	18.3	20.3	19.7	20.2	19.7	20.3	18.1	2.2
Temp (Chone)	25.6	25.8	25.7	25.4	25.5	25.2	25.1	25.7	25.4	25.6	26.0	26.3	26.3	25.1	1.2
Temp (Guayaquil)	25.4	25.0	24.6	25.0	25.3	25.7	25.6	25.6	25.4	25.1	25.2	25.4	25.7	24.6	1.1
Temp (Chumunde)	24.7	24.7	25.0	25.1	25.0	24.9	25.1	25.8	25.7	25.1	25.0	25.2	25.8	24.7	1.1
Temp (Santa Rosa)	21.8	21.8	21.8	21.9	21.9	21.7	21.1	21.1	21.4	21.1	21.2	21.4	21.9	21.1	0.8

Humedad relativa															
Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Max	Min	Rango
HR (San Gabriel)	85.1	86.3	84.6	86.3	85.3	84.0	82.4	78.8	77.9	83.7	87.9	88.0	88.0	77.9	10.1
HR (Quito)	82.5	84.9	85.4	85.2	83.2	78.7	74.9	70.9	71.2	78.6	83.5	82.6	85.4	70.9	14.5
HR (Riobamba)	85.5	87.8	88.0	87.2	85.9	84.8	82.0	79.4	76.7	80.6	83.3	83.4	88.0	76.7	11.2
HR (Ingapirca)	86.0	88.1	86.8	87.5	85.7	86.6	83.7	82.3	77.8	82.5	84.6	86.1	88.1	77.8	10.3
HR (Quevedo)	82.2	83.7	84.4	87.3	86.6	81.7	74.7	69.7	68.1	68.5	72.3	72.6	87.3	68.1	19.2
HR (Pasaje)	77.3	82.3	81.9	79.6	74.0	69.3	67.0	64.4	62.7	69.6	73.2	76.1	82.3	62.7	19.6
HR (Francisco de Orellana)	86.5	87.5	87.2	89.0	88.1	88.9	86.0	78.3	72.9	85.2	90.2	89.5	90.2	72.9	17.3
HR (Zamora)	80.9	82.3	81.3	81.7	77.7	79.5	77.0	73.0	64.8	72.7	74.5	80.5	82.3	64.8	17.5
HR (Chone)	82.2	83.3	85.9	85.2	83.5	81.0	74.3	65.9	62.4	66.3	68.4	69.7	85.9	62.4	23.5
HR (Guayaquil)	72.5	80.6	83.5	78.3	73.0	64.6	57.7	53.7	54.3	59.7	63.4	65.0	83.5	53.7	29.8
HR (Chumunde)	85.0	86.5	89.3	85.8	85.8	84.4	72.0	68.9	68.2	73.7	77.7	78.5	89.3	68.2	21.1
HR (Santa Rosa)	77.3	80.8	83.9	79.6	76.0	70.3	67.0	62.5	64.7	69.6	73.2	76.1	83.9	62.5	21.4

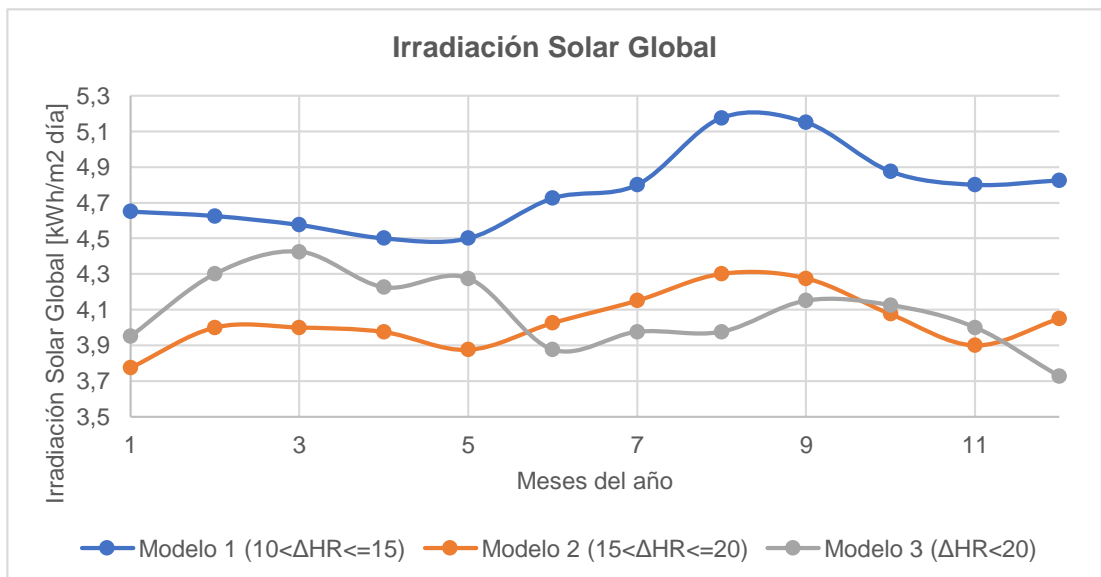
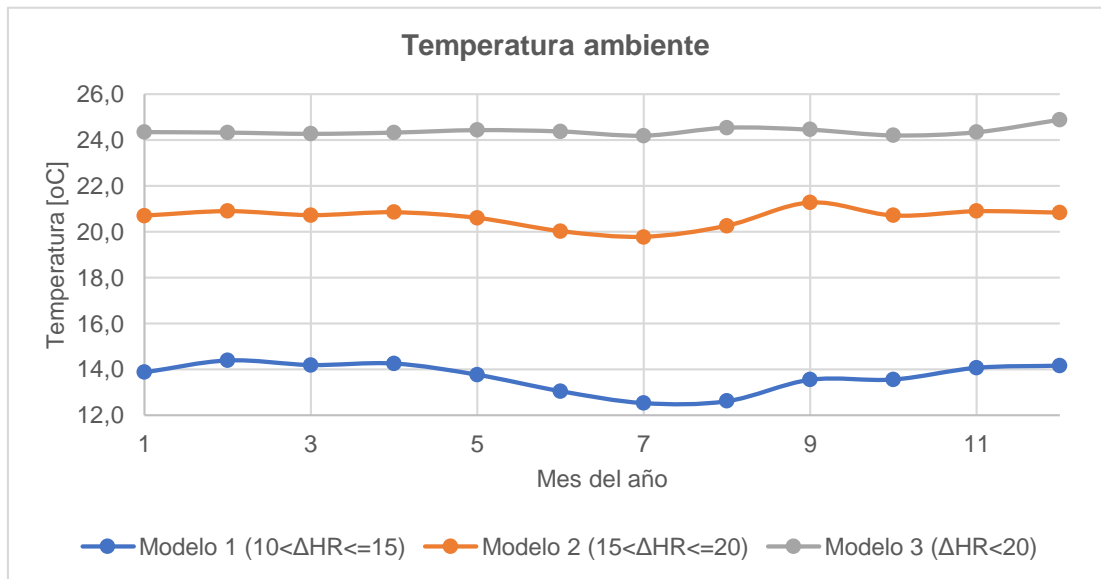
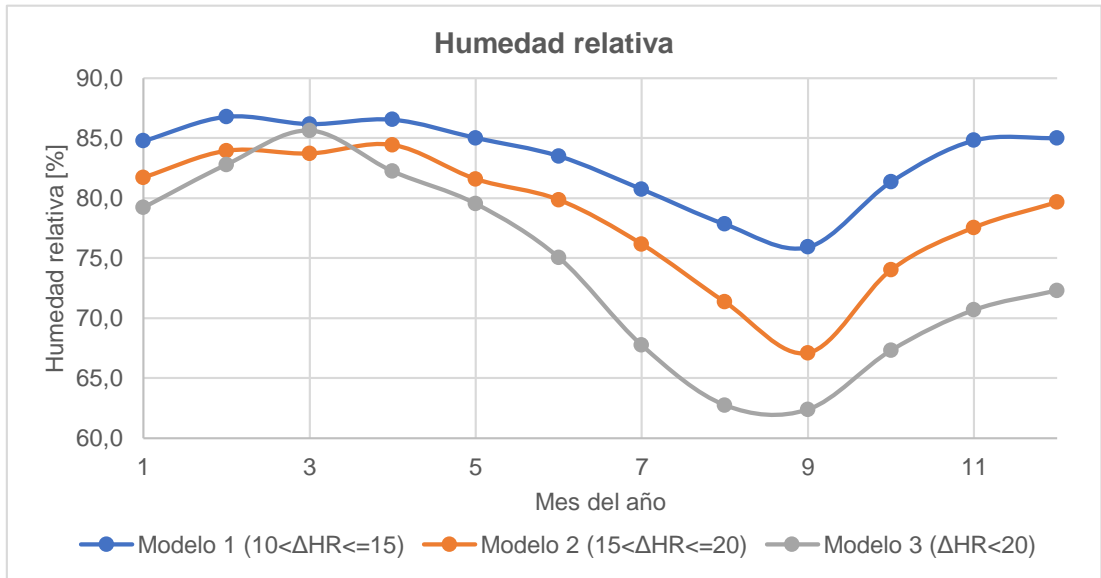
Irradiación global															
Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Max	Min	Rango
GHI (San Gabriel)	4.2	4.2	4.2	4.3	4.3	4.3	4.5	4.8	4.9	4.7	4.5	4.1	4.9	4.1	0.8
GHI (Quito)	5.4	5.4	5.2	4.8	4.8	5.7	5.4	6.0	6.0	5.4	5.4	6.0	6.0	4.8	1.2
GHI (Riobamba)	4.8	4.8	4.7	4.8	4.8	4.9	4.9	5.0	4.9	4.7	4.8	4.9	5.0	4.7	0.3
GHI (Ingapirca)	4.2	4.1	4.2	4.1	4.1	4.0	4.4	4.9	4.8	4.7	4.5	4.3	4.9	4.0	0.9
GHI (Quevedo)	3.9	4.0	3.9	3.7	3.6	3.6	3.8	4.1	4.3	4.1	4.0	4.1	4.3	3.6	0.7
GHI (Pasaje)	3.0	3.0	3.6	3.0	3.2	3.0	3.3	3.5	3.6	3.5	3.3	3.1	3.6	3.0	0.6
GHI (Francisco de Orellana)	4.6	4.8	4.2	4.7	4.3	4.8	4.9	4.9	4.6	4.5	4.2	4.5	4.9	4.2	0.7
GHI (Zamora)	3.6	4.2	4.3	4.5	4.4	4.7	4.6	4.7	4.6	4.2	4.1	4.5	4.7	3.6	1.1
GHI (Chone)	3.6	4.2	4.5	4.2	4.2	3.6	3.8	3.7	4.0	3.9	3.7	3.7	4.5	3.6	0.9
GHI (Guayaquil)	4.5	4.8	5.0	4.8	4.8	4.2	4.2	4.8	4.9	4.8	4.8	4.2	5.0	4.2	0.8
GHI (Chumunde)	3.5	4.2	4.6	3.9	3.9	3.7	4.2	3.9	4.2	4.1	4.1	4.0	4.6	3.5	1.1
GHI (Santa Rosa)	4.2	4.0	3.6	4.0	4.2	4.0	3.7	3.5	3.5	3.7	3.4	3.0	4.2	3.0	1.2

Modelos propuestos

Modelo 1 ($10 < \Delta HR \leq 15$)														
Latitud: -0.956°							Longitud: -78.448°							
Altitud: 2000 m														
Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Max	Min
HR [%]	84.8	86.8	86.2	86.6	85.0	83.5	80.8	77.8	75.9	81.4	84.8	85.0	86.8	75.9
T _∞ [°C]	13.9	14.4	14.2	14.3	13.8	13.1	12.5	12.6	13.6	13.6	14.1	14.2	14.4	12.5
GHI [kWh/m ² día]	4.7	4.6	4.6	4.5	4.5	4.7	4.8	5.2	5.2	4.9	4.8	4.8	5.2	4.6

Modelo 2 ($15 < \Delta HR \leq 20$)														
Latitud: -1.777°							Longitud: -78.791°							
Altitud: 0 m														
Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Max	Min
HR [%]	81.7	83.9	83.7	84.4	81.6	79.9	76.2	71.4	67.1	74.0	77.6	79.7	84.4	67.1
T _∞ [°C]	20.7	20.9	20.7	20.9	20.6	20.0	19.8	20.3	21.3	20.7	20.9	20.8	21.3	19.8
GHI [kWh/m ² día]	3.8	4.0	3.8	3.6	3.6	3.8	4.0	4.4	4.2	4.0	3.7	3.6	4.4	3.6

Modelo 3 ($\Delta HR < 20$)														
Latitud: -2.411°							Longitud: -79.933°							
Altitud: 0 m														
Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Max	Min
HR [%]	79.2	82.8	85.6	82.2	79.6	75.1	67.7	62.8	62.4	67.3	70.7	72.3	85.6	62.4
T _∞ [°C]	24.4	24.3	24.3	24.3	24.4	24.4	24.2	24.5	24.5	24.2	24.4	24.6	24.6	24.2
GHI [kWh/m ² día]	4.0	4.1	4.1	4.1	3.7	3.4	4.1	4.2	4.3	4.3	4.2	4.0	4.3	3.3



APÉNDICE C

CONDICIONES DE SECADO DEL CACAO

Datos psicrométricos del proceso de secado por modelo

La siguiente tabla muestra las condiciones psicrométricas en los principales puntos de estudio en el proceso de secado para cada modelo climatológico establecido.

Datos psicrométricos del proceso de secado

	Modelo 1			Modelo 2			Modelo 3		
	Entrada colector	Salida colector	Salida cámara	Entrada colector	Salida colector	Salida cámara	Entrada colector	Salida colector	Salida cámara
T_{bs} [°C]	14.40	55.00	24.27	21.30	55.00	28.64	24.90	55.00	30.73
HR [%]	86.80	9.30	95.00	84.40	13.30	95.00	85.60	17.20	95.00
T_{PR} [°C]	12.30	12.30	22.20	18.60	18.60	27.80	22.30	22.40	29.80
MR $\left[\frac{g_{H_2O}}{kg_{aire}}\right]$	11.35	11.29	23.40	13.10	13.14	23.77	17.01	17.10	26.93
ρ_{aire} $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$	0.96	0.84	0.92	1.19	1.07	1.53	1.17	1.06	1.14
h_{espec} $\left[\frac{kJ}{kg}\right]$	43.16	83.97	83.97	54.38	89.50	89.50	68.34	99.79	99.79

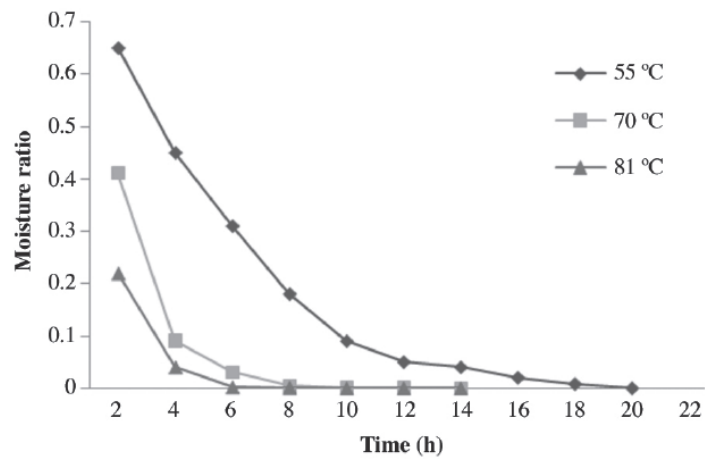
Determinación del tiempo de secado

Según la metodología establecida en la experimentación de Chinenye, Ogunlowo, & Olukunle (2010) aire seco a una temperatura y humedad relativa determinada entran a una cámara de secado con un muestra de cacao, donde el experimento se registraba el cambio en la masa de la muestra para determinar el contenido de humedad en esta.

Condiciones iniciales del aire seco

Parámetro	Valor
Temperatura de secado [°C]	55, 70, 81
Humedad relativa de entrada [%]	10
Humedad inicial del producto [%]	55
Humedad final del producto [%]	7

Bajo estas condiciones se obtuvieron tres curvas de secado correspondientes a cada temperatura de trabajo definida, siendo que para temperatura se obtuvo un tiempo de secado aproximado como se muestra en la figura



Contenido de humedad vs tiempo (Chinenye, Ogunlowo, & Olukunle, 2010)

En base a las condiciones de trabajo de la tabla 2.8 tenemos que la temperatura de trabajo máxima definida fue de 55°C por lo que se utilizó la curva con esa temperatura de la figura, donde se obtuvo un tiempo de secado de aproximadamente 15 horas.

APÉNDICE D

DETERMINACIÓN DEL CALOR REQUERIDO PARA EL PROCESO DE SECADO

El calor necesario para el proceso de secado fue determinado en base a las dimensiones de la cámara de secado, así como de las condiciones psicométricas establecidas para el modelo meteorológico crítico. El calor requerido se lo definió de la siguiente manera.

$$Q_{secado} = Q_{cacao} + Q_{H_2O} + Q_{vap} + Q_{rem} + Q_{perd}$$

Calor requerido para el calentamiento del cacao

Para determinar el calor requerido para calentar el cacao hasta su temperatura de trabajo se utilizó la siguiente formula:

$$Q_{cacao} = m_{ps} \bar{c}_{p_{cacao}} (T_{f_{secado}} - T_{i_{secado}})$$

De esta ecuación se conocen todos los valores a excepción de la masa de producto seco, por lo que se procedió a calcular este valor utilizando la masa total a secar y las humedades inicial y final en proceso de secado.

$$\omega_{i_{bh}} = \frac{m_{ph} - m_{ps}}{m_{ph}}$$

Para la masa del producto húmedo (m_{ph}) se asume que es igual a la capacidad nominal de la cámara de secado.

A partir de la ecuación se despejó la masa de producto seco lo que quedó en la siguiente expresión:

$$m_{ps} = m_{ph} (1 - \omega_{i_{bh}})$$

Calor sensible del agua

Con esta variable se representó la cantidad energía requerida para elevar la temperatura del agua que se evapora hasta la temperatura de secado.

$$Q_{H_2O} = m_{H_2O} c_{p_{H_2O}} (T_{f_{secado}} - T_{i_{secado}})$$

Se determinó la masa de agua a evaporar en base a la masa de sólido seco y la humedad inicial y final en base seca, las cuales se calcularon con la siguiente ecuación:

$$\omega_{db} = \frac{\omega_{hb}}{1 - \omega_{hb}}$$

Con esta ecuación se determinaron $\omega_{i db}$ y $\omega_{f db}$ para luego proceder con el cálculo de m_{H_2O} mediante la siguiente expresión:

$$m_{H_2O} = m_{ps} (\omega_{i db} - \omega_{f db})$$

Calor de vaporización del agua

Esta es la cantidad de energía utilizada para evaporar el agua contenida en el producto, este valor fue en base a la cantidad de agua evaporada y la entalpía de vaporización. Se la halló utilizando la siguiente fórmula:

$$Q_{vap} = m_{H_2O} h_{vap}$$

Siendo que h_{vap} se lo encontró utilizando las tablas de líquido saturado a la temperatura indicada.

Calor remanente en el producto seco

Fue el calor residual del agua que no se pudo evaporar durante el proceso de secado, se la encontró utilizando la siguiente fórmula:

$$Q_{rem} = m_{rem} c_{p_{H_2O}} (T_{f_{secado}} - T_{i_{secado}})$$

Para la determinación de la masa de agua remanente se utilizó la masa de producto y la humedad en base seca del producto.

$$m_{rem} = m_{ps} * \omega_{f db}$$

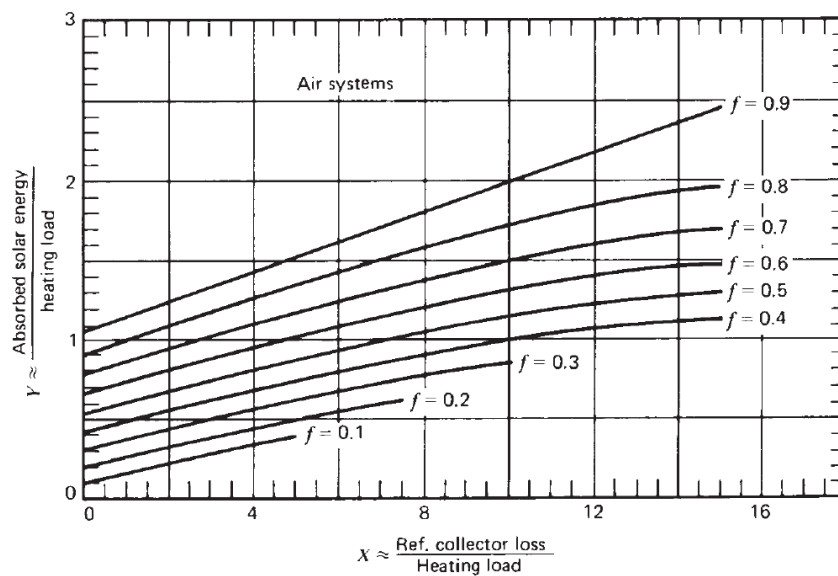
Calor de pérdidas en la cámara de secado

El calor de pérdidas fue determinado cuando se realizó el dimensionamiento de la cámara de secado. Por lo que utilizando la ecuación general del calor de secado se procedió a calcular el calor necesario para el proceso de secado.

APÉNDICE E

MÉTODO DE F-CHART

El método de f-chart es un método iterativo que describe el abastecimiento de la radiación solar recibida en base a la irradiancia mensual, así como de factores meteorológicos tales como la temperatura ambiente, todo esto para sistemas de captación activa.



Curvas del factor de abastecimiento comunes para colectores de aire (Duffie & Beckman, 2013)

$$f = 1.040Y - 0.065X - 0.159Y^2 + 0.00187X^2 - 0.0095Y^3$$

$$X = F_R U_L \times \frac{F'_R}{F_R} \times (T_{ref} - \overline{T_\infty}) \times \Delta t \times \frac{A_c}{C_{req}}$$

$$Y = F_R (\tau\alpha)_n \times \frac{F'_R}{F_R} \times \frac{(\overline{\tau\alpha})}{(\tau\alpha)_n} \times \overline{H_T} N_m \times \frac{A_c}{C_{req}}$$

Para la determinación de la carga mensual energética se determinó el calor de secado en base a los días necesarios para completar el proceso y los días del mes.

$$C_{req} = \frac{Q_{secado}}{t_{secado}} * N_m$$

El cálculo consiste en iterar para todos los meses del año y diferentes áreas, y grafica el valor f vs el área del colecto, donde se ubica el valor f por encima de un valor de 0.5 lo cual indica que se abastece más de la mitad del calor necesario para el proceso, siendo este el valor del área del colector.

Para la determinación de la radiación solar global mensual para una superficie inclinada se toma en consideración el modelo de cielo isotrópico lo que permitió calcular la radiación global y difusa mensuales promedios mediante las siguientes ecuaciones:

$$\frac{\overline{H_T}}{\overline{H}} = \left(1 - \frac{\overline{H_d}}{\overline{H}}\right) R_b + \frac{\overline{H_d}}{\overline{H}} \left(\frac{1 + \cos \beta}{2}\right) + \rho_g \left(\frac{1 - \cos \beta}{2}\right)$$

De esta expresión, R_b representa la relación entre la radiación solar directa mensual en una superficie inclinada y una superficie horizontal, esta fórmula depende a su vez del ángulo horario de la superficie horizontal (ω_s) y el ángulo horario sobre la superficie inclinada (ω'_s). Cabe destacar que estos valores dependen de la ubicación geográfica del lugar de estudio.

Hemisferio Norte

$$\overline{R_b} = \frac{\cos(\phi - \beta) \cos \delta \sin \omega'_s + \left(\frac{\pi}{180}\right) \omega'_s \sin(\phi - \beta) \sin \delta}{\cos \phi \cos \delta \sin \omega_s + \left(\frac{\pi}{180}\right) \omega_s \sin \phi \sin \delta}$$

$$\omega_s = \text{acos}(-\tan \phi \tan \delta)$$

$$\omega'_s = \min \left\{ \begin{array}{c} \omega_s \\ \text{acos}[-\tan(\phi - \beta) \tan \delta] \end{array} \right.$$

Hemisferio Sur

$$\overline{R_b} = \frac{\cos(\phi + \beta) \cos \delta \sin \omega'_s + \left(\frac{\pi}{180}\right) \omega'_s \sin(\phi - \beta) \sin \delta}{\cos \phi \cos \delta \sin \omega_s + \left(\frac{\pi}{180}\right) \omega_s \sin \phi \sin \delta}$$

$$\omega_s = \text{acos}(-\tan \phi \tan \delta)$$

$$\omega'_s = \min \left\{ \begin{array}{c} \omega_s \\ \text{acos}[-\tan(\phi + \beta) \tan \delta] \end{array} \right.$$

Para determinar la radiación difusa sobre la superficie inclinada se establece la correlación con el índice de claridad $\overline{K_T}$ que depende de la radiación global extraterrestre $\overline{H_0}$.

$$\frac{\overline{H_d}}{\overline{H}} = 1.311 - 3.022\overline{K_T} + 3.427\overline{K_T}^2 - 1.821\overline{K_T}^3$$

$$\overline{K_T} = \frac{\overline{H}}{\overline{H_0}}$$

$$H_0 = \frac{24G_{sc}}{\pi} \left[1 + 0.033 \cos\left(\frac{360n}{365}\right) \right] \left(\cos\phi \cos\delta \sin\omega_s + \frac{\pi\omega_s}{180} \sin\phi \sin\delta \right)$$

Definida la metodología para calcular la radiación solar sobre la superficie inclinada se establece el mínimo de radiación y se aplica el cálculo de F – chart en base al factor de consumo necesario.

APÉNDICE F

DISEÑO DE LA ESTRUCTURA SOPORTE

Diseño estructural del secador solar

El diseño y cálculo de la estructura del secador solar constará de dos partes: una estructura para la cámara de secado y una estructura para el colector solar. El diseño y simulación de cada estructura se lo realizó en Autodesk Inventor 2018 por separado.

El material con el cual se diseñó la estructura es con tubería estructural cuadrada de acero negro, calidad SAE J403 1008, del proveedor ACEROS DIPAC (Ver Apéndice K)

Diseño de estructura de la cámara de secado

Esta estructura soportará el peso de cada uno de los componentes que conforman el ensamble de la cámara de secado, adicional el peso del producto a secar, en este caso 20 kg. La masa total de la cámara de secado es de 73.31 kg.

$$m_{total} = 73.31kg$$
$$W = 73.31kg * 9.81 m/s^2 = 719.17N$$

Realizando el reemplazo correspondiente, tenemos la carga distribuida a lo largo de la tubería estructural cuadrada de 709mm de longitud.

$$1,014.34 N/m$$

Se procede a determinar las reacciones y realizar los diagramas de cortante y momento flector que soportará la viga.

$$\sum M_A = 0$$
$$-\left(\frac{1014.34N}{m} * 0.709m * 0.3545m\right) + 0.709R_B = 0$$
$$R_B = 359.58 N$$
$$R_A = 359.58 N$$

- Diagrama cortante

$$V_2 = V_1 - wx$$
$$V_2 = 359.58 - (1014.34 * 0.709) = -359.59 N$$

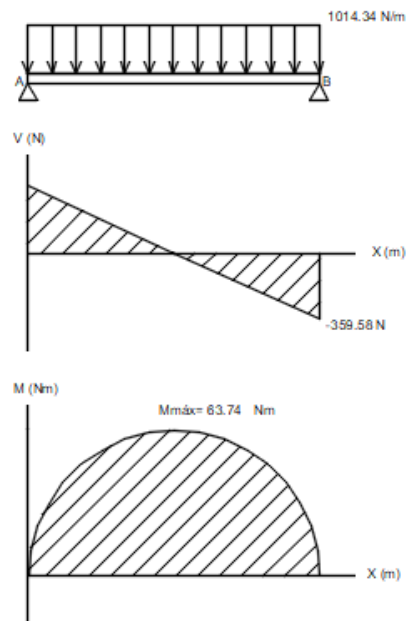
- Diagrama momento

$$A_1 = \frac{359.58 * 0.3545}{2} = 63.74 \text{ Nm}$$

$$M_2 = M_1 + A_1 = 0 + 63.74 = 63.74 \text{ Nm}$$

Con lo cual tenemos el momento máximo, $M_{m\acute{a}x} = 63.74 \text{ Nm}$

A continuaci3n, se muestra los diagramas de cortante y momento determinados mediante los c3lculos previos realizados.



Diagramas de cortante y momento flector para la c3mara de secado.

Empleando la definici3n de factor de seguridad y esfuerzo normal en vigas representado por las siguientes ecuaciones:

$$FS = \frac{S_y}{\sigma}$$

$$\sigma = \frac{M}{S}$$

Se combina las dos ecuaciones anteriores para reemplazar el m3dulo resistente, S . Se considera un $FS=1.5$.

$$S = \frac{FS * M}{S_y}$$

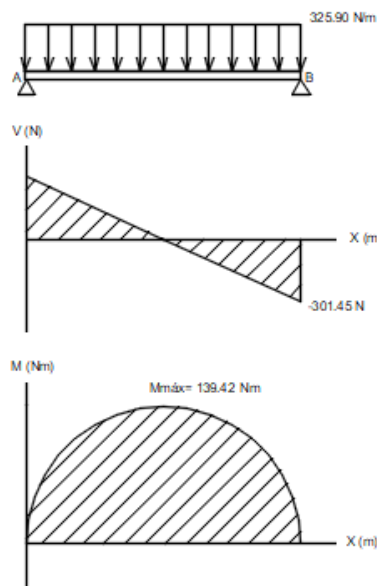
$$S = \frac{1.5 * 63.74 \text{ Nm}}{286 \times 10^6} = 3.34 \times 10^{-7} \text{ m}^3$$

$$S = 0.334 \text{ cm}^3$$

Diseño de estructura del colector solar

Esta estructura fue diseñada en base al colector solar seleccionado, en este caso el colector solar de placa plana con placa absorbidora adicional. La masa total que presenta este colector es de 61.46kg, por consiguiente, el peso es de 602.92 N.

El procedimiento para hallar el módulo resistente S es similar al realizado para la estructura de la cámara de secado. Por tanto, se muestra a continuación los resultados y diagramas obtenidos. El largo de la tubería estructural cuadrada para el colector es de 1850mm.



Diagramas de cortante y momento flector para el colector solar.

Por tanto, el módulo resistente es:

$$S = 0.731 \text{ cm}^3$$

Obtenido los módulos resistentes para las dos estructuras, se escoge el de mayor magnitud y se procede a la selección de la tubería estructural cuadrada del catálogo ACEROS DIPAC. La tubería seleccionada es de 25X25X2mm.

APÉNDICE G

RESULTADOS DEL DISEÑO DE LA CÁMARA DE SECADO

Evaluación del calor de pérdidas por modelo climatológico

	MODELO 1		MODELO 2		MODELO 3	
	Espuma de poliuretano	Sin aislante	Espuma de poliuretano	Sin aislante	Espuma de poliuretano	Sin aislante
q_p [W]	33.95	991.17	28.19	833.77	24.88	741.78
T_s [K]	328	328	328	328	328	328
T_∞ [K]	287	287	294	294	298	298
L_{m1} [m]	0.0015	-	0.0015	-	0.0015	-
L_a [m]	0.05	-	0.05	-	0.05	-
L_{m2} [m]	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
K_m $\left[\frac{W}{m K}\right]$	202	202	202	202	202	202
K_a $\left[\frac{W}{m K}\right]$	0.023	-	0.023	-	0.023	-
h_{cr} $\left[\frac{W}{m^2 K}\right]$	11.89	12.93	12.23	13.12	12.43	13.23
h_o $\left[\frac{W}{m^2 K}\right]$	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3
h_r $\left[\frac{W}{m^2 K}\right]$	4.59	5.63	4.93	5.82	5.13	5.93
A_{tcs} [m ²]	1.87	1.87	1.87	1.87	1.87	1.87
v $\left[\frac{m}{s}\right]$	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
ε	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
σ $\left[\frac{W}{m^2 K^4}\right]$	5.67E-08	5.67E-08	5.67E-08	5.67E-08	5.67E-08	5.67E-08
T_{se} [K]	288.5	328	295.2	328	299.1	328
T'_{se} [K]	288.5	328.0	295.2	328.0	299.1	328.0
$q_p/q_{p_{sa}}$ [%]	3.43%	-	3.38%	-	3.35%	-
Q_p [kJ]	1,833.55	-	1,725.00	-	1,612.54	-

Resultados de cálculo de calor secado por producto

PRODUCTO: CACAO

	MODELO 1	MODELO 2	MODELO 3
$Q_{\text{café}} \text{ [kJ]}$	1,075.57	884.07	789.63
$Q_{\text{agua}} \text{ [kJ]}$	1,587.55	1,304.88	1,165.49
$Q_{\text{vap}} \text{ [kJ]}$	21,914.28	22,145.46	22,145.46
$Q_{\text{reman}} \text{ [kJ]}$	129.18	106.21	94.87
$Q_{\text{perd}} \text{ [kJ]}$	1,815.77	1,709.86	1,617.89
$Q_{\text{secado}} \text{ [kJ]}$	26,522.35	26,150.48	25,813.33
$q_{\text{secado}} \text{ [W]}$	491.15	427.30	398.35
$\dot{m}_{\text{aire}} \text{ [kg/s]}$	0.0120	0.0122	0.0127

PRODUCTO: CAFÉ

	MODELO 1	MODELO 2	MODELO 3
$Q_{\text{café}} \text{ [kJ]}$	1,508.47	1,189.19	1,022.61
$Q_{\text{agua}} \text{ [kJ]}$	1257.67	991.48	852.60
$Q_{\text{vap}} \text{ [kJ]}$	22,064.45	22,064.45	22,064.45
$Q_{\text{reman}} \text{ [kJ]}$	161.92	127.65	109.77
$Q_{\text{perd}} \text{ [kJ]}$	2,178.92	2,011.65	1,887.54
$Q_{\text{secado}} \text{ [kJ]}$	27,171.43	26,384.42	25,936.96
$q_{\text{secado}} \text{ [W]}$	419.31	366.45	343.08
$\dot{m}_{\text{aire}} \text{ [kg/s]}$	0.0103	0.0104	0.0109

PRODUCTO: CEBADA

	MODELO 1	MODELO 2	MODELO 3
$Q_{\text{cebada}} \text{ [kJ]}$	641.38	496.75	421.30
$Q_{\text{agua}} \text{ [kJ]}$	259.14	200.70	170.22
$Q_{\text{vap}} \text{ [kJ]}$	4,843.42	4,843.42	4,843.42
$Q_{\text{reman}} \text{ [kJ]}$	253.30	196.19	166.39
$Q_{\text{perd}} \text{ [kJ]}$	456.16	495.13	480.16
$Q_{\text{secado}} \text{ [kJ]}$	6,453.40	6,232.19	6,081.47
$q_{\text{secado}} \text{ [W]}$	358.52	247.31	211.16
$\dot{m}_{\text{aire}} \text{ [kg/s]}$	0.0088	0.0070	0.0067

APÉNDICE H

RESULTADOS DEL DISEÑO DEL COLECTOR SOLAR

Radiación solar global sobre una superficie inclinada

Modelo 1															
Mes	Día	H [kWh/m ²]	N	Declinacion δ [°]	Latitud λ [°]	Ángulo de inclinación β [°]	Ángulo acimutal γ [°]	ω_s [°]	ω'_s [°]	G_{sc} [W/m ²]	H_0 [kWh/m ²]	K_t	R_b	H_d [kWh/m ²]	H_t [kWh/m ²]
Enero	17	4.650	17	-20.917	-0.956	10	0	90.365	86.512	1367	10.163	0.4576	0.886	2.192	4.378
Febrero	16	4.625	47	-12.955	-0.956	10	0	90.220	87.902	1367	10.470	0.4417	0.926	2.256	4.457
Marzo	16	4.575	75	-2.418	-0.956	10	0	90.040	89.615	1367	10.539	0.4341	0.976	2.269	4.527
Abril	15	4.500	105	9.415	-0.956	10	0	89.841	89.841	1367	10.177	0.4422	1.033	2.193	4.584
Mayo	15	4.500	135	18.792	-0.956	10	0	89.675	89.675	1367	9.576	0.4699	1.081	2.064	4.706
Junio	11	4.725	162	23.086	-0.956	10	0	89.592	89.592	1367	9.204	0.5133	1.105	1.968	5.024
Julio	17	4.800	198	21.184	-0.956	10	0	89.629	89.629	1367	9.331	0.5144	1.094	1.994	5.074
Agosto	16	5.175	228	13.455	-0.956	10	0	89.771	89.771	1367	9.855	0.5251	1.053	2.098	5.350
Septiembre	15	5.150	258	2.217	-0.956	10	0	89.963	89.963	1367	10.331	0.4985	0.998	2.217	5.155
Octubre	15	4.875	288	-9.599	-0.956	10	0	90.162	88.457	1367	10.424	0.4677	0.942	2.247	4.732
Noviembre	14	4.800	318	-18.912	-0.956	10	0	90.328	86.874	1367	10.194	0.4709	0.897	2.197	4.539
Diciembre	10	4.825	344	-23.050	-0.956	10	0	90.407	86.117	1367	10.015	0.4818	0.875	2.156	4.501

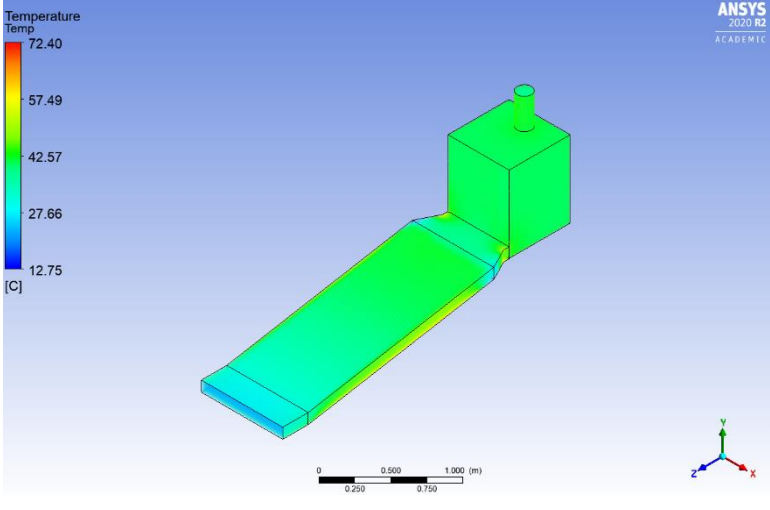
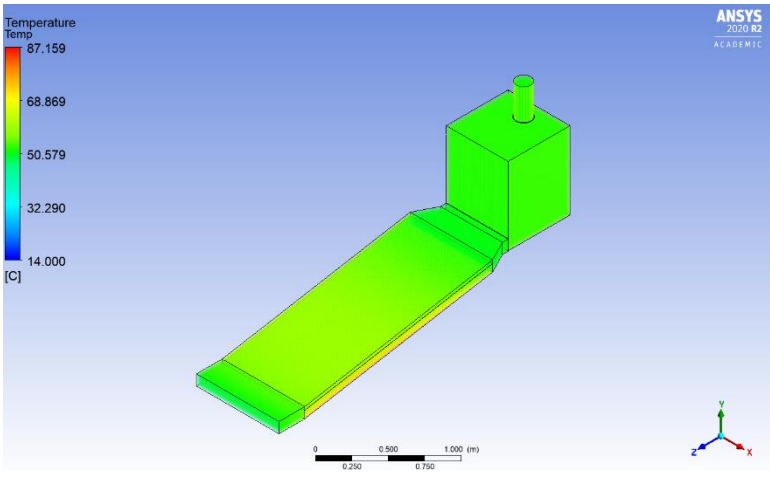
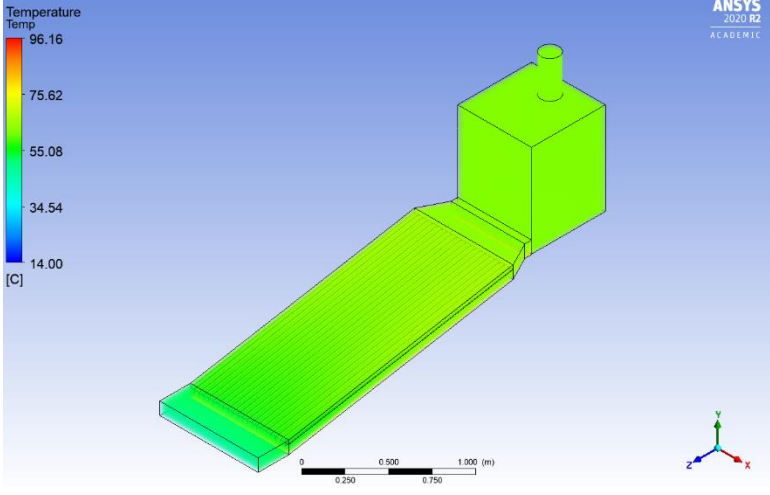
Modelo 2															
Mes	Día	H [kWh/m ²]	N	Declinacion δ [°]	Latitud λ [°]	Ángulo de inclinación β [°]	Ángulo acimutal γ [°]	ω_s [°]	ω'_s [°]	G_{sc} [W/m ²]	H_0 [kWh/m ²]	K_t	R_b	H_d [kWh/m ²]	H_t [kWh/m ²]
Enero	17	3.775	17	-20.917	-1.777	10	0	90.679	86.834	1367	10.246	0.3684	0.889	2.158	3.599
Febrero	16	4.000	47	-12.955	-1.777	10	0	90.409	88.095	1367	10.521	0.3802	0.929	2.229	3.878
Marzo	16	4.000	75	-2.418	-1.777	10	0	90.075	89.650	1367	10.545	0.3793	0.979	2.234	3.967
Abril	15	3.975	105	9.415	-1.777	10	0	89.705	89.705	1367	10.135	0.3922	1.036	2.159	4.045
Mayo	15	3.875	135	18.792	-1.777	10	0	89.395	89.395	1367	9.499	0.4079	1.084	2.034	4.035
Junio	11	4.025	162	23.086	-1.777	10	0	89.242	89.242	1367	9.112	0.4417	1.108	1.964	4.254
Julio	17	4.150	198	21.184	-1.777	10	0	89.311	89.311	1367	9.246	0.4489	1.097	1.993	4.367
Agosto	16	4.300	228	13.455	-1.777	10	0	89.575	89.575	1367	9.799	0.4388	1.056	2.111	4.429
Septiembre	15	4.275	258	2.217	-1.777	10	0	89.931	89.931	1367	10.319	0.4143	1.001	2.213	4.283
Octubre	15	4.075	288	-9.599	-1.777	10	0	90.301	88.600	1367	10.460	0.3896	0.945	2.226	3.977
Noviembre	14	3.900	318	-18.912	-1.777	10	0	90.609	87.162	1367	10.269	0.3798	0.899	2.176	3.731
Diciembre	10	4.050	344	-23.050	-1.777	10	0	90.756	86.475	1367	10.107	0.4007	0.878	2.159	3.825

Modelo 3															
Mes	Día	H [kWh/m ²]	N	Declinacion δ [°]	Latitud λ [°]	Ángulo de inclinación β [°]	Ángulo acimutal γ [°]	ω_s [°]	ω'_s [°]	G_{sc} [W/m ²]	H_0 [kWh/m ²]	K_t	R_b	H_d [kWh/m ²]	H_t [kWh/m ²]
Enero	17	3.950	17	-20.917	-2.411	10	0	90.922	87.081	1367	10.309	0.3831	0.891	2.188	3.763
Febrero	16	4.300	47	-12.955	-2.411	10	0	90.555	88.244	1367	10.558	0.4073	0.931	2.260	4.164
Marzo	16	4.425	75	-2.418	-2.411	10	0	90.102	89.678	1367	10.549	0.4195	0.981	2.265	4.389
Abril	15	4.225	105	9.415	-2.411	10	0	89.600	89.600	1367	10.102	0.4182	1.038	2.169	4.309
Mayo	15	4.275	135	18.792	-2.411	10	0	89.179	89.179	1367	9.439	0.4529	1.086	2.035	4.476
Junio	11	3.875	162	23.086	-2.411	10	0	88.972	88.972	1367	9.041	0.4286	1.111	1.945	4.094
Julio	17	3.975	198	21.184	-2.411	10	0	89.065	89.065	1367	9.179	0.4330	1.100	1.976	4.180
Agosto	16	3.975	228	13.455	-2.411	10	0	89.423	89.423	1367	9.754	0.4075	1.058	2.088	4.090
Septiembre	15	4.150	258	2.217	-2.411	10	0	89.907	89.907	1367	10.307	0.4026	1.003	2.203	4.161
Octubre	15	4.125	288	-9.599	-2.411	10	0	90.408	88.709	1367	10.486	0.3934	0.947	2.234	4.029
Noviembre	14	4.000	318	-18.912	-2.411	10	0	90.827	87.384	1367	10.325	0.3874	0.901	2.195	3.827
Diciembre	10	3.725	344	-23.050	-2.411	10	0	91.027	86.750	1367	10.177	0.3660	0.880	2.141	3.539

APÉNDICE I

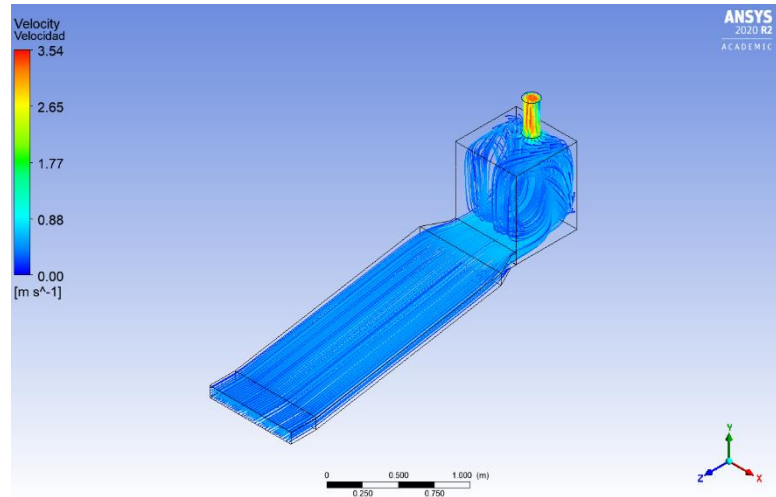
RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN EN ANSYS FLUENT

Modelo 1 (Región Sierra)

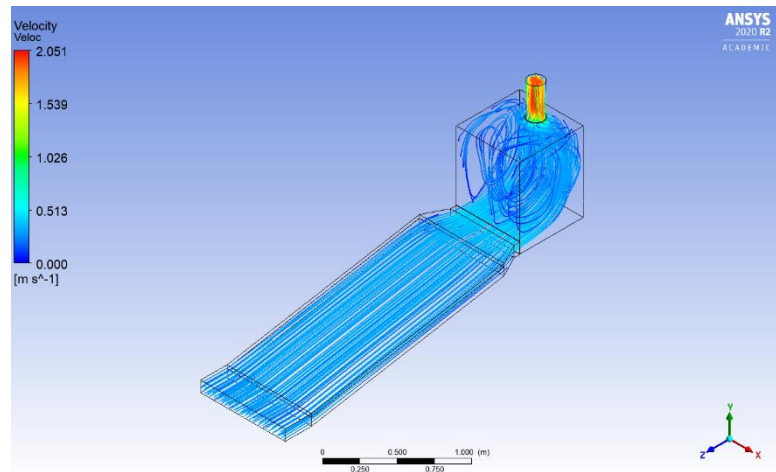
Distribución de temperatura	
<p>Colector con placa absorbadora</p>	
<p>Colector con placa absorbadora adicional</p>	
<p>Colector con placa absorbadora adicional y aletas</p>	

Distribución de Velocidad

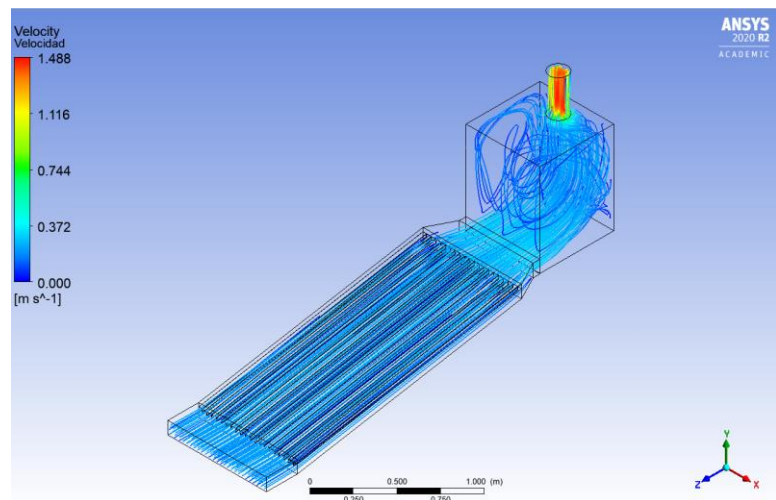
**Colector con placa
absorbedora**



**Colector con placa
absorbedora adicional**

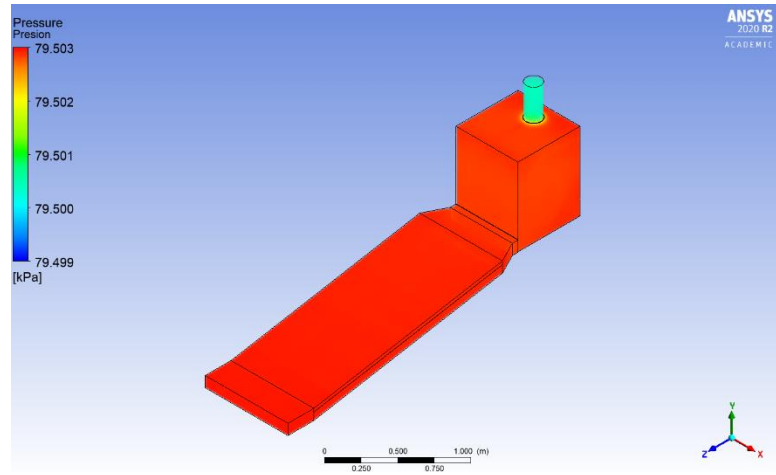


**Colector con placa
absorbedora adicional
y aletas**

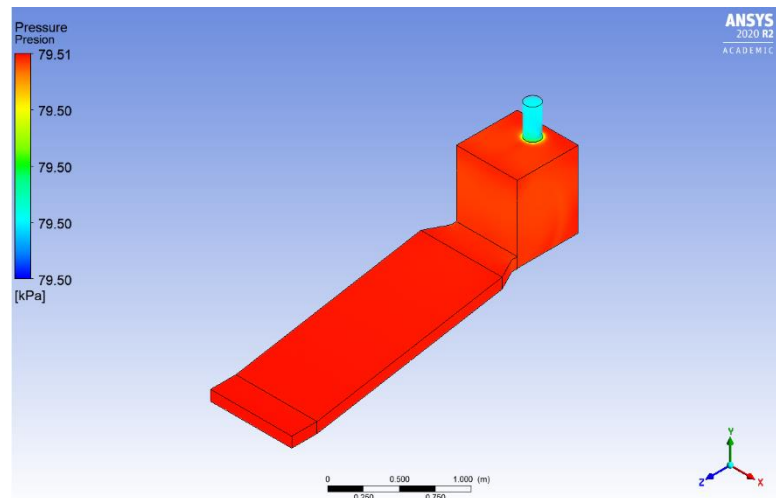


Distribución de Presión

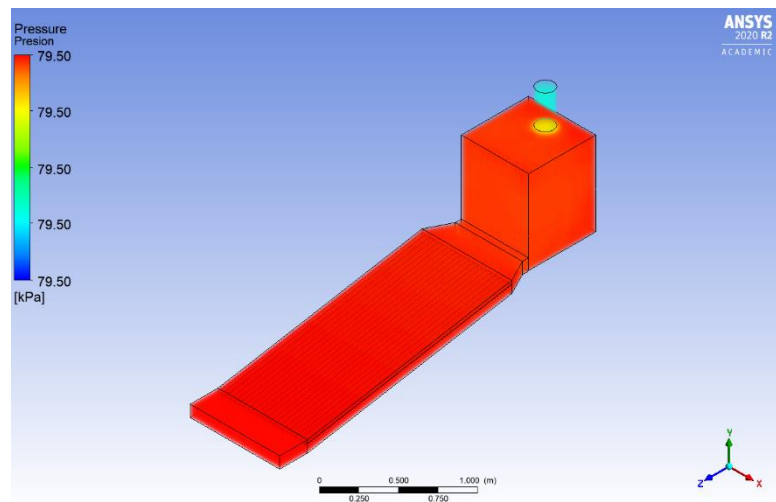
**Colector con placa
absorbedora**



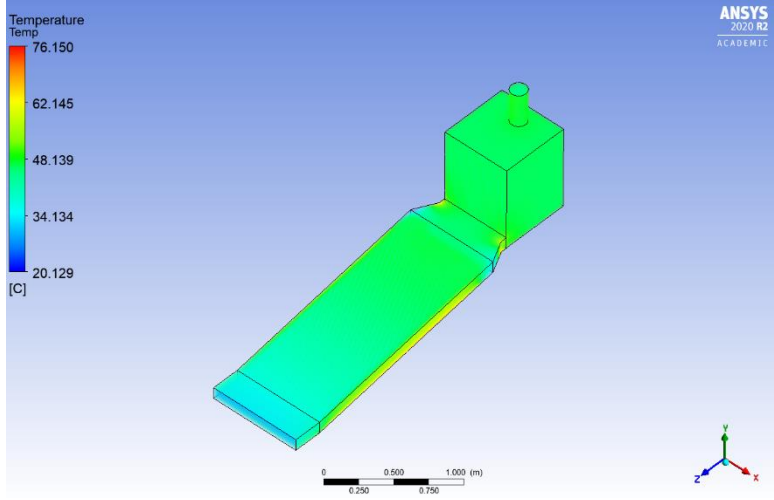
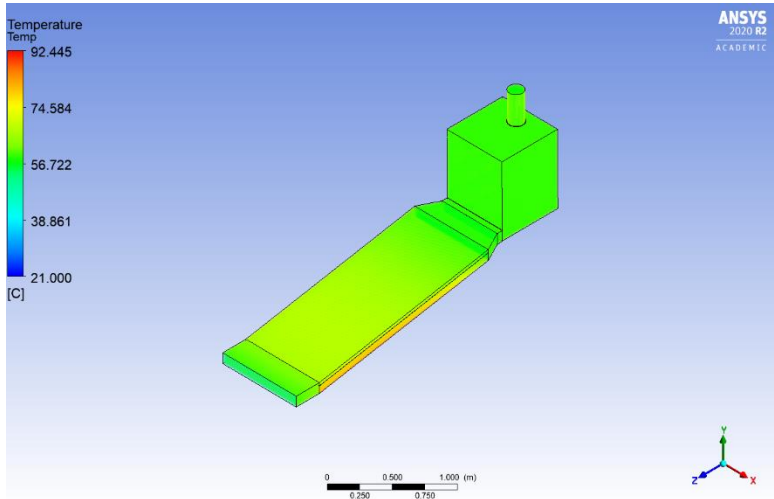
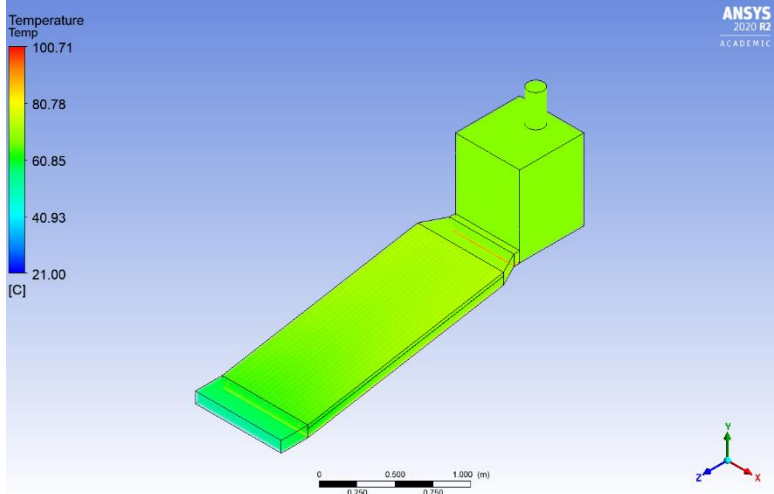
**Colector con placa
absorbedora adicional**



**Colector con placa
absorbedora adicional
y aletas**

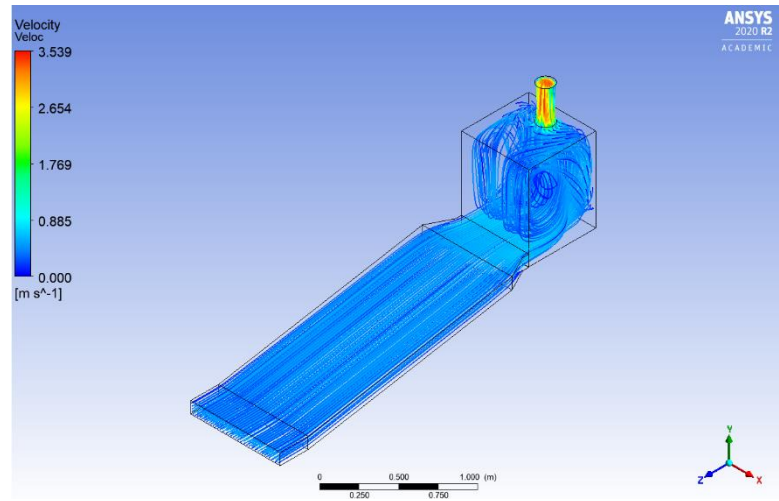


Modelo 2 (Región Costa y Oriente)

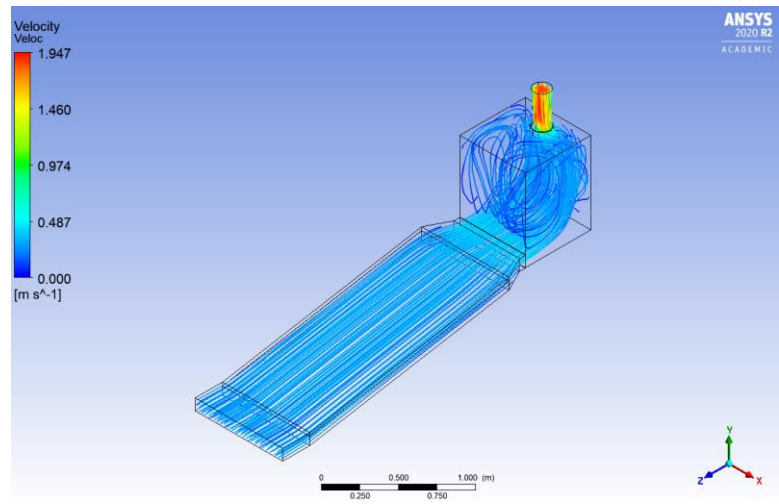
Distribución de temperatura	
<p>Colector con placa absorbedora</p>	
<p>Colector con placa absorbedora adicional</p>	
<p>Colector con placa absorbedora adicional y aletas</p>	

Distribución de Velocidad

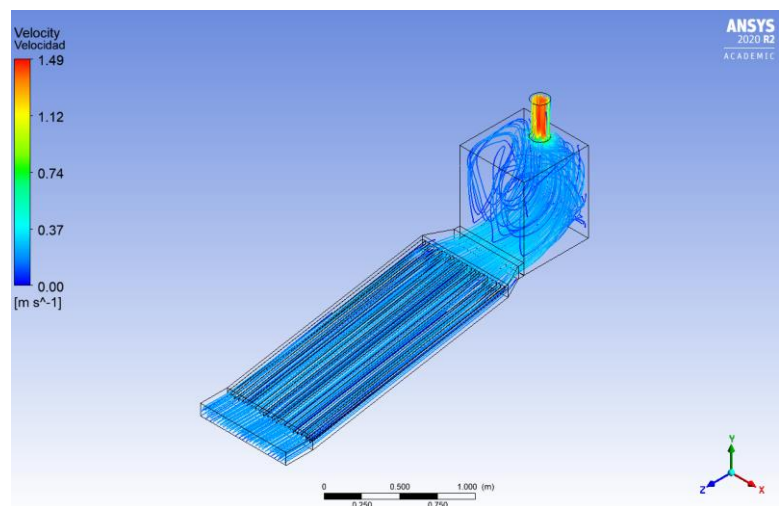
**Colector con placa
absorbedora**



**Colector con placa
absorbedora adicional**

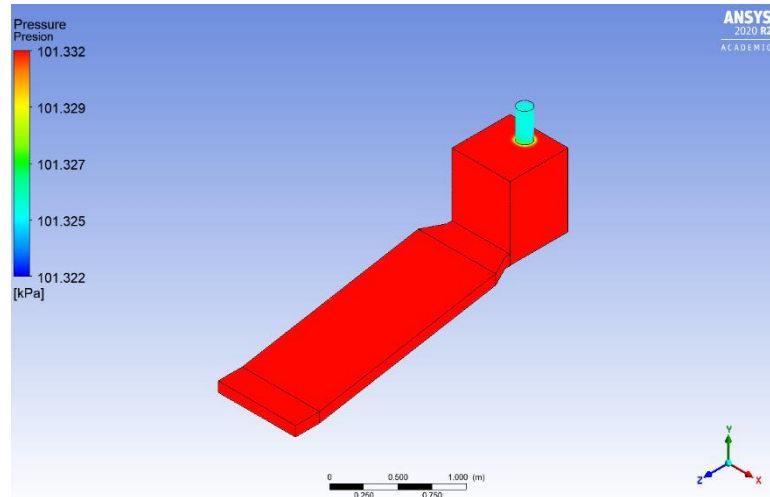


**Colector con placa
absorbedora adicional
y aletas**

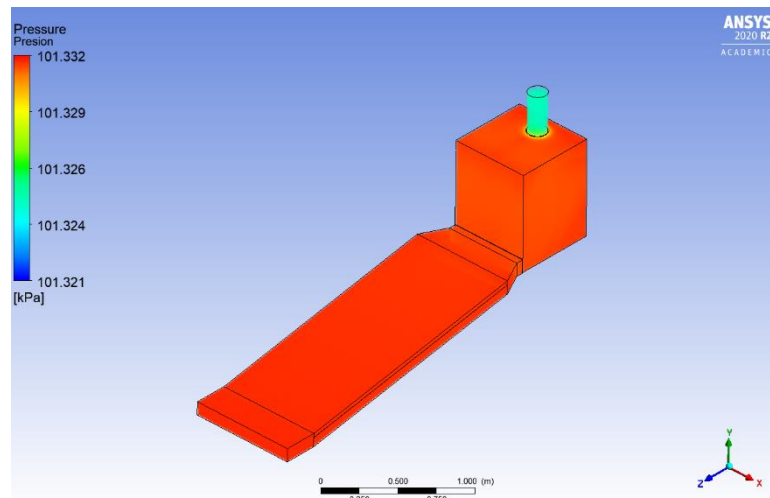


Distribución de Presión

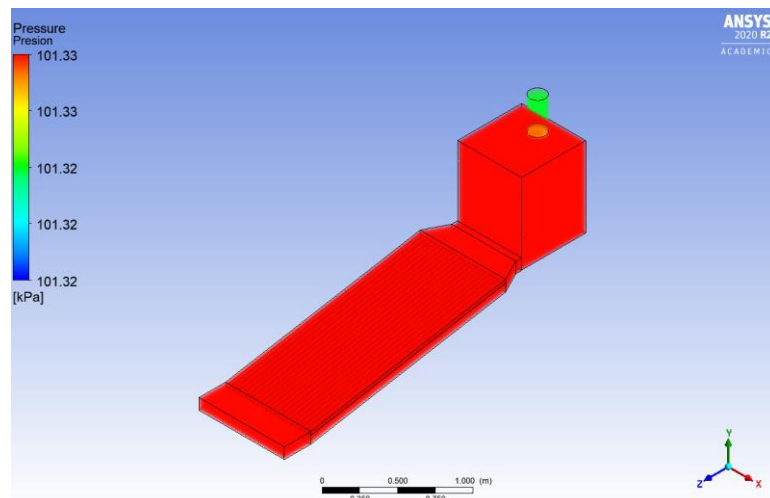
**Colector con placa
absorbedora**



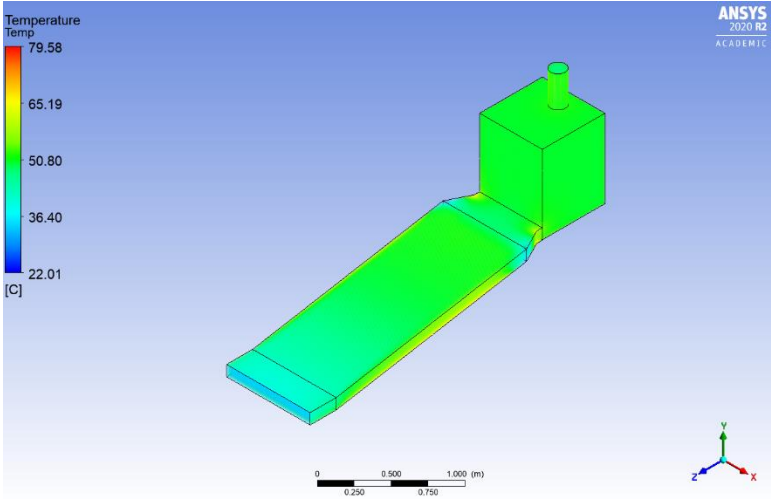
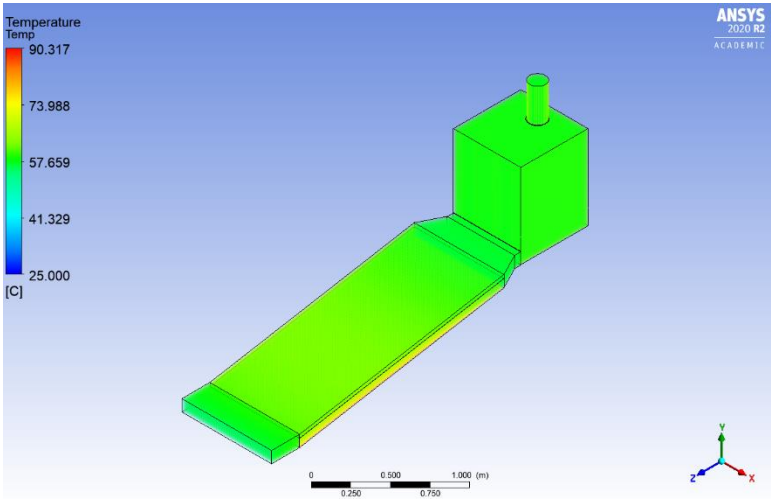
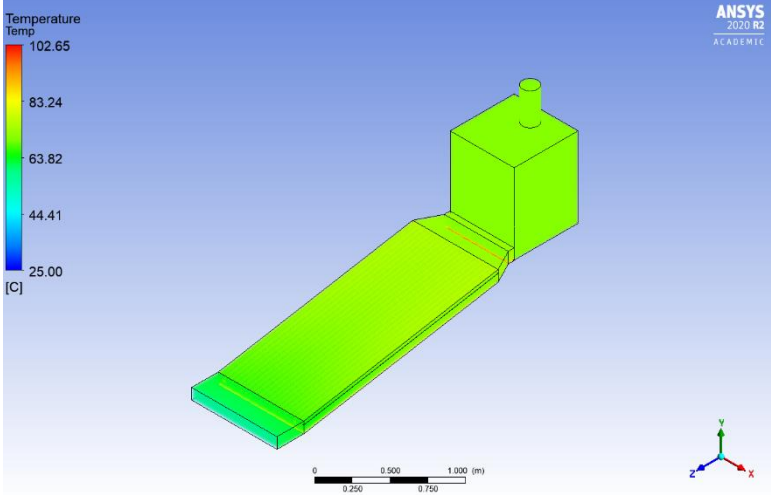
**Colector con placa
absorbedora adicional**



**Colector con placa
absorbedora adicional
y aletas**

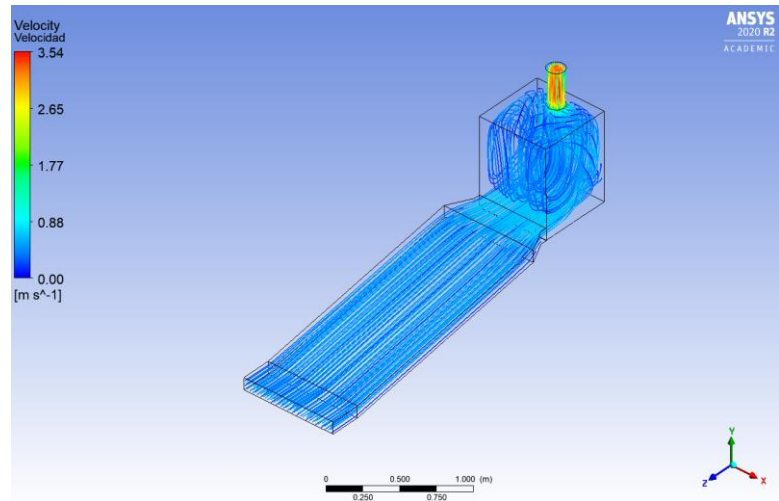


Modelo 3 (Región Costa)

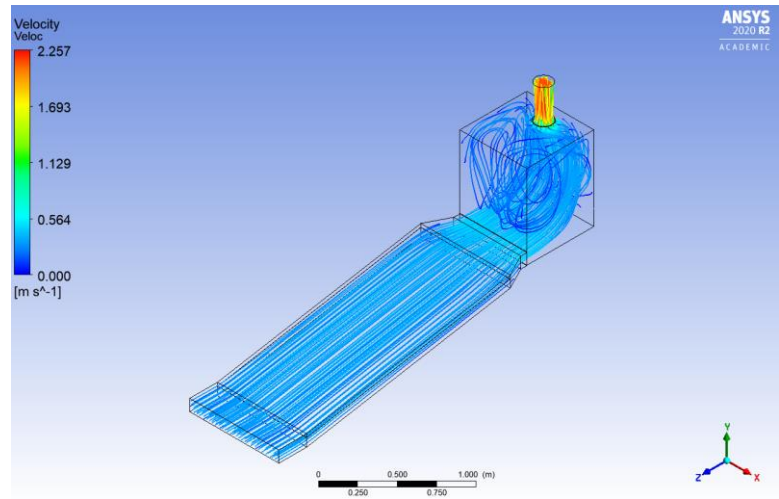
Distribución de temperatura	
<p>Colector con placa absorbadora</p>	 <p>Temperature Temp 79.58 65.19 50.80 36.40 22.01 [C]</p> <p>ANSYS 2020 R2 ACADEMIC</p> <p>0 0.250 0.500 0.750 1.000 (m)</p> <p>X Y Z</p>
<p>Colector con placa absorbadora adicional</p>	 <p>Temperature Temp 90.317 73.988 57.659 41.329 25.000 [C]</p> <p>ANSYS 2020 R2 ACADEMIC</p> <p>0 0.250 0.500 0.750 1.000 (m)</p> <p>X Y Z</p>
<p>Colector con placa absorbadora adicional y aletas</p>	 <p>Temperature Temp 102.65 83.24 63.82 44.41 25.00 [C]</p> <p>ANSYS 2020 R2 ACADEMIC</p> <p>0 0.250 0.500 0.750 1.000 (m)</p> <p>X Y Z</p>

Distribución de Velocidad

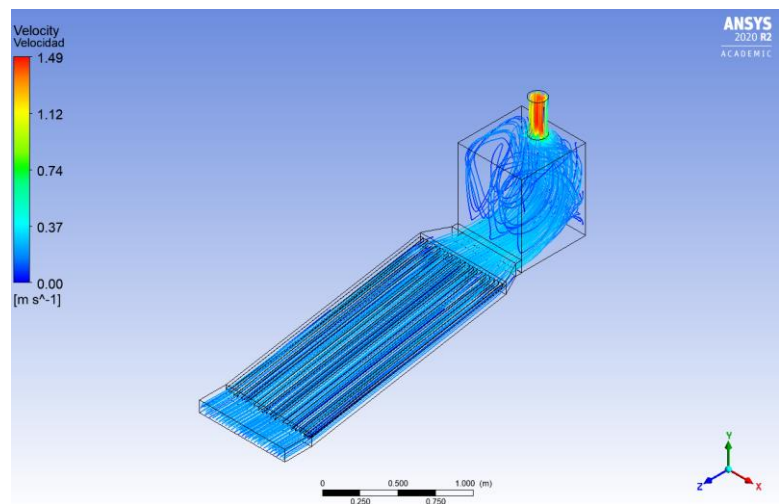
**Colector con placa
absorbedora**



**Colector con placa
absorbedora adicional**

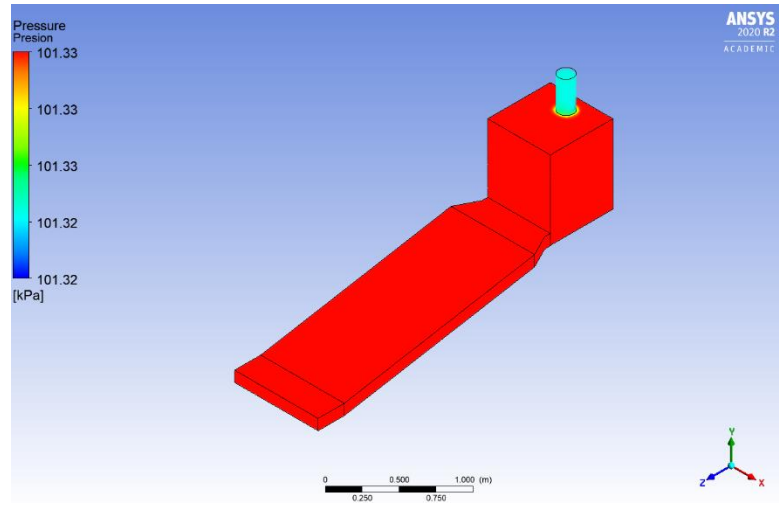


**Colector con placa
absorbedora adicional
y aletas**

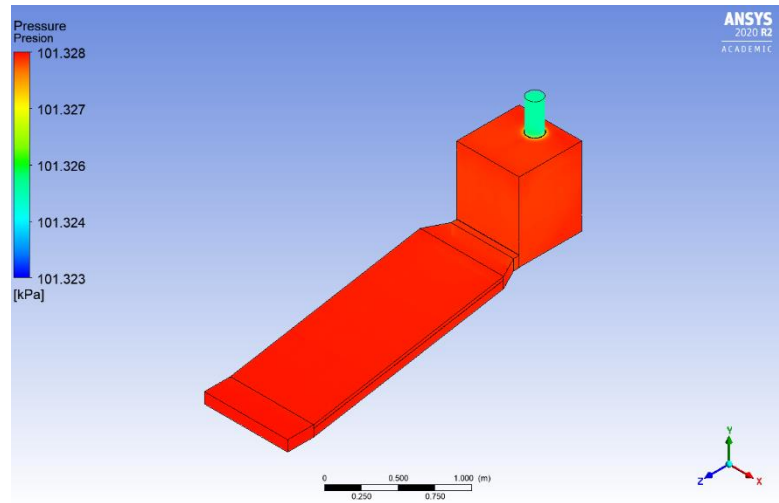


Distribución de Presión

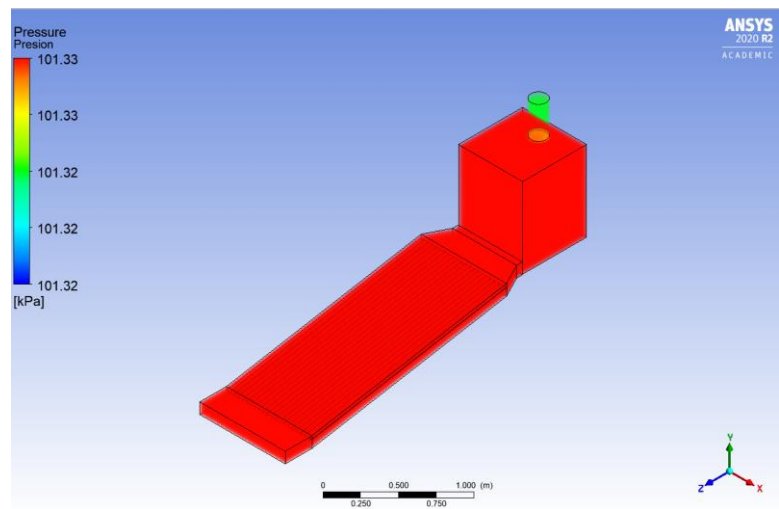
**Colector con placa
absorbedora**



**Colector con placa
absorbedora adicional**



**Colector con placa
absorbedora adicional
y aletas**



APÉNDICE J

COSTOS DE FABRICACIÓN DE CADA DISEÑO COLECTOR SOLAR PROPUESTO

COLECTOR CON PLACA ABSORBEDORA								
Insumo	Dimensión		Peso Unitario		Peso Total		P. Unitario	Costo
	Cantidad	Unidad	Cantidad	Unidad	Cantidad	Unidad		
Plancha de vidrio 10mm	1.48	m ²	26.00	kg/m2	38.48	kg	\$ 98.04	\$145.10
Plancha de Aluminio 1220X2440X1mm	1.81	m ²	2.70	kg/m2	4.89	kg	\$ 13.08	\$ 23.67
Plancha de poliuretano 1000X1000X40mm	2.00	m ²	1.52	kg/m2	3.04	kg	\$ 14.07	\$ 28.14
Plancha de Aluminio 1220X2440X3mm	2.00	m ²	8.09	kg/m2	16.18	kg	\$ 40.55	\$ 81.10
Plancha de Aluminio 1220X2440X1,5mm	0.58	m ²	4.05	kg/m2	2.35	kg	\$ 18.73	\$ 10.86
Tubo estructural cuadrado 25x25x2mm	17.23	m	1.47	kg/m	25.33	kg	\$ 1.85	\$ 31.88
Mano de obra								\$ 90.00
Costo de diseño								\$ 90.00
Total								\$500.75

COLECTOR CON PLACA ABSORBEDORA ADICIONAL								
Insumo	Dimensión		Peso Unitario		Peso Total		P. Unitario	Costo
	Cantidad	Unidad	Cantidad	Unidad	Cantidad	Unidad		
Plancha de vidrio 10mm	1.48	m ²	26.00	kg/m2	38.48	kg	\$ 98.04	\$145.10
Plancha de Aluminio 1220X2440X1mm	3.29	m ²	2.70	kg/m2	8.88	kg	\$ 13.08	\$ 43.03
Plancha de poliuretano 1000X1000X40mm	2.00	m ²	1.52	kg/m2	3.04	kg	\$ 14.07	\$ 28.14
Plancha de Aluminio 1220X2440X3mm	2.00	m ²	8.09	kg/m2	16.18	kg	\$ 40.55	\$ 81.10
Plancha de Aluminio 1220X2440X1,5mm	0.58	m ²	4.05	kg/m2	2.35	kg	\$ 18.73	\$ 10.86
Tubo estructural cuadrado 25x25x2mm	17.23	m	1.47	kg/m	25.33	kg	\$ 1.85	\$ 31.88
Mano de obra								\$ 99.00
Costo de diseño								\$101.25
Total								\$540.36

COLECTOR CON PLACA ABSORBEDORA ADICIONAL Y ALETAS								
Insumo	Dimensión		Peso Unitario		Peso Total		P. Unitario	Costo
	Cantidad	Unidad	Cantidad	Unidad	Cantidad	Unidad		
Plancha de vidrio 10mm	1.48	m ²	26.00	kg/m2	38.48	kg	\$ 98.04	\$145.10
Plancha de Aluminio 1220X2440X1mm	3.29	m ²	2.70	kg/m2	8.88	kg	\$ 13.08	\$ 43.03
Plancha de poliuretano 1000X1000X40mm	2.00	m ²	1.52	kg/m2	3.04	kg	\$ 14.07	\$ 28.14
Plancha de Aluminio 1220X2440X3mm	2.94	m ²	8.09	kg/m2	23.78	kg	\$ 40.55	\$119.22
Plancha de Aluminio 1220X2440X1,5mm	0.58	m ²	4.05	kg/m2	2.35	kg	\$ 18.73	\$ 10.86
Tubo estructural cuadrado 25x25x2mm	17.23	m	1.47	kg/m	25.33	kg	\$ 1.85	\$ 31.88
Mano de obra								\$294.00
Costo de diseño								\$116.25
Total								\$788.48

APÉNDICE K

TABLAS DE MATERIALES CONSIDERADOS EN EL DISEÑO DEL SECADOR SOLAR


- PERFIL ESTRUCTURAL CUADRADO

TUBERÍA

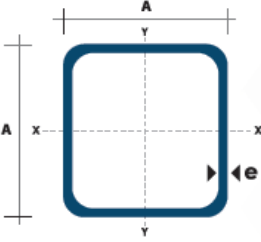
TUBO ESTRUCTURAL CUADRADO


Especificaciones Generales:

Norma:	NTE INEN 2415
Calidad:	SAE J 403 1008
Acabado:	Acero negro o Galvanizado
Largo Normal:	6.00m y medidas especiales
Dimensiones:	Desde 20mm a 100mm
Espesores:	Desde 1,20mm a 5,00mm



Dimensiones			Area	Ejes X-Xe Y-Y		
A mm	Espesor mm (e)	Peso Kg/m	Area cm ²	I cm ⁴	W cm ³	I cm ³
20	1.2	0.72	0.90	0.53	0.53	0.77
20	1.5	0.88	1.05	0.58	0.58	0.74
20	2.0	1.15	1.34	0.69	0.69	0.72
25	1.2	0.90	1.14	1.08	0.87	0.97
25	1.5	1.12	1.35	1.21	0.97	0.95
25	1.5	1.12	1.35	1.21	0.97	0.95
25	2.0	1.47	1.74	1.48	1.18	0.92
30	1.2	1.09	1.38	1.91	1.28	1.18
30	1.5	1.35	1.65	2.19	1.46	1.15
30	2.0	1.78	2.14	2.71	1.81	1.13
40	1.2	1.47	1.80	4.38	2.19	1.25
40	1.5	1.82	2.25	5.48	2.74	1.56
40	2.0	2.41	2.94	6.93	3.46	1.54
40	3.0	3.54	4.44	10.20	5.10	1.52
50	1.5	2.29	2.85	11.06	4.42	1.97
50	2.0	3.03	3.74	14.13	5.65	1.94
50	3.0	4.48	5.61	21.20	4.48	1.91
60	2.0	3.66	3.74	21.26	7.09	2.39
60	3.0	5.42	6.61	35.06	11.69	2.34
75	2.0	4.52	5.74	60.47	13.46	2.97
75	3.0	6.71	8.41	71.54	19.08	2.92
75	4.0	8.59	10.95	89.98	24.00	2.87
100	2.0	6.17	7.74	122.99	24.60	3.99
100	3.0	9.17	11.41	176.95	35.39	3.94
100	4.0	12.13	14.95	226.09	45.22	3.89
100	5.0	14.40	18.36	270.57	54.11	3.84





www.dipacmanta.com

- **PLANCHA DE ALUMINIO LISA**

ALUMINIO PLANCHAS LISAS

ALUMINIO



Especificaciones Generales:

DESCRIPCIÓN DE ACUERDO A NORMA	ASTM	A 1200
	TEMPLE	H 14

Aplicaciones:

- Estructuras de furgones para camiones
- Forros interiores de buses
- Recubrimiento de paredes
- Utensilios de cocina
- Recipientes para alimentos líquidos corrosivos
- Fabricación de estructuras para lámparas
- Álabes de turbinas
- Ductos
- Maquinado de piezas automotrices y de máquinas
- Bandejas para alimentos

COMPOSICIÓN QUÍMICA (%)								
Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Ti	Al
0,24	0,57	0,030	0,025	0,01	0,047	-	0,01	REMAINDER
ESPESOR mm		RESISTENCIA MECÁNICA			% ELONGACIÓN			
0,7 - 4,00		127- 135 Kg/mm2			6,5 - 7,5			
DIMENSIONES 1220 x 2440mm (estándar)								

- **ÁNGULOS EN ACERO INOXIDABLE**

ACERO INOXIDABLE

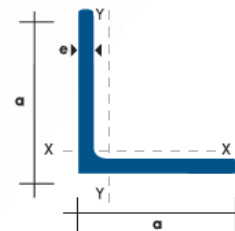
ÁNGULOS ACERO INOXIDABLE

Especificaciones Generales:

Calidad:	AISI 304
Largo normal:	6,00 m
Espesores:	De 3mm a 6mm



Plg.	DIMENSIONES		PROPIEDADES
	ANCHO (a) mm	ESPESOR (e) mm	PESO Kg/mts
1"	25	3	1.14
1 1/2"	40	3	1.88
1 1/2"	40	4	2.52
1 1/2"	40	6	3.783
2"	50	3	2.363
2"	50	4	3.151
2"	50	6	4.728



- AISLANTE TÉRMICO



Plancha pura de espuma de Poliuretano

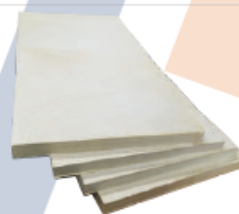


- Plancha pura de espuma de poliuretano PUR de alta densidad 38kg/m³ +/- 3kg/m³ elaborada con fines térmicos y acústicos.
- El largo máximo está limitado por la condición de transporte y manipulación (Mín. 1,0 m – Máx. 9,0 m) , largos superiores sujetos a consulta.
- El uso de las planchas de poliuretano está ampliamente extendido en sector de la construcción. Su aplicación se centra fundamentalmente en el aislamiento de paredes, muros, suelos, cubiertas y forjados. Las planchas de poliuretano rígido ofrecen una de las soluciones con mejor comportamiento térmico y de menor espesor disponible en el mercado.
- Es perfecto contra las humedades, ya que es impermeable, pero permite que transpire. Es resistente al paso del tiempo, ya que puede durar hasta 50 años sin que se deteriore.
- Tiene una diversidad de aplicaciones en el sector de la construcción y en otros, como por ejemplo para aislar camiones.



Características Técnicas

Terminación	-Lisa acabado -Apariencia irregular	Espesores (mm)	Aislación 40, 50, 80 100	Adaptabilidad	— Recto	Usos	Cámaras Frigoríficas Pisos de cámaras de congelación Pisos de túneles de congelación Furgones Paredes que requieran aislamiento térmico o acústico
-------------	--	----------------	--------------------------------	---------------	---------	------	--



Lotización INMACONSA,
Pasaje 43A y Pechiche

(04) 2103772
(04) 2103532

0984604250

ventas@ecuapoliuretanos.com

GUAYAQUIL - ECUADOR

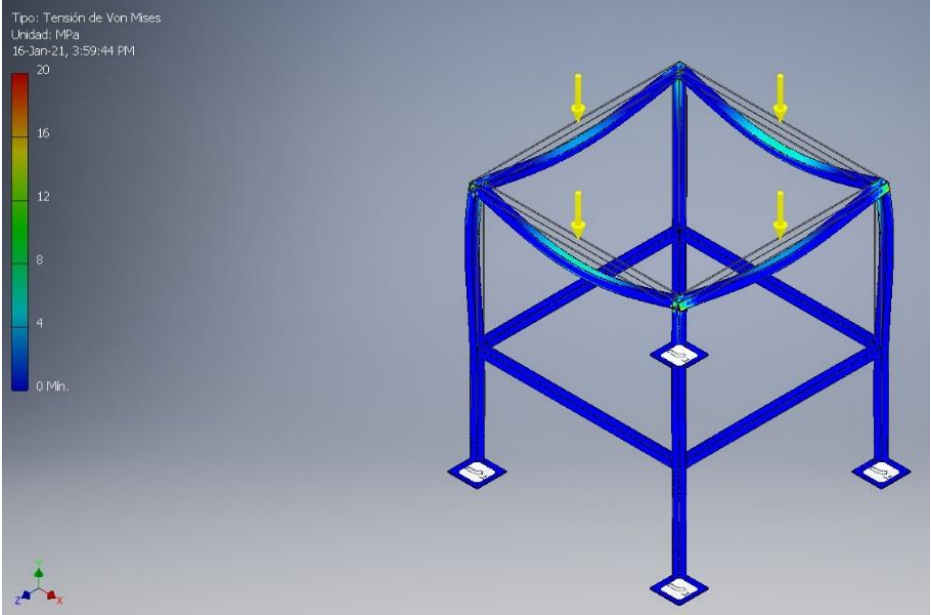
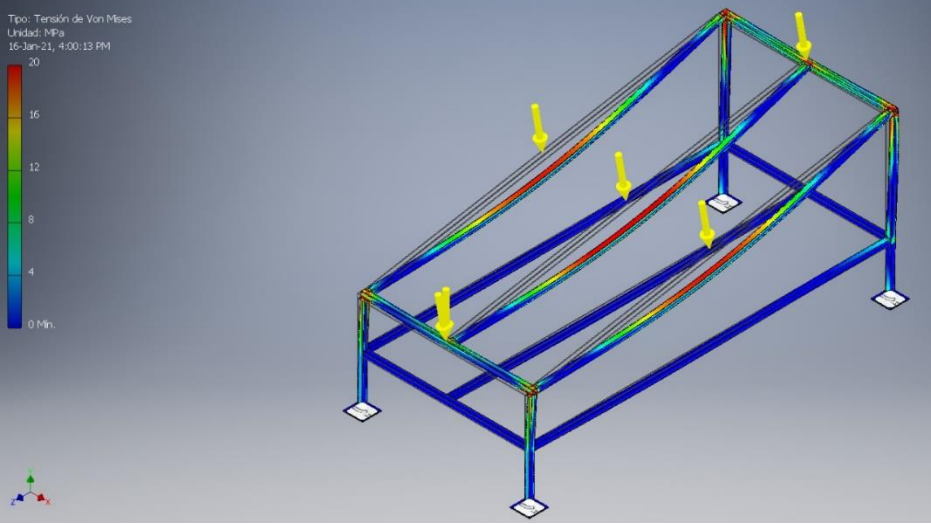


Ecuapoliuretanos
www.ecuapoliuretanos.com



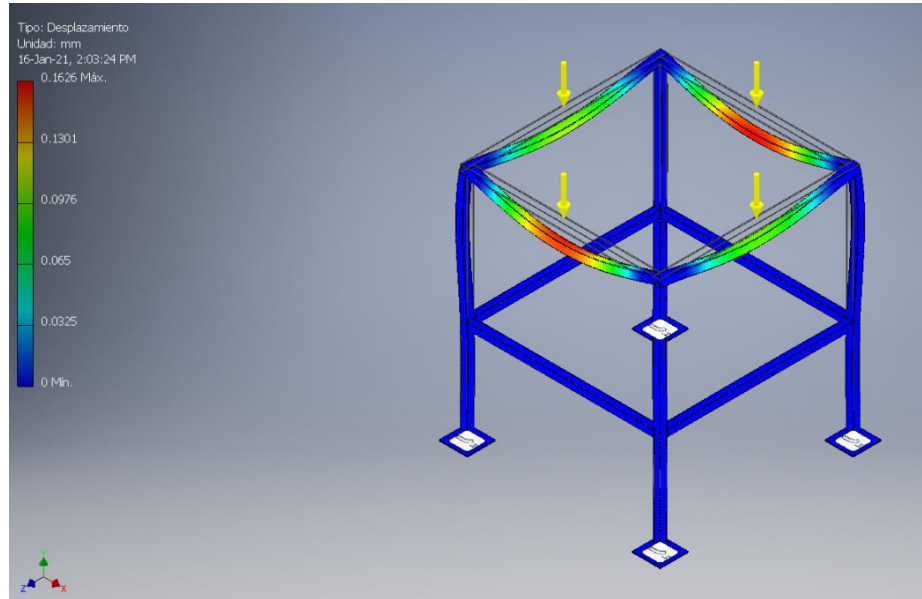
APÉNDICE L

RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS EN AUTODESK INVENTOR

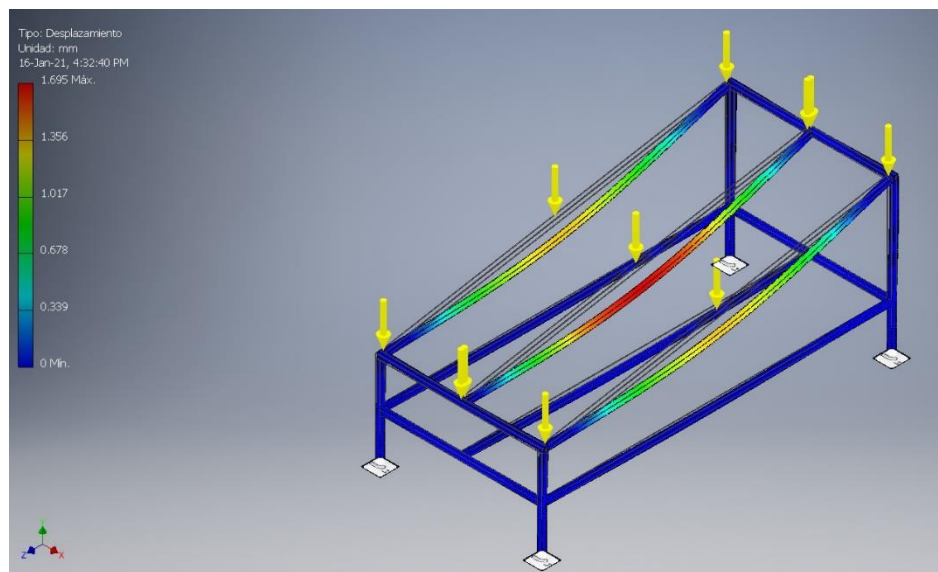
Esfuerzo Von Mises	
<p>Estructura: cámara de secado</p>	
<p>Estructura: colector solar</p>	

Desplazamiento

**Estructura: cámara
de secado**

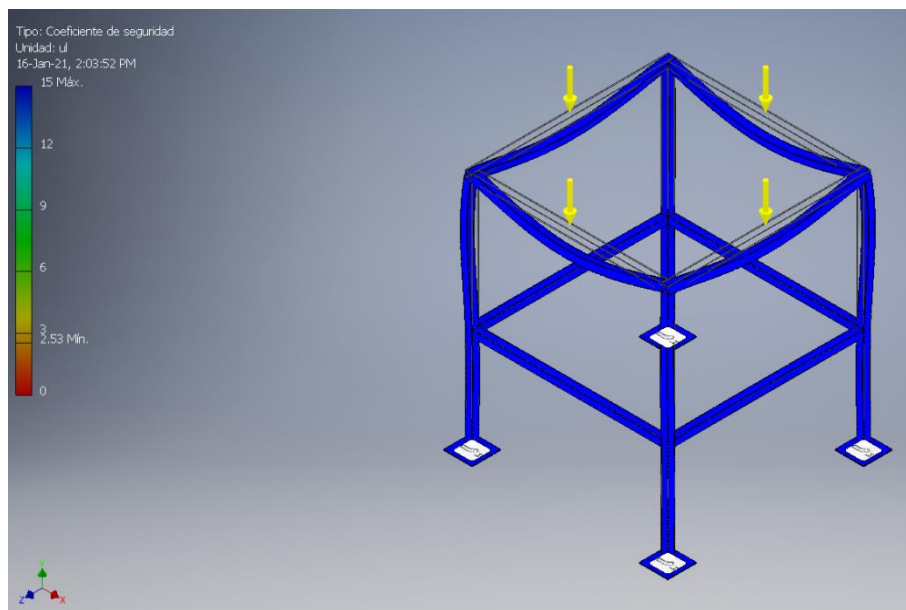


**Estructura: colector
solar**

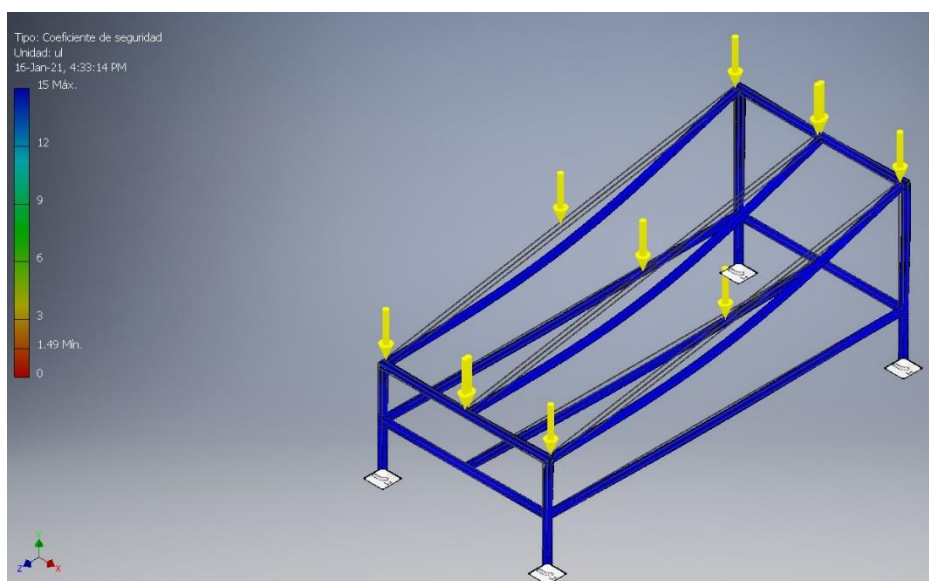


Factor de seguridad

Estructura: cámara de secado



Estructura: colector solar


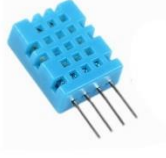


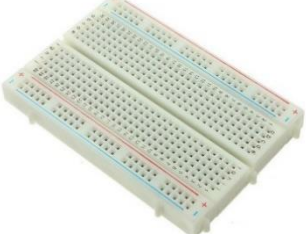


APÉNDICE M

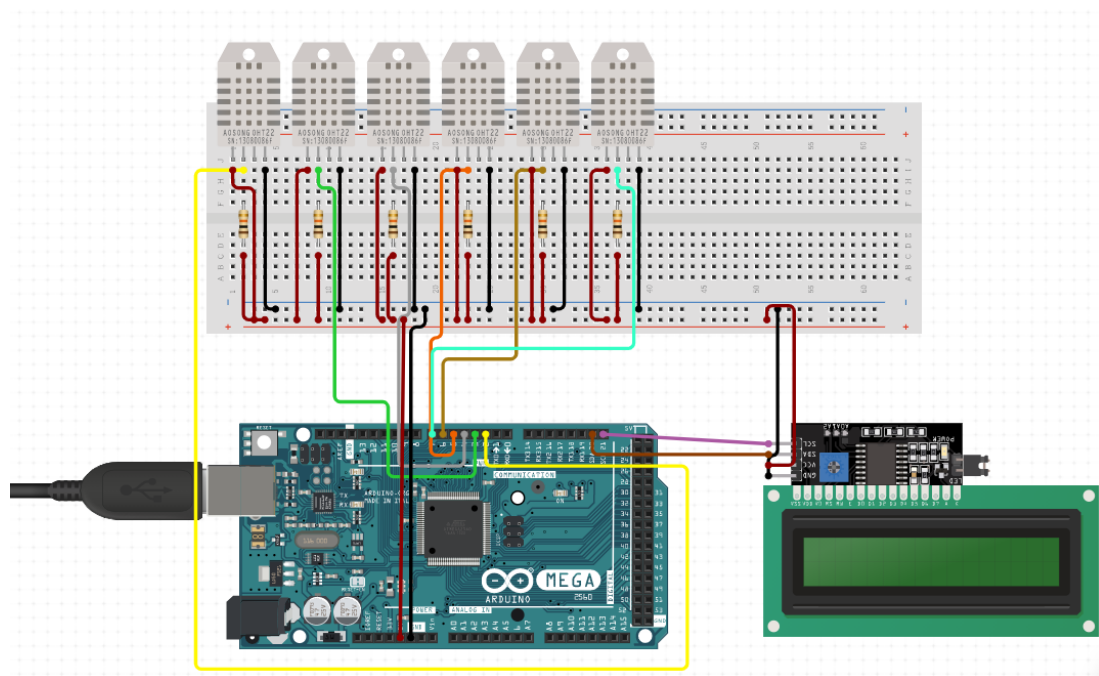
INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN Y MONITOREO

Como se busca tener un control del proceso de secado se estableció un sistema de medición con el fin de mostrar la temperatura y humedad del aire en distintos tramos del secador, los instrumentos utilizados fueron los siguientes:

Instrumentos de medición utilizados

Instrumentación utilizada	
Arduino Mega 2560	
DHT 11 Sensor de humedad y temperatura	
Resistencia de 10 kΩ	
LCD display 20x4 I2C	
Protoboard	

Con los instrumentos de medición seleccionados se establecen sus respectivas conexiones y codificación para mostrar los datos medidos.



Conexión del circuito de medición

Código de Arduino para la medición de datos

```
// Include Libraries
#include "Arduino.h"
#include "DHT.h"
#include "LiquidCrystal_PCF8574.h"

// Pin Definitions
#define DHT_1_PIN_DATA 2
#define DHT_2_PIN_DATA 3
#define DHT_3_PIN_DATA 4
#define DHT_4_PIN_DATA 5
#define DHT_5_PIN_DATA 6
#define DHT_6_PIN_DATA 7

// Global variables and defines
// There are several different versions of the LCD I2C adapter, each might have a different address.
// Try the given addresses by Un/commenting the following rows until LCD works follow the serial monitor
// prints.
// To find your LCD address go to: http://playground.arduino.cc/Main/I2cScanner and run example.
#define LCD_ADDRESS 0x3F
// #define LCD_ADDRESS 0x27
// Define LCD characteristics
#define LCD_ROWS 4
#define LCD_COLUMNS 20
#define SCROLL_DELAY 150
#define BACKLIGHT 255
// object initialization
DHT dht_1(DHT_1_PIN_DATA);
DHT dht_2(DHT_2_PIN_DATA);
DHT dht_3(DHT_3_PIN_DATA);
DHT dht_4(DHT_4_PIN_DATA);
DHT dht_5(DHT_5_PIN_DATA);
DHT dht_6(DHT_6_PIN_DATA);
```

```

LiquidCrystal_PCF8574 lcd20x4;

// define vars for testing menu
const int timeout = 180000;    //define timeout of 3 min
char menuOption = 0;
long time0;

// Setup the essentials for your circuit to work. It runs first every time your circuit is powered with electricity.
void setup()
{
  // Setup Serial which is useful for debugging
  // Use the Serial Monitor to view printed messages
  Serial.begin(9600);
  while (!Serial) ; // wait for serial port to connect. Needed for native USB
  Serial.println("start");

  dht_1.begin();
  dht_2.begin();
  dht_3.begin();
  dht_4.begin();
  dht_5.begin();
  dht_6.begin();
  // initialize the lcd
  lcd20x4.begin(LCD_COLUMNS, LCD_ROWS, LCD_ADDRESS, BACKLIGHT);
  menuOption = menu();
}

// Main logic of your circuit. It defines the interaction between the components you selected. After setup, it
runs over and over again, in an eternal loop.
void loop()
{

  if(menuOption == '1') {
    // DHT22/11 Humidity and Temperature Sensor #1 - Test Code
    // Reading humidity in %
    float dht_1Humidity = dht_1.readHumidity();
    // Read temperature in Celsius, for Fahrenheit use .readTempF()
    float dht_1TempC = dht_1.readTempC();
    Serial.print(F("Humidity: ")); Serial.print(dht_1Humidity); Serial.print(F(" [%]\t"));
    Serial.print(F("Temp: ")); Serial.print(dht_1TempC); Serial.println(F(" [C]"));
  }
  else if(menuOption == '2') {
    // DHT22/11 Humidity and Temperature Sensor #2 - Test Code
    // Reading humidity in %
    float dht_2Humidity = dht_2.readHumidity();
    // Read temperature in Celsius, for Fahrenheit use .readTempF()
    float dht_2TempC = dht_2.readTempC();
    Serial.print(F("Humidity: ")); Serial.print(dht_2Humidity); Serial.print(F(" [%]\t"));
    Serial.print(F("Temp: ")); Serial.print(dht_2TempC); Serial.println(F(" [C]"));
  }
  else if(menuOption == '3') {
    // DHT22/11 Humidity and Temperature Sensor #3 - Test Code
    // Reading humidity in %
    float dht_3Humidity = dht_3.readHumidity();
    // Read temperature in Celsius, for Fahrenheit use .readTempF()
    float dht_3TempC = dht_3.readTempC();
  }
}

```

```

Serial.print(F("Humidity: ")); Serial.print(dht_3Humidity); Serial.print(F(" [%]\t"));
Serial.print(F("Temp: ")); Serial.print(dht_3TempC); Serial.println(F(" [C]"));

}
else if(menuOption == '4') {
// DHT22/11 Humidity and Temperature Sensor #4 - Test Code
// Reading humidity in %
float dht_4Humidity = dht_4.readHumidity();
// Read temperature in Celsius, for Fahrenheit use .readTempF()
float dht_4TempC = dht_4.readTempC();
Serial.print(F("Humidity: ")); Serial.print(dht_4Humidity); Serial.print(F(" [%]\t"));
Serial.print(F("Temp: ")); Serial.print(dht_4TempC); Serial.println(F(" [C]"));

}
else if(menuOption == '5') {
// DHT22/11 Humidity and Temperature Sensor #5 - Test Code
// Reading humidity in %
float dht_5Humidity = dht_5.readHumidity();
// Read temperature in Celsius, for Fahrenheit use .readTempF()
float dht_5TempC = dht_5.readTempC();
Serial.print(F("Humidity: ")); Serial.print(dht_5Humidity); Serial.print(F(" [%]\t"));
Serial.print(F("Temp: ")); Serial.print(dht_5TempC); Serial.println(F(" [C]"));

}
else if(menuOption == '6') {
// DHT22/11 Humidity and Temperature Sensor #6 - Test Code
// Reading humidity in %
float dht_6Humidity = dht_6.readHumidity();
// Read temperature in Celsius, for Fahrenheit use .readTempF()
float dht_6TempC = dht_6.readTempC();
Serial.print(F("Humidity: ")); Serial.print(dht_6Humidity); Serial.print(F(" [%]\t"));
Serial.print(F("Temp: ")); Serial.print(dht_6TempC); Serial.println(F(" [C]"));

}
else if(menuOption == '7') {
// LCD Display 20x4 I2C - Test Code
// The LCD Screen will display the text of your choice.
lcd20x4.clear(); // Clear LCD screen.
lcd20x4.selectLine(2); // Set cursor at the beginning of line 2
lcd20x4.print(" Circuito.io "); // Print print String to LCD on first line
lcd20x4.selectLine(3); // Set cursor at the beginning of line 3
lcd20x4.print(" Rocks! "); // Print print String to LCD on second line
delay(1000);

}

if (millis() - time0 > timeout)
{
menuOption = menu();
}

// Menu function for selecting the components to be tested
// Follow serial monitor for instructions
char menu()
{
Serial.println(F("\nWhich component would you like to test?"));
Serial.println(F("(1) DHT22/11 Humidity and Temperature Sensor #1"));
Serial.println(F("(2) DHT22/11 Humidity and Temperature Sensor #2"));
Serial.println(F("(3) DHT22/11 Humidity and Temperature Sensor #3"));
}

```

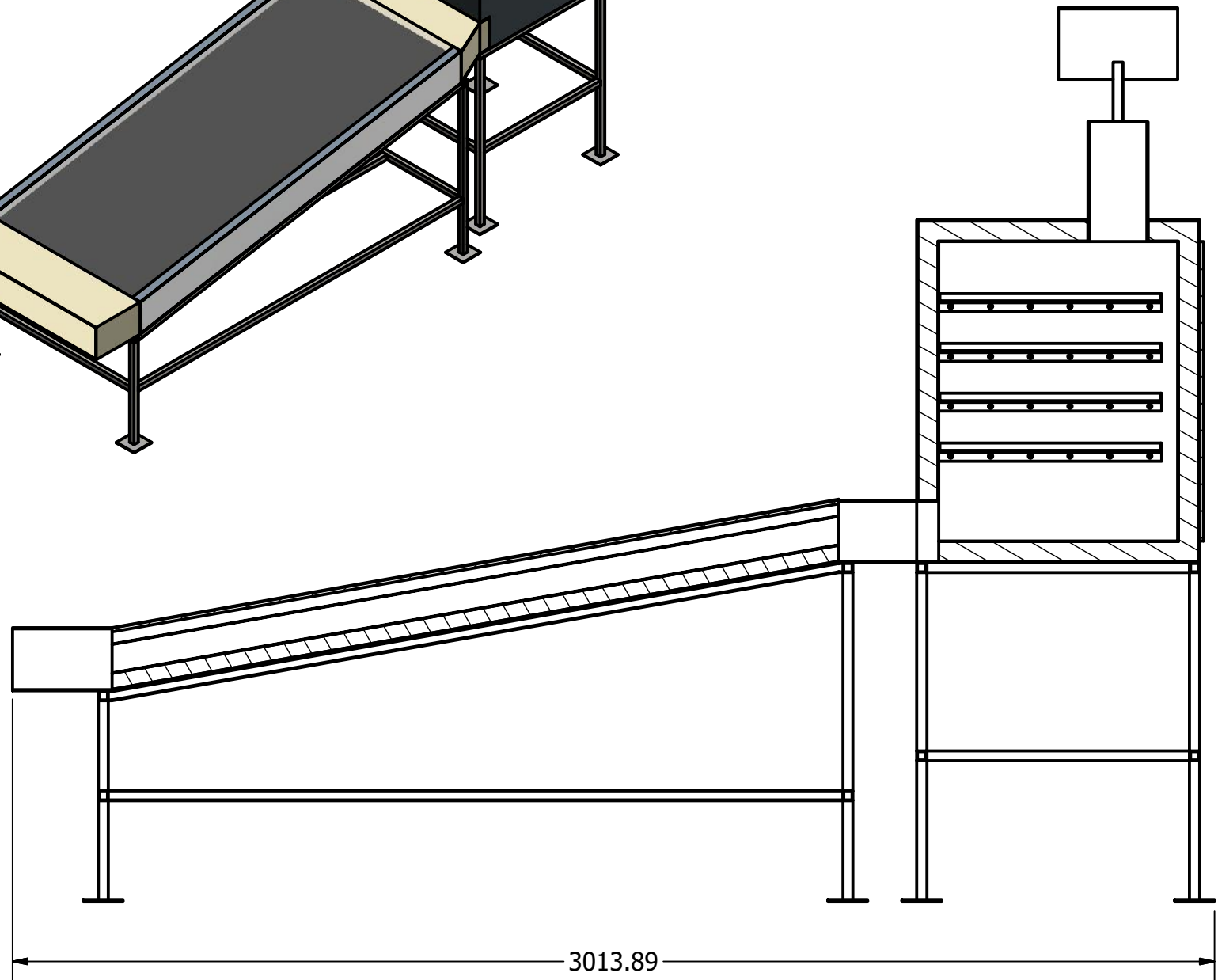
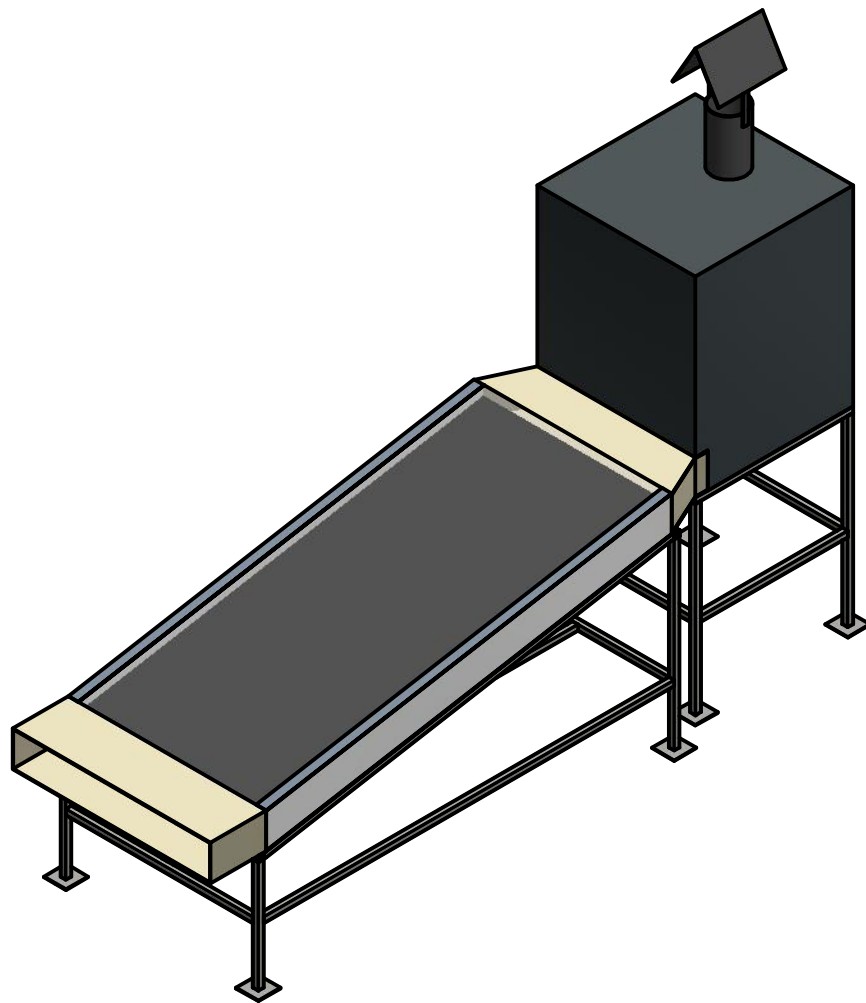
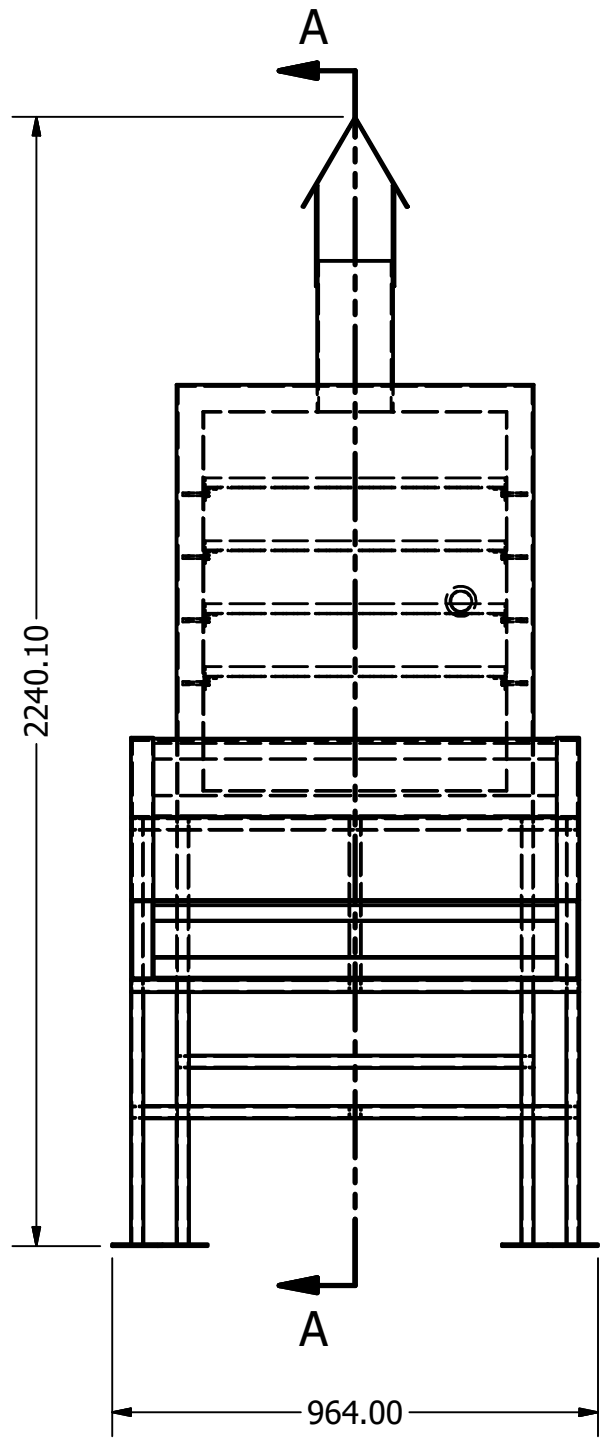
```

Serial.println(F("(4) DHT22/11 Humidity and Temperature Sensor #4"));
Serial.println(F("(5) DHT22/11 Humidity and Temperature Sensor #5"));
Serial.println(F("(6) DHT22/11 Humidity and Temperature Sensor #6"));
Serial.println(F("(7) LCD Display 20x4 I2C"));
Serial.println(F("(menu) send anything else or press on board reset button\n"));
while (!Serial.available());

// Read data from serial monitor if received
while (Serial.available())
{
  char c = Serial.read();
  if (isAlphaNumeric(c))
  {
    if(c == '1')
      Serial.println(F("Now Testing DHT22/11 Humidity and Temperature Sensor #1"));
    else if(c == '2')
      Serial.println(F("Now Testing DHT22/11 Humidity and Temperature Sensor #2"));
    else if(c == '3')
      Serial.println(F("Now Testing DHT22/11 Humidity and Temperature Sensor #3"));
    else if(c == '4')
      Serial.println(F("Now Testing DHT22/11 Humidity and Temperature Sensor #4"));
    else if(c == '5')
      Serial.println(F("Now Testing DHT22/11 Humidity and Temperature Sensor #5"));
    else if(c == '6')
      Serial.println(F("Now Testing DHT22/11 Humidity and Temperature Sensor #6"));
    else if(c == '7')
      Serial.println(F("Now Testing LCD Display 20x4 I2C"));
    else
    {
      Serial.println(F("illegal input!"));
      return 0;
    }
    time0 = millis();
    return c;
  }
}
}

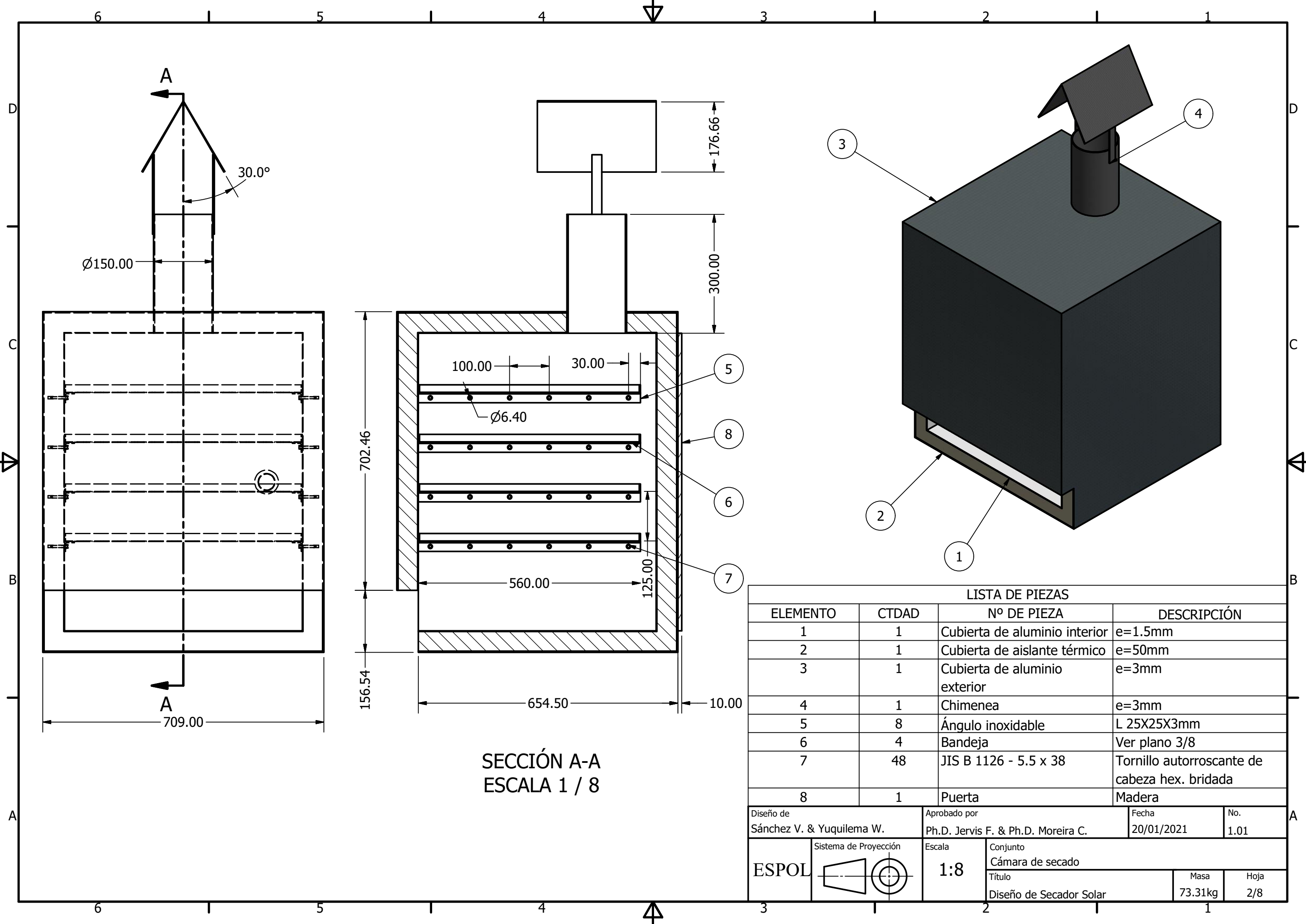
```

APÉNDICE N
PLANOS DE CONSTRUCCIÓN DEL SECADOR SOLAR



SECCIÓN A-A
ESCALA 1 / 15

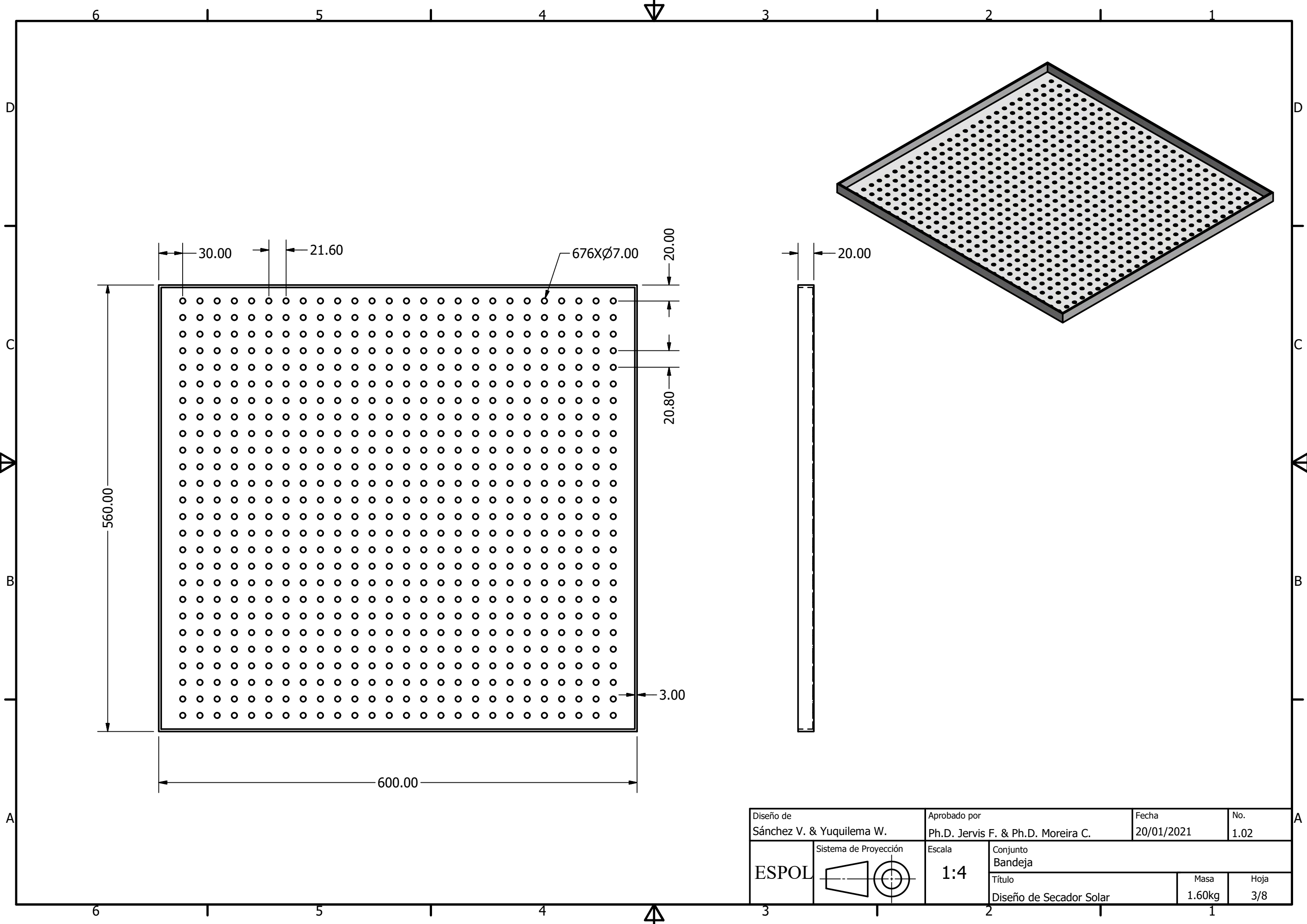
Diseño de Sánchez V. & Yuquilema W.		Aprobado por Ph.D. Jervis F. & Ph.D. Moreira C.		Fecha 20/01/2021	No. 1.00
ESPOL	Sistema de Proyección 	Escala 1:15		Conjunto Ensamble - Secador Solar	
		Título Diseño de Secador Solar		Masa 180.98kg	Hoja 1/8



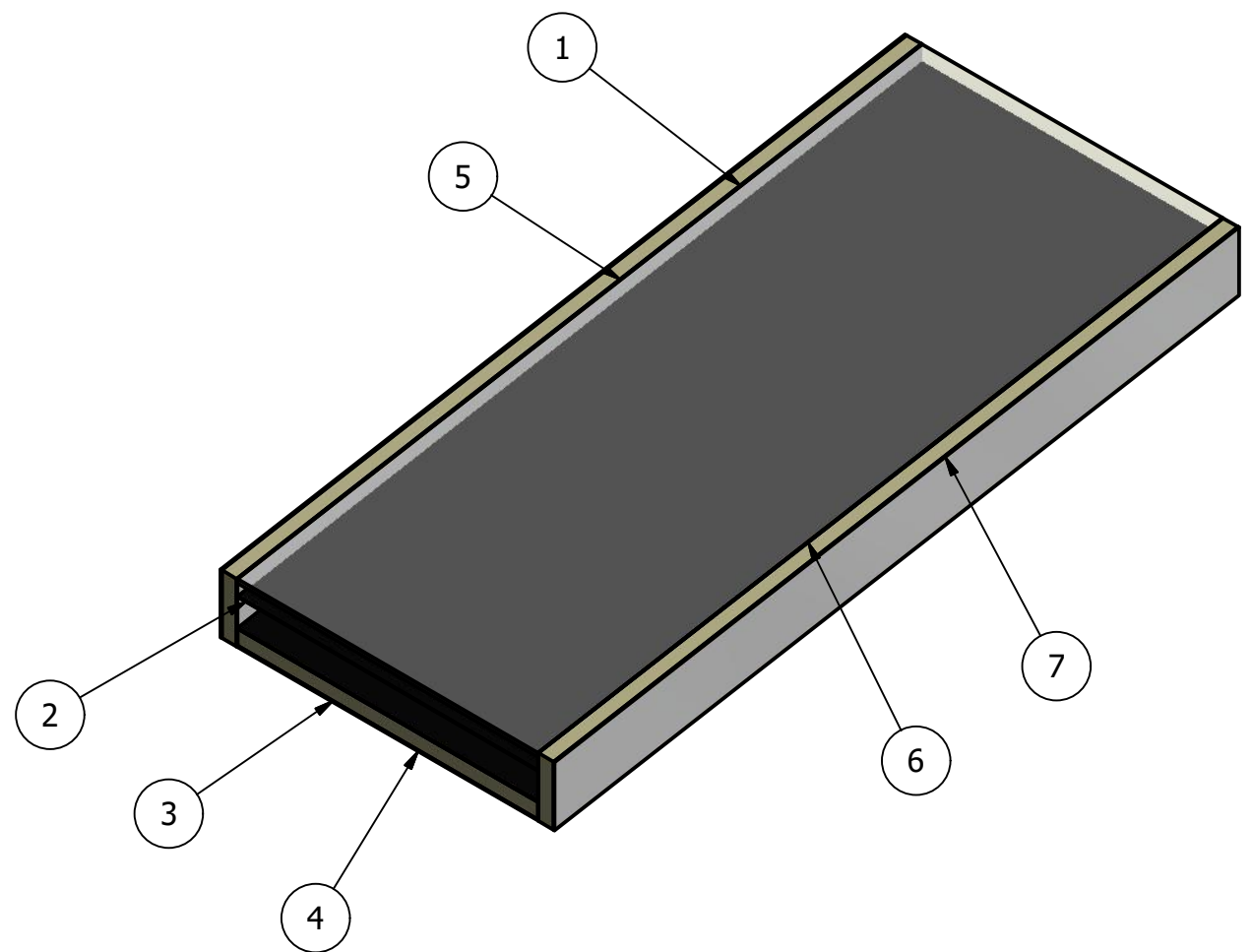
SECCIÓN A-A
ESCALA 1 / 8

LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	Cubierta de aluminio interior	e=1.5mm
2	1	Cubierta de aislante térmico	e=50mm
3	1	Cubierta de aluminio exterior	e=3mm
4	1	Chimenea	e=3mm
5	8	Ángulo inoxidable	L 25X25X3mm
6	4	Bandeja	Ver plano 3/8
7	48	JIS B 1126 - 5.5 x 38	Tornillo autorroscante de cabeza hex. bridada
8	1	Puerta	Madera

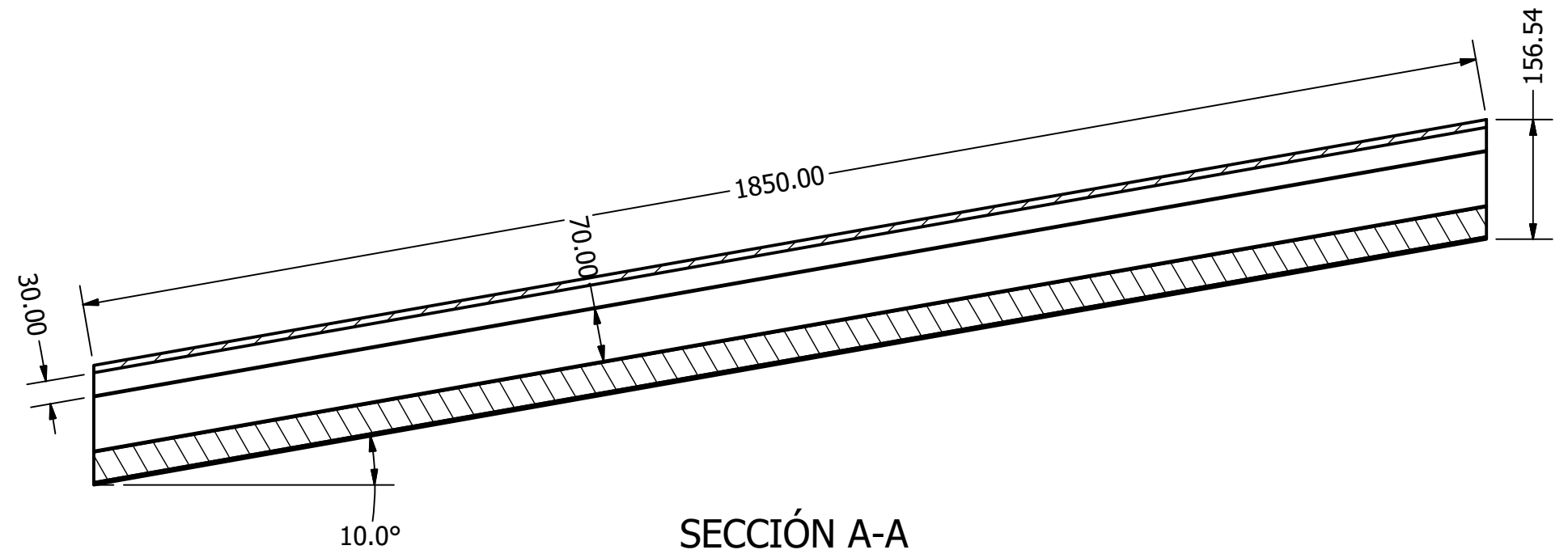
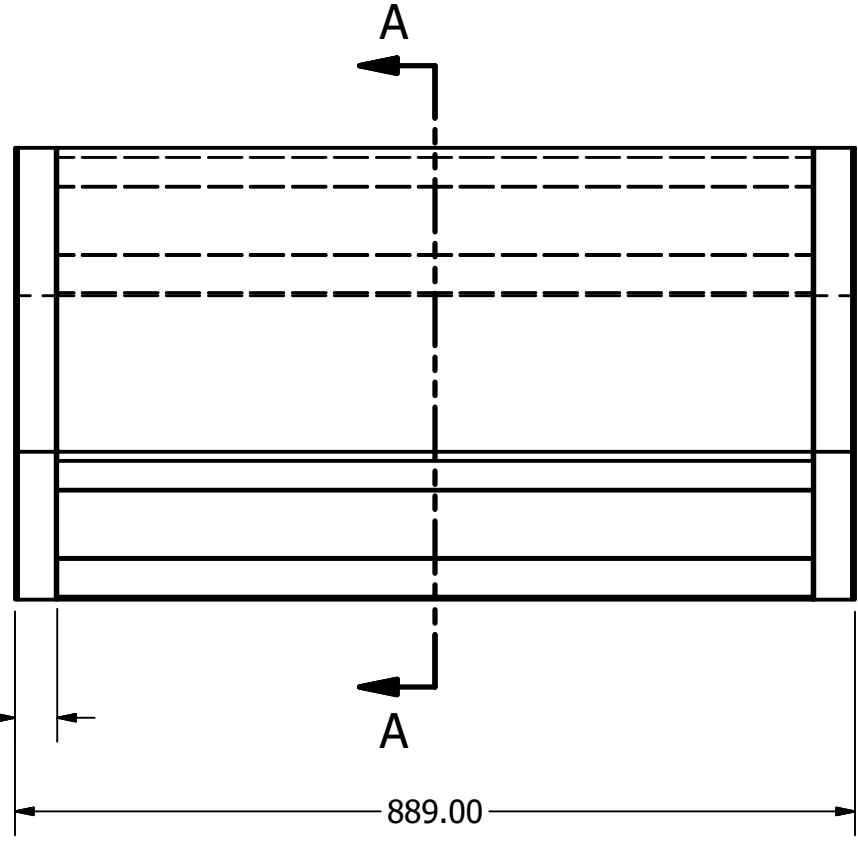
Diseño de Sánchez V. & Yuquilema W.		Aprobado por Ph.D. Jervis F. & Ph.D. Moreira C.		Fecha 20/01/2021	No. 1.01
ESPOL	Sistema de Proyección	Escala 1:8	Conjunto Cámara de secado		
			Título Diseño de Secador Solar		Masa 73.31kg



Diseño de Sánchez V. & Yuquilema W.		Aprobado por Ph.D. Jervis F. & Ph.D. Moreira C.		Fecha 20/01/2021	No. 1.02
ESPOL	Sistema de Proyección 	Escala 1:4		Conjunto Bandeja	
		Título Diseño de Secador Solar		Masa 1.60kg	Hoja 3/8



LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	Cubierta de vidrio	e=10mm
2	2	Cubierta y Placa absorbadora de aluminio	e=1mm
3	1	Cubierta de aislante térmico	e=40mm
4	1	Cubierta de aluminio inferior	e=3mm
5	2	Cubierta de aluminio lateral interior	e=1.5mm
6	2	Cubierta de aislante térmico lateral	e=40mm
7	2	Cubierta de aluminio lateral exterior	e=3mm



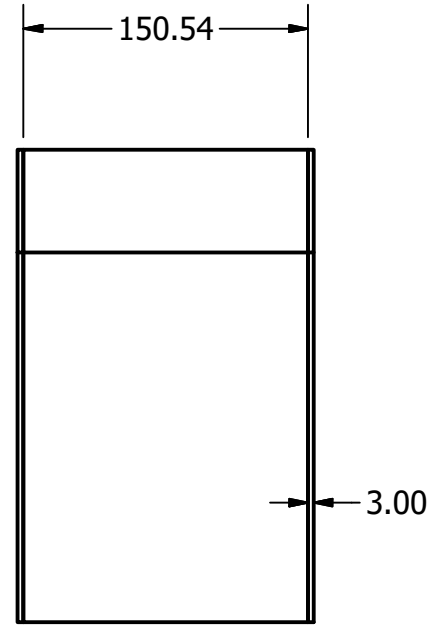
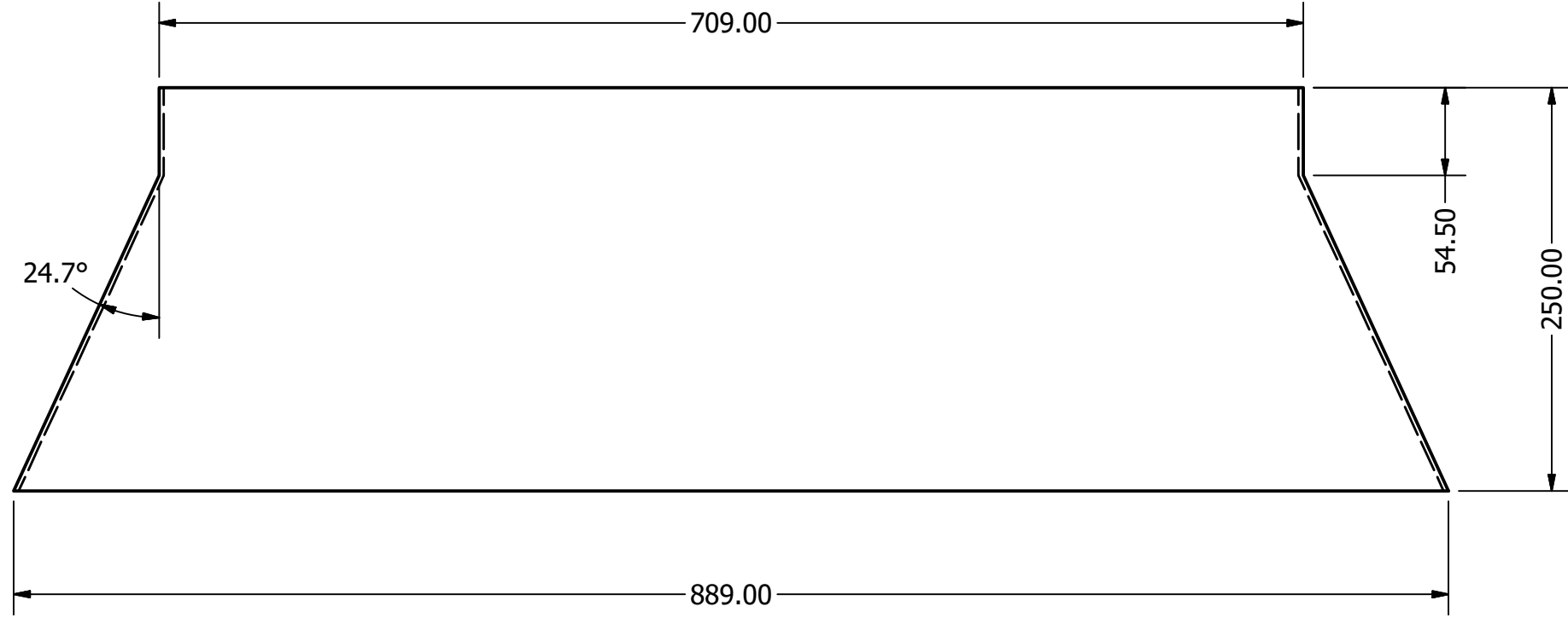
SECCIÓN A-A
ESCALA 1 / 8

Diseño de Sánchez V. & Yuquilema W.		Aprobado por Ph.D. Jervis F. & Ph.D. Moreira C.		Fecha 20/01/2021	No. 1.03
ESPOL	Sistema de Proyección	Escala 1:8	Conjunto Colector solar		
			Título Diseño de Secador Solar		Masa 61.46kg

6 1 5 1 4 3 1 2 1

D

D

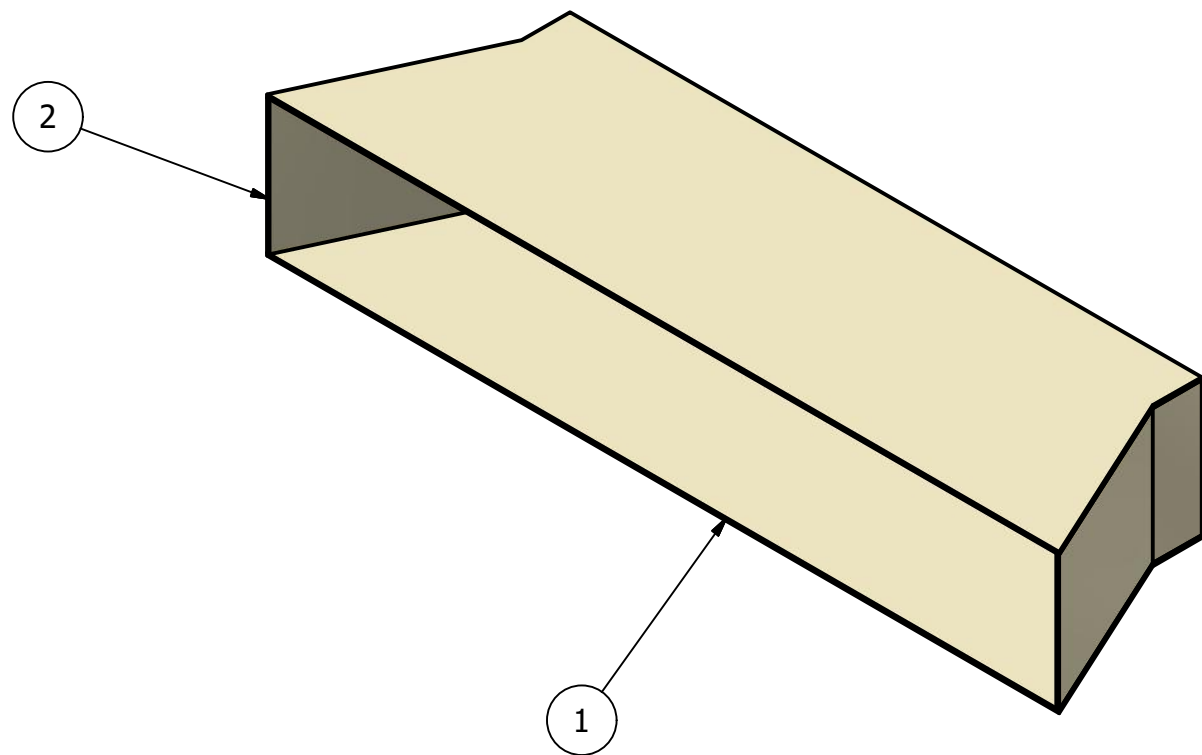


C

C

B

B

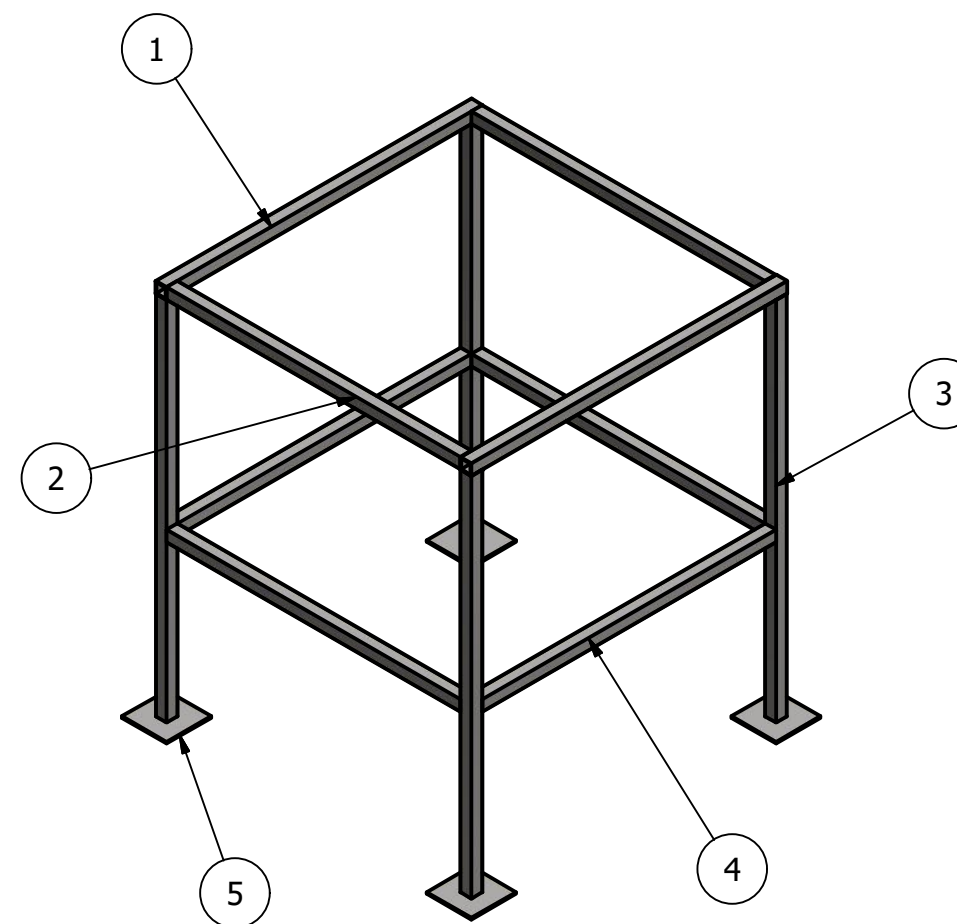
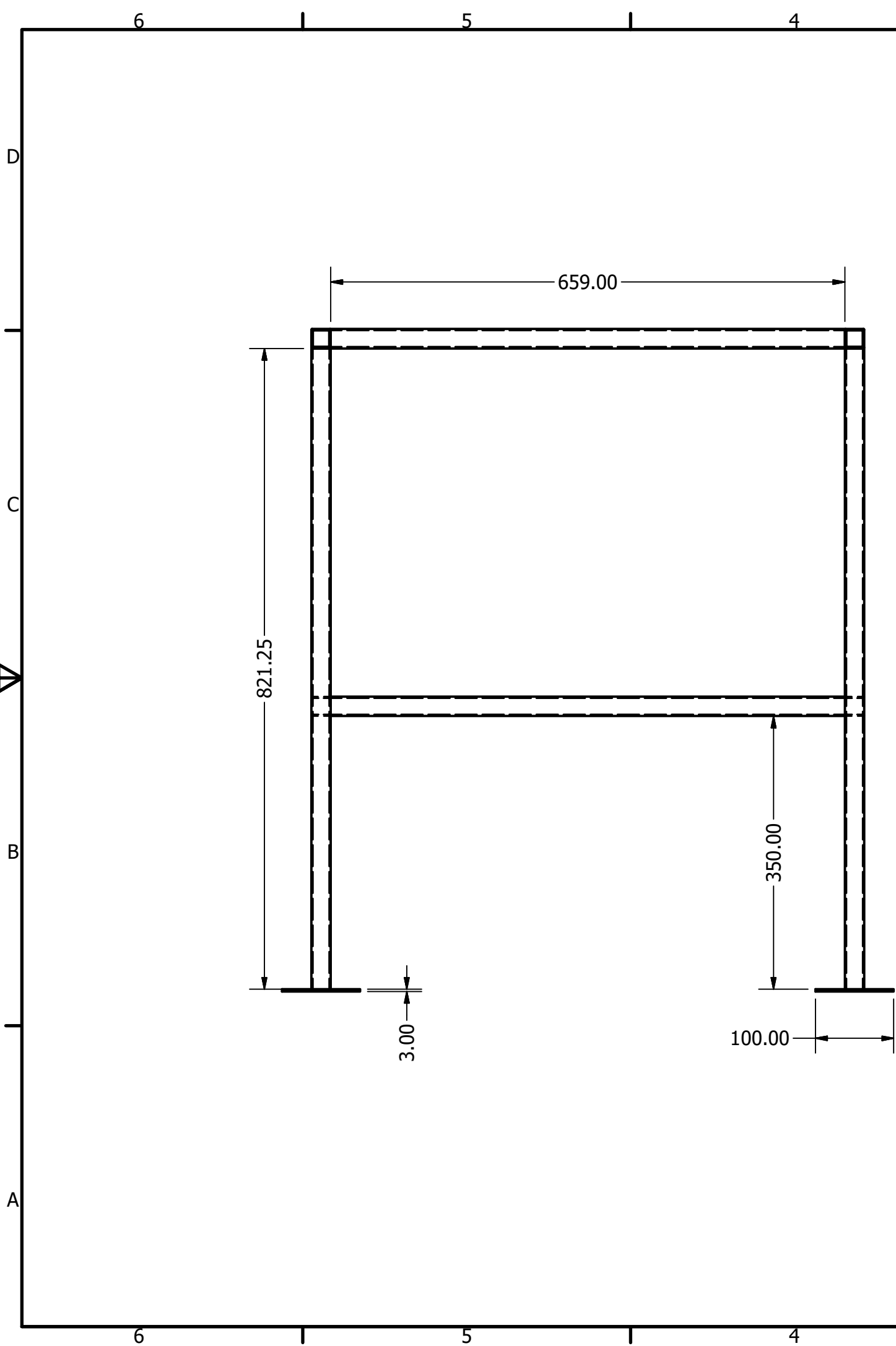


A

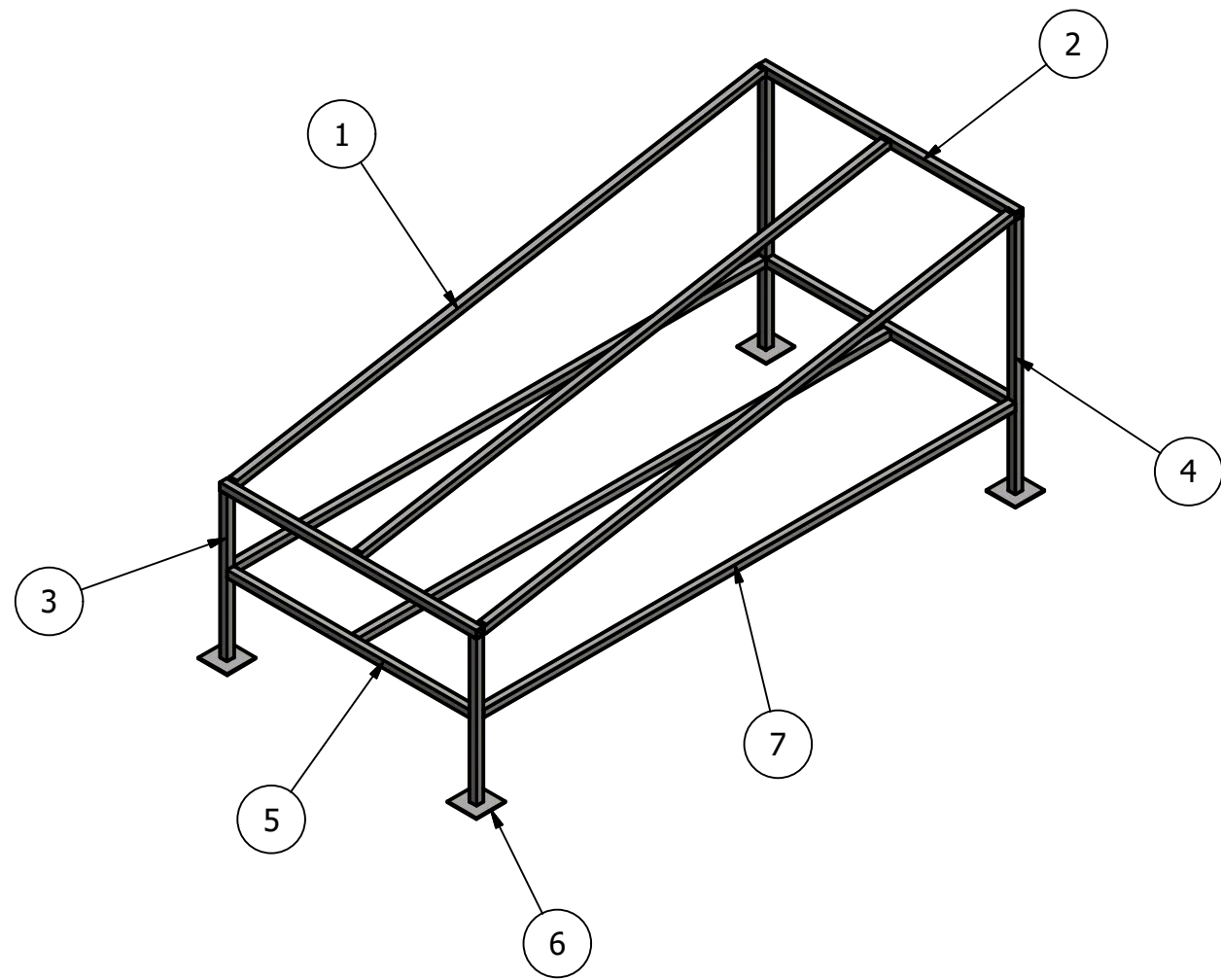
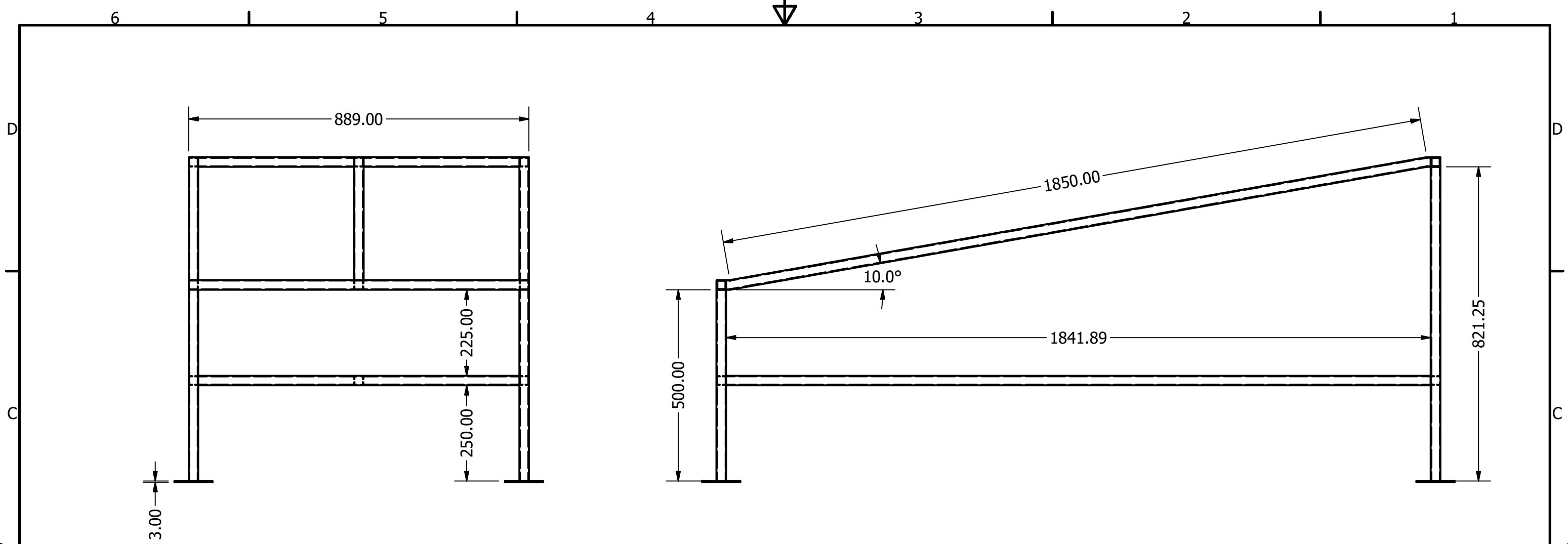
A

6 1 5 1 4 3 1 2 1

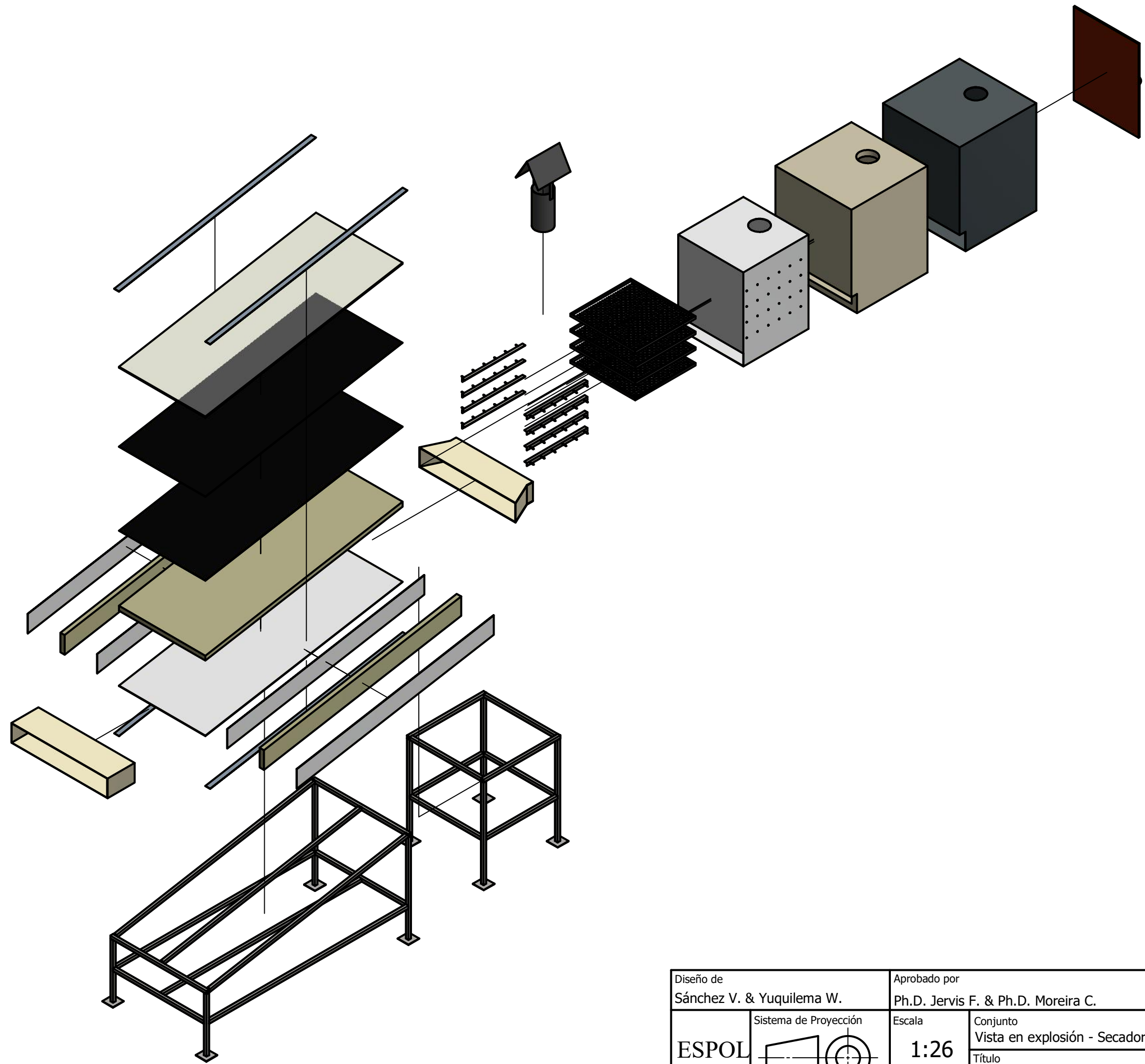
LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	2	Placa superior e inferior	Aluminio, e=3mm
2	2	Placa lateral	Aluminio, e=3mm
Diseño de Sánchez V. & Yuquilema W.		Aprobado por Ph.D. Jervis F. & Ph.D. Moreira C.	Fecha 20/01/2021
		No. 1.04	
ESPOL	Sistema de Proyección 	Escala 1:4	Conjunto
			Tobera
		Título Diseño de Secador Solar	Masa 3.77kg
			Hoja 5/8

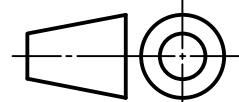


LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	2	Tubo estructural cuadrado, L=709mm	Acero negro 25X25X2mm
2	2	Tubo estructural cuadrado, L=659mm	Acero negro 25X25X2mm
3	4	Tubo estructural cuadrado, L=821.25mm	Acero negro 25X25X2mm
4	4	Tubo estructural cuadrado, L=659mm	Acero negro 25X25X2mm
5	4	Platina	100x100X3mm
Diseño de Sánchez V. & Yuquilema W.		Aprobado por Ph.D. Jervis F. & Ph.D. Moreira C.	
		Fecha 20/01/2021	No. 1.05
ESPOL	Sistema de Proyección 	Escala 1:6	Conjunto Estructura de la cámara de secado
		Título Diseño de Secador Solar	
		Masa 13.45kg	Hoja 6/8



LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	3	Tubo estructural cuadrado, L=1870mm	Acero negro 25X25X2mm
2	2	Tubo estructural cuadrado, L=889mm	Acero negro 25X25X2mm
3	2	Tubo estructural cuadrado, L=500mm	Acero negro 25X25X2mm
4	2	Tubo estructural cuadrado, L=821.25mm	Acero negro 25X25X2mm
5	2	Tubo estructural cuadrado, L=839mm	Acero negro 25X25X2mm
6	4	Platina	100X100X3mm
7	3	Tubo estructural cuadrado, L=1841.89mm	Acero negro 25X25X2mm
Diseño de Sánchez V. & Yuquilema W.		Aprobado por Ph.D. Jervis F. & Ph.D. Moreira C.	
		Fecha	No.
		20/01/2021	1.06
ESPOL	Sistema de Proyección	Escala	Conjunto
			1:10
		Estructura del colector solar	
		Título	Masa
		Diseño de Secador Solar	24.77kg
			Hoja
			7/8



Diseño de Sánchez V. & Yuquilema W.		Aprobado por Ph.D. Jervis F. & Ph.D. Moreira C.		Fecha 20/01/2021	No. 1.07
ESPOL	Sistema de Proyección 	Escala 1:26		Conjunto Vista en explosión - Secador solar	
				Masa 180.98kg	Hoja 8/8