

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

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

“Optimización de un prototipo de evolución de un secador solar térmico y  
fotovoltaico para 10 quintales de cacao”

**PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

**Ingeniero Mecánico**

Presentado por:

Bryan Henry Cuesta Hurtado

José Andrés Toro Montiel

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2020

## **DEDICATORIA**

El presente proyecto lo dedico a mis padres, quienes me inculcaron muchos valores a lo largo de la vida.

Bryan Cuesta Hurtado

## DEDICATORIA

A Dios por siempre mantenerme con salud, fuerza y sabiduría que a pesar de todos los obstáculos presentados en el camino me mantuvo enfocado.

A mis padres que siempre me apoyaron a lo largo del camino y creyeron en mi en esta travesía y no me dejaron caer a pesar de las adversidades, por sus sabios consejos, inculcación de buenos valores, ética, paciencia y cariño que me han brindado.

A mi abuelita y mi primo Oswaldo, que me guiaron e iluminaron durante este camino.

José Toro Montiel

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por haberme permitido vivir y seguir disfrutándola con mucho gozo y lograr alcanzar un peldaño más.

A mis dos madres, mi padre, tías y tíos, por siempre mantener la fe en mí y poder lograrlo.

A mis hermanas María, Melanie, Daniela, Andrea, Milena, mi hermano Ricardo y mi gran compañera, amiga y enamorada Denisse por siempre apoyarme, cuidarme y brindarme su cariño.

A ESPOL por haberme dado la oportunidad de conocer personas increíbles que con el pasar del tiempo perdurarán esos bellos momentos con mis compañeros del 306, APESPOL, FIMCP.

A la Dra. Emérita Delgado y Dr. Juan Peralta por impartirnos conocimientos de una manera sorprendente e inculcarnos valores para nuestras vidas como profesionales.

Bryan Cuesta Hurtado

## **AGRADECIMIENTO**

A mis hermanos Xavier y María, por estar conmigo a lo largo de la vida, por enseñarme el camino de la vida y dándome los mejores consejos para ser una mejor persona día a día.

A el amor de mi vida Sonia, por estar conmigo y apoyándome a lo largo de este trayecto, por confiar en mi cuando otros no lo hacían, por todas sus risas, paciencia y mucho amor, haciéndome levantar la cabeza y continuar mi camino.

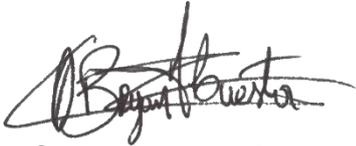
A mis amigos Tyrone, Chul, Medardo y Cristhian porque siempre estuvieron en este camino, con su amistad sincera sin faltar las risa y palabras de apoyo, al 306 por todos los compañeros que se hicieron durante el inicio de esta carrera.

A mi tutora Emérita Delgado, por la guía y sabios consejos que nos impartió dentro y fuera de las aulas de clases para cumplir nuestras metas.

José Toro Montiel

## DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Bryan Henry Cuesta Hurtado* y *Jose Andres Toro Montiel* 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”



Cuesta Hurtado Bryan Henry



Toro Montiel José Andrés

# EVALUADOR

EMERITA  
ALEXAN  
DRA  
DELGAD  
O PLAZA

Firmado digitalmente  
por EMERITA ALEXANDRA  
DELGADO PLAZA  
DN: cn=EMERITA  
ALEXANDRA DELGADO  
PLAZA, c=EC, o=SECURITY  
DATA S.A. 1, ou=ENTIDAD  
DE CERTIFICACION DE  
INFORMACION  
Motivo: Soy el autor de este  
documento  
Ubicación:  
Fecha: 2021-02-16  
14:34:05:00

---

**PhD. Emérita Delgado**  
PROFESOR Y TUTOR DE LA MATERIA

## RESUMEN

En este trabajo tuvo un enfoque para los medianos y pequeños productores de cacao, que representan el 90% de la producción total del Ecuador, mostrando algunas dificultades en el proceso de secado. El objetivo principal se enfoca en la optimización de un secador solar térmico y fotovoltaico para deshidratar 10 quintales de cacao. Para la optimización del secador solar, que contempla 4 juegos de portabandejas y se garantice que el aire caliente sea casi homogéneo en cada una de las bandejas. Se propusieron varias alternativas de diseño para la modificación de la cámara de secado y sus respectivas partes internas, dando a lugar alternativas como; integrar bafles en el interior de la cámara, tubo centralizado de aire, cambio de ventiladores y resistencias eléctricas. Mediante el uso del software SolidWorks, se realizó el respectivo esquema de cada una de las alternativas de diseño, para luego hacer uso de la herramienta de elemento finitos Flow Simulation. Realizar los cálculos y simulaciones respectivas de cada una, teniendo en consideración los materiales y condiciones ambientales según la zona geográfica de Bucay basados en datos climatológicos de Meeonorm. Añadido como requerimiento del cliente, se diseñó una estructura para la disposición de seis paneles fotovoltaicos que proporcionan parte de la fuente de energía al sistema híbrido. Luego se determinó el consumo energético basándose en una comparación con un tipo de secador de uso habitual dentro del mercado nacional y demostrando una alta eficiencia en operación y reducción en costos de consumo energético mensual. Finalmente, se alcanzó un incremento en la velocidad de flujo de aire del 54% dentro de la cámara, consiguiendo así el flujo de aire mejor distribuido dentro de la cámara de secado hacia los diferentes portabandejas situados en su interior.

**Palabras Clave:** Secador, Optimización, flujo de aire, Cámara de Secado, Consumo Energético.

## **ABSTRACT**

*In this work he had a focus on medium and small cocoa producers, which account for 90% of Ecuador's total production, showing some difficulties in the drying process. The main objective focuses on the optimization of a solar thermal and photovoltaic dryer to dehydrate 10 quintals of cocoa. For the optimization of the solar dryer, which includes 4 sets of tray holders and ensures that the hot air is almost homogeneous in each of the trays. Several design alternatives were proposed for modifying the drying chamber and its respective internal parts, resulting in alternatives such as integrating baffle inside the chamber, centralized air tube, fan change and electrical resistors. Using the SolidWorks software, the respective outline of each of the design alternatives was performed, and then made use of the Finite Flow Simulation element tool. Perform the respective calculations and simulations of each, considering the environmental materials and conditions according to the geographical area of Bucay based on weather data of Meteonorm. Added as a customer's requirement, a structure is designed for the arrangement of six photovoltaic panels that provide part of the power source to the hybrid system. Energy consumption was then determined based on a comparison with a type of dryer commonly used within the domestic market and demonstrating high efficiency in operation and reduction in monthly energy consumption costs. Finally, an increase in airflow rate of 54% was achieved within the chamber, thus achieving the best distributed airflow within the drying chamber towards the different racks located inside.*

**Keywords:** *Dryer, Optimization, Airflow, Drying Chamber, Energy Consumption.*

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT .....	II
ÍNDICE GENERAL .....	III
ABREVIATURAS.....	VI
SIMBOLOGÍA.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	IX
ÍNDICE DE TABLAS.....	XI
ÍNDICE DE PLANOS.....	XII
CAPÍTULO 1.....	1
1. Introducción .....	1
1.1. Definición del Problema.....	2
1.2. Justificación del proyecto .....	3
1.3. Objetivos .....	4
1.3.1. Objetivo General.....	4
1.3.2. Objetivos Específicos.....	4
1.4. Marco teórico.....	4
1.4.1. Energías renovables .....	4
1.4.2. Secadores híbridos .....	5
1.4.3. Secadores de bandejas .....	5
1.4.4. Energía solar térmica.....	8
1.4.5. Energía solar fotovoltaica .....	11
1.4.6. Muro Trombe .....	15
CAPÍTULO 2.....	16
2. Metodología .....	16
2.1. Propuesta de optimización del diseño.....	16
2.2. Cacao fino o arribo (Cacao Nacional).....	18
2.3. Determinación de la humedad.....	21
2.4. Velocidad de secado decreciente.....	22
2.5. Diseño actual del secador de bandeja.....	23
2.6. Evaluación de alternativas y propuestas de cámara de secado.....	25
2.6.1. Alternativa 1 .....	26
2.6.2. Alternativa 2.....	28

2.6.3. Alternativa 3.....	30
2.6.4. Alternativa 4.....	32
2.6.5. Alternativa 5.....	34
2.7. Diseño de la estructura de soporte para los Paneles Solares .....	36
2.8. Condiciones Ambientales .....	38
2.8.1. Temperatura .....	38
2.8.2. Velocidad del viento.....	39
2.8.3. Duración de la insolación.....	39
2.8.4. Irradiancia .....	40
CAPÍTULO 3.....	41
3. Resultados Y Análisis.....	41
3.1. Cálculo de la radiación solar extraterrestre por un día .....	41
3.2. Cálculo de la declinación solar .....	42
3.3. Angulo horario de salida del sol .....	42
3.4. Número de horas en del día .....	42
3.5. Radiación solar fuera de la atmosfera en una superficie horizontal .....	43
3.6. Radiación solar horaria incidente en una superficie horizontal.....	43
3.7. Angulo de incidencia para superficies (paredes planas) .....	44
3.8. Radiación solar media incidente en una superficie horizontal .....	45
3.9. Radiación solar sobre una superficie inclinada .....	46
3.10. Angulo horario solar para superficies inclinadas .....	46
3.11. Radiación extraterrestre incidente sobre una superficie inclinada.....	46
3.12. Datos proporcionados por el cliente para los cálculos de diseño del secador solar.....	47
3.13. Análisis calorífico del almendro de cacao.....	47
3.14. Simulación cámara térmica .....	50
3.15. Análisis Estructural para el soporte de los paneles solares.....	51
3.16. Diseño final.....	55
3.17. Análisis de costo de construcción .....	56
3.18. Costo de diseño .....	57
3.19. Análisis de costo energético.....	57
3.20. Análisis comparativo entre secadores.....	58
3.21. Balance de consumo energético por un año y venta de cacao .....	60

CAPÍTULO 4.....	67
4. Conclusiones Y Recomendaciones.....	67
4.1. Conclusiones.....	67
4.2. Recomendaciones.....	69
BIBLIOGRAFÍA	
APÉNDICES	

## **ABREVIATURAS**

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censos
MAGAP	Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca
CDTS	Centro de Desarrollo Tecnológico y Sustentable
ERNC	Energías Renovables No Convencionales
CNEL	Corporación Nacional Eléctrica
FOCER	Fortalecimiento de la Capacidad en Energía Renovable para Centroamérica
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

## SIMBOLOGÍA

M	Metro
G_Gh	Irradiancia media de la radiación global horizontal
G_Dh	Irradiancia media de la radiación difusa horizontal
G_Gk	Irradiancia media de la radiación global, superficie inclinada
G_Dk	Irradiancia media de la radiación difusa, superficie inclinada
G_Bn	Irradiancia de la radiación directa normal
Ta	Temperatura del aire
RH	Humedad relativa
FF	Velocidad del viento
DD	Dirección del viento
p	Presión atmosférica
Tsky	Sky temperature
Ts	Temperatura de la superficie
N	Grado de nubosidad
Td	Temperatura del punto de rocío
PrecW	Agua precipitable
Sd	Duración de la insolación
$X_t$	Contenido de humedad en base seca en cada intervalo de tiempo
W	Masa de sólido a cada intervalo de tiempo ( $g$ )
$W_s$	Masa de sólido seco a cada intervalo de tiempo ( $g$ )
$X_e$	Contenido de humedad en equilibrio ( $gH_2O/g_{ss}$ )
$W_e$	Masa constante al final del proceso
$X_f$	Humedad final del grano
$X_e$	Humedad de equilibrio del grano
$X_c$	Humedad crítica del grano
$V_c$	Velocidad de secado constante
$A_s$	Área de secado ( $m^2$ )
$M_s$	Masa de los granos secos (kg)
$G_{on}$	Constante de radiación para el día "n"
$G_{SC}$	Constante solar ( $1353 W/m^2$ )
n	Número del día del año
$w_s$	Angulo horario de salida del sol (grados)

$\theta$	Latitud (-2.166°)
$I_{oh}$	Irradiación indicen dente sobre una superficie horizontal en una hora
$I_{CS}$	Radiación solar (1353 $W/m^2$ )
$H_{ho}$	Radiación diaria incidente sobre una superficie horizontal ( $W/m^2$ )
$\theta_T$	Angulo de incidencia de radiación directa
$K_T$	Relación entre diaria sobre radiación extraterrestre diaria
$H$	Radiación total incidente sobre una superficie ( $W/m^2$ )
$H_{ho}$	Energía indicen dente sobre una superficie horizontal en un día ( $W/m^2$ )
$\bar{H}$	Radiación solar fuera de atmosfera en una superficie plana ( $W/m^2$ )
$\bar{H}_o$	Radiación promedio mensual diaria sobre una superficie plana ( $W/m^2$ )
a y b	Coefficientes máximos de transmisividad
$\bar{n}$	Promedio mensual de horas de brillo solar
$\bar{N}$	Promedio mensual máximo horas de brillo solar
$\emptyset$	Latitud
$\delta$	Declinación solar
$h_e$	Coefficiente de convección exterior
$R_1R_2R_3$	Resistencia a la conducción de policarbonato, del aislante térmico y acero
$E_{aisl.}$ y $E_{poli}$	Espesor del policarbonato y del aislamiento térmico (m)
$K_{poli}$ y $K_{aisl.}$	Conductividad térmica del policarbonato y del aislante térmico
$A_{ext}$	Área del exterior de una de las cámaras de secado ( $m^2$ )
$K_{acero}$	Conductividad térmica del acero (Muro Trombe) $W/m^{\circ}C$
$L_{acero}$	Longitud del acumulador de secado (m)

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Secador de bandejas y portabandejas. ....	5
Figura 1.2 Colector solar plano de uso doméstico.....	8
Figura 1.3. Deshidratador solar. ....	9
Figura 1.4 Colector solar de tubos vacíos en una vivienda. ....	10
Figura 1.5 Sistema solar para generación de electricidad.....	11
Figura 1.6 Diagrama de un sistema fotovoltaico autónomo.....	14
Figura 1.7 Muro Trombe.....	15
Figura 2.1 Tiempo de secado de la semilla. ....	18
Figura 2.2 Velocidad de secado a cuarenta grados Celsius.....	18
Figura 2.3 Velocidad de secado a cincuenta grados Celsius. ....	19
Figura 2.4 Velocidad de secado a sesenta grados Celsius. ....	19
Figura 2.5 Muestras de semillas secadas a diferentes temperaturas.....	20
Figura 2.6 Curva de velocidad de secado en función de la humedad libre. ....	23
Figura 2.7 Vista isométrica propuesta actual.....	24
Figura 2.8. Flujo suministro fotovoltaico y eléctrico. ....	25
Figura 2.9 Vista isométrica de alternativa uno.....	27
Figura 2.10 Distribución de aire alternativa uno, vista lateral. ....	27
Figura 2.11 Distribución de aire alternativa uno, vista superior. ....	28
Figura 2.12 Vista isométrica de alternativa dos.....	29
Figura 2.13 Distribución de aire alternativa dos, vista lateral.....	29
Figura 2.14 Distribución de aire alternativa dos, vista superior. ....	30
Figura 2.15 Vista isométrica de alternativa tres.....	31
Figura 2.16 Distribución de aire alternativa tres, vista lateral. ....	31
Figura 2.17 Distribución de aire alternativa tres, vista superior. ....	32
Figura 2.18 Vista isométrica de alternativa cuatro.....	32
Figura 2.19 Distribución de aire alternativa cuatro, vista lateral. ....	33
Figura 2.20 Distribución de aire alternativa cuatro, vista superior. ....	33
Figura 2.21 Distribución de aire alternativa cinco, vista isométrica ....	34
Figura 2.22 Distribución de aire alternativa cinco, vista lateral.....	35
Figura 2.23 Distribución de aire alternativa cinco, vista superior.....	35
Figura 2.24 Estructura de soporte para los paneles solares.....	36
Figura 2.25 Ángulos para una superficie inclinada .....	37

Figura 2.26 Distribución mensual de temperatura. ....	38
Figura 2.27 Distribución mensual de velocidad del viento. ....	39
Figura 2.28 Distribución mensual de duración de insolación. ....	39
Figura 2.29 Distribución mensual de irradiancia global solar. ....	40
Figura 3.1 Simulación final de la cámara de secado. ....	50
Figura 3.2 Diagrama de cuerpo libre de soporte de paneles. ....	51
Figura 3.3 Diagrama de fuerza cortante. ....	52
Figura 3.4 Diagrama de momento flector. ....	52
Figura 3.5 Distribución de la carga aplicada sobre los paneles. ....	53
Figura 3.6 Primera tensión principal. ....	54
Figura 3.7 Coeficiente de seguridad asignado. ....	54
Figura 3.8 Punto crítico. ....	55
Figura 3.9 Diseño final, vista isométrica. ....	55
Figura 3.10 Diseño final, vista lateral. ....	55
Figura 3.11 Comparación del consumo energético entre secadores. ....	59

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Ventajas y desventajas de secadores solares .....	7
Tabla 1.2 Parámetros de radiación solar promedios de la zona de Bucay .....	12
Tabla 2.1 Resultados principales de las curvas de secado y velocidad de secado. ....	20
Tabla 2.2 Parámetros iniciales para la simulación de la cámara de secado. ....	26
Tabla 2.3 Lista de materiales del sistema fotovoltaico .....	37
Tabla 2.4 Análisis de consumo de energía por cada mes .....	40
Tabla 3.1 Materiales de construcción para el equipo. ....	56
Tabla 3.2 Costo de diseño del secador híbrido .....	57
Tabla 3.3 Consumo eléctrico total del secador solar. ....	57
Tabla 3.4 Comparación energética de secador híbrido con panel y sin paneles fotovoltaicos.....	58
Tabla 3.5 Consumo energético de un secador de gas. ....	58
Tabla 3.6 Costo energético de un secador a gas. ....	58
Tabla 3.7 Venta de cacao.....	60
Tabla 3.8 Consumo energético.....	60
Tabla 3.9 Egreso mensual.....	61
Tabla 3.10 Saldo acumulada y ganancias en un año .....	61
Tabla 3.11 Balance de equipos e Instalación .....	62
Tabla 3.12 Flujo de caja para diez años con financiamiento. ....	64
Tabla 3.13 Tabla de amortización para un préstamo. ....	65
Tabla 3.14 Flujo de caja para diez años sin financiamiento .....	66

## ÍNDICE DE PLANOS

- Plano 1 Estructura de paneles solares
- Plano 2 Placa para esquinas
- Plano 3 Viga UPN 4000mm
- Plano 4 Viga UPN 3000mm
- Plano 5 Columna 1018mm
- Plano 6 Columna 2000mm
- Plano 7 Articulación
- Plano 8 Estructura cámara de secado
- Plano 9 Estructura de bandeja
- Plano 10 Ensamble de cámara de secado

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

Ecuador se caracteriza por ser un país agricultor; el cacao, la palma africana, la caña de azúcar y el banano son los principales cultivos que se plantan y cosechan en el país. El sector cacaotero representa el 5 % de la economía activa nacional, según el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), además posee el 40.9 % de la superficie total sembrada de los cultivos, distribuyéndose principalmente en las provincias de Los Ríos, Guayas, Manabí y Sucumbíos, sembrando dos variedades diferentes que son: CCN-51 y Cacao Nacional. La producción nacional del cacao se encuentra diversificada por los pequeños, medianos y grandes productores, representando cada uno de ellos el 70 %, 20 % y 10 % respectivamente. (ANECACAO, 2019)

En el programa de innovación tecnológico implementado por el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP) en relación con el estudio de los secadores son varios los logros para prosperar en la producción y obtención de un cacao de excelente calidad.

En relación con el proceso de secado de cacao el enfoque de mejoramiento va orientado principalmente a comunidades, productores medianos y pequeños. Actualmente el tratamiento de este producto se lo realiza de manera rústica y manual. Uno de los procesos más comunes es aprovechar las épocas de verano para captar mayor radiación solar, en que el producto es extendido o sometido al proceso de secado en grandes espacios denominados tendales con un tiempo de 3 días con la ayuda de mecanismo manuales; en épocas de invierno en cambio el proceso de secado puede tardar entre 4 a 8 días dependiendo del clima. (Alimentación, 1996)

Sin embargo, hay que considerar la existencia de otros métodos de secado del cacao a nivel agroindustrial. Uno de ellos es el secado solar térmico y fotovoltaico, que consiste en la construcción de una cámara de secado con el objetivo de que el aire circule permanentemente y se caliente a base de la luz solar. Este proceso requiere

de parte del agricultor una mayor inversión, pero así también mayores beneficios en la calidad del producto final.

Esto nos lleva al presente proyecto que se enfoca en realizar la optimización de un prototipo de evolución de un secador solar térmico y fotovoltaico para 10 quintales de cacao, enfocándose en la redistribución y optimización del flujo que se encuentra circulando dentro de la cámara de secado, esta propuesta está dirigida principalmente al 70% de los productores de cacao, que representan a los pequeños productores, esto se debe a que posee poca accesibilidad hacia nuevas alternativas tecnológicas, debido a su alto costo de adquisición y complejidad en su funcionamiento, es por esto que el prototipo que se va a optimizar será de bajo costo y va disminuir los tiempos de secados que se van realizar mediante este prototipo.

Para el desarrollo de esta propuesta de investigación de optimización del secado de cacao se ha tomado como referencia el proyecto INÉDITA perteneciente a los docentes investigadores de la institución. Ello significa el acceso a la información bibliográfica que nos permita observar, evaluar y optimizar los sistemas para el desarrollo de la actividad pertinente, y así llevar una visión de uso de nuestro equipo tecnológico hacia la comunidad.

### **1.1. Definición del Problema**

El proceso de secado de cacao en nuestro país evidencia algunas dificultades tanto a nivel de la pequeña y mediana producción. Nuestros agricultores realizan este proceso en base a prácticas tradicionales, manuales de provistas de un gran desarrollo tecnológico.

A efectos de mejorar la calidad del cacao ecuatoriano que permita seguir contando con un alto posicionamiento a nivel mundial, es necesario hacer uso de nuevos métodos y procesos de secado en base al conocimiento de la luz solar y sus beneficios.

En el secado tradicional en tendales el agricultor se enfrenta a diversos factores naturales como lluvia, polvo, ceniza volcánica, humedad u otro factor como la superficie donde se lo trabaja que no es eficiente y afecta a la calidad del producto.

De tal modo, que se requiere escalar un secador híbrido solar, que se desempeñe con energía solar térmica y fotovoltaica a un equipo de evolución que garantice secar el producto a una temperatura establecida de 50 °C y un flujo de calor constante de aire que pase por todas las bandejas dimensionadas donde se sitúa el cacao. Con ello se logrará la obtención de un producto de mejor calidad.

Sin embargo, cabe recalcar que los problemas asociados a los secadores de bandejas en específico muestran una complejidad en recirculación del aire por todas las bandejas dentro de la cámara. Por lo tanto, este diseño requiere de mayor energía solar para el proceso de secado del cacao.

## **1.2. Justificación del proyecto**

El proyecto se enfoca en acrecentar la producción del secado de cacao, documentando con datos científicos basándonos en la transformación de la energía captada del sol a energía térmica aplicando y evaluando las teorías científicas. De modo que, el proceso de secado de cacao por transferencia de calor sea por convección forzada.

El centro desarrollo tecnológico sustentable a través del proyecto INEDITA ha construido un secador híbrido que consta de la utilización de fuentes de energía solar como fotovoltaica y térmica, además de energía convencional a través del uso de resistencias eléctricas y ventiladores. Con la finalidad de reducir los costos energéticos que conlleva secar 5 quintales de cacao húmedo. A partir de ello, el CDTTS pretende escalar un prototipo de evolución que garantice el secado del producto en un tiempo de 8 horas estimadas a un máximo rendimiento del 65% para el secado de 10 quintales de cacao.

Esta nueva optimización del proceso permitirá disminuir el tiempo de sacado y un ahorro de dinero a los agricultores de baja y media producción. El crecimiento económico implementado tecnologías híbridas será beneficioso tanto para el productor como el estado ecuatoriano. Por otra parte, durante el secado no existirá una preocupación de las afectaciones por los factores externos como el clima, almacenamiento, polvo, etc.

La tecnología de secado permitirá obtener un producto de mejor calidad en menor tiempo por lo cual se posibilita la rentabilidad económica para la comunidad. Es decir, si se mejora el producto (calidad, aroma) conlleva a una ganancia productiva, y mejor posicionamiento del cacao en el mercado nacional e internacional.

Finalmente, los impactos relacionados a este proyecto son social, salud, económico, cultural y ambiental.

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo General**

Optimizar un secador solar térmico y fotovoltaico para deshidratar 10 quintales de cacao.

#### **1.3.2. Objetivos Específicos**

1. Discriminar los tipos de secadores solares utilizados a nivel nacional e internacional.
2. Determinar el modelo matemático del secador utilizando programas de simulación de fluido dinámico y térmico.
3. Optimizar el secador solar partiendo del análisis de la distribución del flujo y análisis térmico de los resultados obtenidos en la simulación y experimentación.

### **1.4. Marco teórico**

#### **1.4.1. Energías renovables**

El estudio de las energías renovables requiere enfocar el interés no solo en cuestiones meramente técnicas, sino también en áreas tales como las Ciencias del medioambiente, por medio de estudios comparativos de cómo influyen en la atmosfera, en las corrientes de agua, en la vida animal y vegetal en los dispositivos utilizados para aprovechar las energías renovables, en comparación con el impacto que sobre los mismos producirán iguales cantidades de energía generadas a partir de la combustión de combustibles fósiles o nucleares. (Gonzalez, 2009)

Hoy en día, existe un creciente interés por el uso de las energías renovables, como una opción para la diversificación de la matriz energética. De forma paralela, crece la preocupación por la reducción de reservas de petróleo y la contaminación ambiental, lo que ha propiciado que se promueva diversa legislación para promocionar el uso de las ERNC (Energías Renovables no Convencionales). [Revista Técnica “energía”, Edición No.9, pg. 128]

#### 1.4.2. Secadores híbridos

El secado en un contexto general consiste en retirar por evaporación el agua de la superficie del producto y traspasarla al aire circundante. La rapidez de este proceso depende de la velocidad con la que este circule el aire alrededor del producto, su grado de sequedad, etc., y de las características del producto como su composición, humedad y tamaño, etc. El aire contiene y puede absorber vapor de agua. La cantidad de vapor de agua presente en el aire se llama humedad. (Xavier Plaza, pág. 9)

#### 1.4.3. Secadores de bandejas

Son también reconocidos como secadores de compartimiento o anaqueles, su función es esparcir uniformemente el aire sobre una bandeja de metal cuyas dimensiones están dada por una profundidad que va desde 0.01 a 0.1 m. Se puede apreciar en la Figura 1, el modelo de secador el cual contiene al carro porta bandejas donde se depositan un total de 16 bandejas en cada compartimiento.

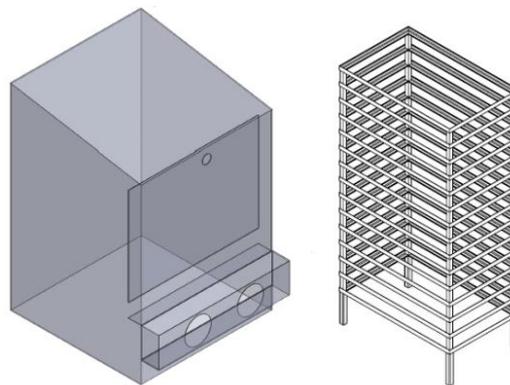


Figura 1.1 Secador de bandejas y portabandejas.  
Fuente:(Proyecto INEDITA, 2018)

Es necesario conocer las partes principales de una secadora: cámara de secado, extractor de aire y quemador.

**Cámara de secado:** Para producción y desarrollo de procesos térmicos, se utiliza una cámara de secado. Debido a que el diseño de este tipo de cámaras permanece en un funcionamiento a diario.

El medio de aplicación de las cámaras de secado es muy diverso. Se utiliza en todas las tareas de secado o esterilización; por ejemplo, para endurecer, atemperar o para cocción, así como para el almacenamiento térmico prolongado. Para consolidar mejores resultados de secado, es sumamente importante contar con una distribución térmica absolutamente homogénea. (Binder GmbH, 2015-2020).

Existen 2 equipos de cámara de secado

- Cámara de secado con convección natural

Son ideales siempre que se requiera de un secado o esterilización básicamente rápido. Proporciona un secado homogéneo y se desempeñan en trabajos rutinarios hasta los 300 °C y para un amplio rango de aplicaciones.

- Cámara de secado con convección forzada

Todos los procesos térmicos se realizan de la manera más eficiente gracias al alto grado de intercambio de aire. Con una distribución homogénea de temperatura y la rápida dinámica, este tipo de cámara ahorra un valioso tiempo de trabajo. Equipada con un enérgico ventilador. (Binder GmbH, 2015-2020)

**Extractor de aire:** un sistema funcional, que se refiere a un equipo combinado de ventilador y extractor de polvo, que se puede usar como turbina de aspiración para los secadores. (Doc. Cimbria, FAO, 1996)

**Quemador:** Es una sola unidad que genera la combustión del gas y por ende el aporte de calor y características dependerá de la capacidad del secador. (Sánchez R., 2003)

### 1.4.3.1. Ventajas y desventajas

**Tabla 1.1 Ventajas y desventajas de secadores solares**  
Fuente: Elaboración propia

	Secado al sol	Secadores solares	Secadores Híbridos
<b>Ventajas</b>	Es el método más usado por la mayoría de los agricultores	Temperaturas más elevadas, lo que produce un secado más rápido y como consecuencia una humedad menor.	Combina los procesos de secado solar directo e indirecto.
	Método de ejecución mucho más económico, aunque requiere de tiempo y esfuerzo.	Protección por la cámara de secado contra insectos y polvo.	Se puede integrar un sistema auxiliar de energía. Disminuye el periodo de secado con respecto a los anteriores.
	No se utiliza combustibles para su ejecución.	La energía del sol captada es mucho más eficiente para secar la humedad existente en el producto.	Se logra operar y tener contacto con el producto de una manera más eficaz.
<b>Desventajas</b>	Depende mucho de las condiciones climáticas del sector	Costo elevado por los elementos que componen el secador.	Aumenta un poco el costo de implementación al sistema.
	El producto está expuesto al polvo.	Implementación del sistema en lugares desérticos sin un mantenimiento preventivo.	Escaso manejo en el área de mantenimiento y repuestos.
	Ya que se encuentre al aire libre, hay mayor número de insectos que se acercan al producto.	Poco eficiente en el sistema de circulación de aire.	Descuidos por parte del operador del sistema puede provocar fallas graves

#### 1.4.4. Energía solar térmica

La energía solar térmica en particular se la obtiene mediante la irradiación solar, captándola mediante el uso de diferentes dispositivos, los cuales serán los encargados de realizar la captación solar, los equipos que se usan con mayor frecuencia son:

- Colector solar de placa plana.
- Colector solar de tubos vacíos.
- Colector solar parabólico.

##### 1.4.4.1. Colector solar de placa plana

En cuanto a los colectores de placa plana, este tipo son los más utilizados a lo que refiere a uso doméstico y temperaturas menores a 100°C, es decir que el agua se encuentra por debajo de su punto de ebullición. Este tipo de colectores se caracterizan por ser planos, tal como su nombre lo indica y los principales componentes que conllevan a este tipo de colector son: vidrio, mediante el cual se genera la transmisión de la radiación a la capa absorbente además de mantener hermética la estructura para que no exista pérdida de calor en su interior, en segunda instancia se visualiza el absorbedor, que se caracteriza por ser una superficie metálica de color negro y que posee una capacidad de absorción mayor al 90%, siguiente se tiene la capa a aislamiento para mantener hermético el interior, evitando la pérdida de calor y finalmente el marco del recolector sobre el cual se va a encontrar montado tal cual se lo puede visualizar en la figura. (Velasco, 2012)

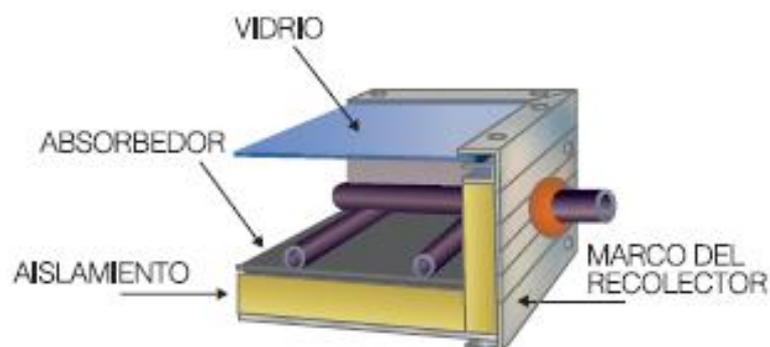


Figura 1.2 Colector solar plano de uso doméstico.  
Fuente: (FOCER, Manuales sobre energía renovables: Solar Térmica, 2002)

Las formas más convencionales en las que se puede visualizar la aplicación y uso de estos tipos de colectores de manera directa son en la calefacción y el servicio de agua caliente a casas, edificios y piscinas. Sin embargo, otra de las aplicaciones que se le da a este tipo de colectores es de manera indirecta por ejemplo en proceso de deshidratado de un producto. Este tipo de proceso posee los mismos componentes antes mencionados, con la diferencia de que en los extremos del colector se va a encontrar abierto, con la finalidad de que exista la recirculación del aire y llegue a la cámara de secado en donde se encuentre el producto (Velasco, 2012), tal como se lo visualiza en la figura 3.

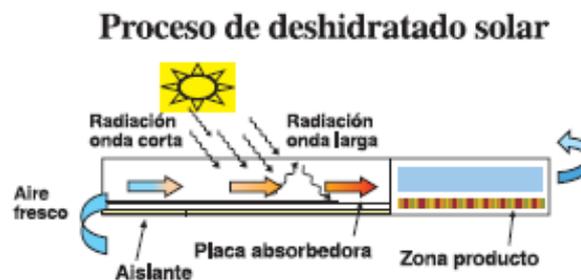


Figura 1.3 Deshidratador solar.

Fuente: (FOCER, Manuales sobre energía renovables: Solar Térmica, 2002)

#### 1.4.4.2. Colector solar de tubos vacíos

Este tipo de colectores solares también son usados en aplicaciones domésticas, como se lo visualiza en la figura 4 y se caracterizan por súper temperaturas a la de ebullición del agua, constan de tubos cristalinos que poseen similitud con los tubos de las lámparas fluorescentes, evitando las pérdidas internas que se generan mediante conducción y convección. Dentro de estos tubos se encuentra el fluido a circular, agua en la mayoría de los equipos. La diferencia característica de este colector es el uso de una bomba, que se emplea para la circulación forzada del vapor que se encuentra circulando en el interior, que llega a un intercambiador de calor, en donde el agua fría se calienta para posterior pasar a un tanque de almacenamiento para su debido uso, cabe recalcar que el tanque de agua caliente es de material aislante térmico, para así lograr la conservación de la temperatura. (Velasco, 2012)

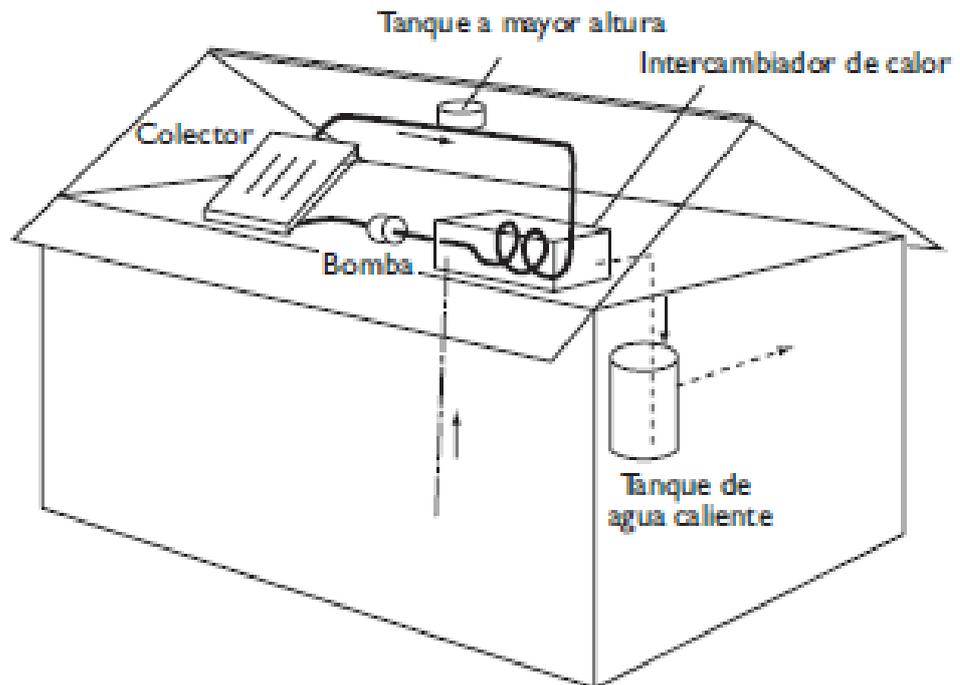


Figura 1.4 Colector solar de tubos vacíos en una vivienda.  
Fuente: (Velasco, 2012)

#### 1.4.4.3. Colector solar parabólico

Este tipo de colector solar se caracteriza por realizar la obtención de energía solar a temperaturas que suelen superar los  $1000^{\circ}\text{C}$ , mediante la irradiación térmica a grandes escalas, se dice que es grandes escalas ya que la superficie de terreno que ocupa este tipo de colector supera a los de una cancha de fútbol. La obtención de este tipo energía se basa en dos componentes principales, el emisor y el receptor.

El emisor en este caso serán los colectores solares, como se observa en la figura 5, que serán los encargados de enviar toda la energía obtenida a un punto en específico, en donde se encuentra el receptor, es aquí donde las altas cantidades del fluido que se encuentran en estado líquido, pasan a un estado gaseoso gracias la energía absorbida emitida de los colectores, este fluido circula mediante un arreglo de tuberías con el fin de aumentar su energía cinética, llegando a un punto final que será las aspas de las turbinas, generando la rotación de estas para la producción de energía mecánica. (Velasco, 2012)



**Figura 1.5 Sistema solar para generación de electricidad.**  
Fuente: (FOCER, Manuales sobre energía renovables: Solar Térmica, 2002)

#### **1.4.5. Energía solar fotovoltaica**

Es la energía complementaria que ayudara a abastecer de electricidad a los secadores híbridos, para ello se debe de determinar la cantidad el conjunto de paneles fotovoltaicos y complementos solicitados para abastecer dicha energía durante 8 horas de operación del secador. (INEDITA, 2018).

Para la delimitar la orientación e inclinación del colector solar es indispensable averiguar ciertos requerimientos como la radiación solar directa y difusa promedios sobre la superficie horizontal. Asimismo, del albedo del suelo, para poder evaluar la radiación global máxima sobre la superficie inclinada. (INEDITA, 2018).

**Tabla 1.2 Parámetros de radiación solar promedios de la zona de Bucay**  
**Fuente: Meteonorm, 2010**

Mes	G_Gh	G_Dh	G_Gk	G_Dk	G_Bn	Ta	RH	FF
	[kWh/ m2d]	[kWh/ m2d]	[kWh/ m2d]	[kWh/ m2d]	[kWh/ m2d]	[°C]	[%]	[m/s]
Enero	4.12	2.35	4.12	2.35	2.68	22.4	69	1.5
Febrero	4.41	2.35	4.41	2.35	2.89	22.2	75	1.2
Marzo	4.68	2.64	4.68	2.64	2.9	22.5	76	1.3
Abril	4.40	2.33	4.4	2.33	3.03	22.7	72	1.4
Mayo	4.45	2.21	4.45	2.22	3.4	21.9	71	1.7
Junio	4.27	1.93	4.27	1.93	3.68	20.3	73	2.3
Julio	3.90	2.32	3.9	2.32	2.51	19.8	73	2.5
Agosto	4.46	2.26	4.46	2.26	3.33	19.6	72	2.7
Septiembre	4.67	2.31	4.67	2.31	3.42	19.8	70	2.8
Octubre	4.45	2.24	4.45	2.24	3.17	20.0	71	2.8
Noviembre	4.19	2.15	4.19	2.15	3.1	20.6	68	2.7
Diciembre	4.14	2.35	4.14	2.35	2.62	21.9	65	2.3
AÑO	4.35	2.29	4.35	2.29	3.06	21.1	71	2.1

G\_Gh Irradiancia media de la radiación global horizontal  
G\_Dh Irradiancia media de la radiación difusa horizontal  
G\_Gk Irradiancia media de la radiación global, superficie inclinada  
G\_Dk Irradiancia media de la radiación difusa, superficie inclinada  
G\_Bn Irradiancia de la radiación directa normal  
Ta Temperatura del aire

RH	Humedad relativa
FF	Velocidad del viento
DD	dirección del viento
p	Presión atmosférica
Tsky	Sky temperature
Ts	Temperatura de la superficie
N	Grado de nubosidad
Td	Temperatura del punto de rocío
PrecW	Agua precipitable
Sd	Duración de la insolación

Para determinar la posición óptima de un panel fotovoltaico se debe calcular de acuerdo con la localización geográfica del lugar. Se establece parámetros necesarios que comprenden para el sector Bucay, una latitud de  $-2.166$  [°N] y una longitud de  $-79.1$  [°E].

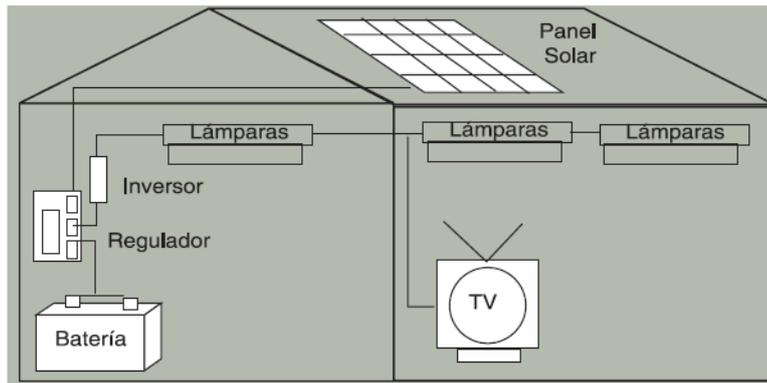
#### **1.4.5.1. Sistema fotovoltaico autónomo**

Este tipo de conexión es la que se emplea actualmente para la electrificación de casas o equipos electrónicos que se encuentran situados lejos de la red de energía eléctrica, debido a que la adecuación de este sistema es más costosa en comparación con la inversión de un sistema fotovoltaico autónomo. En las zonas urbanas se puede visualizar el uso de este sistema en la implementación de semáforos, cámaras de seguridad, radares, zona de carga, cabinas telefónicas.

Los componentes principales que conforman a un sistema autónomo son:

- Panel solar: El panel solar es el encargado de realizar la captación de la irradiación solar, siendo el equipo más importante en este sistema autónomo.
- Inversor: Transforma la corriente directa obtenida de los paneles solar a corriente alterna, para así poder usas en los equipos que se deseen conectar a la red.

- Regulador: Regula el voltaje, ya que existen picos los cuales pueden afectar de gran manera a los equipos electrónicos y unidades de almacenamiento.
- Batería: Es el dispositivo de generar el almacenamiento de la energía, para realizar el uso de esta cuando la irradiación solar es muy baja o no está presente.



**Figura 1.6 Diagrama de un sistema fotovoltaico autónomo.**  
Fuente: (FOCER, Manuales sobre energías renovables: Solar Fotovoltaica, 2002)

#### 1.4.5.2. Sistema fotovoltaico de conexión a red eléctrica

La característica principal que se diferencia con el sistema autónomo es que posee como su nombre lo dice, conexión a la red eléctrica, la cual funciona como si fuera una gran batería de almacenamiento, funcionando de dos manera principales: si la batería posee un excedente de carga, esta se transmite de manera automática a la red eléctrica, colocando este consume a disposición de otros usuarios, la segunda característica es que la red eléctrica proporcione carga a la batería, esto sucede generalmente cuando se tienen días con baja irradiación solar o se utilizan equipos de alto consumo energético, teniendo así el abastecimiento necesario gracias a la red eléctrica.

Para poder cuantificar la cantidad de energía usada y cedida en la red eléctrica, es necesario colocar un contador, que se encargará de medir la corriente que fluye a través del sistema eléctrico, además de un inversor de corriente directa a corriente alterna y viceversa, debido a que los equipos electrónicos funcionan con corriente alterna.

#### 1.4.6. Muro Trombe

El muro Trombe es otra forma de hacer uso de la energía térmica emitida por el sol, es un método de calefacción pasiva en la que se toma en cuenta la orientación e irradiación solar emitida, para así obtener la mayor cantidad de energía posible. Este tipo de implementaciones busca encontrar un impacto ecológico en la actualidad, dado que los materiales que se emplean para la elaboración de este muro son mínimas, se evita el uso de las calefacciones convencionales y se incentiva al uso de las energías renovables.

El efecto invernadero se genera entre el vidrio y la pared, debido a que el aire que se encuentra circulando se calienta gracias a las paredes gruesas que se encuentra en un extremo, esta pared por lo general es de color negro, para así lograr una mayor obtención de calor y que pase al interior de la vivienda. En la parte superior e inferior como se lo observa en la figura 7, se poseen aberturas para que el aire circule del exterior al interior y viceversa, además de que se las puede realizar la apertura o cierre según sea la conveniencia climática y del clima interior que se desee obtener.

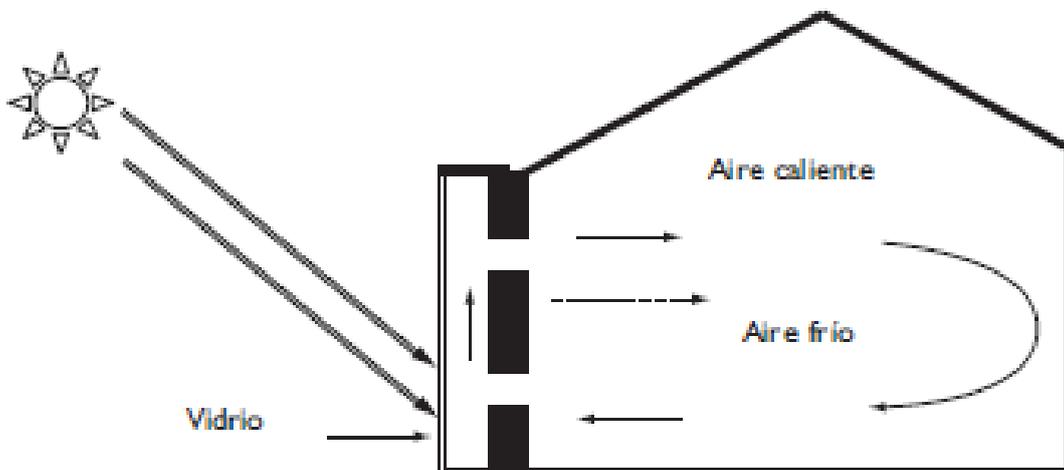


Figura 1.7 Muro Trombe.  
Fuente: (Velasco, 2012)

# CAPÍTULO 2

## 2. METODOLOGÍA

Con respecto al modelo de investigación que se desempeñó en este campo, que nos faculta y familiariza directamente con el objetivo de estudio, mediante la investigación consideraremos ahora la realidad de cómo se están desarrollando las acciones dentro del área de interés, para así dejar por un lado la preocupación y descartar ciertas imperfecciones que se nos proporcione para optimizar el diseño. Basándonos en los estudios realizados respecto al proceso de secado de cacao tanto en tendales como en equipos fotovoltaicos nos determinan un porcentaje de humedad que obtiene la almendra de cacao. Sin embargo, nos ayudara para ir determinando la calidad con la mejora del diseño.

Método Inductivo, Se emplea a partir del razonamiento a fin de obtener conclusiones que se deriven de hechos propios aceptados como válidos. El método se describe con un estudio individual de lo ocurrido y se obtienen conclusiones globales que se proclaman como principios o fundamentos de una teoría. (Bernal Torres, 2006)

### **Características de la población:**

- El proyecto se implementará para el sector agrícola que se encuentra ubicado en la comunidad de Bucay, provincia del Guayas. Conformados por agricultores y profesionales que trabajan en la producción de cacao, con mucho cariño y esfuerzo para la población.

### **2.1. Propuesta de optimización del diseño**

A partir de las bases de datos del Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, presenta en la base de datos el sector cacaotero indica que las provincias del Guayas y Los Ríos con una capacidad de producción de 51.639 toneladas y 52.815 toneladas respectivamente para el año 2017. (ANECACAO, 2019)

De acuerdo con el análisis de las muestras de cacao fino que se realizó en estudios anteriores donde se procedió con protocolo para el análisis del cacao

CCN51. Por consiguiente, la metodología se describe a continuación; (INEDITA, 2018).

1. Recolección de muestras existentes de almendras cacao fino en los cantones de la provincia del Guayas.
2. Proceso de secado de las almendras de cacao fermentadas a tres temperaturas diferentes 40,50 y 60 °C, utilizando un secador de bandejas metálico y también se comprobó el secado al sol.

Se implementó ciertos parámetros para medir, durante el proceso de secado que es:

- Temperatura de secado (Temperatura de bulbo seco)
- Pérdida de masa de la muestra (gramos)
- Humedad en base humedad (%)
- Tiempo de secado (horas)
- Evaluación de las propiedades fisicoquímicas del cacao seco.
- Adquisición de los datos obtenidos durante el proceso de secado, proyección de las curvas de secado (Humedad libre vs Tiempo), curvas de rapidez de secado (Rapidez de Secado vs Humedad Libre).

Respecto a la cinética de secado, se apuntaron las pérdidas de masa de los gramos una vez iniciado el proceso de secado. El registro nos muestra que se realizó cada hora hasta alcanzar una masa persistente (humedad en equilibrio). Las masas se determinaron a partir del uso de una balanza Kern ( $\pm 0,001 g$ ). Se tomaron en cuenta ciertos parámetros en el proceso como: la velocidad del viento, humedad relativa y temperatura de bulbo seco del aire caliente.

Dentro del estudio se pueden observar las curvas experimentales de secado de los almendros de cacao a las diferentes temperaturas y expuesta al ambiente. En las figuras a continuación observaremos que a mayor temperatura el tiempo de secado se acorta, 14 horas (T60), 17 horas (T50), 20 horas (T40) y expuesta al ambiente en un clima de irradiaciones entre 400 a 500 W/m<sup>2</sup>, tarda aproximadamente dos días en secar.

A manera de ejemplo se presenta los resultados del proyecto INEDITA de las curvas:

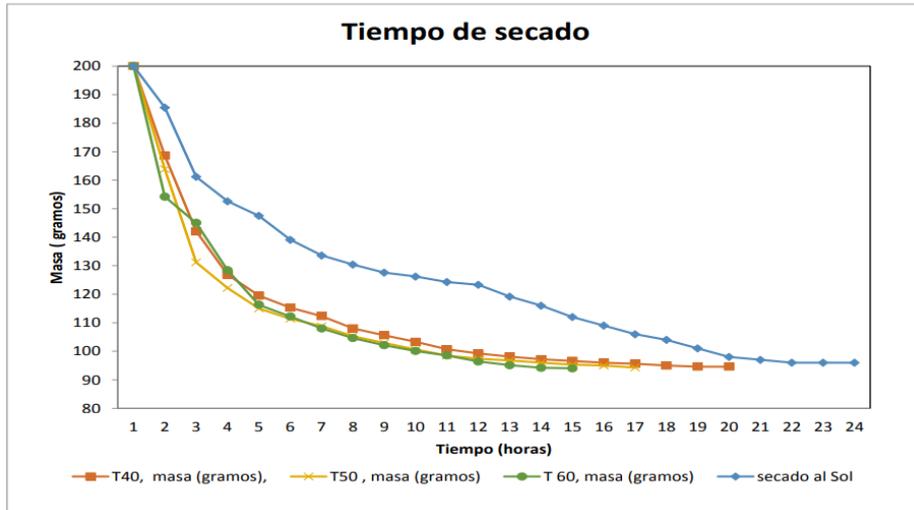


Figura 2.1 Tiempo de secado de la semilla.

## 2.2. Cacao fino o arribo (Cacao Nacional)

Se presentan las curvas de velocidad de secado experimentales para las muestras de cacao fino a las distintas temperaturas de secado. Se observa que las curvas relacionan las velocidades de secado calculadas con la ecuación (1) con la humedad libre. Finalmente, con estas curvas se puede precisar la velocidad crítica ( $R_c$ ) mediante la visualización de los puntos donde se origina un cambio de velocidad constante a decreciente.

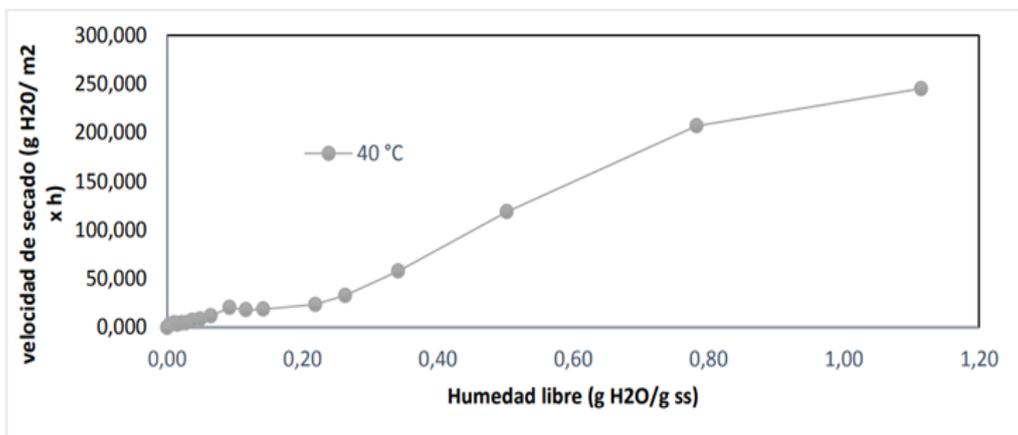


Figura 2.2 Velocidad de secado a cuarenta grados Celsius.  
Fuente:(Proyecto INEDITA, 2019)

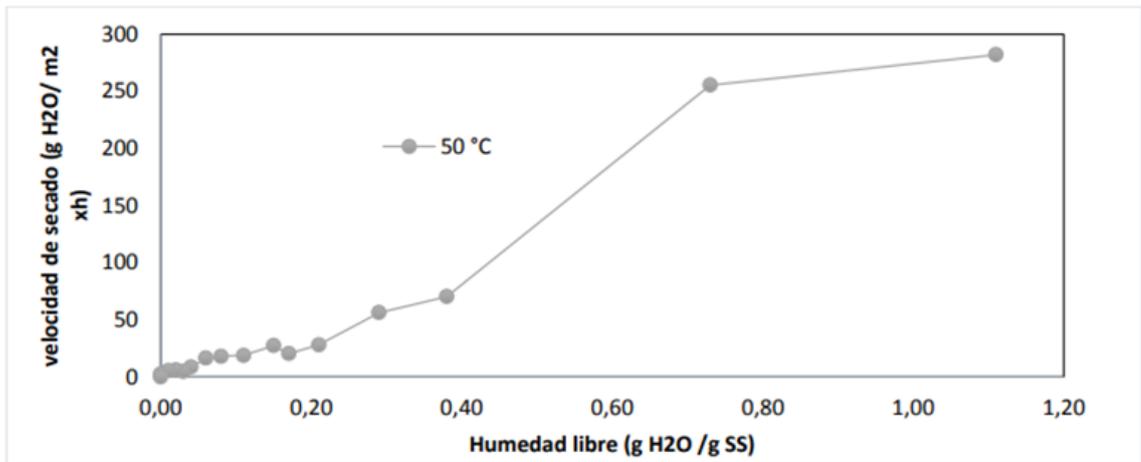


Figura 2.3 Velocidad de secado a cincuenta grados Celsius.  
Fuente:(Proyecto INÉDITA, 2019)

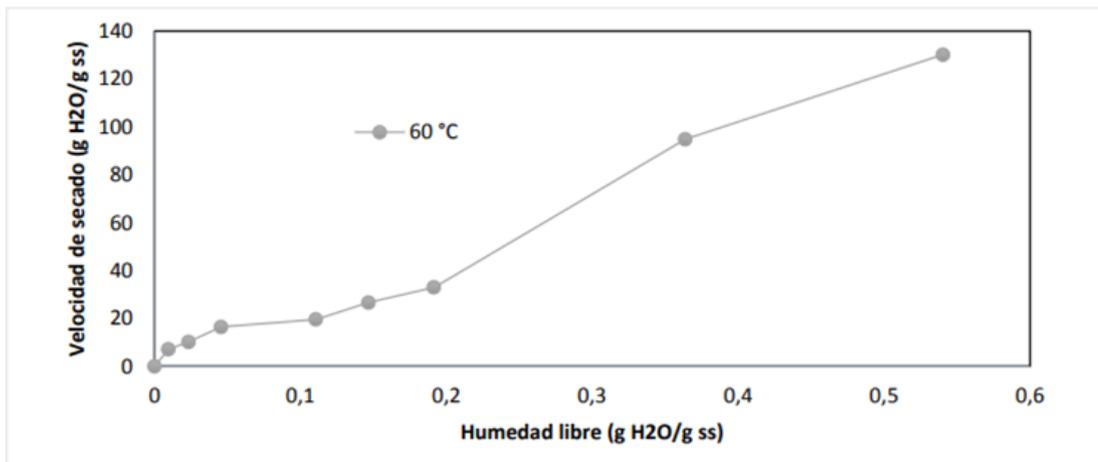


Figura 2.4 Velocidad de secado a sesenta grados Celsius.  
Fuente:(Proyecto INÉDITA, 2019)

Por otro lado, tenemos el análisis de las curvas de velocidad de secado para los tres casos en cacao fino y se distingue un período de velocidad decreciente hasta llegar a un periodo de velocidad constante. El periodo se dispone de una pequeña cantidad de agua libre y la propagación de agua unida es el mecanismo principal que controla la difusión de agua desde el interior del grano.

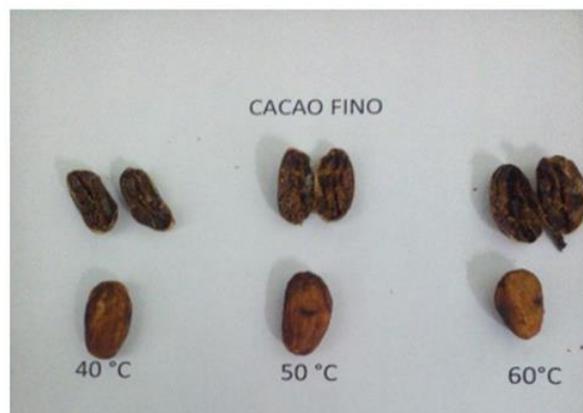
Podemos observar en la tabla a continuación, los resultados de velocidad, punto crítico del secado (determinado del análisis experimental de pérdida de masa del producto a través de ecuaciones, expuesta en la sección siguiente).

**Tabla 2.1 Resultados principales de las curvas de secado y velocidad de secado.**  
**Fuente: Proyecto INÉDITA, 2019**

CACAO FINO				
Va (m/s)	T(°C)	$X_e$ $\left(\frac{kg H_2O}{kg ss}\right)$	$R_c$ $\left(\frac{kg H_2O}{m^2 x h}\right)$	$X_c$ $\left(\frac{kg H_2O}{kg ss}\right)$
1.9 – 2.5	40	0.086	0.502	0.850
	50	0.121	0.619	0.827
	60	0.099	0.856	1.240

Después de cada secado se realizó mediciones de las características fisicoquímicas de las almendras de cacao secas con la finalidad de poder establecer cómo afecta la temperatura en las características finales de las mismas. Se pudieron apreciar ciertas propiedades organolépticas del Cacao Fino para cada uno de los almendros, secados a diferentes temperaturas tales como 40, 50, 60 °C., donde se reportó cierta información validada por el Proyecto INEDITA, tanto su aroma que se percibía a una temperatura de 40 °C un dulce agradable llego a variar a los 50 °C un fuerte aroma, a continuación, se aromatizaba a los 60 °C más dulce y suave.

Tenemos también, como característica principal su color y sabor, donde observamos una variación visual palpable entorno a su color una vez empezado el proceso de secado y llegue a una temperatura de 40 °C se torna un Café claro, al momento de llegar a una temperatura de 50 °C apreciamos un café oscuro, y por último a una temperatura de 60 °C un marrón oscuro. Algo similar ocurre con el sabor que empieza con un gusto suave, va pasando a un amargo regular y luego llega a una sensación fuerte.



**Figura 2.5 Muestras de semillas secadas a diferentes temperaturas.**

### 2.3. Determinación de la humedad

Para la determinación y análisis en la toma de medidas de la humedad en base húmeda de la semilla a cada hora de secado y para cada replica, para ello se utilizó la Termobalanza marca DKN Kern. Se describe la termobalanza como una balanza eléctrica acoplada a un módulo calefactor que permite determinar la humedad de un producto a través de la variación del peso, después de ser sometida al proceso de secado con energía infrarroja.

La termobalanza se debe programar a una temperatura de 130 °C (temperatura establecida por el manual de la termobalanza para determinar humedades de granos de cacao) y secado hasta que la variación de la humedad sea de un intervalo de  $\pm 0.01\%$ . Inicia el proceso de secado automáticamente una vez colocada la muestra, cuando toda el agua de la muestra es retirada procede a emitir un sonido y se apaga automáticamente. La determinación de la humedad dura entre 15 y 40 min, dependiendo de la cantidad de humedad que posea. Dada la gran cantidad de tiempo que demora en determinar la humedad de cada grano, es necesario solo trabajar con una muestra por cada temperatura, caso contrario como las muestras se almacenan con un alto o bajo grado de humedad, si no se analizan inmediatamente estas tienden a cubrirse de moho y al momento de analizarlas generan datos erróneos.

A continuación, se mostrarán ciertas ecuaciones representativas para el procesamiento de los datos:

Tenemos las curvas de secado, en donde la gráfica nos permite analizar la cinética de secado de los granos. Para ello se realiza la transformación de masas totales ( $W$ ) del sólido húmedo a diferentes tiempos ( $t$ ) al contenido de humedad en base seca por tiempo ( $X_t$ ), determinada en la ecuación 1.

$$X_t(\text{humedad en base seca}) = \frac{W - W_s(\text{masa de agua})}{W_s(\text{masa de sólido seco})} \quad (2.1)$$

Donde:

$X_t$ = es el contenido de humedad en base seca en cada intervalo de tiempo  
( $gH_2O/g_{SS}$ )

$W$ = es la masa de sólido a cada intervalo de tiempo ( $g$ )

$W_s$ = es la masa de solido seco a cada intervalo de tiempo ( $g$ )

Luego se determina el valor de contenido de humedad libre  $X$  (g de agua libre/g de sólido seco), para cada valor de ( $X_t$ ), restando el contenido de humedad en equilibrio ( $X_e$ ), el mismo que se determina cuando las masas son constantes al final del proceso de secado. Ecuación 2 y 3.

$$X_e = \frac{W_e - W_s}{W_s} \quad (2.2)$$

$$X_e = X_t - X_e \quad (2.3)$$

Donde:

$X_e$ = contenido de humedad en equilibrio( $gH_2O/g_{SS}$ )

$W_e$ = es la masa constante al final del proceso

#### 2.4. Velocidad de secado decreciente

Las curvas de velocidad de secado (Rapidez de secado vs Humedad libre), se emplean para determinar la velocidad constante y decreciente durante el proceso de secado, así como la velocidad crítica, que es la velocidad en donde se produce la transición de constante a decreciente. Para obtener la velocidad de secado  $V_d$ , se emplea la ecuación 4.

$$V_d = V_c \frac{X_f - X_e}{X_c * e} \quad (2.4)$$

Donde:

$X_f$ = Humedad final del grano

$X_e$ = Humedad de equilibrio del grano

$X_c$  = Humedad crítica del grano

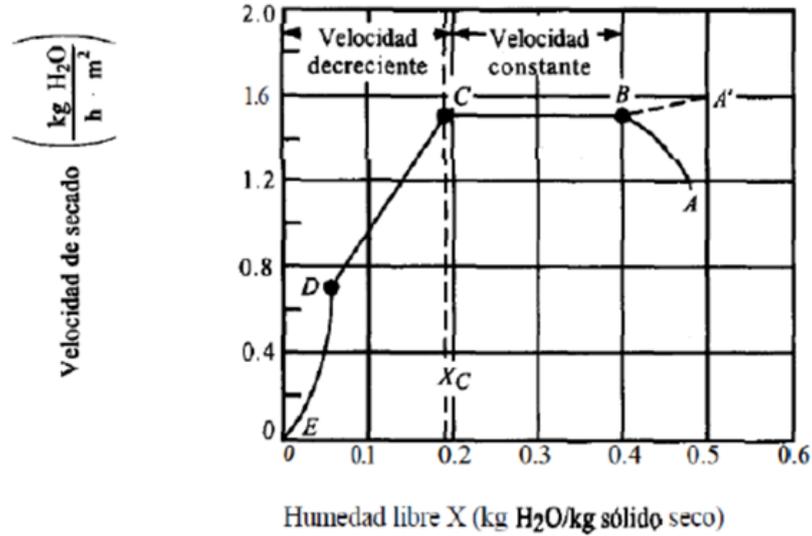


Figura 2.6 Curva de velocidad de secado en función de la humedad libre.

### Tiempo de secado de cacao decreciente

$$T_d = \frac{M_s(X_c - X_e)}{A_s * V_c} \quad (2.5)$$

Donde:

$V_c$  = Velocidad de secado constante

$A_s$  = Área de secado ( $m^2$ )

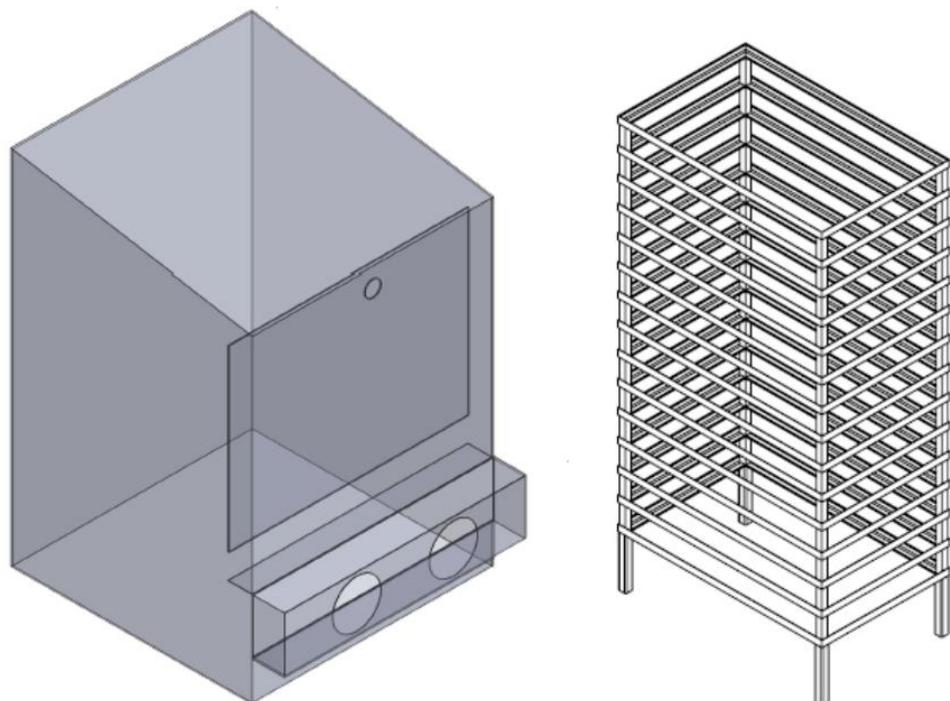
$M_s$  = Masa de los granos secos (kg)

### 2.5. Diseño actual del secador de bandeja

La construcción de la cámara térmica que para esta sección seleccionaron un secador solar térmico, con la finalidad de que el sistema mantenga constante la temperatura de operación, añadiendo resistencias eléctricas como sistemas secundarios (4000 W de suministro energético). El sistema eléctrico es abastecido por paneles fotovoltaicos.

Actualmente comprende de cortes de todos los materiales a partir del plano entregado por el componente de diseño del proyecto siendo estas; planchas galvanizadas de 0.9 mm, plancha de acero inoxidable lisa de 0.7 mm de espesor, planchas de policarbonato y un tubo cuadrado de 1 1/2 pulgada. Se encuentra una estructura armada de tubos cuadrados siendo la base fundamental donde se acoplan las placas de policarbonato (dos paredes laterales y techo de policarbonato). Figura 2.7.

El diseño actual comprende en su interior de 4 portabandejas (16 bandejas c/d) con lamina perforada. La estructura de las paredes está ensamblada con planchas de policarbonato y metálicas. En la parte frontal de la cámara ingresa el aire a temperatura ambiente, sin embargo, cuenta con resistencias eléctricas para mantener la temperatura dentro de la cámara. En la parte posterior se encuentra la salida del aire residual y la puerta de acceso del personal de trabajo. Los ventiladores que abastecen el flujo de aire no son suficiente, es aquí donde radica el problema en la velocidad del viento no llega a ser constante sobre toda la superficie, lo que implica que no se logra la homogeneidad en el secado.



**Figura 2.7 Vista isométrica propuesta actual.**

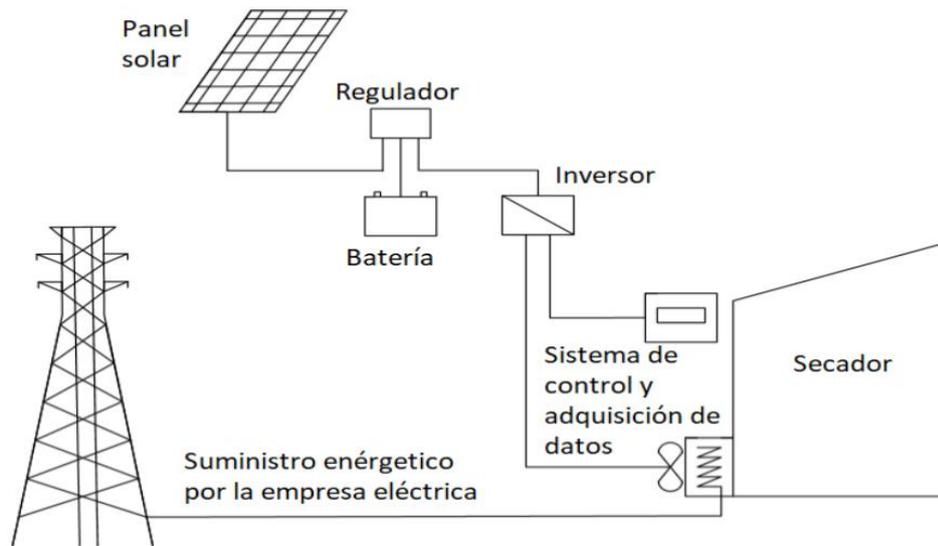


Figura 2.8 Flujo suministro fotovoltaico y eléctrico.

## 2.6. Evaluación de alternativas y propuestas de cámara de secado

Se presentan varias propuestas de diseño con la finalidad de optimizar el proceso de secado la cual nos enfocamos en la cámara térmica puesto que almacenará calor en su interior procedente del aprovechamiento de la energía solar, en su interior consta de 4 portabandejas (16 bandejas c/d) con lámina perforada. La estructura del y parte de las paredes se ensamblarán con planchas de policarbonato y metálicas. En la parte frontal de la cámara ingresará aire a temperatura ambiente, sin embargo, se instalarán resistencias eléctricas para mantener la temperatura dentro de la cámara las cuales se encenderán solo en caso de condiciones climáticas desfavorables, es decir en ausencia de sol. En la parte posterior se encuentra la salida del aire residual y la puerta de acceso del personal de trabajo. Los ventiladores que abastecerán el flujo de aire necesario serán alimentados con energía solar mediante la implementación de paneles solares fotovoltaicos.

**Tabla 2.2 Parámetros iniciales para la simulación de la cámara de secado.**  
**Fuente: Elaboración propia**

<b>Temperatura ambiente</b>	25°C
<b>Latitud</b>	-2.12°
<b>Angulo</b>	15°
<b>Radiación solar</b>	600 W/m <sup>2</sup>
<b>Fluido</b>	Aire
<b>Material de las paredes frontales</b>	Acero inoxidable
<b>Material de las paredes laterales y techo</b>	Polycarbonato
<b>Superficie de paredes laterales y techo</b>	Pared absorbente
<b>Material de la resistencia térmica</b>	Níquel
<b>Potencia resistencia térmica</b>	2000 W
<b>Velocidad de entrada</b>	3 m/s
<b>Presión de salida</b>	101325 Pa

### **2.6.1. Alternativa 1**

Como primera alternativa, el diseño y dimensiones de la estructura externa se mantiene, por lo que las modificaciones se comienzan a realizar en la parte interna. Los ventiladores serán colocados en la parte superior con la finalidad de que exista un mejor aprovechamiento del aire caliente que sale directamente del muro Trombe, además de agregarle un recalentamiento debido a las resistencias eléctricas que se mantienen a la salida de cada ventilador. Seguido se modificó para que el flujo de aire se encuentre forzado en mediante un sistema de ductos, que está conformado de un codo de 45° con la finalidad de redirigir el flujo de aire que se encuentra de forma horizontal a un cambio vertical, seguido a este codo se lo añadió otro ducto de manera vertical, el cual posee siete perforaciones circulares de lado a lado, estas perforaciones se la realiza con la finalidad de que existe una mejor distribución de aire en el interior de la cámara de secado. Y finalmente se coloca en la parte superior de la salida de los ventiladores una salida de aire residual, con la finalidad de visualizar las posibles pérdidas que se llegan a obtener dentro de la cámara de secado.

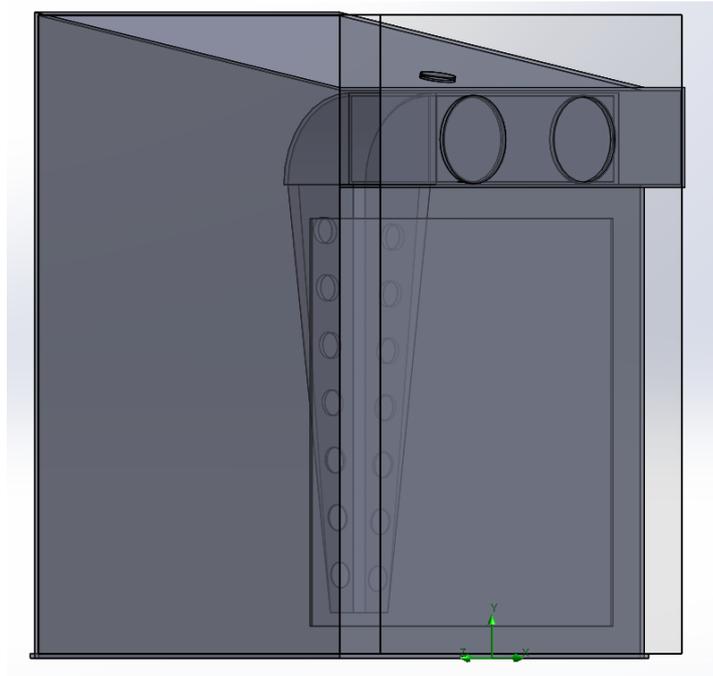


Figura 2.9 Vista isométrica de alternativa uno.

En las siguientes figuras, se puede visualizar el comportamiento del flujo del aire a través de la cámara de secada, el comportamiento del aire visualizado desde una vista lateral y una vista superior.

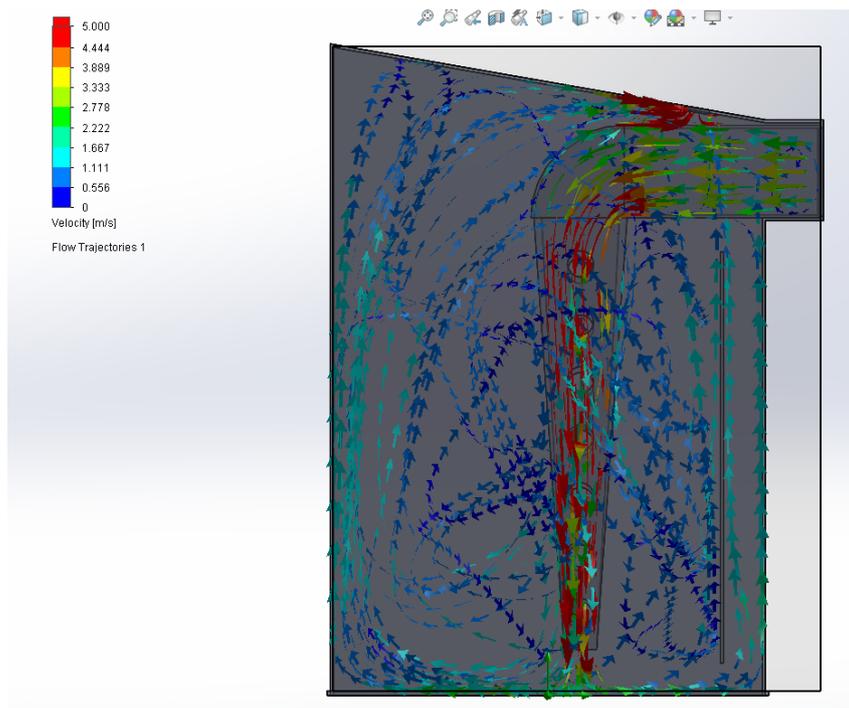


Figura 2.10 Distribución de aire alternativa uno, vista lateral.

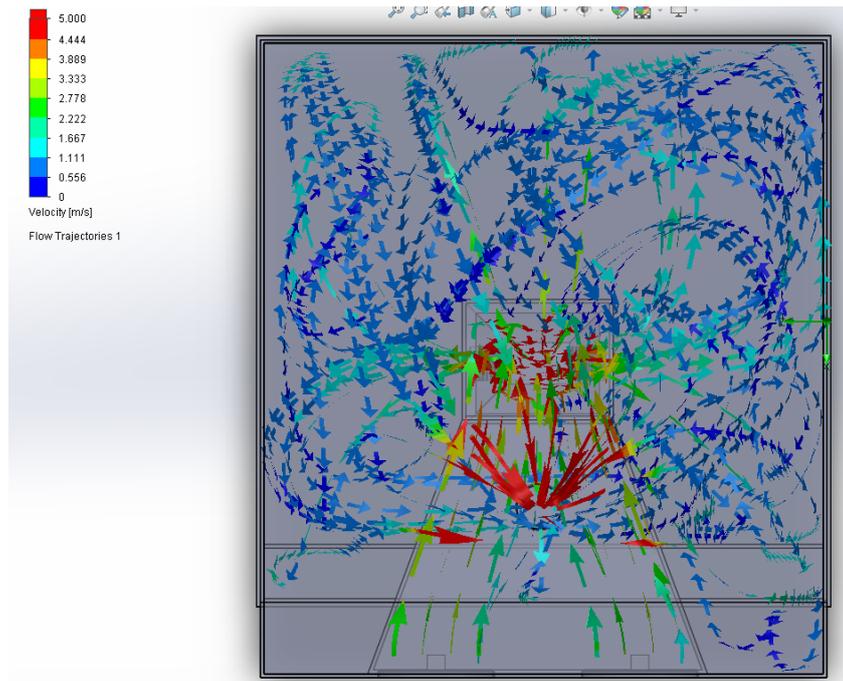


Figura 2.11 Distribución de aire alternativa uno, vista superior.

### 2.6.2. Alternativa 2

Como se lo hizo para la alternativa 1, la estructura externa se sigue manteniendo en su totalidad, de igual manera el dimensionamiento de los respectivos portabandejas. La modificación que se le realizó a esta alternativa fue la colocar los ventiladores en la partes superior, para así aprovechar el aire caliente emitido por el muro Trombe mediante la irradiación solar, en la salida de los ductos de aire se lo dejó libre, sin ningún tipo de redireccionamiento del aire, sin embargo si se le agregó una plancha de policarbonato en la mitad de la estructura, esto con la finalidad de dividir en dos partes iguales la estructura y así poder realizar una mayor concentración de aire en cada uno de los lados correspondientes. En la parte externa al muro Trombe, se coloca una salida de aire residual, la cual se encuentra a una presión atmosférica.

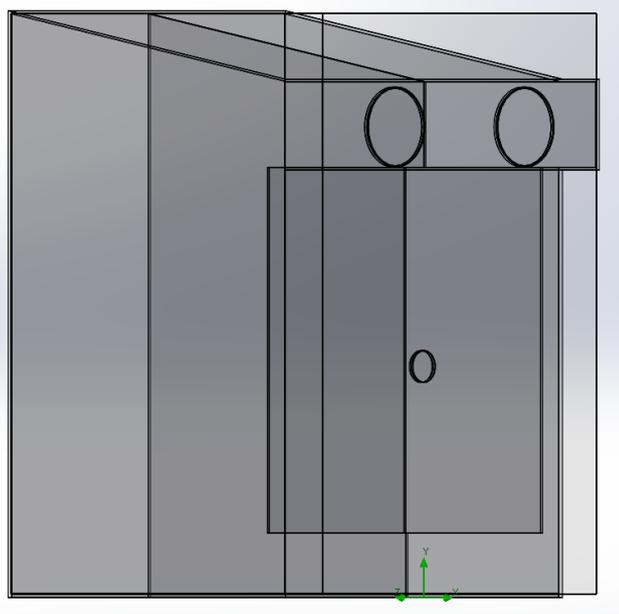


Figura 2.12 Vista isométrica de alternativa dos.

En las siguientes figuras, se visualiza el flujo de aire respectivo para la alternativa 2, en la figura a continuación se visualiza la trayectoria del aire emitida por los ventiladores a una velocidad de 3 m/s, el flujo se distribuye a lo largo de la cámara con leves remolinos de aire. En la figura 2.13, se observa desde una vista superior el flujo de aire dentro de la cámara para esta alternativa.

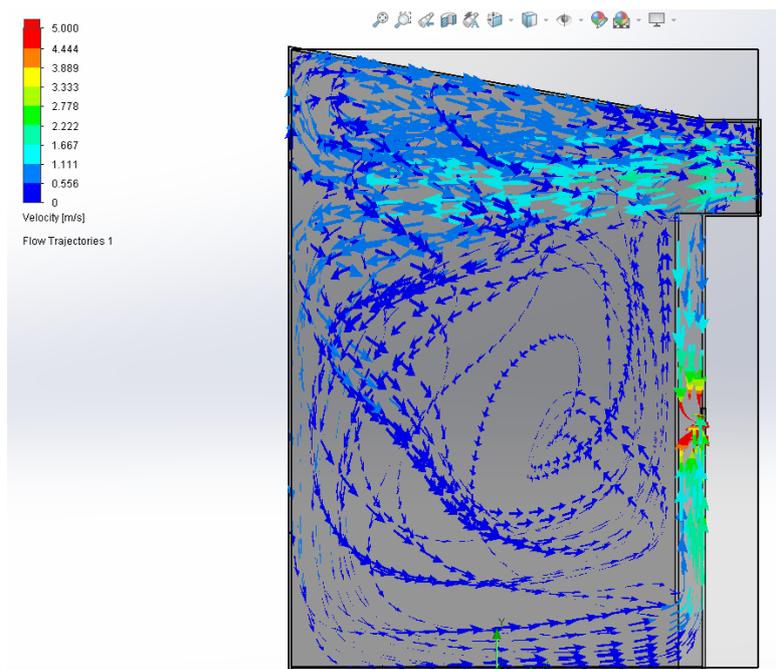


Figura 2.13 Distribución de aire alternativa dos, vista lateral.

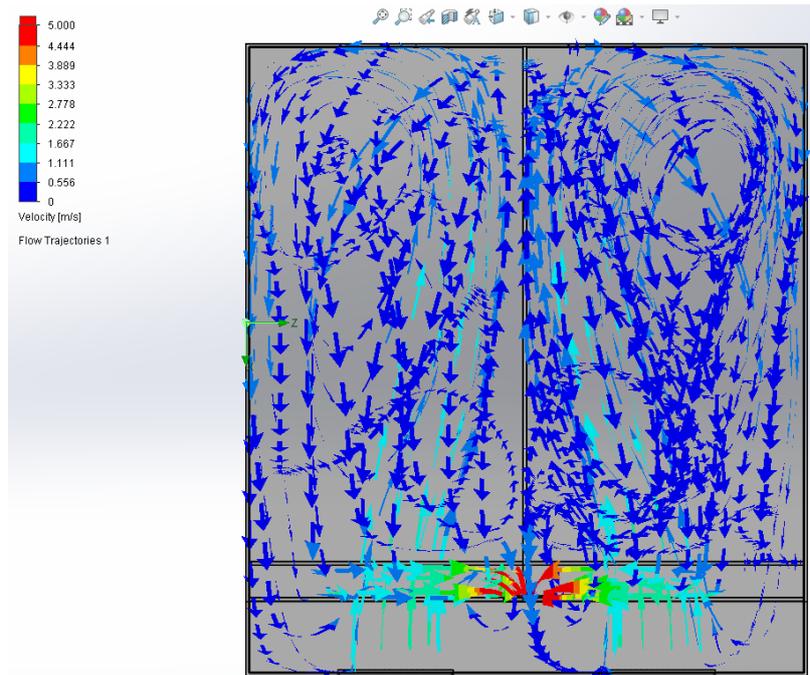


Figura 2.14 Distribución de aire alternativa dos, vista superior.

### 2.6.3. Alternativa 3

Para la alternativa 3, se le adiciona un ventilador que posee las mismas características que los dos principales, de igual manera se le adiciona una resistencia de 1000 W a la salida del flujo del aire para realizar la transferencia de calor desde las resistencias, al aire circulando por el medio circundante. La particularidad en es esta alternativa se da en el adiconamiento de aletas, en la parte frontal de los ventiladores, por donde se permite el ingreso de los portabandejas, se colocan 5 aletas a lo ancho de la entrada y del lado en el que se encuentra el muro Trombe, se le adicionan 4 aletas, que de igual manera se encuentran adheridas a dicho muro. Cabe recalcar que este tipo de aletas poseen un ángulo de  $45^{\circ}$  con una inclinación hacia la parte inferior, con el fin de redirigir el flujo de aire hacia las bandejas que se encuentran en la parte inferior del portabandejas. Al igual que en las alternativas anteriores, se coloca una salida de aire residual que se encuentra a una presión atmosférica.

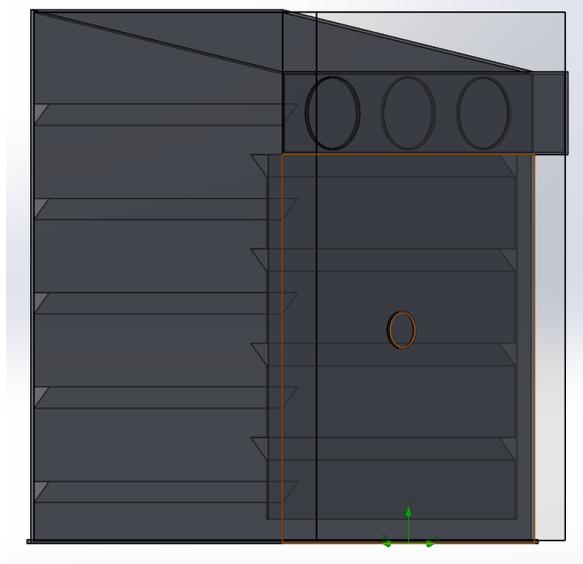


Figura 2.15 Vista isométrica de alternativa tres.

En la siguiente figura, se puede visualizar la descendencia de la trayectoria del flujo desde una vista lateral a lo largo de la cámara de secado, esta trayectoria posee una pendiente hacia abajo, debido a la implementación de las aletas que se le incorporó, es decir que están cumpliendo en realizar una correcta distribución del aire a lo largo de cada una de las secciones del portabandejas. De la misma manera, en la figura 2.16, se observa el flujo de aire desde la vista superior, sin la presencia de turbulencias dentro de la cámara.

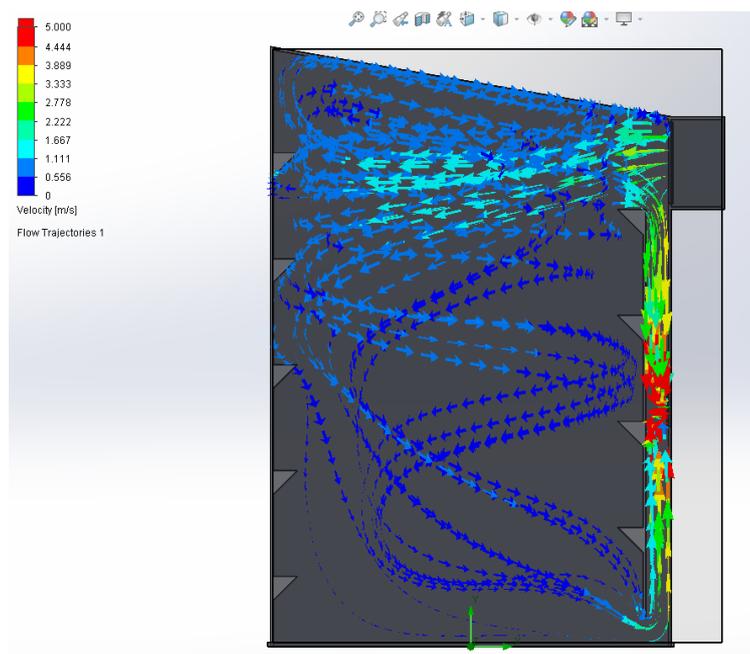


Figura 2.16 Distribución de aire alternativa tres, vista lateral.

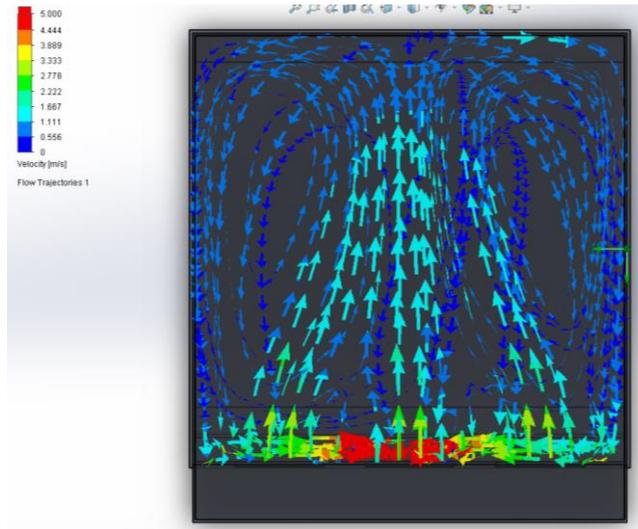


Figura 2.17 Distribución de aire alternativa tres, vista superior.

#### 2.6.4. Alternativa 4

Esta alternativa posee una gran similitud en la anterior ya mencionada, la diferencia se da en la división que se genera en la mitad de la estructura, esta división se la realiza con la finalidad de que exista una mayor acumulación de aire en cada uno de los lados de secador, y que, gracias a la incorporación de las aletas dentro de la cámara, el flujo de aire posea una descendencia gradual, con el fin de evitar la concentración de aires en diferentes sectores de la cámara.

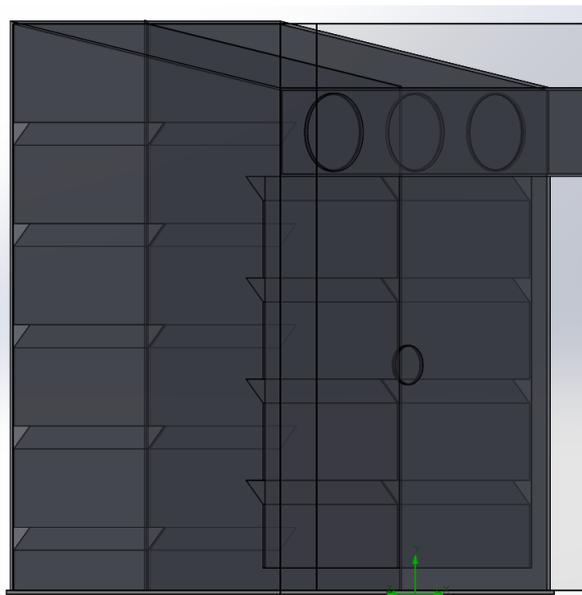
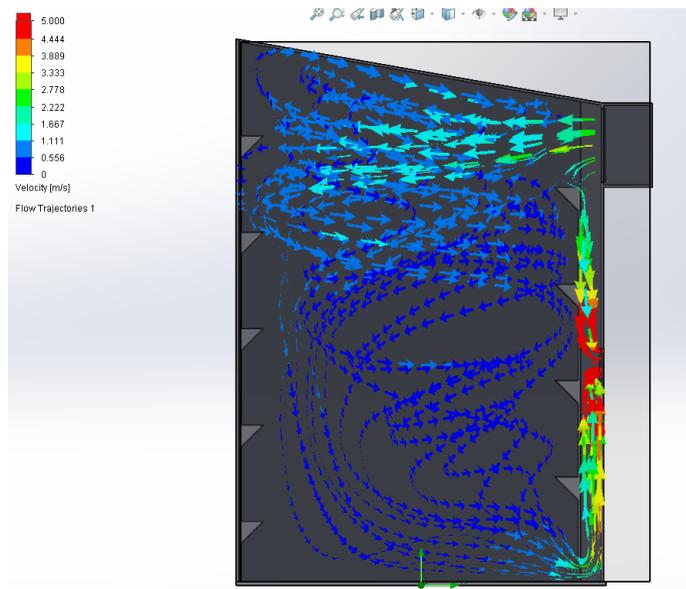
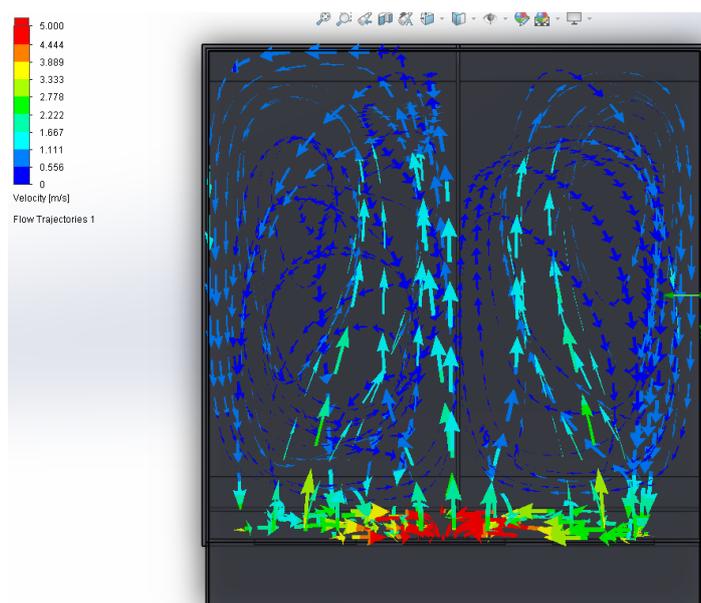


Figura 2.18 Vista isométrica de alternativa cuatro.

El flujo de aire visualizado desde una vista lateral, como se observa a continuación cumple con el descenso gradual del aire, además de que posee una acumulación mayor de flujo de aire, tal como se lo observa en la figura 2.19 en donde se cada una de las secciones divididas, posee un correcto direccionamiento entre sí, permitiendo que el flujo de aire se mantenga dentro de la sección, incrementando así la eficiencia dentro de la distribución.



**Figura 2.19** Distribución de aire alternativa cuatro, vista lateral.



**Figura 2.20** Distribución de aire alternativa cuatro, vista superior.

### 2.6.5. Alternativa 5

Esta última alternativa se caracteriza principalmente en el aumento de dos ventiladores, con la finalidad de que existe una mejor recirculación del aire caliente que se encuentra dentro de la cámara. El par de ventiladores que se encuentra en la parte media superior de una de las paredes de la cámara de secado, son los ventiladores encargados de ejercer la recirculación del aire que caliente que se encuentre elevándose, mientras que los ventiladores que se encuentran en la parte inferior están conectados a una resistencia térmica que se activará de manera automática para lograr satisfacer la demanda de aire caliente. Estos 4 ventiladores que se están colocando en la cámara, son de características similares.

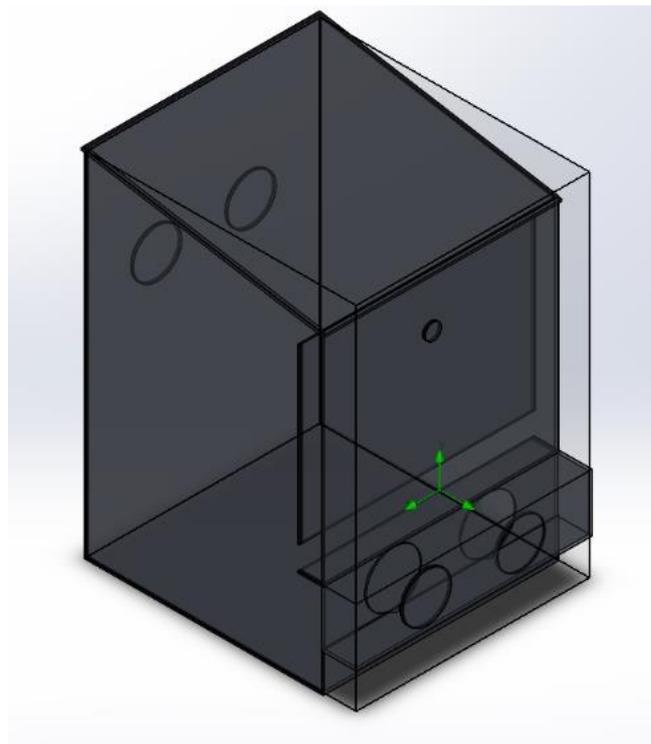


Figura 2.21 Distribución de aire alternativa cinco, vista isométrica

Las líneas de flujo de aire que se observan en la siguiente figura, en gran parte de la cámara de secado se encuentran en los colores amarillo y naranja, lo que nos indica que la corriente de aire circulando en el interior, se encuentra entre un rango de 1.5-1.3 m/s, asegurando así de que el aire caliente llegue a todas las secciones.

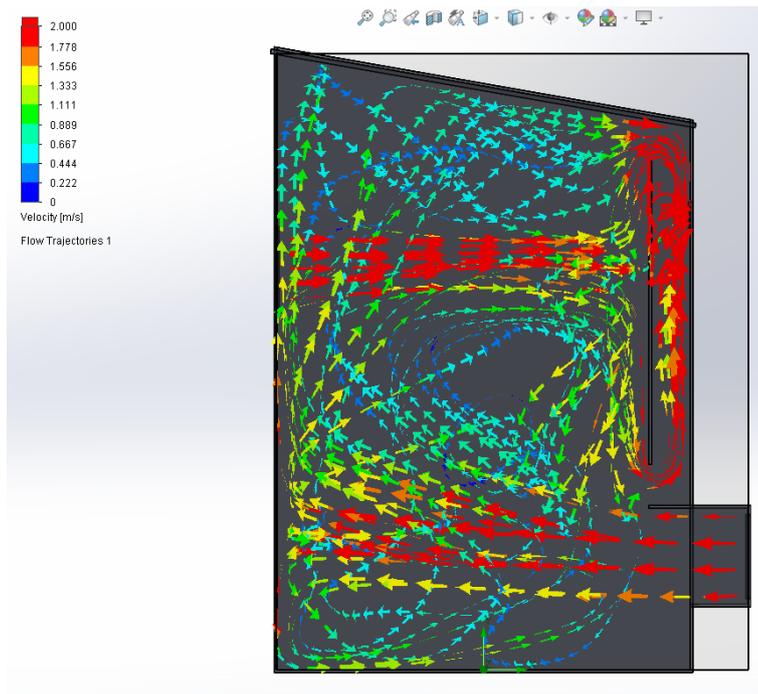


Figura 2.22 Distribución de aire alternativa cinco, vista lateral.

En la parte inferior de la figura que se muestra a continuación, se observa una acumulación de vectores de corrientes de aire, esto se da debido a que en esta parte se ha insertado una salida de aire, provocando así la acumulación de estas líneas en este sector de la cámara de secado.

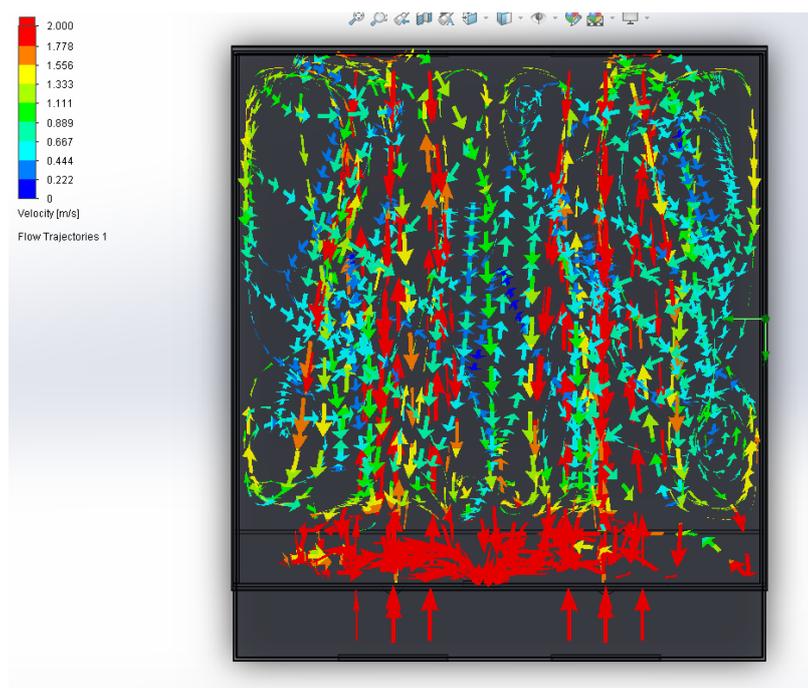


Figura 2.23 Distribución de aire alternativa cinco, vista superior.

## 2.7. Diseño de la estructura de soporte para los Paneles Solares

Implementado para resistir una capacidad de 6 paneles fotovoltaicos.

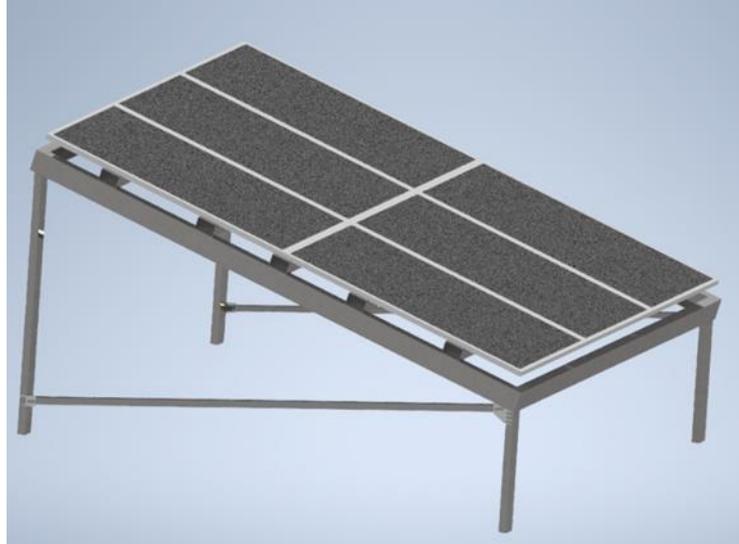


Figura 2.24 Estructura de soporte para los paneles solares.

El módulo debe situarse en posición perpendicular al sol.

Por lo que:

- Estará orientada al Sur con acimut = 0.
- La inclinación para una máxima energía solar durante el periodo de un año se determina según una fórmula basada en la latitud del lugar. Lo cual está determinada -2.166 °N.
- No se considera Sobrecarga de uso; Viento; (Garces, 2017)

$$q_e = q_b \cdot C_e \cdot C_p$$

$$q_e = 0.06371 * v^2 \quad (2.6)$$

v= Velocidad del viento en m/s

Lluvia; (Garces, 2017)

$$q_n = \mu \cdot s_k$$

Angulo de inclinación o Pendiente  $\beta$ : Es el ángulo requerido para nuestro cálculo, el mismo determinara la posición óptima del panel. Cabe indicar que el

panel se mantendrá fijo por lo tanto es necesario determinar el ángulo acimutal de la placa.

El factor de corrección geométrico de la superficie se determina a través de; la latitud, declinación, ángulo horario y de la pendiente de la superficie. (Inédita, 2018)

$$R_b = \frac{\cos(\sigma + \beta) * \cos \delta * \cos \tau + \text{sen}(\sigma + \beta) * \text{sen} \delta}{\cos \sigma * \cos \delta * \cos \tau + \text{sen} \sigma * \text{sen} \delta} \quad (2.7)$$

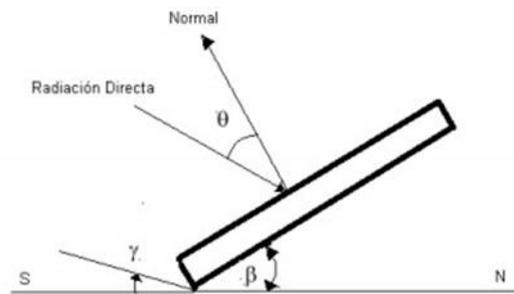


Figura 2.25 Ángulos para una superficie inclinada

De acuerdo con el diseño planteado por presupuesto no se pudo adquirir un buen número de paneles solares para su óptimo funcionamiento. Lo cual se decidió solo abastecer el sistema de ventiladores y el sistema de control para el secador. Necesitando para este caso solo de 6 paneles solares de 330 W cada uno. Este sistema será adaptado a inversor híbrido conectado a la red.

**Tabla 2.3 Lista de materiales del sistema fotovoltaico**  
Fuente: Elaboración Propia

Materiales	Cantidad
Ventilador de 50 W	4
Paneles fotovoltaicos de 330 W	6
Inversor híbrido conectado a la red y autónomo de 1 kW	1
Regulador 12/24	1
Inversor autónomo de 500 W	1
Batería solar de 100 AH	2

## 2.8. Condiciones Ambientales

Bucay es una ciudad perteneciente a la provincia del Guayas situada en la cercanía de la provincia del Chimborazo a una altitud de 790 msnm, con una posición con respecto al plano ecuatorial de  $-2.66$  N(Latitud) y una posición con respecto al meridiano de Greenwich  $-79.1$  E(Longitud) , posee un clima tropical de sabana debido a las condiciones climatológicas, caracterizándose por tener un invierno con altas precipitaciones y un verano extremadamente seco, además a lo largo del año se mantiene una humedad relativa superior al 70% siendo así que esta ciudad sea calurosa en cualquier época del año. Las figuras a continuación representan a las condiciones climáticas que se obtuvieron en Bucay para el año 2019.

### 2.8.1. Temperatura

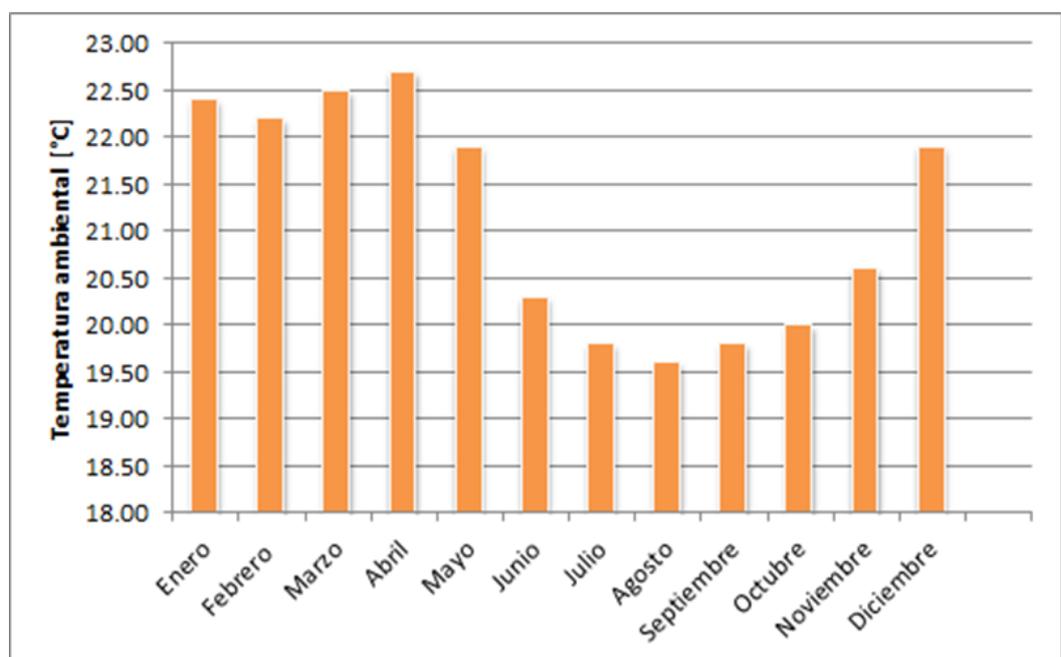


Figura 2.26 Distribución mensual de temperatura.

### 2.8.2. Velocidad del viento

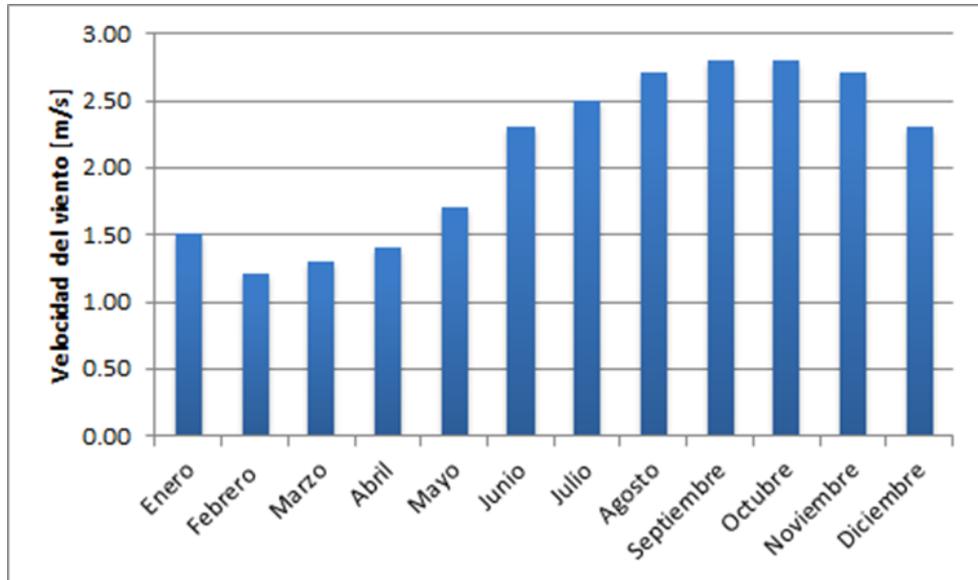


Figura 2.27 Distribución mensual de velocidad del viento.

### 2.8.3. Duración de la insolación

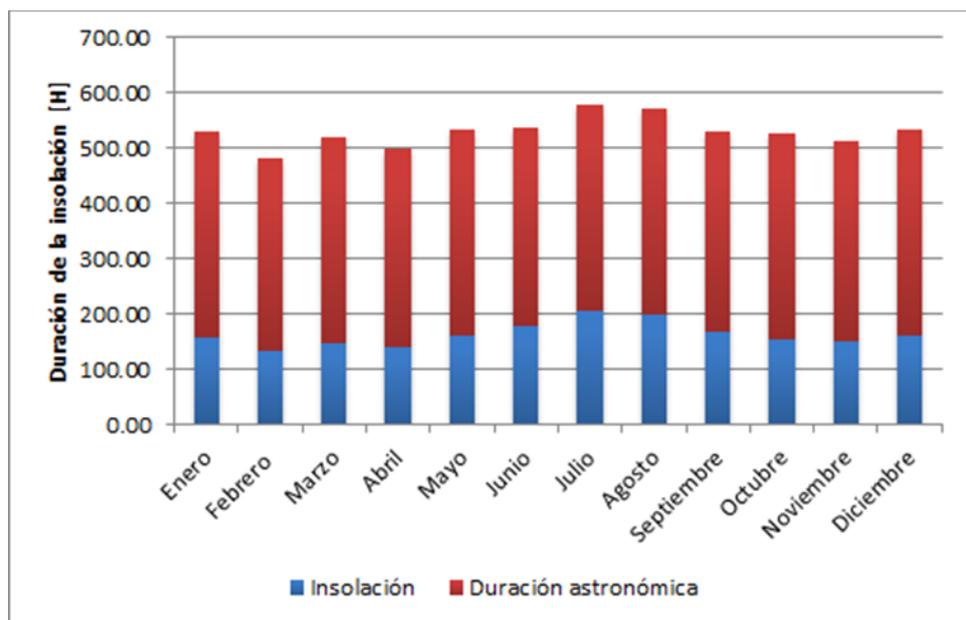


Figura 2.28 Distribución mensual de duración de insolación.

#### 2.8.4. Irradiancia

Se procedió a calcular la potencia (P) por mes a partir de la relación descrita y de los valores de irradiancia global del sector, en donde observamos en la tabla a continuación ya los cálculos realizados y se aprecia que en el mes de julio conlleva una mayor demanda de energía.

**Tabla 2.4 Análisis de consumo de energía por cada mes**  
Fuente: Elaboración propia

	G_Gh (kWh/m2d)	C <sub>t</sub> (kWh/d)	P (C <sub>t</sub> / G_Gh)
<b>Enero</b>	4.12	19.360	4.699
<b>Febrero</b>	4.41	19.360	4.390
<b>Marzo</b>	4.68	19.360	4.137
<b>Abril</b>	4.40	19.360	4.400
<b>Mayo</b>	4.45	19.360	4.351
<b>Junio</b>	4.27	19.360	4.534
<b>Julio</b>	3.90	19.360	4.964
<b>Agosto</b>	4.46	19.360	4.341
<b>Septiembre</b>	4.67	19.360	4.146
<b>Octubre</b>	4.45	19.360	4.351
<b>Noviembre</b>	4.19	19.360	4.621
<b>Diciembre</b>	4.14	19.360	4.676

G\_Gh: Irradiancia media de la radiación global horizontal

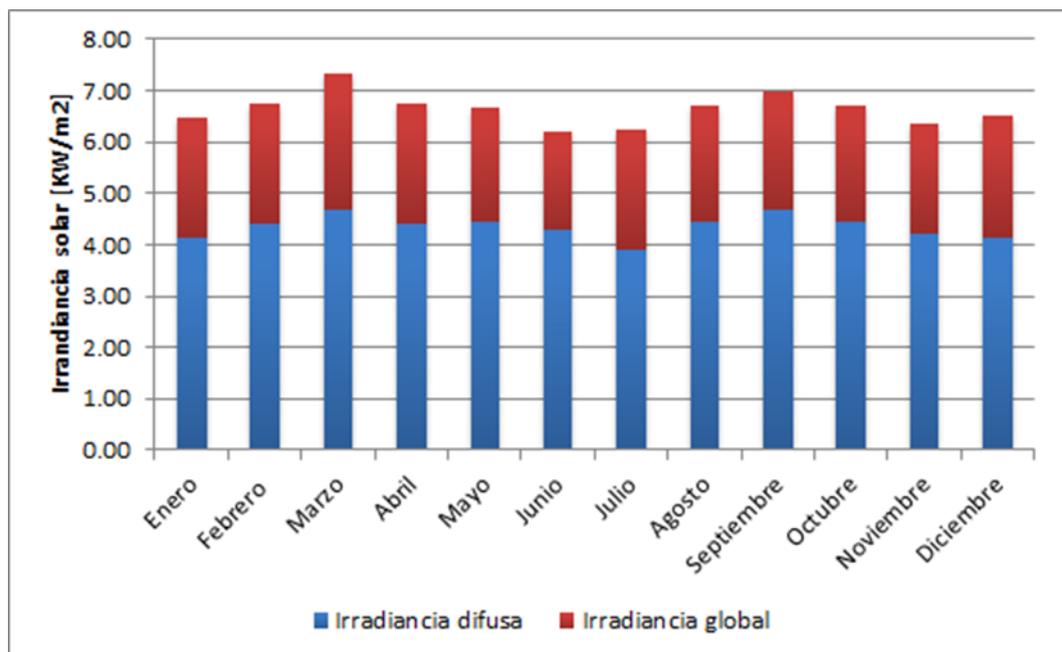


Figura 2.29 Distribución mensual de irradiancia global solar.

# CAPÍTULO 3

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Procederemos a validar nuestros cálculos y simulaciones dentro de un tiempo determinado para así dar el cumplimiento del funcionamiento correcto del equipo híbrido que con lleva a determinar los estándares de temperatura y perdidas térmicas del secador. Finalmente, podemos indicar un porcentaje para validar nuestro sistema de secado evaluando los diferentes tipos de energía de entrada y las pruebas correspondientes al secado como; humedad, curva de absorción y velocidad de secado que caracteriza al cacao CCN51.

### 3.1. Cálculo de la radiación solar extraterrestre por un día

Basados en el estudio meteorológico de la comunidad del recinto Bucay se encuentra a una latitud  $-2.166^{\circ}\text{N}$ , con una longitud este  $-79.1$  y una altitud  $790$  (m.s.n.m). Se procede a realizar los cálculos pertinentes a irradiación solar, se estimará un día cualquiera como el 15 de marzo en referencia a la tabla 1.2, la cual se encuentra anexada en la teoría relacionada. Basados en el análisis de (Cruz, 2017).

$i = 15$ , es el día más representativo del mes de marzo

$n = 120 + i = 135$

$$G_{on} = G_{SC} \left( 1 + 0,033 \cos \frac{360 * n}{365} \right) \quad (3.1)$$

$$G_{on} = 1353 \left( 1 + 0,033 \cos \frac{360 * 135}{365} \right)$$

$$G_{on} = 1322,4 \text{ W/m}^2$$

Donde:

$G_{on}$  = Constante de radiación para el día "n"

$G_{SC}$  = Constante solar ( $1353 \text{ W/m}^2$ )

n = Número del día del año

### 3.2. Cálculo de la declinación solar

$$\delta = 23,45 \operatorname{Sen}\left(360 \frac{284 + 135}{365}\right)$$

$$\delta = 18.8^\circ$$

### 3.3. Angulo horario de salida del sol

$$w_s = \operatorname{arc\,cos}(-\tan \delta * \tan \theta) \quad (3.2)$$

$$w_s = \operatorname{arc\,cos}(-\tan(18.8^\circ) * \tan(-2.166^\circ)) = 89.26^\circ$$

Donde:

$w_s$ = Angulo horario de salida del sol (grados)

$\theta$ = Latitud (-2.166°)

### 3.4. Número de horas en del día

$$N = \frac{2W_s}{15} = \frac{2(89.26^\circ)}{15} = 11,90 \text{ horas} \quad (3.3)$$

Donde:

N= Número de horas de brillo solar

A continuación, se resumen los ángulos necesarios al cálculo de la radiación solar de los cuales están comprendidos por el Angulo cenital, es aquel que muestra el desplazamiento angular del sol, lo cual se desplaza 360° en 24 horas. Entonces por definición astronómicas el medio día solar  $w = 0$ , cuando sean las 12 horas civiles.

$$\cos \theta_z = (\cos \delta * \cos \theta * \cos w) + (\operatorname{sen} \delta * \operatorname{sen} \theta)$$

$$\cos \theta_z = (\cos(18.8) * \cos(-2.166) * \cos 0) + (\operatorname{sen}(18.8) * \operatorname{sen}(-2.166))$$

$$\cos \theta_z = 0.9337$$

$$\theta_z = 20.966^\circ$$

Altura solar:

$$\text{Sen } a_s = \cos \theta_z = \cos(20.966^\circ)$$

$$a_s = 69.034^\circ$$

Azimut solar:

$$\cos \gamma_s = \frac{\text{Sen } a_s * \text{sen } \theta - \text{sen } \delta}{\cos a_s * \cos \theta}$$

$$\cos \gamma_s = \frac{\text{Sen}(69.034) * \text{sen}(-2.166) - \text{sen}(18.8)}{\cos(69.034) * \cos(-2.166)} - 1$$

$$\gamma_s = 180^\circ$$

### 3.5. Radiación solar fuera de la atmosfera en una superficie horizontal

$$G_o = G_{SC} * F_n = G_{SC} \left( 1 + 0,033 \cos \frac{360 * n}{365} \right) \cos \theta_z$$

$$G_o = 1353 \left( 1 + 0,033 \cos \frac{360 * 135}{365} \right) \cos(20.966) = 1324,48 \text{ W/m}^2$$

La cantidad de radiación extraterrestre depende principalmente de la latitud  $\theta$  del lugar a calcular, del Angulo horario ( $w$ ) y del día del año ( $n$ ). (Cruz, 2017)

### 3.6. Radiación solar horaria incidente en una superficie horizontal

Se analiza la cantidad de radiación incidente, en una hora, sobre una superficie horizontal, cuando los parámetros ( $w=0$ ).

$$I_{oh} \cong I_{CS} * F_n (\cos \delta * \cos \theta * \cos w) + (\text{sen } \delta * \text{sen } \theta) \quad (3.4)$$

$$I_{oh} \cong 1353 * 1.03 (\cos(18.8)$$

$$* \cos(-2.166) * \cos 0) + (\text{sen}(18.8) * \text{sen}(-2.166))$$

$$I_{oh} = 1301,32 \text{ W/m}^2$$

Donde:

$I_{oh}$ = Irradiación indicen dente sobre una superficie horizontal en una hora

$I_{CS}$ = Radiación solar ( $1353 \text{ W/m}^2$ )

Se procede a evaluar con otro número de día, por ejemplo, escogeremos el 1 junio para analizar la irradiación solar diaria incidente sobre una superficie horizontal. (Cruz, 2017)

$$H_{ho} = \left(\frac{24}{\pi}\right) G_{sc} \left\{ \left[ 1 + 0,33 \cos \frac{360 * n}{365} \right] \left[ \cos \delta \right. \right. \\ \left. \left. * \cos \theta * \text{sen } Ws + \left(\frac{2\pi}{360}\right) \text{sen } \theta * \text{sen } \delta \right] \right\} \quad (3.5)$$

$$H_{ho} = \left(\frac{24}{\pi}\right) 1353 \left\{ \left[ 1 + 0,33 \cos \frac{360 * 121}{365} \right] \left[ \cos -2.166 \right. \right. \\ \left. \left. * \cos 18.8 * \text{sen } 89.26 + \left(\frac{2\pi}{360}\right) \text{sen } -2.166 * \text{sen } 18.8 \right] \right\}$$

$$H_{ho} = 8193,164 \text{ W/m}^2$$

Donde:

$H_{ho}$  = radiación diaria incidente sobre una superficie horizontal ( $\text{W/m}^2$ )

Recurriendo al análisis para el 15 de marzo donde  $n=135$ , la irradiación solar promedio mensual incidente sobre una superficie horizontal eta dada por:

$$\overline{H_{ho}} = \left(\frac{24}{\pi}\right) 1353 \left\{ \left[ 1 + 0,33 \cos \frac{360 * 135}{365} \right] \left[ \cos -2.166 \right. \right. \\ \left. \left. * \cos 18.8 * \text{sen } 89.26 + \left(\frac{2\pi}{360}\right) \text{sen } -2.166 * \text{sen } 18.8 \right] \right\}$$

$$\overline{H_{ho}} = 7568,621 \text{ W/m}^2$$

### 3.7. Angulo de incidencia para superficies (paredes planas)

Superficies horizontales  $\beta = 0^\circ$  y  $\theta = \Phi$

Superficies verticales  $\beta = 90^\circ$

$$\cos \theta_T = \cos(\phi - \beta) \cos \delta * \cos w + \text{sen}(\phi + \beta) \text{sen} \delta \quad (3.6)$$

$$\cos \theta_T = \cos(-2.166^\circ - 0) \cos 18.8 * \cos 0 \\ + \text{sen}(-2.166 + 0) \text{sen } 18.8$$

$$\theta_T = 20.96^\circ$$

Donde:

$\theta_T$  = Angulo de incidencia de radiación directa

Índice de nubosidad

$$K_T = \frac{H}{H_{ho}} = \frac{6497}{7568,621} = 0,8584 \quad (3.7)$$

Donde:

$K_T$  = Relación entre diaria sobre radiación extraterrestre diaria

$H$  = Radiación total incidente sobre una superficie ( $W/m^2$ )

$H_{ho}$  = Energía indicen dente sobre una superficie horizontal en un día ( $W/m^2$ )

### 3.8. Radiación solar media incidente en una superficie horizontal

$$\frac{H}{H_{ho}} = a + b \frac{\bar{n}}{\bar{N}} \quad (3.8)$$

$$\bar{H} = K_T * \bar{H}_o \quad \text{o} \quad \bar{H} = \bar{H}_{ho} (a + b \frac{\bar{n}}{\bar{N}})$$

$$\bar{H} = 7568,621 \left( 0.3 + 0.28 \frac{10.25}{11,90} \right) = 4095,95 (W/m^2)$$

Donde:

$\bar{H}$  = Radiación solar fuera de atmosfera en una superficie plana ( $W/m^2$ )

$\bar{H}_o$  = Radiación promedio mensual diaria sobre una superficie plana ( $W/m^2$ )

a y b = coeficientes máximos de transmisividad

$\bar{n}$  = Promedio mensual de horas de brillo solar

$\bar{N}$  = Promedio mensual máximo horas de brillo solar

Analizando para un caso particular del día 15 de marzo para las 12:00 del horario civil, el cielo este nublado. El indice de claridad estará dado por: (Cruz, 2017)

$$k_t = \frac{G_h}{G_{oh}} = \frac{1324,48}{1322,4} = 1.00$$

### 3.9. Radiación solar sobre una superficie inclinada

El ángulo de incidencia para una superficie inclinada este dado por:

$$\cos \theta = \cos(\beta - |\phi|) \cos \delta * \cos w + \text{sen}(\beta - |\phi|) \text{sen} \delta \quad (3.9)$$

$$\cos \theta = \cos(0 - |-2.166|) \cos 18.8 * \cos 0 + \text{sen}(0 - |-2.166|) \text{sen} 18.8$$

$$\theta = 20.96^\circ$$

### 3.10. Angulo horario solar para superficies inclinadas

$$w_s = \text{arc cos}(-\tan \phi * \tan \delta) \quad (3.10)$$

$$w_s = \text{arc cos}(-\tan(-2.166^\circ) * \tan(18.8^\circ)) = 89.26^\circ$$

$\phi$ = Latitud

$\delta$ = Declinación solar

### 3.11. Radiación extraterrestre incidente sobre una superficie inclinada

$$I_{By}^d = \frac{24}{\pi} * I_{SC} * F_n (w_s * \sin \delta * \sin(\beta - \phi) + \cos \delta * \cos(\beta - \phi) * \sin w''s) \quad (3.11)$$

$$I_{By}^d = \frac{24}{\pi} * 1353 * 1.03 (89.26 * \sin 18.8 * \sin(20.96 - 2.166) + \cos 18.8 * ..) \\ .. * \cos(20.96 - 2.166) * \sin 89.26)$$

$$I_{By}^d = 108201,64 \left( \frac{W}{m^2} \right) = 108,2 \frac{kW}{m^2}$$

Con la finalidad de alcanzar un valor referencial de la cantidad de radiación incidente sobre superficies inclinadas y horizontales en la comunidad de Bucay. Por consiguiente, las soluciones mostradas de las ecuaciones me valida una duración alrededor de 11 horas de brillo solar, con una radiación solar horaria de  $1324,48 W/m^2$ . Por lo tanto, la intensidad de insolación promedio mensual en Bucay es de  $4095 W/m^2$ , basada en dicha zona se cuenta con una

inclinación de los colectores solares de 20,96° de acuerdo con los resultados de las ecuaciones mostradas.

### 3.12. Datos proporcionados por el cliente para los cálculos de diseño del secador solar

Una de las condiciones principales del cliente se parte de un área específica de 2,25 m<sup>2</sup>. Como se tiene 4 portabandejas de 16 secciones en partes iguales lo que corresponde que cada bandeja por piso contiene 7.08 kg.

Humedad inicial del cacao fermentado  $X_i = 49\%$

Humedad final del cacao seco  $X_f = 7\%$

Humedad relativa del ambiente 76%

Temperatura ambiente 23 °C, tomada durante el mes de marzo.

Velocidad del viento  $v_v = 1.3 \text{ m/s}$

Área del exterior de una de las caras de cámara de secado = 3.4 m<sup>2</sup>

K fibra de vidrio = 0.05 W/m °C

K acero = W/m °C

K polycarbonate = 0.19 W/m °C

### 3.13. Análisis calorífico del almendro de cacao

Cálculo del calor sensible para el cacao. (Cruz, 2017)

$$Q_s = m * C_p(T_s - T_a) \quad (3.12)$$

$$Q_s = 7.08 \text{ kg} * 1,69 \frac{\text{kJ}}{\text{kg } ^\circ\text{C}} (60^\circ\text{C} - 23^\circ\text{C})$$

$$Q_s = 395.26 \text{ kJ}$$

Se procedió al cálculo de calor latente de evaporización del agua

Entalpia de evaporización del agua

$$H_{fg} = (2502,4 - 2,42958 * T)[1 + 1,44408 \exp(-21,5011 * X)] \quad (3.13)$$

$$H_{fg} = (2502,4 - 2,42958 * 60)[1 + 1,44408(-21,5011 * 0,6)]$$

$$H_{fg} = 2337,996 \text{ kJ/kg}$$

Calor latente:

$$Q_L = \text{masa}_{\text{agua a evaporar}} * H_{fg} \quad (3.14)$$

$$Q_L = 7.08 \text{ kg} * 2337,996 \text{ kJ/kg} = 16553.01 \text{ kJ}$$

Entonces el calor producido por el calor sensible y latente queda de la siguiente manera. (Cruz, 2017)

$$Q_{Prod.} = Q_S + Q_L \quad (3.15)$$

$$Q_{Prod.} = 395.26 \text{ kJ} + 16553.01 \text{ kJ} = 16998.27 \text{ kJ}$$

El cliente necesita que el sistema se encuentre en operación 12 horas continuas. Contamos con un sistema de control que no permite sobrepasar la temperatura deseada de 60 °C dentro de la cámara de secado, procediendo a cortar el suministro eléctrico de las fuentes y dejando en funcionamiento solo los ventiladores. Inmediatamente hallamos las pérdidas térmicas que inciden durante el proceso de secado, del cual nuestra cámara de secado está constituida por planchas de acero inoxidable, con el fin de evitar oxidaciones se usó policarbonato para así aprovechar la radiación solar, también acotamos que existen pérdidas por transferencia de calor mediante convección y conducción, que va desde la pared más cercana, el aislamiento térmico y la cubierta externa del secador.

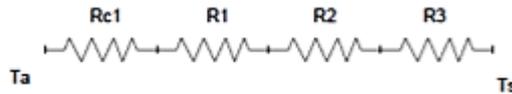
Entonces el coeficiente de convección del exterior queda de la siguiente manera.

$$h_e = 5,7 + 3,8 * v_v \quad (3.16)$$

$$h_e = 5,7 + 3,8 * 1.3 = 10,64 \frac{W}{m^2K}$$

$h_e$  Coeficiente de convección exterior

Se tiene que las pérdidas térmicas ocasionadas por la transferencia de calor por conducción, mediante la analogía eléctrica de las resistencias en serie. Se tiene cuatro resistencias a la conducción de calor, el aislamiento térmico, el acumulador de energía térmica (Muro Trombe) y la cubierta exterior. (Cruz, 2017)



Obtenemos la resistencia a la dirección del calor hacia el aislante térmico.

$$R_1 = \frac{E_{poli}}{K_{poli} * A_{ext}} = \frac{0.0381}{0.19 * 3.4} = 0.058 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{W} \quad (3.17)$$

$$R_2 = \frac{E_{aisl.}}{K_{aisl.} * A_{ext}} = \frac{0.0127}{0.05 * 3.4} = 0.074 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{W}$$

$$R_3 = \frac{L_{acero}}{K_{acero} * A_{ext}} = \frac{1.5}{58 * 3.4} = 0.0076 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{W}$$

Donde:

$R_1 R_2 R_3$  Resistencia a la conducción de policarbonato, del aislante térmico y acero ( $^\circ\text{C}/\text{W}$ )

$E_{aisl.}$  y  $E_{poli}$  Espesor del policarbonato y del aislamiento térmico (m)

$K_{poli}$  y  $K_{aisl.}$  Conductividad térmica del policarbonato y del aislante térmico  $\text{W}/\text{m}^\circ\text{C}$

$A_{ext}$  Área del exterior de una de las cámaras de secado ( $\text{m}^2$ )

$K_{acero}$  Conductividad térmica del acero (Muro Trombe)  $\text{W}/\text{m}^\circ\text{C}$

$L_{acero}$  Longitud del acumulador de secado (m)

Luego se da la resistencia externa a la transferencia de calor por convección. (Cruz, 2017)

$$R_{C1} = \frac{1}{h_e * A_{ext}} = \frac{1}{10.64 * 3.4} = 0.027 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{W}$$

La resistencia total se da después del análisis mediante analogía eléctrica:

$$R_T = 0.058 + 0.074 + 0.0076 + 0.027 = 0.167 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{W}$$

Donde el calor perdido por las resistencias a la conducción de calor es:

$$Q_p = \frac{T_s - T_a}{R_t} = \frac{60 - 23}{0.167} = 221.55 \text{ W}$$

$$Q_p = \frac{221.55 * 3600}{1000} = 797.6 \text{ kJ}$$

En definitiva, se obtiene todos los calores necesarios para la cámara de secado:

$$Q_T = Q_p + Q_{prod} = 797.6 + 16998.27 = 17795.87 \text{ kJ} \quad (3.18)$$

### 3.14. Simulación cámara térmica

La simulación del flujo de aire que existe dentro de la cámara de secado que se visualiza a continuación, se realizó teniendo en consideración los resultados térmicos que se han obtenido para el análisis calorífico del almendro de cacao y el estudio de las condiciones ambientales de la comunidad de Bucay, para ello se tiene que la radiación solar en las condiciones climáticas desfavorables es de  $600 \text{ W/m}^2$ .

La velocidad de aire que se le ingresó a los electroventiladores es de  $2 \text{ m/s}$  girando a una velocidad angular de  $1500 \text{ RPM}$ , sin embargo, se le adicionó  $1 \text{ m/s}$  en caso pérdidas existentes en el flujo de aire y el software. Seguido de los ventiladores que se encuentran en la parte inferior, se le adicionaron resistencias eléctricas en cada salida de aire de  $2000 \text{ W}$  cada una, siendo estas de un material de Níquel. Las paredes laterales son policarbonato y las paredes donde se encuentren los ventiladores son de acero inoxidable.

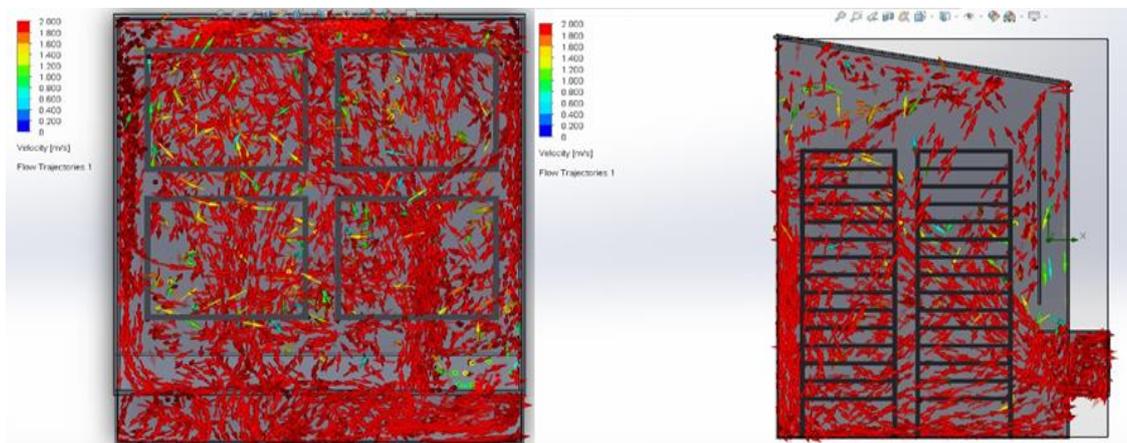


Figura 3.1 Simulación final de la cámara de secado.

### 3.15. Análisis Estructural para el soporte de los paneles solares

Considerando que los 6 paneles están apoyados solo en 2 vigas como un caso extremo y además otro de 2 vigas para cada 3 paneles. De tal forma que buscamos que valor de S soportara la carga, y se procede a seleccionar uno que lo cumpla, en este caso en particular una correa es suficiente.

Equivalente a los 6 paneles y 2 operarios en el caso cuando la carga ya es la máxima posible y no se pueda poner como una puntual debido a que no puede pisar los paneles

Así que siempre estarán apoyados sobre algo, por eso se distribuye.

Diagrama de cuerpo libre

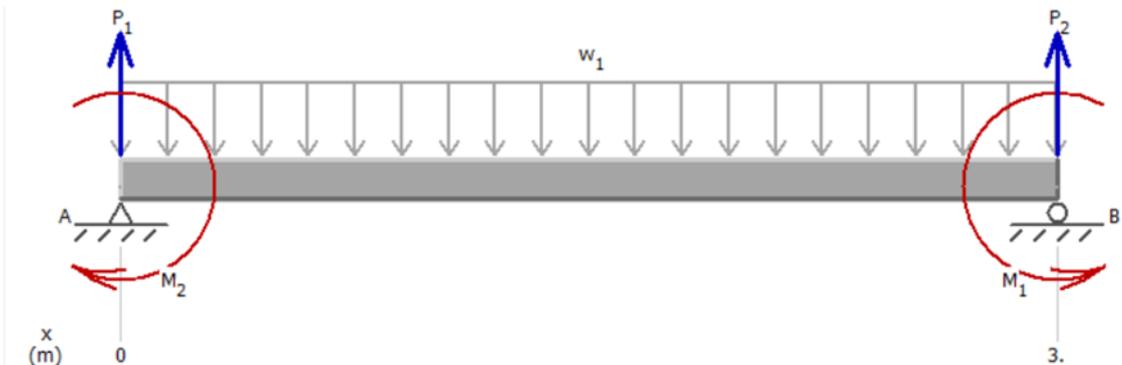


Figura 3.2 Diagrama de cuerpo libre de soporte de paneles.

$$m_p = 23 [kg] ; W_p = 225,63 [N] ; 6 \text{ Paneles } W_{pT} = 1354 [N]$$

Se considera 2 operadores sobre la estructura de 75 kg c/u.

$$150 * 9.81 = 1472 [N]$$

Si se apoya en 2 vigas como mínimo

$$W_T = \frac{1472 + 1354}{2 * 3} = 471 [N/m]$$

Por funciones singulares

$$EI \frac{\delta^2 y}{\delta x^2} = M_A + V_A x - 471 \frac{\langle x \rangle^2}{2} \quad (3.19)$$

$$EI \frac{\delta y}{\delta x} = M_A x + V_A x^2 - \frac{471}{6} \langle x \rangle^3 + C_1$$

$$EIY = \frac{M_A}{2}x^2 + \frac{V_A}{6}x^3 - \frac{471}{24}X^4 + C_1X + C_2$$

Por frontera

$$x = 0 \quad \left\{ \begin{array}{l} EIy = 0 \quad \rightarrow \quad C_2 = 0 \\ EI \frac{\delta y}{\delta x} = 0 \quad \rightarrow \quad C_1 = 0 \end{array} \right.$$

$$x = 3 \quad \left\{ \begin{array}{l} EIy = 0 \quad \rightarrow \quad M_A(4.5) + V_A(4.5) - 1589.63 = 0 \\ EI \frac{\delta y}{\delta x} = 0 \quad \rightarrow \quad M_A(3) + V_A(4.5) - 2119.50 = 0 \\ M_A(1.5) + 529.88 = 0 \end{array} \right. \quad (3.20)$$

$$M_A = 353.25 [Nm]$$

- Por simetría

$$A_y = B_y = \frac{3(471)}{2} = 706.5 [N]$$

- Por simetría

$$M_A = M_B = 353.25 [Nm]$$

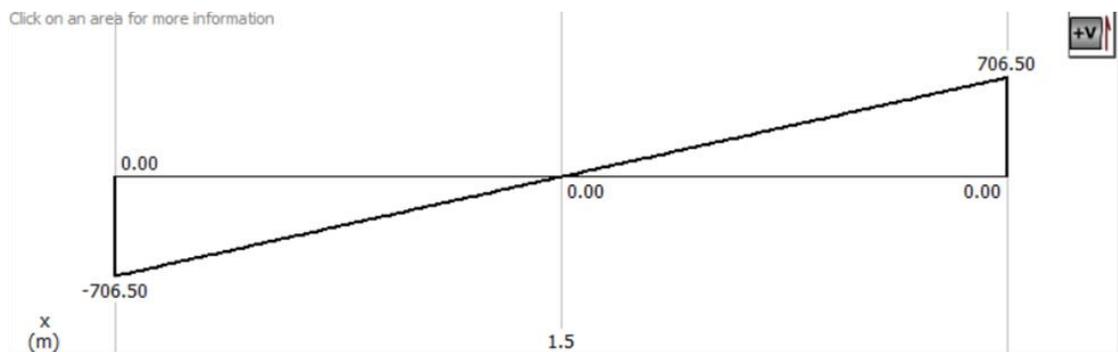


Figura 3.3 Diagrama de fuerza cortante.

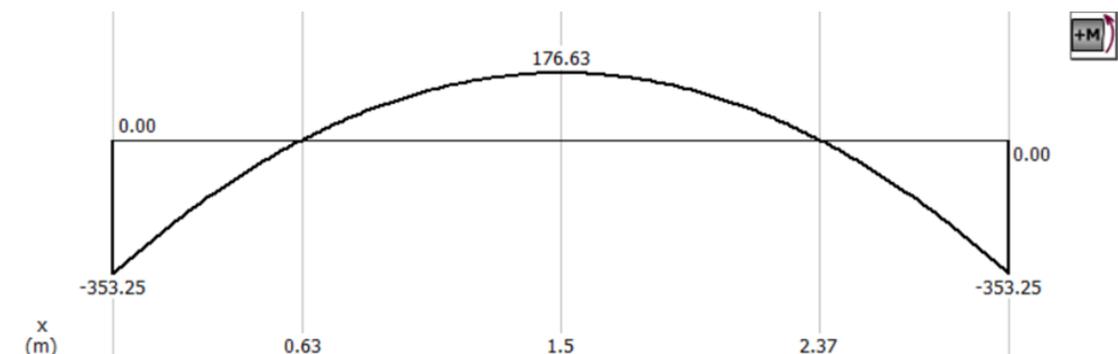


Figura 3.4 Diagrama de momento flector.

Para calcular S se procedió a modelar la estructura como si fuese una viga doble empotrada ya que no tiene grados de libertad y se obtiene ese valor y procedemos a buscar en un catálogo que perfil tiene ese valor de S igual o mayor.

$$S_y = 250 * 10^6 [Pa] = 36 [kpsi] \quad \text{con factor de diseño 2.9 (Norma Alemana)}$$

$$\sigma = \frac{M_C}{I} = \frac{M}{S} \quad (3.21)$$

$$S_{min} = \frac{2.9(353.25)}{250 * 10^6} = 4.098 * 10^{-6} [m^3]$$

### Correa 80x40 mm

Podemos visualizar mediante el análisis de Tensión de Von Mises que la estructura puede resistir hasta una carga máxima empleada de 176.7 MPa.

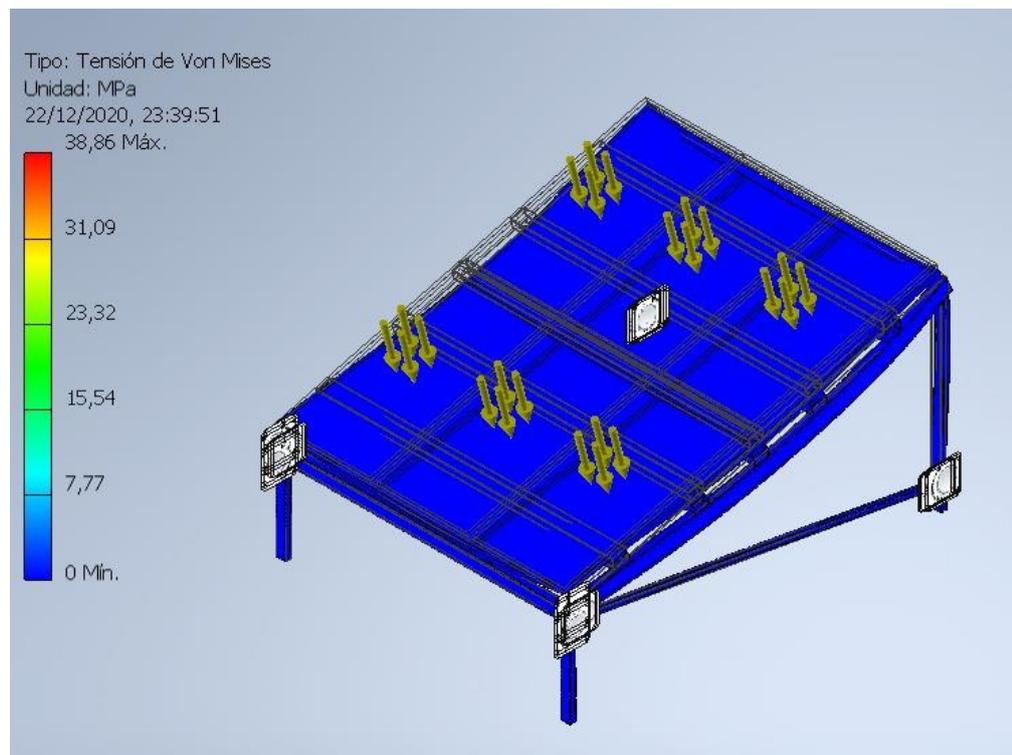
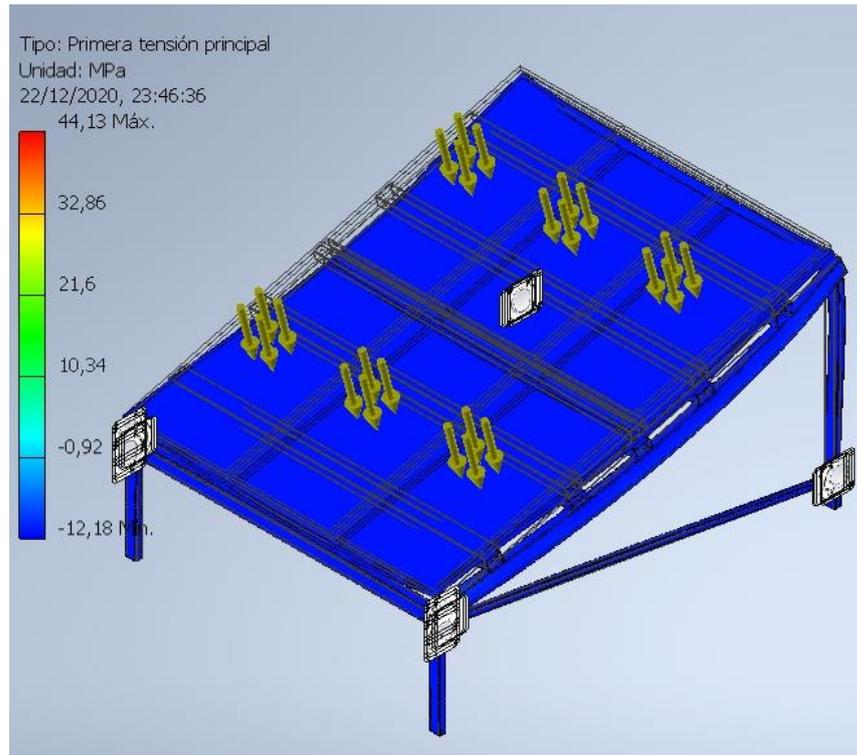
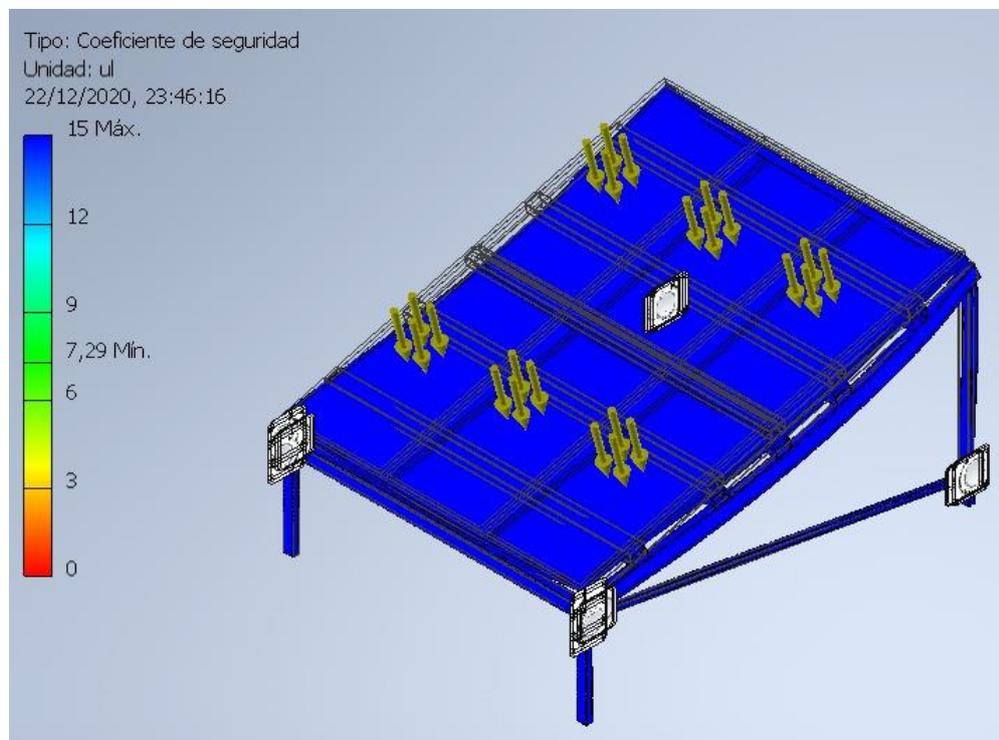


Figura 3.5 Distribución de la carga aplicada sobre los paneles.



**Figura 3.6 Primera tensión principal.**



**Figura 3.7 Coeficiente de seguridad asignado.**

Podemos visualizar que el punto crítico en las correas, basándonos en un peso supuesto de 100 kg, no logra deformar la estructura a nivel crítico.

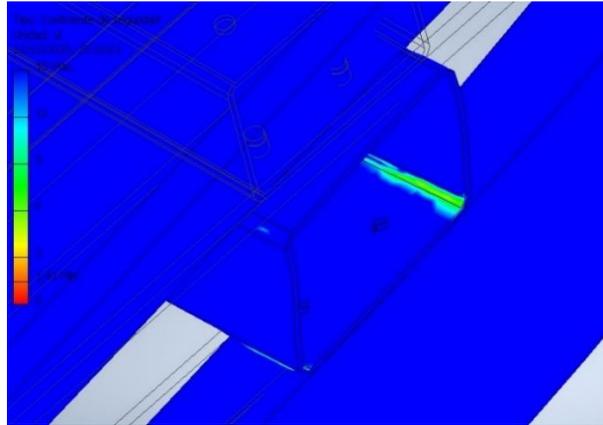


Figura 3.8 Punto crítico.

En el caso de las articulaciones si se realiza el cálculo para que cada perno M16 falle se necesita 12 [kN] de cortante y no fallaría, el desgarro son 8 [kN] cuando la estructura entera ni siquiera llega a 5 [kN] y acotando además que son 4 apoyos.

### 3.16. Diseño final

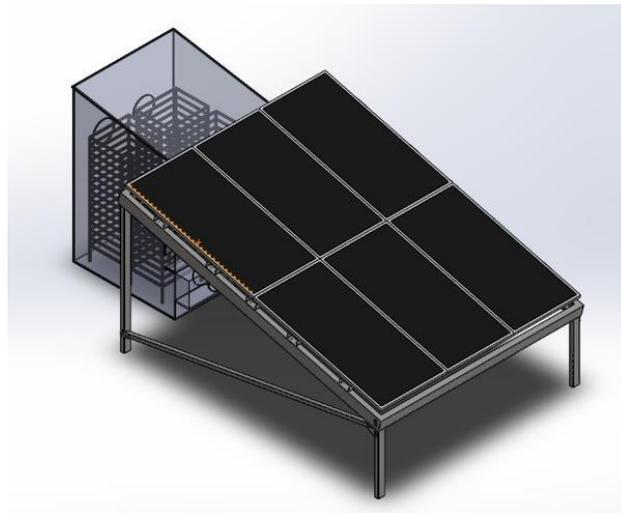


Figura 3.9 Diseño final, vista isométrica.

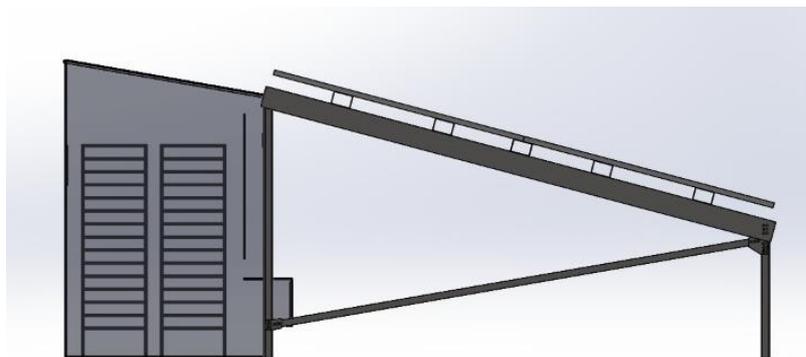


Figura 3.10 Diseño final, vista lateral.

### 3.17. Análisis de costo de construcción

De acuerdo con los tipos de secadores, el costo de la energía necesaria para el método por radiación es de dos a cuatro veces mayor que el combustible en los secadores descritos anteriormente.

**Tabla 3.1 Materiales de construcción para el equipo.**

**Fuente: Elaboración propia.**

No. ítem	Descripción	Cantidad	Precio Unit.	Precio Total
1	Panel solar 340 W, 24V monocristalino	6	\$ 293.73	\$ 1,762.35
2	Inversor híbrido 24VDC-110 VAC	1	\$ 345.00	\$ 345.00
3	Batería de gel 100 Ah, 12V sellada	2	\$ 315.00	\$ 630.00
4	Electroventilador 50W de 30 cm de radio	4	\$ 22.00	\$ 88.00
5	Plancha perforada de acero inoxidable	1	\$ 83.89	\$ 83.89
6	Plancha galvanizada	1	\$ 34.47	\$ 34.47
7	Plancha de acero inoxidable lisa	1	\$ 40.56	\$ 40.56
8	Plancha de policarbonato	1	\$ 204.00	\$ 204.00
9	Plancha de acero 2mm	1	\$ 51.24	\$ 51.24
10	Tubo cuadrado de 1 1/2 pulgada	1	\$ 13.56	\$ 13.56
11	Tubo cuadrado de 1 pulgada	1	\$ 9.63	\$ 9.63
12	Lana de vidrio	4	\$ 5.00	\$ 20.00
13	Garruchas de 4 pulgadas para 100 quintales	16	\$ 10.46	\$ 167.36
14	Malla plástica #10	16	\$ 4.10	\$ 65.60
15	Resistencia eléctrica de 1000 W de hornilla	4	\$ 15.00	\$ 60.00
16	Bisagras de abanico de 3 pulgadas	6	\$ 2.05	\$ 12.30
17	Disco de corte 7 pulgadas	3	\$ 1.87	\$ 5.61
18	Disco de desbaste 7 pulgadas	3	\$ 1.96	\$ 5.88
19	Remache 5/32 x 1 1/2	100	\$ 0.02	\$ 2.00
20	Primer	1	\$ 10.71	\$ 10.71
21	Pintura anticorrosiva gris	1	\$ 16.82	\$ 16.82
22	Diluyente	1	\$ 5.99	\$ 5.99
23	Tubería eléctrica EMT 1/2 x 3	2	\$ 2.99	\$ 5.98
24	Cerros de portón de 1/2 pulgada	1	\$ 2.50	\$ 2.50
25	Perno M10X30	48	\$ 0.55	\$ 26.40
26	Tuerca hexagonal M10	48	\$ 0.30	\$ 14.40
27	Arandela plana M10	96	\$ 0.15	\$ 14.40
28	Varilla 50x50x5	1	\$ 1.03	\$ 1.03
29	Correa 150x100x4	2	\$ 47.49	\$ 94.98
<b>Total</b>				<b>\$ 3,698.65</b>

### 3.18. Costo de diseño

**Tabla 3.2 Costo de diseño del secador híbrido**  
Fuente: Elaboración propia

Diseño y simulación de cámara de secado	\$ 250
Diseño y simulación de soporte de paneles	\$ 250
<b>Total</b>	<b>\$500</b>

### 3.19. Análisis de costo energético

Para determinar el consumo total diario ( $C_t$ ), se considera un coeficiente de seguridad ( $E_b$ ) del 10% correspondientes a perdidas de conexión, cableado, consumos previstos, además un 90% de eficiencia del inversor ( $E_i$ ) que es la relación de la energía que se aporta al inversor. Siendo el total de consumo diario:

$$C_t = \frac{(100 - E_b)}{E_i} * C_1 \quad (3.22)$$

**Tabla 3.3 Consumo eléctrico total del secador solar.**  
Fuente: Elaboración propia

Descripción	Cantidad	Potencia (W)	Horas días/funcionamiento	Consumo Wh/día
Resistencias eléctricas	2	2000	8	32000
Ventiladores	4	50	8	1600
Total $C_1$ (Wh/día)				33600
Ct: Consumo Total Diario (Wh/día) considerando las perdidas				36960

Según la Corporación Nacional de Electricidad (CNEL EP) el costo del consumo eléctrico es de 0.09 ctv. KW/h. Se realizó el costo de operación teniendo en consideración que la energía abastecida por el sistema fotovoltaico será de 1980 Wh/h. Entonces se tiene que:

**Tabla 3.4 Comparación energética de secador híbrido con panel y sin paneles fotovoltaicos**

Fuente: Elaboración propia

	Horas	Consumo diario (W)	Costo Unitario	Costo Mensual
Consumo energía eléctrica sin sistema fotovoltaico	8	36960	\$0.09	\$66.53
Consumo energía eléctrica con sistema fotovoltaico	8	21120	\$0.09	\$38.02
<b>Ahorro Total</b>				<b>\$28.51</b>

### 3.20. Análisis comparativo entre secadores

En el Ecuador, los secadores que utilizan como fuente de energía el gas licuado (GLP) son los que poseen la mayor demanda siendo este tipo de secador al cual se le realizó el análisis comparativo energético. En la siguiente tabla se muestran el consumo de gas y electricidad para un secador de cacao 10 quintales:

**Tabla 3.5 Consumo energético de un secador de gas.**

Fuente: Elaboración propia

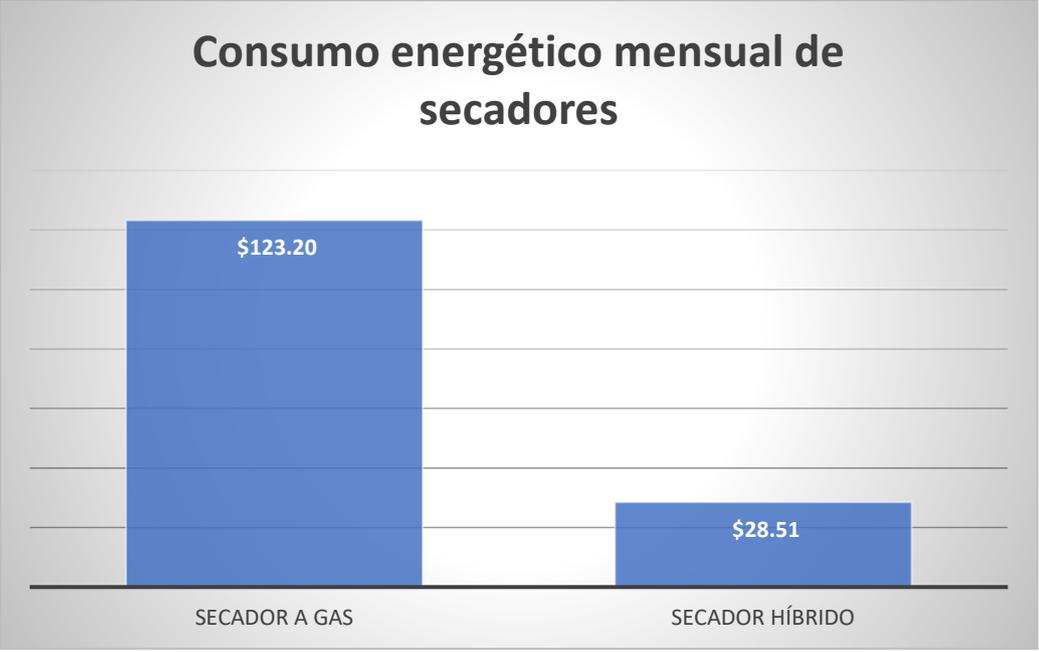
Capacidad		Consumo energía eléctrica		Consumo Gas GLP	
Cantidad	Unidad	Cantidad	Unidad	Cantidad	Unidad
10	Quintales	1.12	KW/h	4	Kg/h

De igual manera que se realizó con el secador solar, se procede a estimar un tiempo de operación de 8 horas para el secador de gas trabajando 5 días a la semana, teniendo así los costos de consumo energético mensuales:

**Tabla 3.6 Costo energético de un secador a gas.**

Fuente: Elaboración propia

	Horas	Costo Unitario	Costo Mensual
Consumo energía eléctrica	8	\$0.09	\$14.40
Consumo gas GLP	8	\$0.17	\$108.80
<b>Total</b>			<b>\$123.20</b>



**Figura 3.11 Comparación del consumo energético entre secadores.**

### 3.21. Balance de consumo energético por un año y venta de cacao

Se desarrollo un balance económico basándonos en la producción y venta del producto en un tiempo de 1 año.

**Tabla 3.7 Venta de cacao**  
Fuente: Elaboración propia.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
<b>PRECIO MENSUAL</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>CANTIDAD DE QUINTALES</b>	1	1	1	1	60	1	1	1	1	1	1	60
<b>VENTAS \$</b>	0	100	100	100	6000	100	100	100	100	100	100	6000
<b>INGRESO MENSUAL</b>		<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>6000</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>6000</b>

**Tabla 3.8 Consumo energético.**  
Fuente: Elaboración propia.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
<b>PRECIO MENSUAL</b>	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
<b>HORAS DE TRABAJO</b>	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160
<b>COSTO DE CONSUMO ELECTRICO \$</b>	0	38.4	38.4	38.4	38.4	38.4	38.4	38.4	38.4	38.4	38.4	38.4
<b>GASTO MENSUAL</b>		<b>38.4</b>										

**Tabla 3.9 Egreso mensual.**  
Fuente: Elaboración propia.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
<b>COSTO DE FABRICACIÓN</b>	3994.66											
<b>GASTOS DE VENTAS FIJOS</b>	38.40	38.40	38.40	38.40	38.40	38.40	38.40	38.40	38.40	38.40	38.40	38.40
<b>GASTOS DE ADMINISTRACIÓN</b>	10.00	10.00	10.00	600.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	600.00	0.00
<b>EGRESO MENSUAL</b>	<b>\$</b> 4,043.06	<b>\$</b> 48.40	<b>\$</b> 48.40	<b>\$</b> 638.40	<b>\$</b> 48.40	<b>\$</b> 48.40	<b>\$</b> 48.40	<b>\$</b> 48.40	<b>\$</b> 48.40	<b>\$</b> 48.40	<b>\$</b> 638.40	<b>\$</b> 38.40

**Tabla 3.10 Saldo acumulada y ganancias en un año**  
Fuente: Elaboración propia.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
<b>INGRESO MENSUAL</b>	0	100	100	100	6000	100	100	100	100	100	100	6000
<b>EGRESO MENSUAL</b>	-4043	-48	-48	-638	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-638	-38
<b>SALDO MENSUAL</b>	-4043	52	52	-538	5952	52	52	52	52	52	-538	5962
<b>SALDO ACUMULADO</b>	-4043	-3991	-3940	-4478	1473	1525	1577	1628	1680	1731	1193	7155

**Tabla 3.11 Balance de equipos e Instalación**  
Fuente: Elaboración propia.

<b>EQUIPO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO UNITARIO (\$USD)</b>	<b>COSTO TOTAL (\$USD)</b>	<b>COSTO RESIDUAL (\$USD)</b>	<b>VIDA ÚTIL (AÑOS)</b>	<b>CUOTA DE DEPRECIACIÓN</b>	<b>VALOR NETO</b>
Panel solar 340 W, 24V monocristalino	6	293.73	1762.35	58.745	35	\$ 48.67	\$ 245.05
Inversor híbrido 24VDC-110 VAC	1	345.00	345.00	69	20	\$ 13.80	\$ 331.20
Batería de gel 100 Ah, 12V sellada	2	315.00	630.00	63	8	\$ 70.88	\$ 244.13
Electroventilador 50W de 30 cm de radio	4	22.00	88.00	4.4	8	\$ 10.45	\$ 11.55
Plancha perforada de acero inoxidable	1	83.89	83.89	16.778	10	\$ 6.71	\$ 77.18
Plancha galvanizada	1	34.47	34.47	6.894	10	\$ 2.76	\$ 31.71
Plancha de acero inoxidable lisa	1	40.56	40.56	8.112	10	\$ 3.24	\$ 37.32
Plancha de policarbonato	1	204.00	204.00	40.8	10	\$ 16.32	\$ 187.68
Plancha de acero 2mm	1	51.24	51.24	10.248	10	\$ 4.10	\$ 47.14
Tubo cuadrado de 1 1/2 pulgada	1	13.56	13.56	2.712	10	\$ 1.08	\$ 12.48
Tubo cuadrado de 1 pulgada	1	9.63	9.63	1.926	10	\$ 0.77	\$ 8.86
Lana de vidrio	4	5.00	20.00	1	10	\$ 1.90	\$ 3.10
Garruchas de 4 pulgadas para 100 quintales	16	10.46	167.36	2.092	10	\$ 16.53	\$ -6.07
Malla plástica #10	16	4.10	65.60	0.82	10	\$ 6.48	\$ -2.38
Resistencia eléctrica de 1000 W de hornilla	4	15.00	60.00	3	10	\$ 5.70	\$ 9.30
Bisagras de abanico de 3 pulgadas	6	2.05	12.30	0.41	10	\$ 1.19	\$ 0.86
Disco de corte 7 pulgadas	3	1.87	5.61	0.374	10	\$ 0.52	\$ 1.35
Disco de desbaste 7 pulgadas	3	1.96	5.88	0.392	10	\$ 0.55	\$ 1.41
Remache 5/32 x 1 1/2	100	0.02	2.00	0.004	10	\$ 0.20	\$ -0.18
Primer	1	10.71	10.71	2.142	10	\$ 0.86	\$ 9.85
Pintura anticorrosiva gris	1	16.82	16.82	3.364	5	\$ 2.69	\$ 14.13

Diluyente	1	5.99	5.99	1.198	10	\$ 0.48	\$ 5.51
Tubería eléctrica EMT 1/2 x 3	2	2.99	5.98	0.598	10	\$ 0.54	\$ 2.45
Cerros de portón de 1/2 pulgada	1	2.50	2.50	0.5	10	\$ 0.20	\$ 2.30
Perno M10X30	48	0.55	26.40	0.11	10	\$ 2.63	\$ -2.08
Tuerca hexagonal M10	48	0.30	14.40	0.06	10	\$ 1.43	\$ -1.13
Arandela plana M10	96	0.15	14.40	0.03	10	\$ 1.44	\$ -1.29
Varilla 50x50x5	1	1.03	1.03	0.206	10	\$ 0.08	\$ 0.95
Instalación	1	200.00	200.00	40	1	\$ 160.00	\$ 40.00
Correa 150x100x4	2	47.49	94.98	9.498	10	\$ 8.55	\$ 38.94
<b>INVERSIÓN INICIAL</b>				3994.66	<b>depreciación</b>	<b>\$ 390.75</b>	\$ 1,351.32

**Tabla 3.12 Flujo de caja para diez años con financiamiento.**

Fuente: Elaboración propia.

Años	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Cantidad</b>		<b>120</b>	<b>124</b>	<b>127</b>	<b>131</b>	<b>135</b>	<b>139</b>	<b>143</b>	<b>148</b>	<b>152</b>	<b>157</b>
<b>Precio</b>		<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
<b>Ventas</b>		12000.00	12360.00	12730.80	13112.72	13506.11	13911.29	14328.63	14758.49	15201.24	15657.28
<b>Costos operativos</b>		-2016.53	-2016.53	-2016.53	-2016.53	-2016.53	-2016.53	-2016.53	-2016.53	-2016.53	-2016.53
<b>Gastos de administración</b>		-645	-645	-645	-645	-645	-645	-645	-645	-645	-645
<b>Intereses</b>		-300.0	-282.9	-263.8	-242.3	-218.3	-191.4	-161.3	-127.5	-89.7	-47.4
<b>Depreciación</b>		-391	-391	-391	-391	-391	-391	-391	-391	-391	-391
<b>Utilidad antes de impuestos</b>		8648	9025	9415	9818	10236	10668	11115	11579	12059	12558
<b>Impuesto (25%)</b>		2162	2256	2354	2455	2559	2667	2779	2895	3015	3139
<b>Utilidad Neta</b>		10810	11281	11768	12273	12794	13335	13894	14473	15074	15697
<b>Depreciación</b>		391	391	391	391	391	391	391	391	391	391
<b>Inversión</b>	-										
	3994.06										
<b>Préstamo</b>	2500.00										
<b>Amortización</b>		-142.5	-159.6	-178.7	-200.1	-224.2	-251.1	-281.2	-314.9	-352.7	-395.1
<b>Flujo de Caja</b>	-1494	11058	11512	11981	12463	12961	13474	14003	14549	15112	15693
<b>VAN (25%)</b>	<b>\$44,195</b>			<b>TIR</b>	<b>744%</b>						

**Tabla 3.13 Tabla de amortización para un préstamo.**  
**Fuente: Elaboración propia.**

PERIODO	CUOTA	INTERÉS	AMORTIZACIÓN	CAPITAL AMORTIZADO	CAPITAL VIVO
0	\$0.00	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 2,500.00
1	\$442.46	\$ 300.00	\$ 142.46	\$ 142.46	\$ 2,357.54
2	\$442.46	\$ 282.90	\$ 159.56	\$ 302.02	\$ 2,197.98
3	\$442.46	\$ 263.76	\$ 178.70	\$ 480.72	\$ 2,019.28
4	\$442.46	\$ 242.31	\$ 200.15	\$ 680.87	\$ 1,819.13
5	\$442.46	\$ 218.30	\$ 224.16	\$ 905.03	\$ 1,594.97
6	\$442.46	\$ 191.40	\$ 251.06	\$ 1,156.09	\$ 1,343.91
7	\$442.46	\$ 161.27	\$ 281.19	\$ 1,437.28	\$ 1,062.72
8	\$442.46	\$ 127.53	\$ 314.93	\$ 1,752.22	\$ 747.78
9	\$442.46	\$ 89.73	\$ 352.73	\$ 2,104.95	\$ 395.05
10	\$442.46	\$ 47.41	\$ 395.05	\$ 2,500.00	\$ -

**Tabla 3.14 Flujo de caja para diez años sin financiamiento**

Fuente: Elaboración propia.

Años	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Cantidad</b>		<b>120</b>	<b>124</b>	<b>127</b>	<b>131</b>	<b>135</b>	<b>139</b>	<b>143</b>	<b>148</b>	<b>152</b>	<b>157</b>
<b>Precio</b>		<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
<i>Ventas</i>		12000.00	12360.00	12730.80	13112.72	13506.11	13911.29	14328.63	14758.49	15201.24	15657.28
<i>Costos operativos</i>		-2016.53	-2016.53	-2016.53	-2016.53	-2016.53	-2016.53	-2016.53	-2016.53	-2016.53	-2016.53
<i>Gastos de administración</i>		-5500	-5500	-5500	-5500	-5500	-5500	-5500	-5500	-5500	-5500
<i>Intereses</i>											
<i>Depreciación</i>		-391	-391	-391	-391	-391	-391	-391	-391	-391	-391
<i>Utilidad antes de impuestos</i>		4093	4453	4824	5205	5599	6004	6421	6851	7294	7750
<i>Impuesto (25%)</i>		1023	1113	1206	1301	1400	1501	1605	1713	1823	1937
<i>Utilidad Neta</i>		5116	5566	6029	6507	6999	7505	8027	8564	9117	9687
<i>Depreciación</i>		391	391	391	391	391	391	391	391	391	391
<i>Inversión</i>	- 3994.06										
<i>Préstamo</i>											
<i>Amortización</i>											
<i>Flujo de Caja</i>	-3994	5507	5957	6420	6898	7389	7896	8417	8955	9508	10078
<i>VAN (20%)</i>	<b>\$28,746</b>			<b>TIR</b>	<b>146%</b>						

# CAPÍTULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1. Conclusiones

- Los medianos y pequeños productores representando el 90% de la producción total del Ecuador, actualmente realizan el secado del almendro de cacao mediante tendales llevando esto a un proceso de espera de 3 días con condiciones ambientales favorables. Debido a que este método de secado se necesita de al menos 2 personas y se lo realiza de manera ineficiente estando así expuesto a agentes externos, el producto pierde sus propiedades cualitativas, conllevando esto a un producto de baja calidad, ya que, al ser el almendro de cacao hidrófilo, quiere decir que su capacidad de absorción de humedad externa se da de mayor facilidad.
- La optimización del secador de cacao térmico y fotovoltaico situado en la comuna de Bucay, provincia del Guayas, con requerimiento del cliente cuenta con la capacidad de secado para 10 quintales del producto, determinando una capacidad alrededor de 7 Kg por bandeja, asimismo se efectuó un cambio de ventiladores habituales de tres velocidades a electroventiladores, incorporando dos más de aquellos para satisfacer la capacidad calorífica necesaria para el secado del producto. Por último, el incremento en la potencia de las resistencias a 2000 W cada una de las que ya poseemos.
- Se realizó el desarrollo de cuantiosas ecuaciones fundamentales, con la finalidad de conseguir una estimación referencial respecto a la cantidad de radiación incidente sobre superficies inclinadas y horizontales. Por otro lado, las condiciones reales de radiación solar fueron adquiridas por el software Meteonorm.
- Del mismo modo se ejecutó la simulación de la cámara de secado, la cual nos permitió visualizar la distribución del nuevo flujo de aire generado por los electroventiladores, alcanzando velocidades máximas de 2 m/s y

temperaturas hasta de 55°C dentro de la cámara de secado, la cantidad de energía que se necesita para cumplir el proceso de secado es de 17.79 MJ, donde el tiempo de secado aproximado es de 8 horas de radiación efectiva logrando esto gracias a la captación solar que se realiza a través de las paredes de policarbonato y al apoyo de las resistencias eléctricas.

- El sistema fotovoltaico que suministrará energía al secador está constituido de un arreglo de 6 paneles solares de 330 W cada uno, el cual se colocó en un ángulo de inclinación de 15° para obtener una mejor captación de la radiación solar sobre los paneles, con 2 baterías acumuladoras colocadas en paralelo para cubrir la demanda diaria necesaria del sistema.
- Los resultados que se obtuvieron en el diseño original del proyecto INEDITA, en comparación con nuestro diseño actual, se pudo alcanzar un incremento en la velocidad de flujo de aire del 54% dentro de la cámara, consiguiendo así el flujo de aire mejor distribuido dentro de la cámara de secado hacia los diferentes portabandejas situados en su interior.
- Se realizó la comparación energética entre un secador de gas y el prototipo de evolución, que nos plantea un bajo consumo de ahorro mensual energético según la Corporación Nacional Eléctrica (CNEL) constatando el costo del consumo eléctrico. Además, se determinó el costo de operación teniendo en consideración que la energía abastecida por el sistema fotovoltaico será de tan solo \$ 38.04 dólares americanos logrando así un mayor impacto en costo-beneficio.
- Finalmente, este proyecto aporta una breve descripción general de las distintas tecnologías de secado existentes, así como gestión energética determinando la mejor alternativa para desempeñarse en la actualidad. Una vez analizada varias tecnologías de secado, se puede concluir que es imprescindible emprender con la innovación tecnológica para el sector agroindustrial basada en la eficiencia energética para el ahorro de tiempo, combustible y electricidad en equipos de secado.

## 4.2. Recomendaciones

- Para aumentar la productividad del secador se podría expandir las dimensiones de la cámara de secado de tal forma que ingresen mayor número de porta bandejas y así aumentar la cantidad de quintales a secar sin influir el tiempo de secado que se mantendrá el mismo tiempo.
- En base a los cálculos que respectan a la inclinación solar es recomendable hacer primero un estudio del sector donde se va a ubicar el equipo ya que es indispensable que sea en un lugar llano, despejado y sin inclinación para así desempeñarse mejor en el movimiento del producto.
- En base al mantenimiento del equipo será de manera periódica y acatando las instrucciones del manual de operación de cada equipo. Se realizará de forma manual y se debe contar una previa capacitación al personal encargado de la operación o consultar a miembros especializados en el campo.
- Con respecto al cacao, las cosechas de este producto se realizan dos veces por año, por lo que para realizar el análisis económico no se ha tenido en consideración todo el proceso que se realiza durante la precosecha y la postcosecha, marginando estos valores y tomando como datos únicamente cuando el cacao se encuentra retirado de su cubierta.
- Para el desarrollo de la simulación de la distribución del flujo interno de la cámara de secado es aconsejable determinar y colocar correctamente las condiciones iniciales ya que por lo contrario la simulación le saldrá de manera inexacta y poco confiable.
- Es importante la correcta toma de los valores de al menos 5 años anteriores, obtenidos por los datos meteorológicos, aunque sabemos que con el pasar del tiempo se vuelven más inestables debido a los cambios climáticos por contaminación.

- Con respecto al cacao, las cosechas de este producto se realizan dos veces por año, por lo que para realizar el análisis económico no se ha tenido en consideración todo el proceso que se realiza durante la precosecha y la postcosecha, marginando estos valores y tomando como datos únicamente cuando el cacao se encuentra retirado de su cubierta.

# BIBLIOGRAFÍA

- Alimentación, O. d. (1996). *Secado de granos y secadoras*. Santiago de Chile: FAO.
- ANECACAO. (2019). ANECACAO. Obtenido de ANECACAO: <http://www.anecacao.com/es/estadisticas/estadisticas-actuales.html>
- Arriagada, R. S. (s.f.). *Desarrollo de un secador a gas para maderas d baja permeabilidad y pequeñas producciones mensuales*. Bio-Bio, Chile: Univesidad del Bio-Bio Chile.
- Cruz, S. C. (2017). *Diseño de un deshidratador solar para optimizar el tiempo de secado de almendras de cacao*. Chiclayo, Peru: Universidad Cesar Vallejo.
- Dios, C. A. (1996). *Organizacion de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentacion*. Santiago, Chile: Ofinica Regional para America Latina y el Caribe.
- FOCER. (2002). *Manuales sobre energía renovables: Solar Térmica*. Costa Rica: Biomass Users Network.
- FOCER. (2002). *Manuales sobre energías renovables: Solar Fotovoltaica*. Costa Rica: Biomass Users Network.
- Garces, A. M. (2017). *Diseño y calculo de estructura soporte para paneles solares*. Valencia, España: Universitat Politecnica de Valencia.
- Gonzalez, J. (2009). Energias Renovables. En J. G. Velasco, *Energías Renovables* (pág. 4). Barcelona: Reverté.
- INEC. (2019). ESPAC. Obtenido de ESPAC: [https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas\\_agropecuarias/espac/espac-2018/Presentacion%20de%20principales%20resultados.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2018/Presentacion%20de%20principales%20resultados.pdf)
- Jimpo Yépez, C. R., & Arboleda Muñoz, F. A. (2016). *Diseño mecánico y construcción de un secador (Theobroma cacao L.) al vacío para medianos y grandes productores en la provincia de Manabí*. Guayaquil: ESPOL.
- Manrique, R., Vásquez, D., Chejne, F., & Pinzón, A. (2020). Energy analysys of a proposed hybrid solar-biomass coffe bean drying systema. *ELSEIVER*.
- Plaza Espinoza, X. P., & Yange Zambrano, W. X. (2012). *Diseño e implementación de un secador híbrida para el control del proceso de secado del cacao*. Cuenca: Cuenca.
- Quiroz, O. J. (2015). *Optimización de secador solar híbrido del centro de desarrollo tecnológico sustentable*. Guayaquil: ESPOL.
- Velasco, J. G. (2012). *Energías renovables*. Barcelona: Editorial Reverté.

- Objetivos de desarrollo sostenible. Accedido el 30 de octubre, 2020 desde <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Accuweather Bucay, Chimborazo. Accedido el 30 de noviembre, 2020 desde <https://www.accuweather.com/es/ec/bucay/127476/march-weather/127476?year=2021>
- Lista y Clasificación de conectores. Accedido el 20 de enero, 2021 desde [https://commonweb.unifr.ch/artsdean/pub/gestens/f/as/files/4740/25247\\_170038.pdf](https://commonweb.unifr.ch/artsdean/pub/gestens/f/as/files/4740/25247_170038.pdf)
- Benites, L. A. (2002). *Mapa de superficies piezométricas en el área Milagro-Chovo y sus aplicaciones en la determinación de las zonas de captación del agua subterránea*. Guayaquil: ESPOL.
- Plaza, X. P. (2012). *Diseño e implementación de una secadora híbrida para el control y monitoreo del proceso de secado del cacao*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.
- Delgado, E., Quilambaqui, M., & Peralta, J. (2020). Estimation of the Energy Consumption of the Rice and Corn Drying Process in the Equatorial Zone. Article, Appl. Sci. 2020, 10, 7497.
- Parra, P., Saavedra, R., & Ipanaque, W. (2012). Modelación y Simulación en ambiente Ecosimpro de una cámara de secado para cacao. Article, Appl. Sci. N.º8, 2012.

# APÉNDICES

# Apéndice A

## Especificación técnica del panel solar

### ELECTRICAL PARAMETERS

#### Performance at STC (Power Tolerance 0 – +3%)

Maximum Power ( Pmax/W )	320	325	330
Operating Voltage ( Vmpp/V )	37.1	37.4	37.7
Operating Current ( Impp/A )	8.63	8.70	8.76
Open-Circuit Voltage ( Voc/V )	45.5	45.7	45.9
Short-Circuit Current ( Isc/A )	9.16	9.22	9.27
Module Efficiency $\eta_m$ ( % )	16.5	16.7	17.0

#### Performance at NOCT

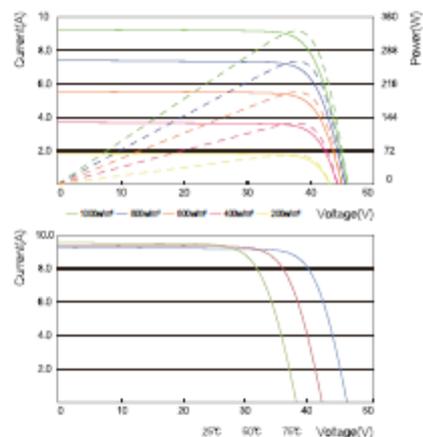
Maximum Power ( Pmax/W )	236	240	243
Operating Voltage ( Vmpp/V )	34.1	34.4	34.6
Operating Current ( Impp/A )	6.92	6.98	7.04
Open-Circuit Voltage ( Voc/V )	42.0	42.2	42.3
Short-Circuit Current ( Isc/A )	7.42	7.46	7.51

STC: Irradiance 1000W/m<sup>2</sup>, Cell Temperature 25° C, Air Mass AM1.5 NOCT: Irradiance at 800W/m<sup>2</sup>, Ambient Temperature 20° C, Wind Speed 1m/s

### MECHANICAL SPECIFICATION

Cell Type	Poly
Cell Dimensions	156.75*156.75mm(6inch)
Cell Arrangement	72(6*12)
Weight	22kg(48.5lbs)
Module Dimensions	1980*992*40mm(77.17*39.06*1.38inch)
Cable Length	1200mm(47.24inch)
Cable Cross Section Size	4mm <sup>2</sup> (0.006sq.in)
Front Glass	3.2mm High Transmission, Tempered Glass
No. of Bypass Diodes	3/6
Packing Configuration (1)	30pcs/Pallet, 720pcs/40hq
Packing Configuration (2)	30pcs+5pcs/Pallet, 780pcs/40hq
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Junction Box	IP68

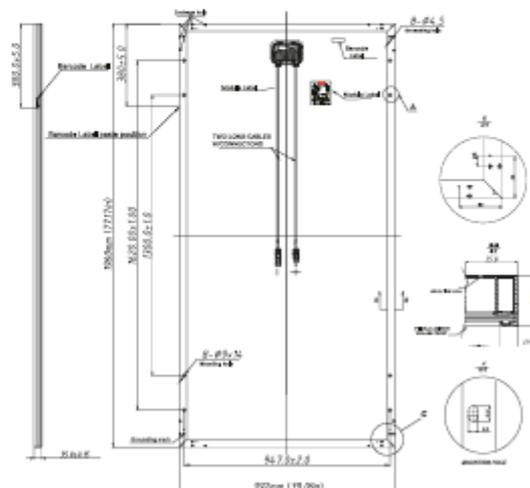
### I-V CURVE



### OPERATING CONDITIONS

Maximum System Voltage	1000VDC(IEC)/1500VDC(IEC)
Operating Temp	-40°C – +85°C
Maximum Series Fuse	15A
Static Loading	5400Pa
Conductivity at Ground	≤ 0.1Ω
Safety Class	II
Resistance	≥ 100MΩ
Connector	MC4 Compatible

### TECHNICAL DRAWINGS



The specification and key features described in this datasheet may deviate slightly and are not guaranteed. Due to ongoing innovation, R&D enhancement, 3rd party, Talesun Solar Technologies Co., Ltd. reserves the right to make any adjustment to the information described herein at any time without notice. Please always obtain the most recent version of the datasheet which shall be duly incorporated into the binding contract made by the parties governing all transactions related to the purchase and sale of the products described herein. 20180227V

**TALESUN**

## Apéndice B

### Especificación técnica de batería solar



Model NO.	PST2K-24
Nature of Wave String	Sine Wave Inverter
Instantaneous Power	6000W
AC Efficiency	93%
Charging Curreny	2-40A Adjustable
PV Input Current	60A
AC Input/Output Voltage	100/110/120/127/220/230VAC
LED Method	LCD+LED
Trademark	Prostar
Specification	472x190x330
HS Code	8504403090

Power Source	Solar Power
Rated Power	2000W
Battery Efficiency	83%
Battery Voltage	24VDC
PV Input Voltage	36VDC
Output Frequency	50Hz/60Hz
Transfer Time	4ms/8ms Optional
USB Output	DC 5V/1A X 1+5V/2ax 1 (Optional)
Transport Package	Standard Export Package
Origin	China

# Apéndice C

## Especificación técnica de electroventilador



**Application:**

- Universal

Can be used in different applications Entire Engine Bay, Radiator, A/C System, Intercooler, Oil System, and Transmission.

**Features and Benefits:**

- The unique fan blade design allows you to pull or push air with the same velocity.
- The motor is easily reversible for any application. Most other fans are designed for one-way air flow.
- Our fans have ten points for the mounting feet giving you flexible installation options.
- These truly are slim fans .They measure only 2.5"at the deepest point ,making them ideal for cramped areas.

**Dimensions& Material:**

**7inch**

Material: ABS plastic ,lightweight

Maximum Fan RPM=2250 RPM, Maximum Fan CFM=600 CFM

10 Blades

Size: 7", 12 Volts, 12.7AMP DRAW, 80W

Color: as picture.

**9inch**

CFM Rating: 750

RPM Rating: 2250

Material: ABS plastic ,lightweight

10 Blades

Size: 9", 12 Volts, 12.7AMP DRAW, 80W

Color: as picture.

**10inch**

Material: ABS plastic ,lightweight

CFM Rating: 900

RPM Rating: 2250

6 Blades

Size: 10", 12 Volts, 80W

Minimum AMP DRAW 2.6

Maximum AMP DRAW 4.5/ 24 Volts

Color: as picture.

**12inch**

Material: ABS plastic ,lightweight

Maximum Fan RPM=2250 RPM, Maximum Fan CFM=1730 CFM

10 Blades

Size: 12", 12 Volts, 6.6 AMP DRAW, 80W

Color: as picture.

# Apéndice D

## Especificación técnica del policarbonato

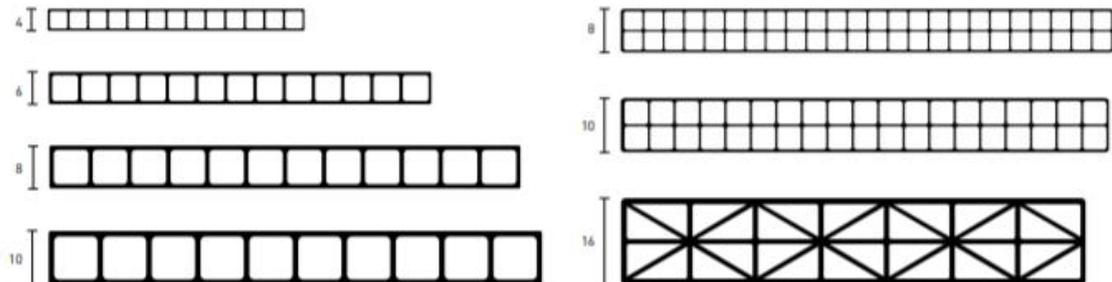
**Macrolux Multiwall®**

LÁMINAS DE POLICARBONATO CELULAR

### Características Físicas Macrolux Multiwall

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	2 Paredes				3 Paredes		3 Paredes XP
Espesor (mm)	4	6	8	10	8	10	16
Peso (kg/m <sup>2</sup> )	0.8	1.3	1.5	1.7	1.5	1.7	2.5
Peso (lb/ft <sup>2</sup> )	0.16	0.26	0.30	0.34	0.30	0.34	0.51
Anchos estándar (m)	1.22, 1.83, y 2.10 mts						
Largos estándar (m)	2.44, 3.66, 4.88, 6.10, 7.32, 8.54 y 12.20 mts						
Aislamiento acústico (Db)	15	20	25	25	19	20	21
Radio de curvatura (m)	0.7	1.0	1.25	1.5	1.25	1.5	3.0
Aislamiento térmico (W/m <sup>2</sup> C)	4.1	3.7	3.6	3.4	2.85	2.5	2.0
Flamabilidad (E 84-01)	A1	A1	A1	A1	A1	A1	A1
Distancia entre apoyos (m) carga 950 Pa	0.5	1.0	1.22	1.83	1.22	1.83	1.97
Transmisión de luz por color							
Cristal (%)	82	80	80	80	72	72	59
Bronce (%)	52	50	50	46	50	46	31
Opalino (%)	61	55	54	54	54	54	32
Blanco (%)	37	23	19	15	19	15	4
Azul (%)	52	50	50	47	50	47	37
Verde (%)	55	55	55	55	55	55	35
Gris humo (%)	40	37	30	30	30	30	27
Gris perléscente (%)	ND	15	15	15	15	15	15
IQ-Relax (%)	ND	ND	47	45	47	45	28

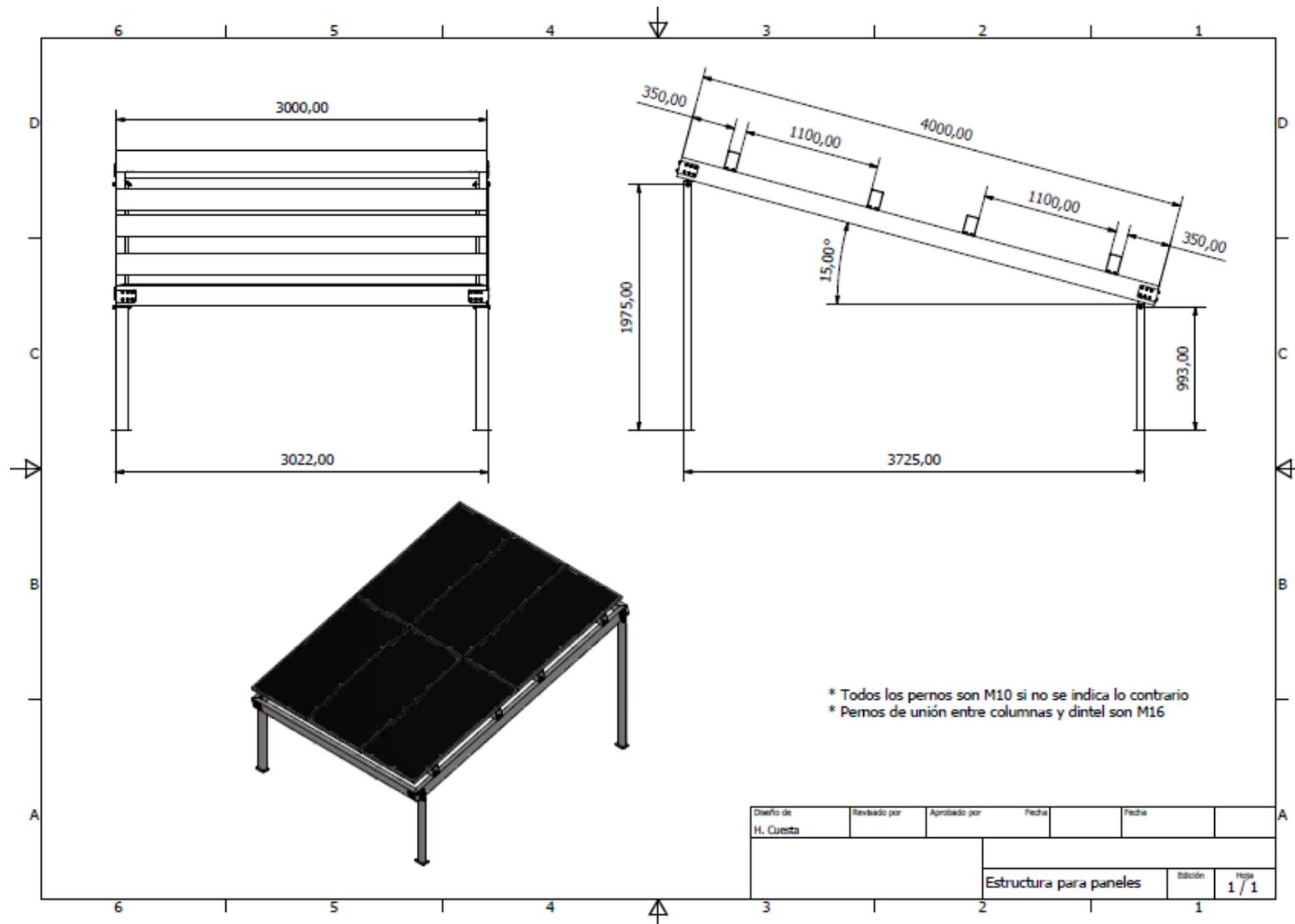
### Estructura



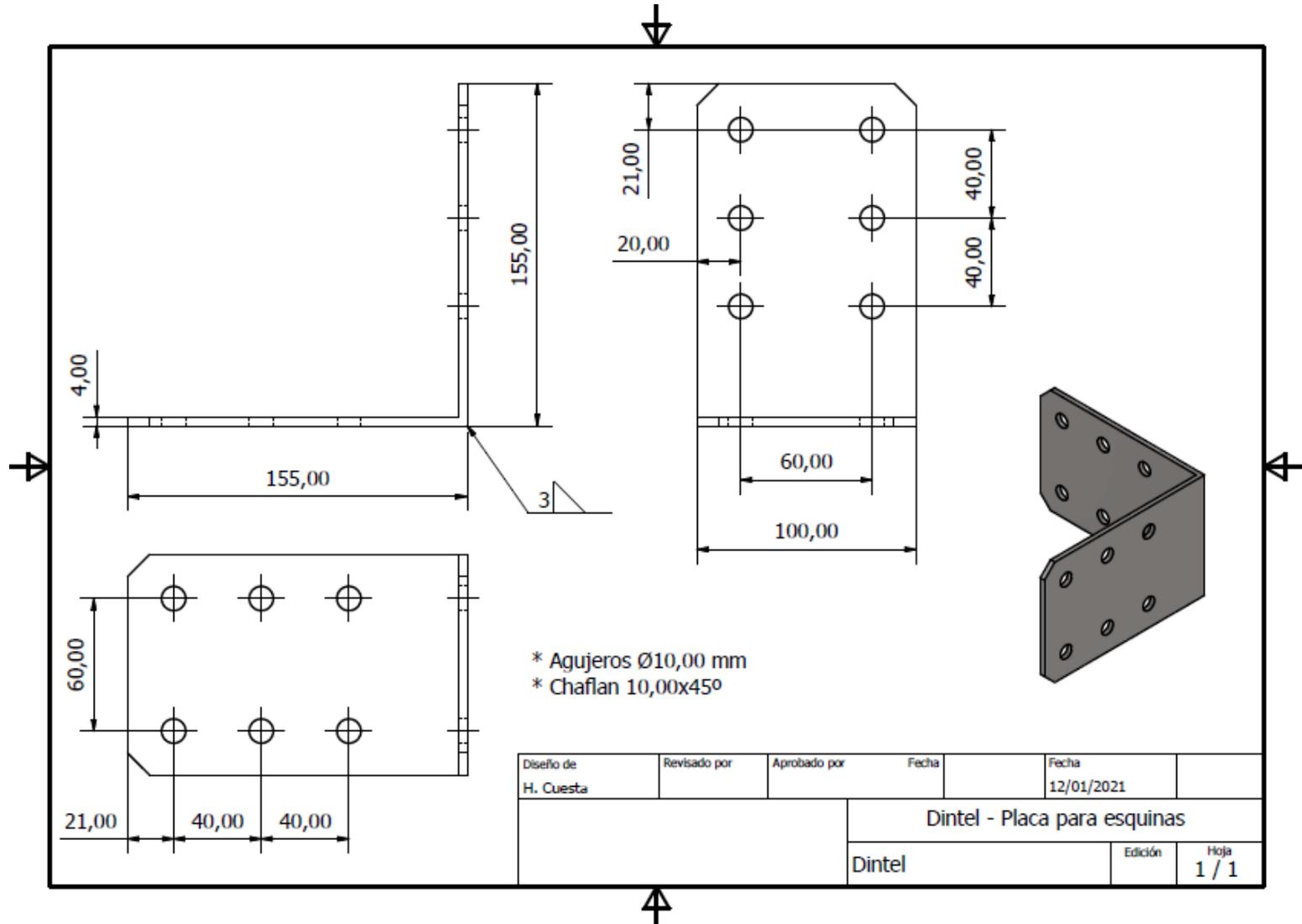
## **Apéndice E**

### **Planos**

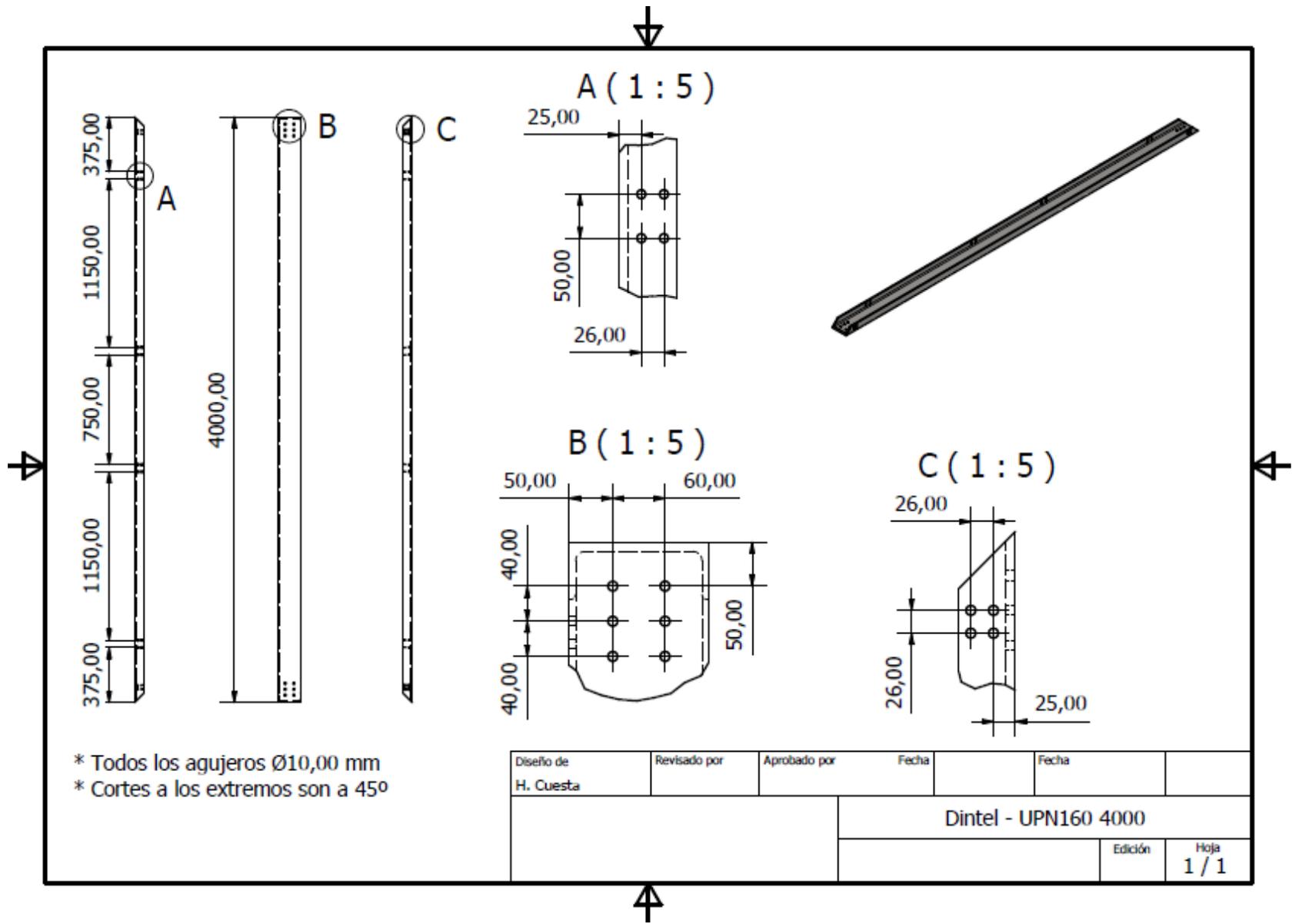
# Plano 1. Estructura de paneles solares



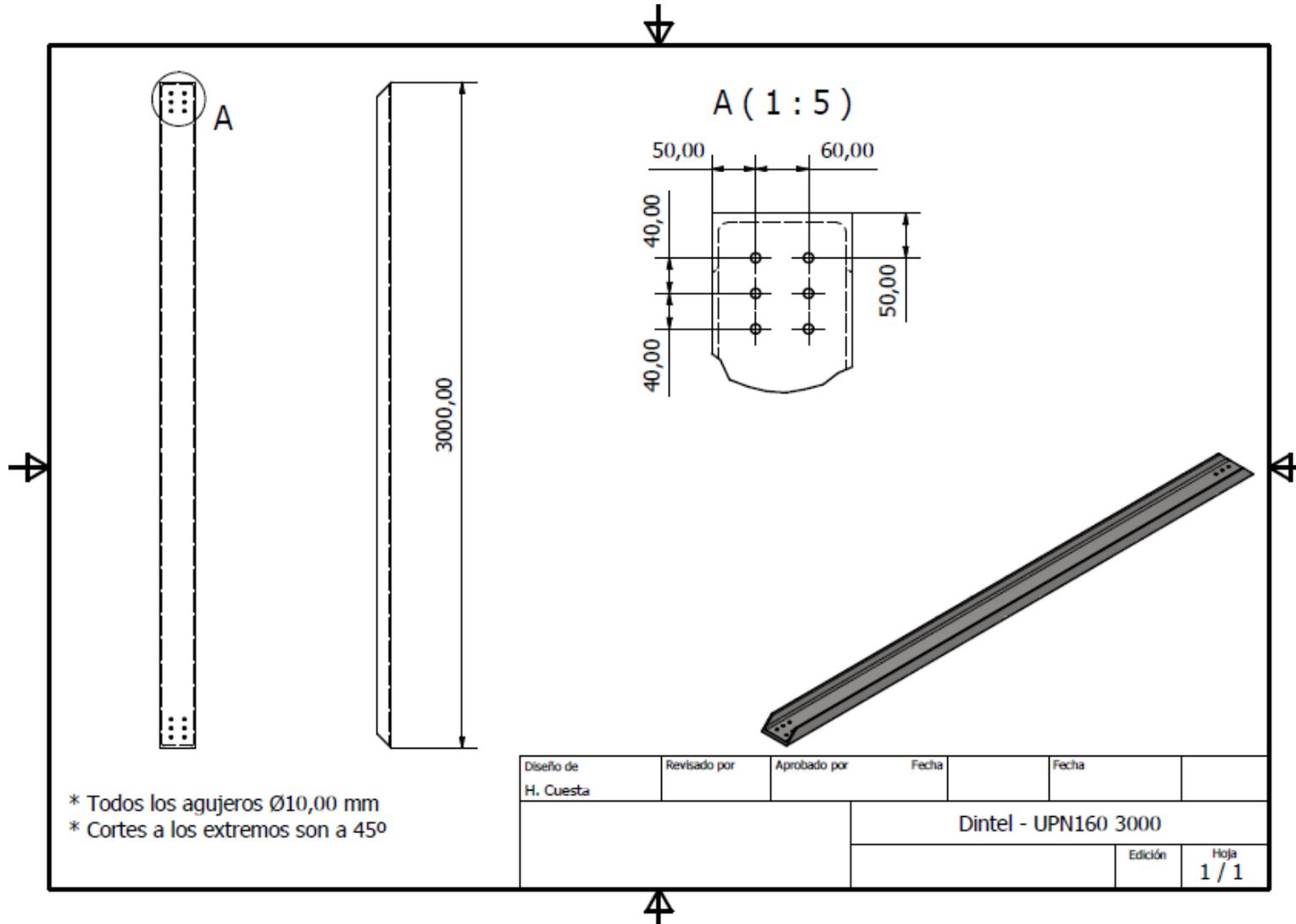
Plano 2. Placa para esquinas



Plano 3. Viga UPN 4000mm



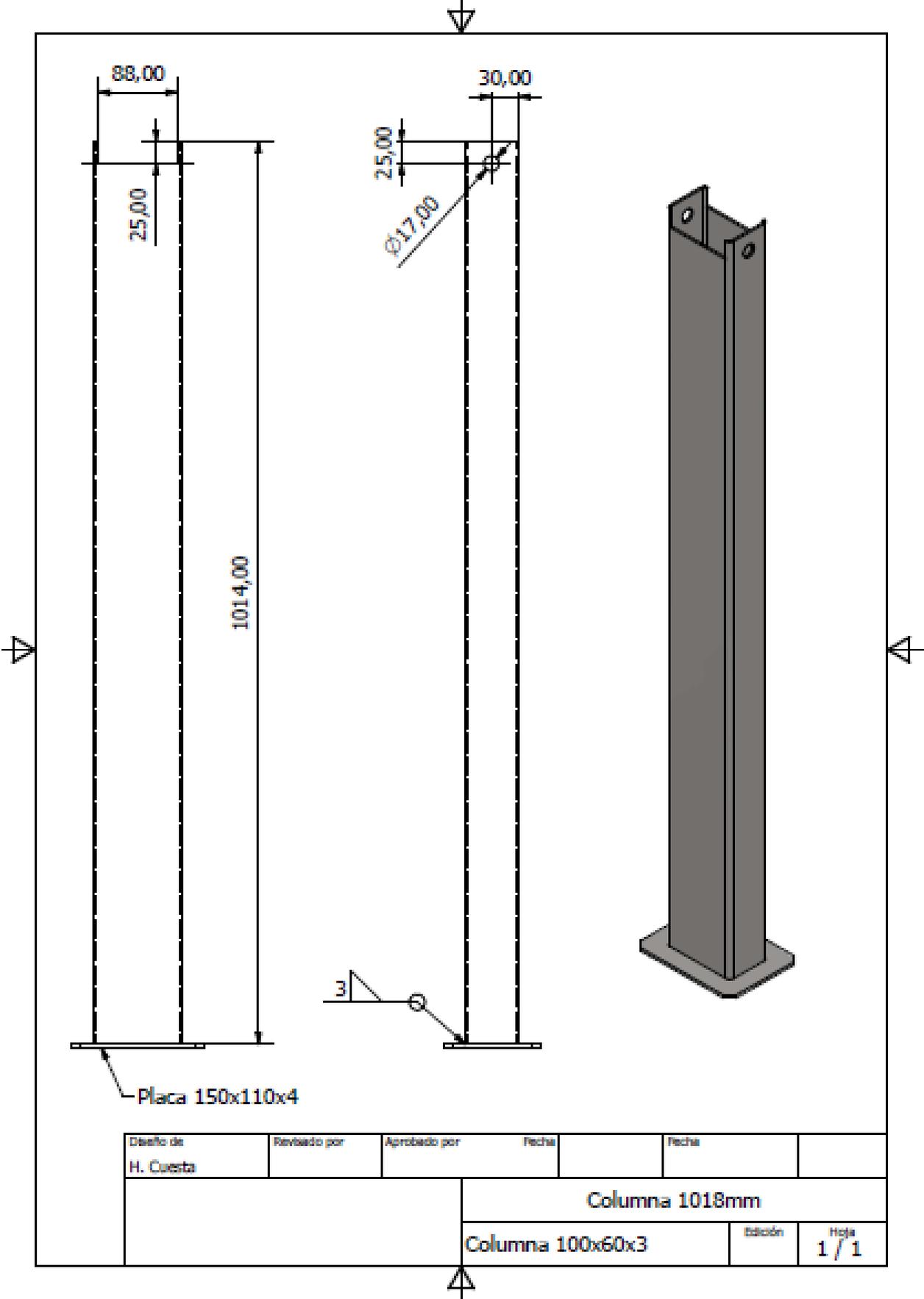
Plano 4. Viga UPN 3000mm



\* Todos los agujeros Ø10,00 mm  
 \* Cortes a los extremos son a 45°

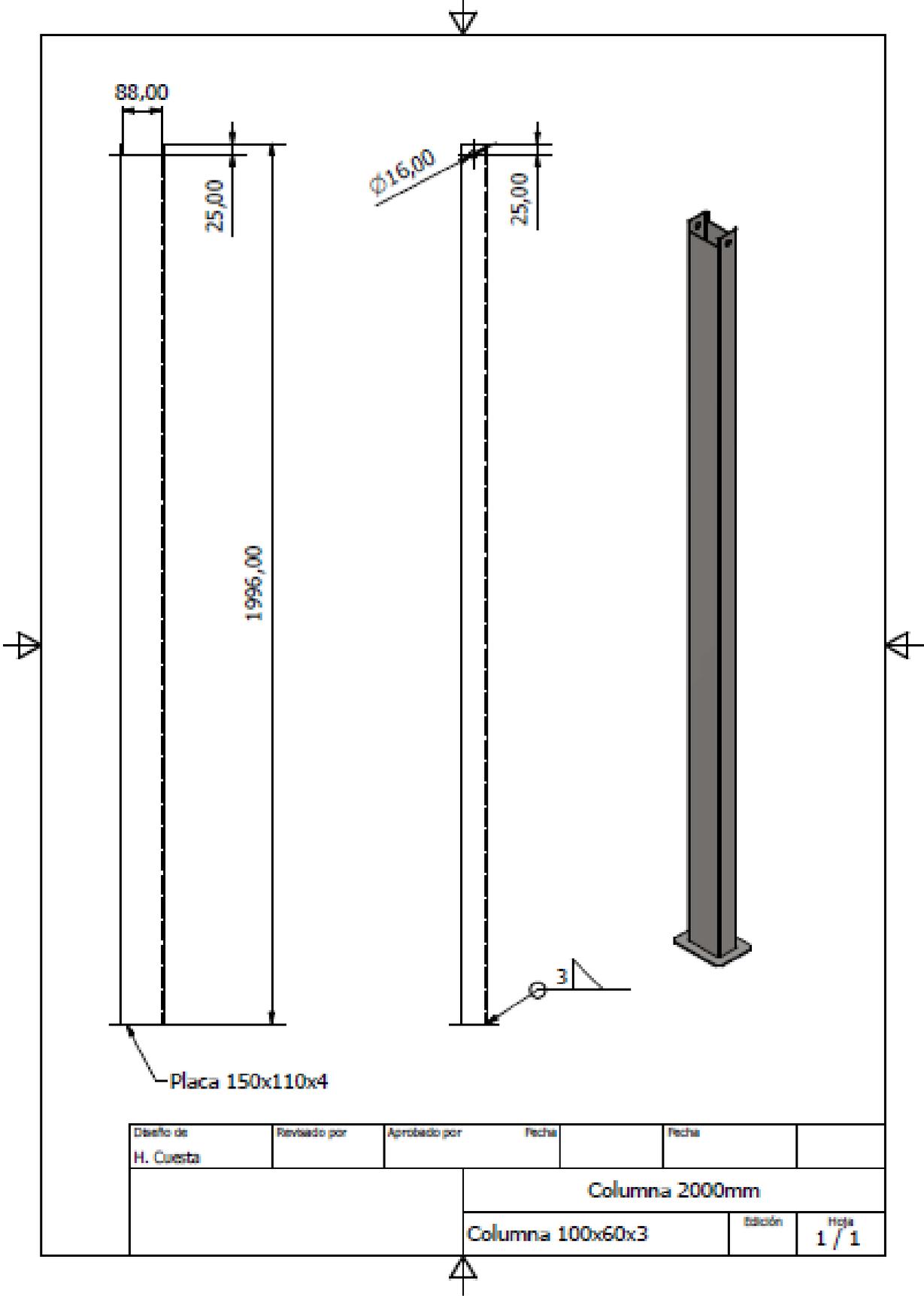
Diseño de H. Cuesta	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha	
			Dintel - UPN160 3000		
				Edición	Hoja 1 / 1

Plano 5. Columna 1018mm

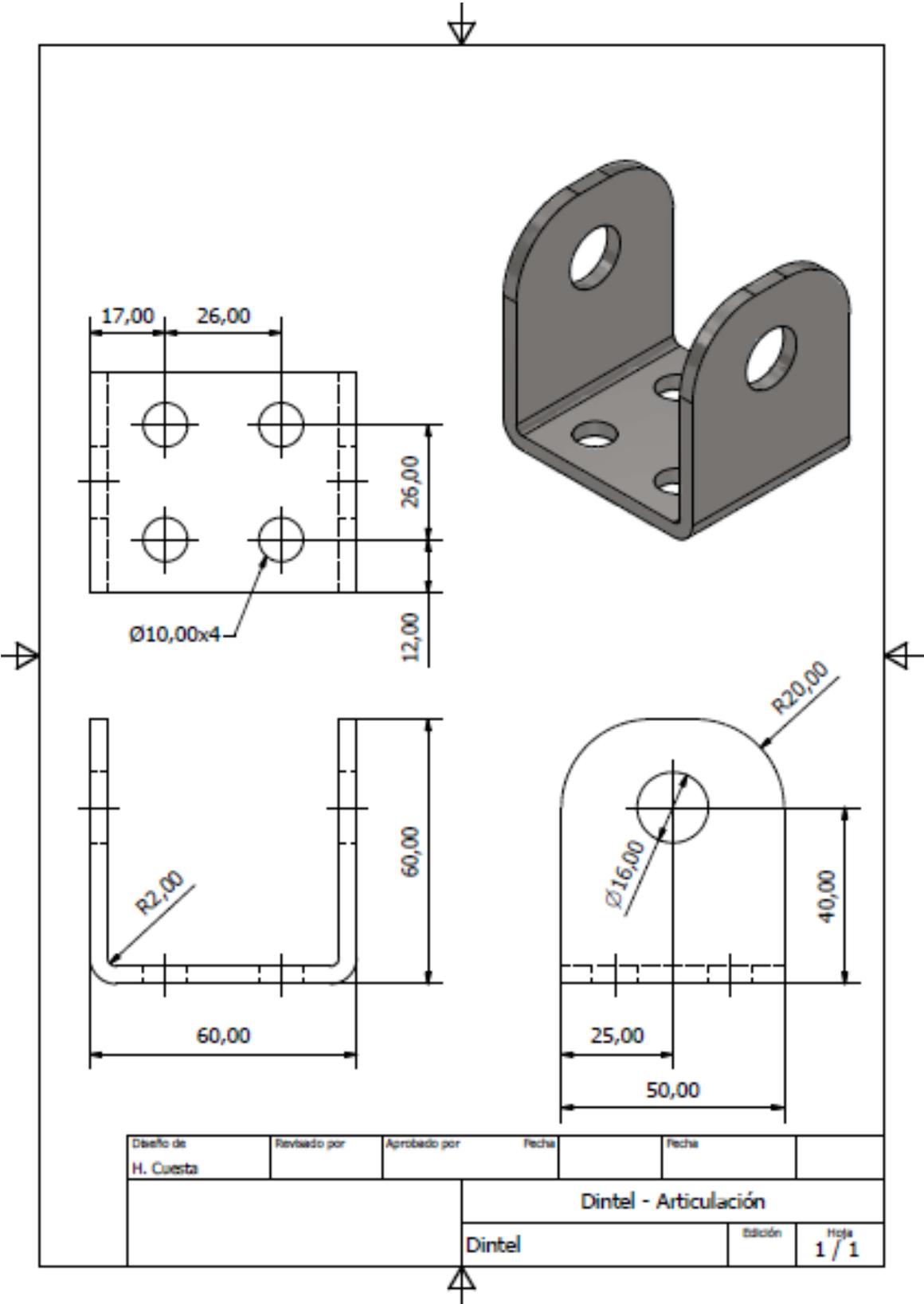


Diseño de	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha	
H. Cuesta					
			Columna 1018mm		
			Columna 100x60x3	Edición	Hoja
					1 / 1

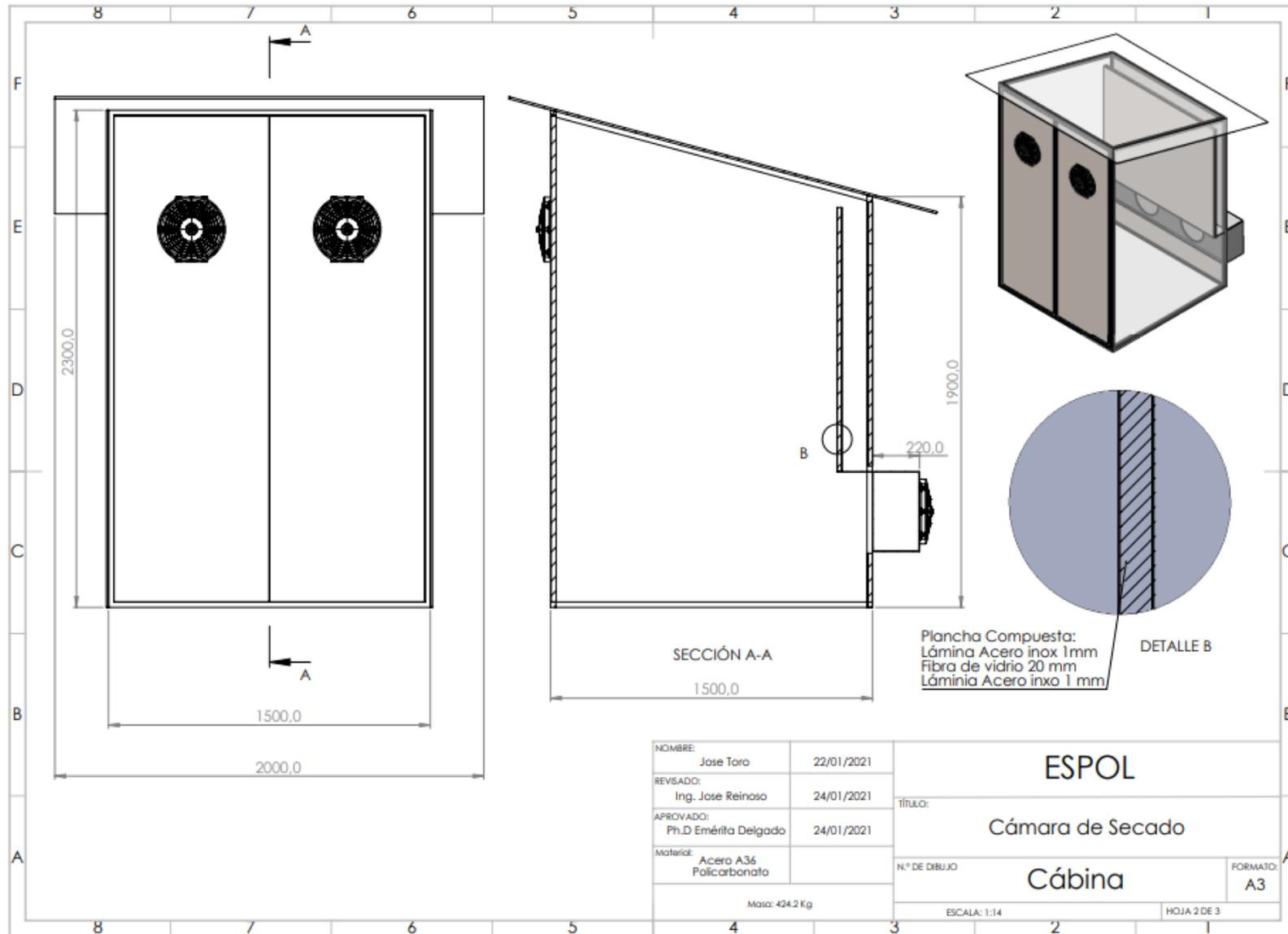
Plano 6. Columna 2000mm



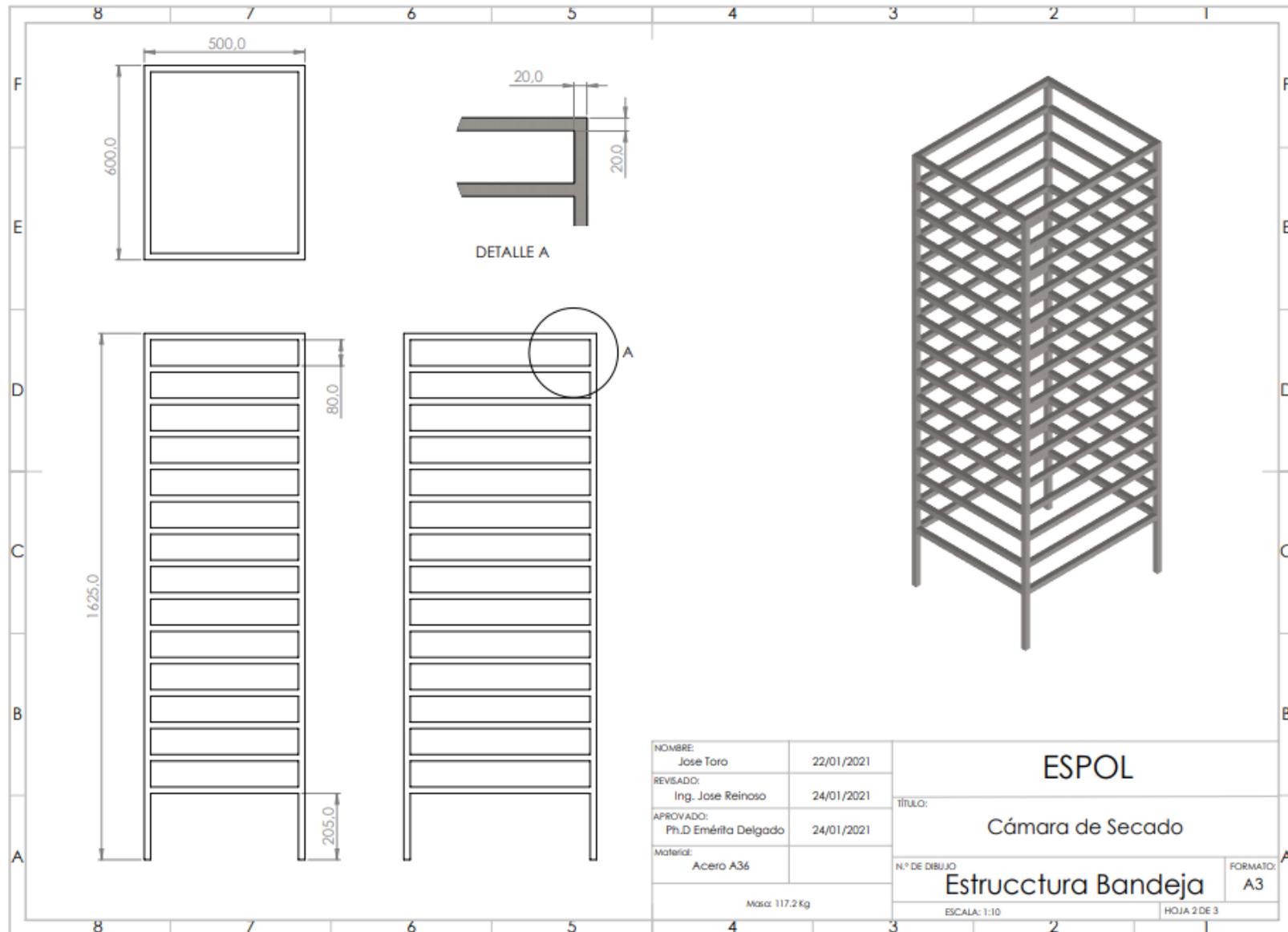
Plano 7. Articulación



**Plano 8. Estructura cámara de secado**



## Plano 9. Estructura de bandeja



## Plano 10. Ensamble cámara de secado

