



**“ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA
DEL LITORAL”**



Facultad de ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción.

**“Optimización de Secador Solar Híbrido del Centro de Desarrollo
Tecnológico Sustentable”**

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Materia Integradora

Previo la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

PRESENTADO POR:

Omer Jonathan Granoble Quiroz

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2015

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos principalmente a mis padres y hermanos que siempre me ha apoyado en todo lo que he hecho en mi vida, a mi familia tíos, primos y amigos que me aconsejaban para seguir por el buen camino. Mis compañeros de la universidad que me supieron ayudar en momentos difíciles de estudio y mis profesores que siempre supieron inculcar con sabiduría sus materias en las aulas de clase.

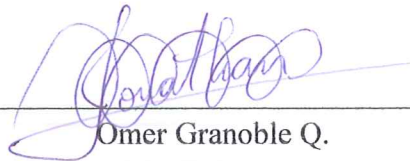
DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de la materia integradora corresponde exclusivamente al equipo conformado por:

Omer J. Granoble Q.

Dra. Emérita Delgado P.

Y el patrimonio intelectual del mismo a la facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP) de la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.



Omer Granoble Q.



Dra. Emérita Delgado P.

RESUMEN

Este proyecto tiene como objetivo principal la optimización y el rediseño de un secador solar híbrido que fue diseñado y construido en el (CDTS), el cual está compuesto por un colector solar plano y una cámara de secado. Con el propósito de alcanzar una mayor eficiencia del sistema, se ha procedido a la modificación del prototipo ya existente. El gobierno actual con su propuesta de la matriz energética, está dando todo el apoyo al desarrollo de proyectos los cuales impliquen el uso de energías renovables, que, para el caso de productores agroindustriales les implica un elevado gasto el funcionamiento de los secadores industriales por utilizar combustibles fósiles; por lo cual este diseño va destinados principalmente a este sector productivo y por otro lado las modificaciones sugeridas para el prototipo experimental servirá como instrumento de prácticas estudiantiles en el (CDTS).

Para el rediseño del secador solar se plantearon varias alternativas de diseño tanto para el colector solar como la cámara de secado, considerando alternativas como; cambios de geometrías en ductos y distancia entre secciones. Utilizando el software SOLIDWORKS se dibujó cada pieza del secador para posteriormente ensamblarla y proceder a la simulación en la herramienta del FLOWSIMULATOR utilizando los materiales ya establecidos en el diseño original y datos meteorológicos experimentales registrados por el (CDTS).

De los resultados del análisis del diseño al modificar el diámetro del ducto de entrada y salida en el colector se alcanzó temperaturas superiores del aire caliente en la salida del equipo, permitiendo aumentar su eficiencia. Por otra parte, se mejoró la distribución del flujo de aire dentro de la cámara de secado manteniendo una velocidad casi constante para cada una de las bandeja por lo cual tendremos un deshidratado uniforme en el producto, aumentando la eficiencia de la deshidratación del producto.

Palabras Clave: *Colector, deshidratar, CFD, mallado*

ABSTRACT

This project's main objective is the optimization and redesign of a hybrid solar dryer that was designed and built in (CDTS), which consists of a flat solar collector and drying chamber. In order to achieve greater efficiency of the system, we proceeded to the modification of the existing prototype. The current government with the proposal of the energy matrix, is giving full support to the development of projects which involve the use of renewable energy, which, in the case of agro-industrial producers implies high spending them running industrial dryers use fossil fuels; so this design is mainly for the productive sector and secondly the changes suggested for the experimental prototype will serve as a tool for student internship (CDTS).

For the redesign of the solar dryer several design alternatives for the solar collector and drying chamber, they were raised as alternatives; changes in products and geometries distance between sections. SolidWorks software using every piece of hair to later assemble and proceed to the simulation tool FLOWSIMULATOR using materials already established in the original design and experimental meteorological data recorded by the (CDTS) was drawn.

From the results it is concluded that modifying the pipeline diameter inlet and outlet temperatures in the upper collector hot air at the outlet of the equipment was reached, allowing more efficient. Moreover, the air flow distribution is improved within the drying chamber maintaining a near constant for each tray which have a dehydrated product uniform speed, increasing the efficiency of product dehydration.

Keywords: collector, dehydrate, CFD, meshing

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	I
ÍNDICE GENERAL	II
ÍNDICE DE FIGURAS	III
ÍNDICE DE TABLAS	IV

1. INTRODUCCIÓN 1

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA..... 2	2
1.2 OBJETIVOS 3	3
1.2.1 OBJETIVO GENERAL 3	3
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 3	3
1.3 MARCO TEÓRICO 3	3
1.3.1 PROCESO DE SECADO 3	3
1.3.2 SECADORES SOLARES 6	6
1.3.3 COLECTORES SOLARES..... 7	7

2. METODOLOGÍA DE DISEÑO 9

2.1 CAMBIOS DEFINIDOS 9	9
2.2 ALTERNATIVAS DE DISEÑO.....10	10
2.3 PRODUCTO A SECAR11	11
2.4 SIMULACIÓN.....12	12
2.4.1 SIMULACIÓN DE COLECTOR SOLAR 12	12
2.4.2 SIMULACIÓN DE CÁMARA DE SECADO 15	15
2.4.2.1 Relación de Superficies 15	15
2.4.2.1.1 Relación 1 a 3..... 17	17
2.4.2.1.2 Relación 1 a 2..... 19	19
2.4.2.1.3 Relación 3 a 4..... 20	20
2.4.2.1.4 Resultados de simulación: relación de superficies..... 22	22
2.4.2.2 Distribución de Bandejas en la Cámara de Secado 22	22
2.4.2.2.1 Simulación con distribución 1..... 24	24
2.4.2.2.2 Simulación con distribución 2..... 26	26
2.4.2.2.3 Simulación con distribución 3..... 27	27

2.4.2.2.4	Resultados de simulación: distribución de bandejas	29
2.5	SELECCIÓN DE MATERIALES	30
2.6	COMPONENTES	31
2.7	NORMATIVAS	32
3.	<u>ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</u>	33
3.1	SIMULACIÓN COLECTOR.....	33
3.2	CÁMARA DE SECADO	36
3.2.1	RELACIÓN DE SUPERFICIES EN DUCTOS	36
3.2.2	DISTRIBUCIÓN DE BANDEJAS	39
3.3	ANÁLISIS DE COSTOS.....	42
3.3.1	SECADOR SOLAR.....	42
3.3.2	COLECTOR	43
3.4	EFICIENCIA	43
3.4.1	CÁLCULO DE EFICIENCIA TEÓRICA EN COLECTOR	43
3.4.2	CÁLCULO DE EFICIENCIA TEÓRICA DE CÁMARA DE SECADO	47
4.	<u>DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES</u>	51
4.1	CONCLUSIONES	51
4.2	RECOMENDACIONES	52
5.	<u>BIBLIOGRAFÍA.....</u>	53
6.	<u>ANEXOS.....</u>	6-I
6.1	ANEXO A.....	6-I

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Gráfica de Secado	4
Figura 1-2 Gráfico de Humedad Libre.....	5
Figura 1-3 Gráfico de Velocidad de Secado	6
Figura 2-1 Puntos de Análisis Colector Solar	14
Figura 2-2 Puntos de Análisis Cámara de Secado	17
Figura 2-3 Análisis de Temperatura con Flujo de Aire de Secado	18
Figura 2-4 Análisis de Velocidad con Flujo de Aire de Secado.....	18
Figura 2-5 Análisis de Temperatura con Flujo de Aire de Secado	19
Figura 2-6 Análisis de Velocidad con Flujo de Aire de Secado.....	20
Figura 2-7 Análisis de Temperatura con Flujo de Aire de Secado	21
Figura 2-8 Análisis de Velocidad con Flujo de Aire de Secado.....	21
Figura 2-9 Análisis de Temperatura con Flujo de Aire de Secado	25
Figura 2-10 Análisis de Velocidad con Flujo de Aire de Secado.....	25
Figura 2-11 Análisis de Temperatura con Flujo de Aire de Secado	26
Figura 2-12 Análisis de Velocidad con Flujo de Aire de Secado.....	27
Figura 2-13 Análisis de Temperatura con Flujo de Aire de Secado	28
Figura 2-14 Análisis de Velocidad con Flujo de Aire de Secado.....	29
Figura 3-1 Temperatura del simulado y CDTS vs Tiempo	34
Figura 3-2 Temperatura Media y de Salida vs Irradiación	35
Figura 3-3 Velocidad Media y de Salida vs Tiempo	36
Figura 3-4 Temperatura Media vs Tiempo a diferentes relaciones	37
Figura 3-5 Velocidad Media vs Tiempo a diferentes relaciones.....	38
Figura 3-6 Temperatura Media de Prototipos y CDTS vs Tiempo	40
Figura 3-7 Temperatura Media vs Irradiaciones de diferentes prototipos	41
Figura 3-8 Velocidad Media vs Tiempo [s] de diferentes prototipos.....	41
Figura 3-9 Eficiencia de Colector CDTS vs Irradiación	46
Figura 3-10 Eficiencia de colector Simulado vs Irradiación.....	46
Figura 3-11 Eficiencia de Cámara de Secado del CDTS vs Irradiación.....	50
Figura 3-12 Eficiencia de Cámara de Secado Simulada vs Irradiación	50

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Distancia entre bandejas.....	11
Tabla 2. Característica producto a secar	11
Tabla 3. Dimensiones colector.....	12
Tabla 4. Parámetros de simulación del colector	13
Tabla 5 Matriz de selección entre colector simulado y colector de CDTS	14
Tabla 6. Parámetros de simulación en cámara de secado	15
Tabla 7. Coordenadas de puntos a analizar en cámara de secado	16
Tabla 8. Dimension en ducto de salida con relación 1/3.....	17
Tabla 9. Dimensión en ducto de salida con relación 1/2.....	19
Tabla 10. Dimensión en ducto de salida con relación 3/4.....	20
Tabla 11. Matriz de selección de relación de sección de entrada y salida de aire.....	22
Tabla 12. Parámetros de simulación en cámara de secado	23
Tabla 13. Coordenadas de puntos a analizar en cámara de secado	24
Tabla 14. Distancias con distribución 1.....	24
Tabla 15. Distancias con distribución 2.....	26
Tabla 16. Distancias con distribución 3.....	27
Tabla 17. Matriz de selección de mejor distribución de bandejas	29
Tabla 18. Condiciones de alternativas escogidas	30
Tabla 19. Componentes de cámara de secado	31
Tabla 20. Componentes de colector	32
Tabla 21. Resultados de temperatura en cada canal.....	33
Tabla 22. Resultados de temperatura y velocidad en la salida.....	34
Tabla 23. Resultados de temperatura en cada nivel.....	36
Tabla 24. Resultados de velocidad en cada nivel.....	37
Tabla 25. Alternativa escogida con relación 1/3	39
Tabla 26. Resultados de temperatura en cada nivel.....	39
Tabla 27. Resultado de velocidad en cada nivel.....	39
Tabla 28. Alternativa escogida con distribución 2	42
Tabla 29. Costo de cada material en cámara de secado.....	42
Tabla 30. Costos de cada material en colector	43

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

El presente proyecto pretende diseñar y construir un prototipo para la cocción de alimentos, utilizando fuentes alternativas de energía y fuentes convencionales, con la finalidad de lograr un ahorro económico, energético, ambiental a través de las iniciativas de diseños y construcción de cocinas híbridas. Cabe añadir que el prototipo estudiando será útil en la zonas rurales donde el tendido eléctrico no ha llegado o simplemente no abastece para toda la comunidad.

El prototipo propuesto constará de dos hornillas, una eléctrica alimentada por 120 voltios y la otra hornilla tipo serpentín que su interior pasara un fluido calo portador para transferir por conducción térmica el calor a los recipiente (olla) utilizados para cocción.

La energía Solar es una fuente de energía alternativa sustentable que ha ganado gran campo en los últimos años, con el propósito de aprovechar la radiación solar, cabe agregar que los estudios y diseños se han realizados para diferentes tipos de colectores solares como son: placas plana con cubierta; concentradores parabólicas; placa plana sin cubierta y tubos de vacío. Para nuestra cocina híbrida analizaremos y utilizaremos un colector solar tipo parabólico que se encuentra instalado en el Centro de Desarrollo Tecnológico y Sustentable, el cual puede alcanzar temperaturas entre 80°C a 200°C, siendo suficiente para poder llegar a la cocción de varios alimentos.

1.1 Descripción del problema

El secado es una necesidad actual dentro del proceso agrónomo, ya que con el inmediato crecimiento en el sembrado del cacao, café y otros productos agrícolas, marítimos e industriales en el Ecuador, pero este motivo han realizadas varias investigaciones y diseños de equipos especializados para la extracción de la humedad en estos productos a diferentes niveles tales como pos cosecha en haciendas, dirigidos también a comerciantes y exportadores. Pero, una de las desventajas de estos sistemas es sus costos de construcción e instalación.

La problemática observada en el sector agrícola se da generalmente en la época de cosecha en la que se necesita el sol para el secado de los productos en tendales, y por las condiciones climáticas de la temporada no son adecuadas para el proceso por lo tanto los productos se malogran debido a que el grano se pudre y se ve afectado por hongos.

Existen diversos diseños de secadores que utiliza gas como combustible o diésel para su funcionamiento. Para el primer proceso utilizando GLP, se requiere quemador que se encarga de calentar el aire de secado utilizado para la deshidratación del producto. El segundo proceso utilizando diésel para calentar un fluido el cual transfiere el calor a una superficie de contacto que puede ser un intercambiador de calor el cual calentara el producto. Con las premisas anterior, estos diseños también conlleva un alto costo de energía por lo que no es rentable su utilización a pequeños y medianos productores.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Optimizar un secador híbrido experimental para ser utilizado para el secado de productos alimenticios.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Rediseñar el colector solar y cámara de secado del prototipo experimental que se encuentran ubicadas en las instalaciones de ESPOC campus Prosperina.
- Simular el funcionamiento del secador híbrido en estado transiente para la obtención de los resultados finales.
- Mejorar la eficiencia del secador solar

1.3 Marco teórico

En esta sección describiremos las definiciones científicas de los términos, equipos y procesos que se implementarán en la elaboración de este proyecto.

1.3.1 Proceso de Secado

Se entiende por secado como la disminución de la humedad de un material mediante un procedimiento térmico. El cual consiste en evaporación mediante la transferencia de líquido a un gas no saturado (aire). (Echeverriarza, 2005)

Las ventajas de este secado son:

- Reducir la posibilidad de daño biológico, y de otros mecanismos de deterioro.
- Disminución del peso y volumen, incrementando la eficiencia de los procesos de transporte y almacenaje.
- Conseguir un alimento más apto para el consumo

En los procesos de secado, los datos suelen expresarse como $\frac{\Delta W_{\text{producto}}(\text{gramo})}{\Delta t (\text{hora})}$ (ecuación 1.1), La tendencia de dicha ecuación se puede observar con más precisión en la figura 1.1.

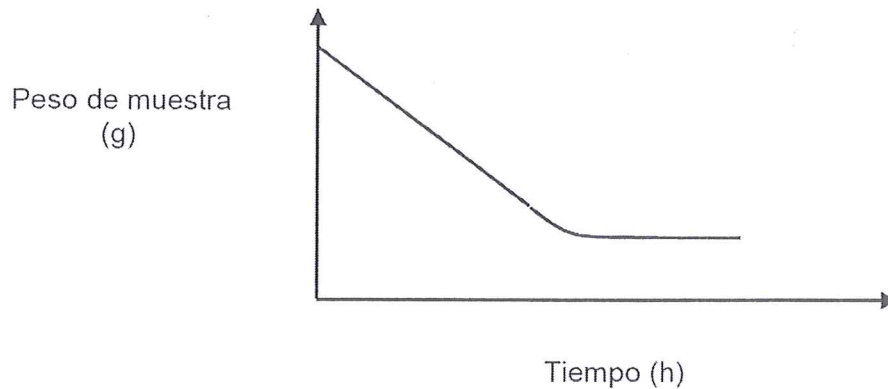


Figura 1-1 Gráfica de Secado

Por otro lado, la cantidad de humedad (X_t) en el material se define como la relación entre

$$X_t = \frac{(W_{total} - W_{seco})}{W_{seco}} = \frac{W_{H_2O}}{W_{seco}} \quad (\text{Ecuación 1.2})$$

Dónde:

W_{total} = peso de producto antes de sacar [kg]

W_{seco} = peso del producto seco [kg]

En los procesos de secado una variable muy importante es la denominada contenido de humedad libre (X), para calcular esta se necesita considerar el contenido de humedad de equilibrio X_{eq} .

$$X = X_t - X_{eq} \quad (\text{Ecuación 1.3})$$

Dónde:

X_{eq} = humedad en zona de equilibrio

Con respecto a la humedad de equilibrio; se la define como el contenido de humedad cuando se alcanza el equilibrio. Una típica curva de secado se obtiene de:

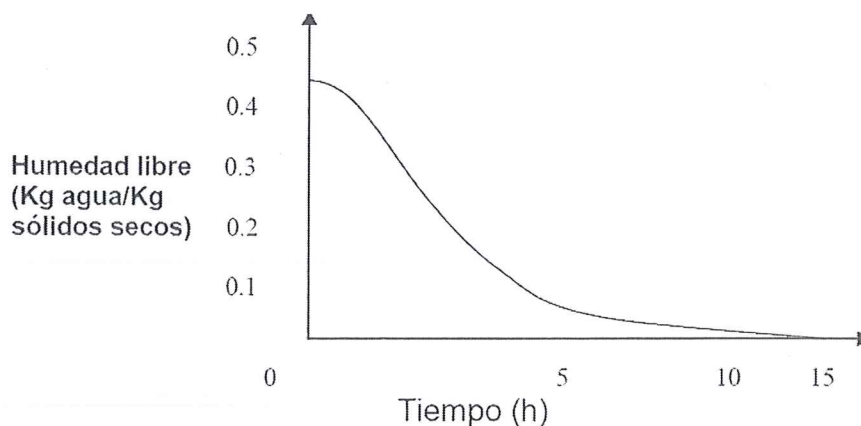


Figura 1-2 Gráfico de Humedad Libre

Otra definición que debemos tener claro es la velocidad de secado (R_s) de un producto siendo proporcional al cambio del contenido de humedad (dX) en función del tiempo (dt).

$$R_s \propto dX/dt \quad (\text{Ecuación 1.4})$$

Los valores individuales de la variación de humedad libre con el tiempo, se puede obtener a partir de la tangente trazada en la curva anterior. La velocidad de secado (R_s) y el área (A_1) es el área de la superficie donde tiene lugar de secado.

$$R_s = - (F_s/A_1) (dX/dt) \quad (\text{Ecuación 1.5})$$

El proceso de secado en un material se puede describir mediante una serie de etapas en la que la velocidad de secado es la variable determinante. En la siguiente figura se muestra una típica curva de velocidad de secado.

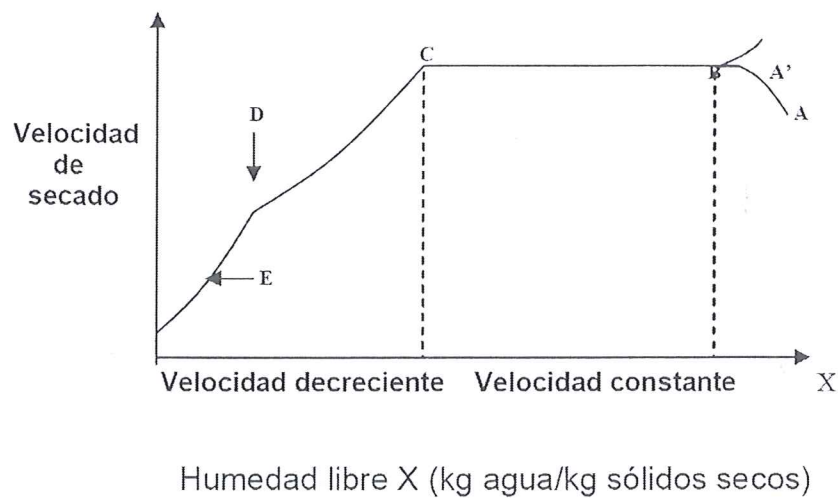


Figura 1-3 Gráfico de Velocidad de Secado

El proceso de secado se inicia con una velocidad constante, en el cual se elimina el agua no ligada al producto es decir la humedad de la superficie. Hasta llegar a la temperatura de equilibrio. A partir de este punto se procede a decrecer la velocidad de secado dividiéndose en dos etapas: la primera, la húmeda de la superficie disminuyen continuamente hasta que se encuentre completamente seca. La segunda etapa; se procede a la evaporación del agua dentro del sólido, la cantidad de agua eliminada en este periodo puede ser baja, al igual que la velocidad de secado.

1.3.2 Secadores Solares

Secado solar tradicional

El secado solar tradicional es el método más sencillo para secar alimentos, este consiste en la exposición del producto directamente a los rayos solares. Entre las desventajas de este método es la existencia que tener los riesgos de perder el producto por lluvias, vientos, acción de insectos y roedores.

Secadores solares convencionales

Los secadores solares permiten elevar la temperatura del aire de tal manera que el proceso de secado de los productos es acelerado. En cualquier secador solar, es posible definir la temperatura máxima que puede llegar a alcanzada el equipo, siempre y cuando se proceda a utilizar un medio de control.

La temperatura máxima para la cual un secador es diseñado depende del tipo de producto a ser deshidratado. Para el deshidratado de productos alimenticios, es recomendable tomar en cuenta la naturaleza de los mismos, respecto a los nutrientes cuyo valor deseamos conservar. Y también pueden ser clasificados según la forma en la cual captan la radiación solar, en tres tipos básicos:

1. Los Secadores Solares Directos, es un equipo con paneles laterales transparentes, en los cuales los productos a deshidratar aprovechan directamente la radiación solar y obtienen de esta manera la energía calorífica necesaria para evaporar el agua contenida, la cual también expande el aire en el recinto, causando una eliminación de la humedad con la circulación del aire.
2. Secadores Solares Indirectos, en estos equipos la radiación no incide directamente al producto, ya que el aire es calentado en un colector y es conducido a una cámara de secado donde se encuentra el producto.
3. Secadores Solares Mixtos, consisten en una combinación de los nombrados anteriormente, utilizando tanto la radiación solar directamente sobre el material como el aire precalentado en un colector solar.
(Cabanillas, 2003)

1.3.3 Colectores Solares

Un colector solar es cualquier dispositivo diseñado para acumular la energía irradiada por el sol y convertirla en energía térmica.

Asimismo se clasifican en dos grandes grupos que son:

- Colector de baja temperatura (utilizados fundamentalmente en sistemas domésticos de calefacción y calentamiento solar de agua). Y por su geometría se dividen :
 - Colector solar plano: consiste en una caja plana metálica por la que circula un fluido, que se calienta a su paso por el panel.
 - Panel de tubos del vacío: donde la superficie captadora está aislada del exterior por un doble tubo de vidrio que crea una cámara al vacío.
- Colector de alta temperatura (conformados mediante espejos, y utilizados generalmente para producir energía eléctrica). También llamados de concentración. Y por su geometría se dividen:
 - Concentradores cilíndricos: su superficie reflectora es la mitad de un cilindro. Su aplicación principal es la producción de vapor en una central térmica.
 - Concentradores parabólicos: su superficie reflectora presenta una geometría de paraboloides de revolución. Su aplicación principal es la producción de vapor en una central térmica.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA DE DISEÑO

2.1 Cambios Definidos

- Colector solar

El vidrio del diseño original no llega hasta la parte superior por lo que se elevara al nivel del vidrio hasta el tope de la parte superior. Podríamos cambiar el vidrio por policarbonato ya que aunque el vidrio es mejor por su refracción pero es más susceptible a quebrarse.

- Cámara de secado

Se cambió la posición de la geometría de los ductos entrada de aire de secado y de salida del aire húmedo.

El diseño original el ducto de entrada del aire de secado está ubicado al lado derecho perpendicular a la puerta a una altura de 560 mm, con una sección de 400mm de ancho por 300mm de ancho, saliente 300mm y un espesor de 5mm. No posee salida de aire húmedo ya que el prototipo no fue terminado de manera correcta.

Por otro lado, una opción es colocar el ducto de entrada del aire caliente en la cara frontal donde se encuentra instalada la puerta, y, modificando la sección para una mejor distribución del aire la misma que sería con las siguientes dimensiones; 700mm de ancho por 200mm de alto, saliente de 300mm y un espesor de 5mm, a una distancia desde la base de 250mm.

- Arreglo de bandejas.

La Cantidad de bandejas está dada por la capacidad del aire de secado de almacenar vapor de agua y de la cantidad de producto en cada una de estas; sería recomendable para el prototipo colocar 10 bandejas, pero por el procesamiento de datos en la simulación del prototipo se

analizara en este trabajo un prototipo de secado utilizando solo 4 bandejas.

- **Matriz de selección**

Para la selección de la mejor alternativa disponible entre varias opciones de diseño potencialmente factible, se utilizara esta matriz con la cual se compara varias características con diferente ponderación porcentual para llegar así a la mejor decisión.

2.2 Alternativas de Diseño

- **Colector solar**

1. Mantener el diseño original con los cambios previos realizados.
2. Realizar un aumento del diámetro en el ducto de entrada y salida de aire.

- **Cámara de secado**

1. Para escoger la sección del ducto de salida se realizara una relación entre el ducto de entrada y salida, implementando tres diferentes relaciones para simular y posteriormente elegir la mejor:

$$\text{relacion} = \frac{\text{superficie ducto de salida}}{\text{superficie ducto de entrada}} \quad (\text{ecuación 2.1})$$

Opción 1: relación 1/3

Opción 2: relación 1/2

Opción 3: relación 3/4

2. Se realizó un arreglo de bandejas iniciando como referencia manteniendo la distancia entre la primera bandeja y la base del ducto de entrada de aire de secado, variando las distancias entre bandejas para cada distribución; enumerándolas de 1 a 4 siendo la primera la del fondo aumentando el número hacia arriba.

Tabla 1. Distancia entre bandejas

Bandeja	Distancia desde el nivel de base de ducto de entrada hasta la bandeja [mm]		
	Distribución 1	Distribución 2	Distribución 3
Primera	40	60	70
Segunda	90	140	170
Tercera	190	240	270
Cuarta	390	340	370

2.3 Producto a Secar

Para nuestro estudio, se ha optado en seleccionar las condiciones de humedad y temperatura a partir de las condiciones específicas del café, considerado como uno de los productos más crítico en el proceso de secado.

Tabla 2. Característica producto a secar

Naturaleza de producto a secar	Granos de café
Cantidad del producto	4kg granos de café despulpado
Velocidad de aire constante	1,1 m/s
Humedad del producto	Inicial del (50 – 55) % de humedad Final de (10 – 12) % humedad
Diámetro del café	e : 6 mm
Distribución del producto	De manera uniforme no más de una capa de productos por bandeja dependiendo también del número de bandejas que se defina al final utilizar se poda decir que cantidad por bandeja
Temperatura máxima del producto	Máxima se puede llegar a 50°C para mantener las propiedades organolépticas

	especificadas del café.
Condiciones aire	
Temperatura ambiental	se puede fijar entre (25 – 27) °C
Temperatura entrada cámara de secado	40°C
Presión de salida	la atmosférica de 101325 Pa
Humedad de ambiente	De un 10%

2.4 Simulación

2.4.1 Simulación de colector solar

Dimensionamiento del colector solar

En términos generales las dimensiones del colector se mantendrán igual que las originales, procedido a modificar es el diámetro de la tubería de entrada y salida de aire del colector siendo de 30mm.

Las dimensiones del diseño colector solar original CDTs, son las siguientes:

Tabla 3. Dimensiones colector

SECCIÓN	DIMENSION [mm]
Carcaza	
Largo	1000
Ancho	900
Altura	100
Ducto lateral	
Alto	15
Largo	990
Canales horizontales	
Alto	40
Largo	890

Ancho	5
Distancia entre canales	90

Para el proceso de la simulación se ha utilizado los siguientes parámetros:

Tabla 4. Parámetros de simulación del colector

Temperatura ambiental	Experimental
Temperatura inicial de solido	25°C
Irradiación solar	Experimental
Velocidad de aire de entrada	1 m/s
Presión en ducto de salida	101325 Pa
Material de la estructura de colector	Chapa de acero de carbono
Material placa negra	Chapa de acero de carbono Superficie radioactiva 5mm de espesor
Material canales	ABS transparente solo solar 10 mm de espesor
Material placa superior 1	Vidrio Superficie de radiación solar 10mm
Material placa superior 2	Vidrio Superficie de radiación solar 30mm de espesor

Para el análisis y comparación de las temperaturas y velocidad obtenidas en la simulación, fue necesario seleccionar diversos puntos de interés dentro del colector solar, con la finalidad de conocer el calentamiento y fluido dinámica del equipo. Los puntos seleccionados fueron los siguientes; salida del ducto de aire caliente y final de cada canal de policarbonato. (Figura 2-1)

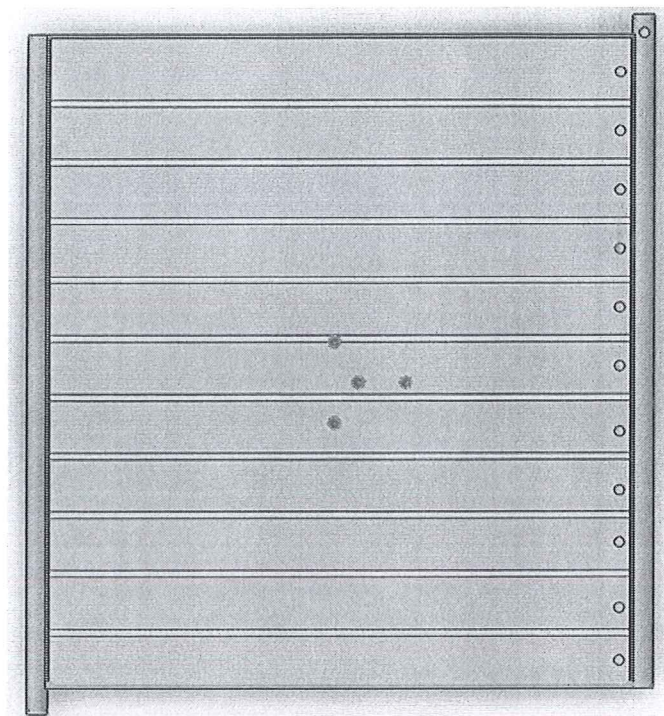


Figura 2-1 Puntos de Análisis Colector Solar

Cabe indicar que la simulación del colector solar se la realizó ingresando los mismos parámetros de temperatura y valores de irradiación solar experimentales medidos experimentalmente por el personal del Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable (CDTS).

Una vez simulado el colector solar, se procede a realizar la matriz de selección entre el diseño del colector del CDTS y el diseño del colector que hemos planteado en este proyecto (Para más detalles ver la sección 3.1). Para la selección de la mejor alternativa se procede a la ponderación de las mismas (tabla 5). Siendo la 10 la mayor calificación y 1 la calificación más baja.

Tabla 5 Matriz de selección entre colector simulado y colector de CDTS

	Costo		seguridad		desempeño		confiabilidad		rango
Factor de ponderación	0.3		0.3		0.2		0.3		1
Colector CDTS	8	2.4	7	2.1	6	1.2	6	1.8	7.5
Colector Simulado	8	2.4	8	2.4	8	1.6	8	2.4	8.8

2.4.2 Simulación de Cámara de Secado

En referencia de diseño de la cámara de secado se mantiene la misma geometría inicial, solo se procede al cambio de posición del ducto de entrada a la parte inferior de la pared opuesta a la puerta de la cámara con unas dimensiones de 40mm de ancho y 30mm de alto, teniendo una saliente de la pared de 30mm y a una altura desde la base de la cámara a la base del túnel de 56mm. Por otra parte, la cubierta lateral de policarbonato y el techo de acrílico se mantienen del diseño original.

2.4.2.1 Relación de Superficies

Esta relación es entre la superficie del ducto de entrada y la superficie del ducto de salida; se estableció esta relación para tomar una decisión de las dimensiones en el ducto de salida haciendo una comparación entre los resultados de simulación de flujo de 3 diferentes relaciones (ver detalles sección 3.2.1):

$$\text{relación} = \frac{\text{superficie ducto de salida}}{\text{superficie ducto de entrada}}$$

Las relaciones que vamos a probar son:

$$\text{relación} = \frac{1}{3}, \text{relación} = \frac{1}{2} \text{ y } \text{relación} = \frac{3}{4}$$

Para estas simulaciones se utilizaron los siguientes parámetros establecidos:

Tabla 6. Parámetros de simulación en cámara de secado

Temperatura ambiental	Experimental
Temperatura inicial de solido	25°C
Temperatura de aire de secado en la entrada	Salida del colector
Irradiación solar	Experimental
La velocidad de aire de entrada	Salida del colector
Presión en ducto de salida	101325 Pa
Material de la base del secador	Acero inoxidable
Material de la puerta	Acero inoxidable

Material de cubierta lateral	ABS transparente solo solar
Material del techo	ABS transparente solo solar
Superficie radioactiva de cubierta lateral	Pared absorbente
Superficie radioactiva del techo	Pared absorbente
Dimensiones superficie de ducto de entrada	
Alto	140 mm
Ancho	740 mm

Se usó un prototipo modelo en general para todas las simulaciones, para esta simulación no se utilizó las bandejas, manteniendo la geometría del ducto de entrada, la única variable fue la geometría del ducto de salida con tres alternativas ya definidas según la relación de superficies.

Para esta simulación se analizaron puntos estratégicos en los cuales obtendremos valores de velocidad y temperatura, para cada relación utilizando los parámetros establecidos, dichos resultados de la simulación serán comparadas en una matriz que nos ayudara a escoger la mejor opción. Ver tabla 7 y figura2-2.

Tabla 7. Coordenadas de puntos a analizar en cámara de secado

Puntos a analizar cámara se secado			
Coordenadas	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
Nivel fondo izquierdo (P0L)	-0.20	-0.45	1.59
Nivel fondo derecho (P0R)	0.25	-0.45	1.59
Nivel bajo izquierdo (P1L)	-0.30	-0.30	1.59
Nivel bajo derecho (P1R)	0.30	-0.30	1.59
Nivel medio izquierdo (P2L)	-0.30	-0.15	1.59
Nivel medio derecho (P2R)	0.20	-0.15	1.59
Nivel alto izquierdo (P3L)	-0.30	0.04	1.59
Nivel alto derecho (P3R)	0.30	0.04	1.59

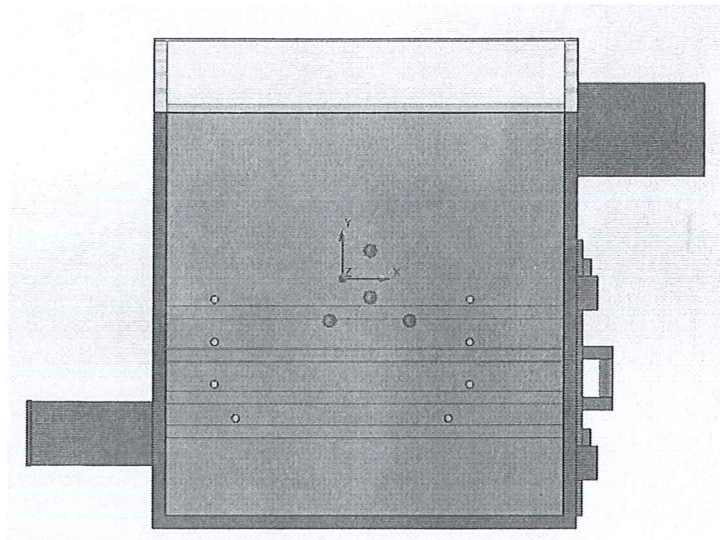


Figura 2-2 Puntos de Análisis Cámara de Secado

2.4.2.1.1 Relación 1 a 3

Haciendo la relación 1/3 entre las superficies tomando como referencia la superficie de entrada, se pudo obtener estas dimensiones del ducto de entrada.

Tabla 8. Dimensiones en ducto de salida con relación 1/3

Dimensiones de superficie ducto de salida	
Alto	150 mm
Ancho	230 mm

Trayectorias

Observando el flujo podemos notar que este tiene mayor incidencia en toda la superficie de las dos primeras bandejas, abarcando en una gran parte de la superficie de la tercera y en caso contrario la cuarta bandeja con baja intensidad de flujo de aire en la parte izquierda; con buena recirculación en la parte inferior y un poco baja recirculación en la parte superior de la cámara de secado. Ver figuras 2-3 y 2-4.

Temperatura

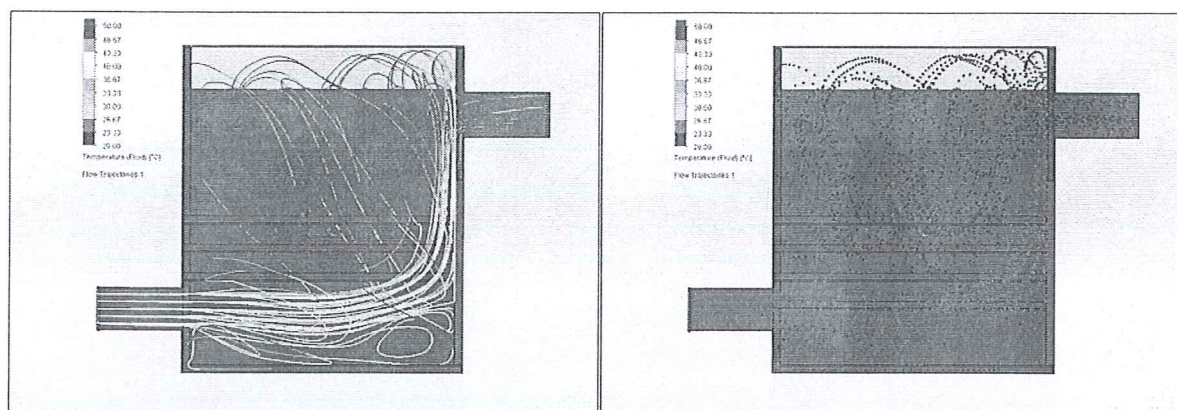


Figura 2-3 Análisis de Temperatura con Flujo de Aire de Secado

Al observar la figura 2-3, se puede decir que se mantiene la misma temperatura en la parte inferior abarcando las dos primeras bandejas y en la pared de la puerta en su totalidad hasta la entrada del túnel de salida de aire húmedo, el lugar en que se muestra mayor temperatura está en el centro de las dos últimas bandejas de la parte superior y en todo el espacio sobre estas bandejas hasta el nivel del túnel de salida.

Velocidad

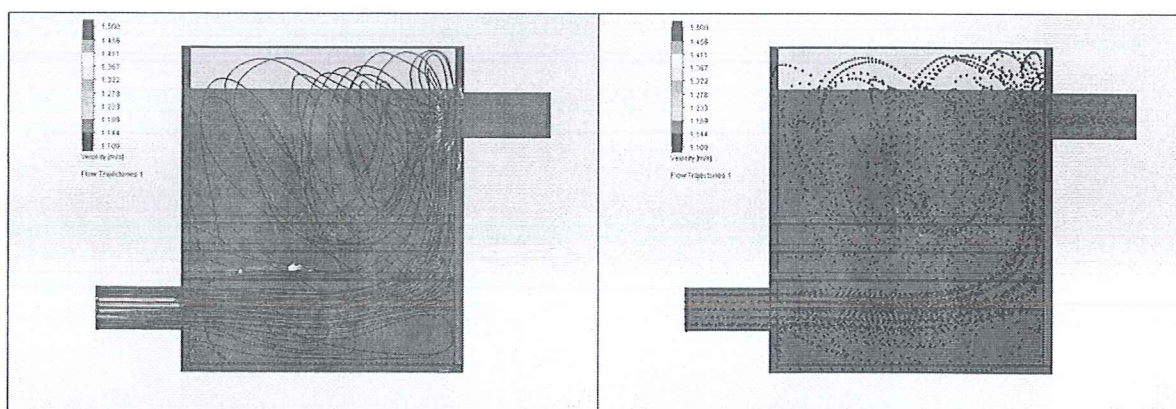


Figura 2-4 Análisis de Velocidad con Flujo de Aire de Secado

Podemos ver en la figura 2-4, que la velocidad se mantiene en todo su recorrido dentro de la cámara de secado, aun con una evidente recirculación en la parte inferior y superior de la cámara de secado no tiene un cambio notable en la

velocidad, la única excepción en donde hay un notable cambio en la velocidad es el túnel de salida.

2.4.2.1.2 Relación 1 a 2

Tabla 9. Dimensión en ducto de salida con relación 1/2

Dimensiones de superficie ducto de salida	
Alto	150 mm
Ancho	345 mm

Trayectorias

Visualizando las figuras 2-5 y 2-6, podemos notar que el flujo tiene mayor incidencia en toda la superficie de las dos primeras bandejas desde la parte inferior hasta el nivel de la segunda bandeja, del nivel de la segunda bandeja hasta la cuarta bandeja el flujo no tiene incidencia en el centro y es mínima en los sectores cercanos a las paredes derecha e izquierda.

Temperatura

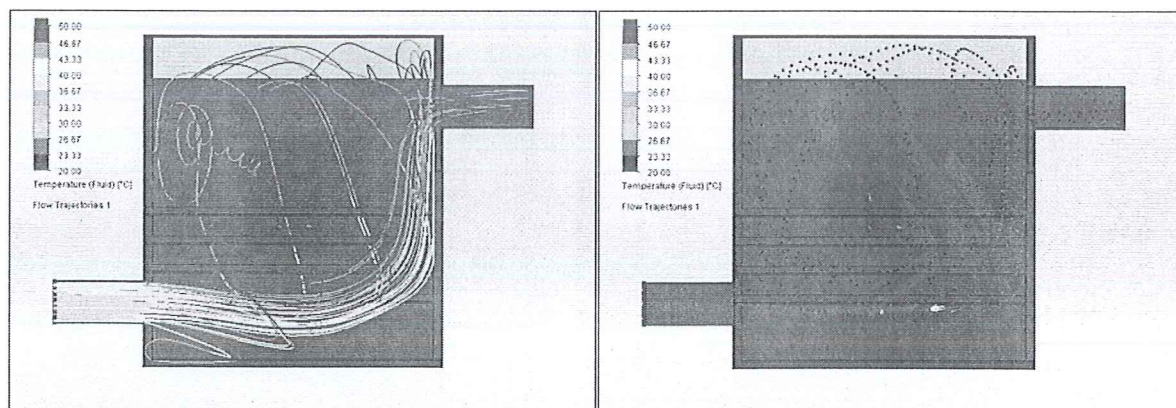


Figura 2-5 Análisis de Temperatura con Flujo de Aire de Secado

Visualizando la figura 2-5, se nota que la temperatura se mantiene casi constante desde el inferior de la cámara de secado hasta el nivel de la segunda bandeja en la parte inferior, desde la segunda bandeja inferior hacia arriba se puede observar un cambio evidente de la temperatura.

Velocidad

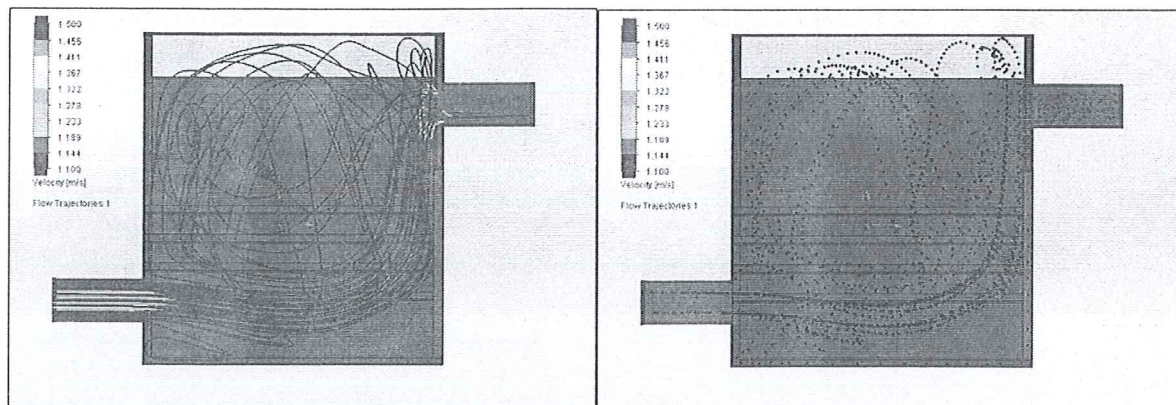


Figura 2-6 Análisis de Velocidad con Flujo de Aire de Secado

Visualizando la figura 2-6, se puede notar que la velocidad tiene un cambio mínimo o despreciable en casi todo su recorrido dentro de la cámara de secado, el único cambio brusco es en el ducto de salida.

2.4.2.1.3 Relación 3 a 4

Tabla 10. Dimensión en ducto de salida con relación 3/4

Dimensiones de superficie ducto de salida	
Alto	150 mm
Ancho	518 mm

Trayectorias

Observando las figuras 2-7 y 2-8, podemos notar que el flujo abarca las dos primeras bandejas inferiores en su totalidad, así también la pared de la derecha también está completamente influenciada por el flujo de aire hasta el túnel de salida. Desde el nivel de la tercera bandeja hasta la última bandeja el flujo está presente con una intensidad media en el centro hasta la pared de la derecha y con una baja presencia en la pared de la izquierda.

Temperatura

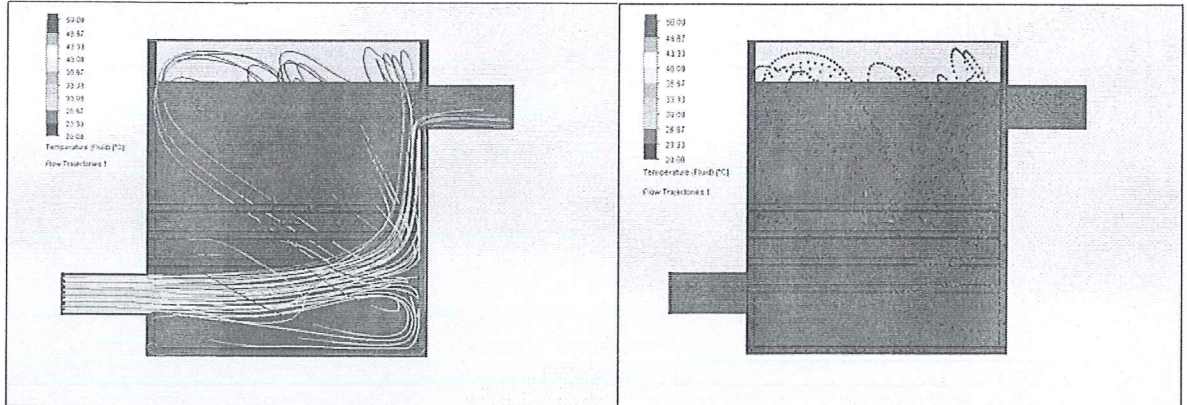


Figura 2-7 Análisis de Temperatura con Flujo de Aire de Secado

Visualizando la figura 2-7, se puede decir que la temperatura no tiene ningún cambio brusco en su recorrido por las bandejas, la temperatura del flujo se mantiene desde su ingreso por el túnel de entrada siguiendo la misma dirección hasta la pared de la derecha avanzando por esta pared hasta el túnel de salida de aire de húmedo formando una L acostada, siendo en la parte superior desde la tercera bandeja hacia arriba las secciones más calientes.

Velocidad

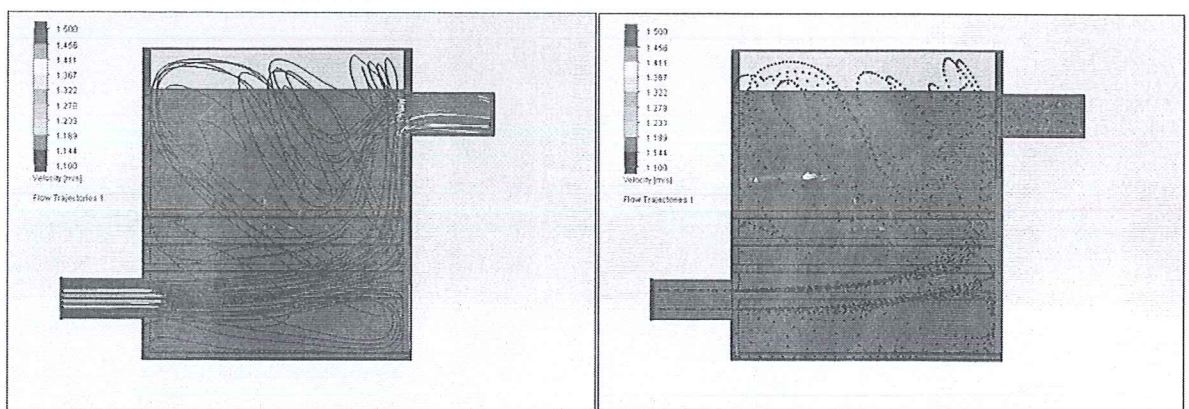


Figura 2-8 Análisis de Velocidad con Flujo de Aire de Secado

Visualizando la figura 2-8, se nota que la velocidad no tiene ningún cambio considerable en todo su recorrido dentro de la cámara de secado, la única excepción se da por su disminución de sección en el ducto de salida se produce un aumento brusco de velocidad en comparación con la que hubo dentro de la cámara de secado.

2.4.2.1.4 Resultados de simulación: relación de superficies

Tabla 11. Matriz de selección de relación de sección de entrada y salida de aire

	Costo		seguridad		desempeño		confiabilidad		rango
Factor de ponderación	0.3		0.3		0.2		0.3		1
Relación 1-2	8	2.4	8	2.4	7	1.4	6	1.8	8
Relación 1-3	9	2.7	8	2.4	8	1.6	7	2.1	8.8
Relación 3-4	7	2.1	8	2.4	6	1.2	5	1.5	7.2

Las relación 1-3 en comparación con las otras dos su flujo de aire tiene mayor recorrido, mejor distribución aprovechable para el secado. En las tres opciones de relación la temperatura y la velocidad se comportan de forma similar con leves cambios que no llegan a influir en la selección.

Por lo cual la mejor opción sería la relación 1-3 mayormente por la circulación del aire de secado, también por llegar a las condiciones necesarias de temperatura y velocidad para un correcto secado.

2.4.2.2 Distribución de Bandejas en la Cámara de Secado

Para este análisis las dimensiones de la cámara de secado ya especificadas no serán modificadas, se las mantendrán en toda las pruebas que se van a realizar posteriormente.

Con las dimensiones de la rejilla el producto aprovecharía todo el ancho de flujo de aire de secado ya que tiene la misma dimensión que el ducto de entrada de la cámara de secado. El número de rejillas ya quedo fijadas en 4 rejillas, con una carga de 1kg de producto en cada una, con esto se tiene el suficiente espacio para

tener una sola capa de producto para un correcto e uniforme secado de cada grano de café. Las bandejas las podemos enumerar para identificarlas de la primera a la cuarta iniciando con la del fondo de la cámara de secado.

Lo que se hará para cada alternativa de distribución es variar las distancias entre cada rejillas de tal forma aprovechar de manera más eficiente el flujo de aire de secado desde la entrada y hasta la salida obteniendo la extracción necesaria de humedad del café. También se variara la distancia desde la base superior del ducto de entrada hasta la primera bandeja para posteriormente seleccionar la ideal de las tres alternativas para nuestro propósito.

Se procederá a dar tres alternativas de distribución para ser comparadas, se analizara con puntos estratégicos en los niveles de cada una de las bandejas bandeja para todas las distribuciones.

Para esta simulación en general se utilizó los siguientes parámetros, observar tabla 12:

Tabla 12. Parámetros de simulación en cámara de secado

Temperatura ambiental	Experimental
Temperatura inicial de solido	25°C
Temperatura de aire de secado en la entrada	Salida del colector solar
Irradiación solar	Experimental
Velocidad de aire de entrada	Salida del colector
Presión en ducto de salida	101325 Pa
Material de la base del secador	Acero inoxidable
Material de la puerta	Acero inoxidable
Material de cubierta lateral	ABS transparente solo solar
Material del techo	ABS transparente solo solar
Superficie radioactiva de cubierta lateral	Pared absorbente
Superficie radioactiva del techo	Pared absorbente
Dimensiones de superficie ducto de entrada	
Alto	140 mm
Ancho	740 mm
Dimensiones de superficie ducto de salida	
Alto	150 mm
Ancho	230 mm

Para la toma de datos se han seleccionado puntos estratégicos a diferentes niveles de altura (ver tabla 13), donde obtendremos valores de velocidad y temperatura para para cada alternativa o prototipo utilizando los parámetros

establecidos, dichos resultados de la simulación serán comparadas en una matriz que nos ayudara a escoger la mejor opción.

Tabla 13. Coordenadas de puntos a analizar en cámara de secado

Puntos a analizar cámara se secado			
Coordenadas	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
Nivel fondo izquierdo (P0L)	-0.25	-0.45	1.59
Nivel fondo derecho (P0R)	0.30	-0.45	1.59
Nivel bajo izquierdo (P1L)	-0.30	-0.30	1.59
Nivel bajo derecho (P1R)	0.30	-0.30	1.59
Nivel medio izquierdo (P2L)	-0.30	-0.15	1.59
Nivel medio derecho (P2R)	0.20	-0.15	1.59
Nivel alto izquierdo (P3L)	-0.30	0.04	1.59
Nivel alto derecho (P3R)	0.30	0.04	1.59

2.4.2.2.1 Simulación con distribución 1

Para esta primera alternativa o distribución 1 se ha propuesto las distancias mostradas en la tabla 14.

Tabla 14. Distancias con distribución 1

Bandeja	Distancia desde el nivel de base de ducto de entrada hasta la bandeja [mm]
Primera	40
Segunda	90
Tercera	190
Cuarta	390

Trayectoria

Observando las figuras 2-9 y 2-10, podemos notar que el recorrido de flujo de aire es bien aprovechado es su mayor parte por las dos primeras bandejas que tiene un recirculación debido a la distancia entre ellas el aire rebota en estas dos, la tercera bandeja obtiene buen flujo desde el centro hacia la derecha de la cámara de secado y la última bandeja en la parte superior tiene buena presencia de flujo casi en toda su sección.

Hay una gran cantidad de flujo sobre la última bandeja que podría ser aprovechado con más bandejas.

Temperatura

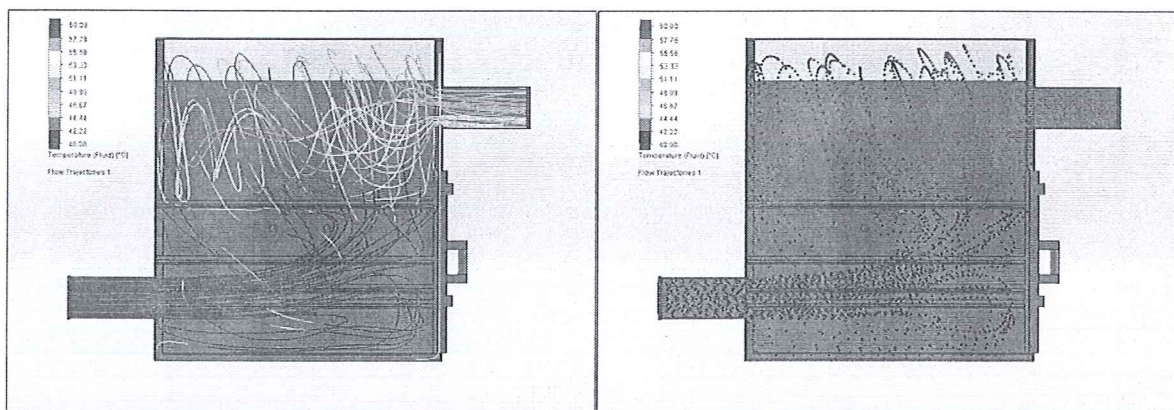


Figura 2-9 Análisis de Temperatura con Flujo de Aire de Secado

Visualizando la figura 2-9, se nota que la temperatura no tiene ningún cambio considerable en su recorrido desde el fondo de la cámara de secado hasta el nivel que inicia la cuarta bandeja, sobre la cuarta bandeja se puede observar un notorio cambio que puede ser muy bien aprovechado con más bandejas o cambiando distancias entre bandejas.

Velocidad

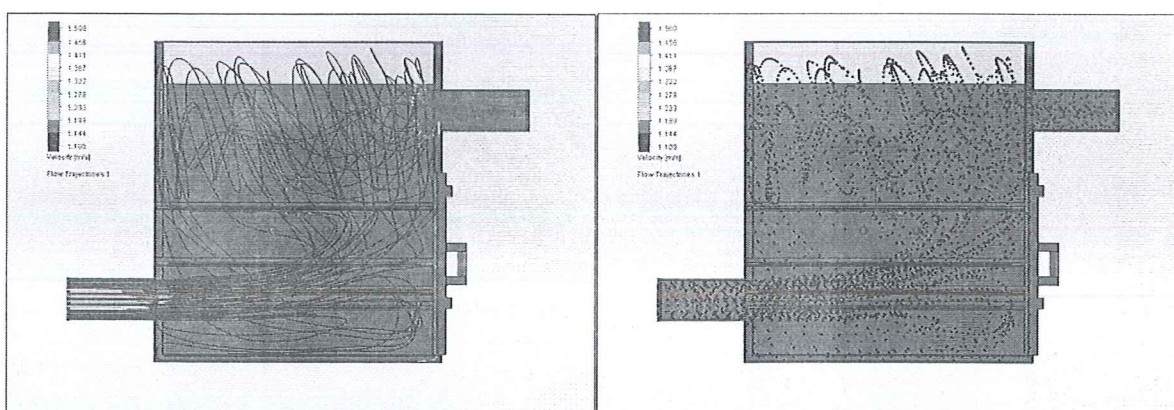


Figura 2-10 Análisis de Velocidad con Flujo de Aire de Secado

Visualizando la figura 2-10, podemos notar que la velocidad tiene una pequeña variación en todo su recorrido dentro de la cámara de secado, con mayor valor de velocidad en las primeras bandejas y mínima en la última, excepto en la cercanía

del ducto de salida de aire húmedo lo cual tiene mucho sentido por su cambio de sección.

2.4.2.2.2 Simulación con distribución 2

Para esta segunda alternativa o distribución 2 se ha propuesto las distancias mostradas en la tabla 15.

Tabla 15. Distancias con distribución 2

Bandeja	Distancia desde el nivel de base de ducto de entrada hasta la bandeja [mm]
Primera	60
Segunda	140
Tercera	240
Cuarta	340

Trayectoria

Observando las figuras 2-11 y 2-12, podemos decir que el flujo de aire circula abarcando en su totalidad la primera y la mayor parte de la segunda bandeja, pero la tercera recorre desde la mitad hacia la derecha y en la cuarta bandeja con presencia casi en toda la sección.

Sobre la cuarta bandeja circula gran cantidad de flujo aprovechable; teniendo una recirculación desde la segunda y tercera bandeja hasta el fondo de la cámara de secado.

Temperatura

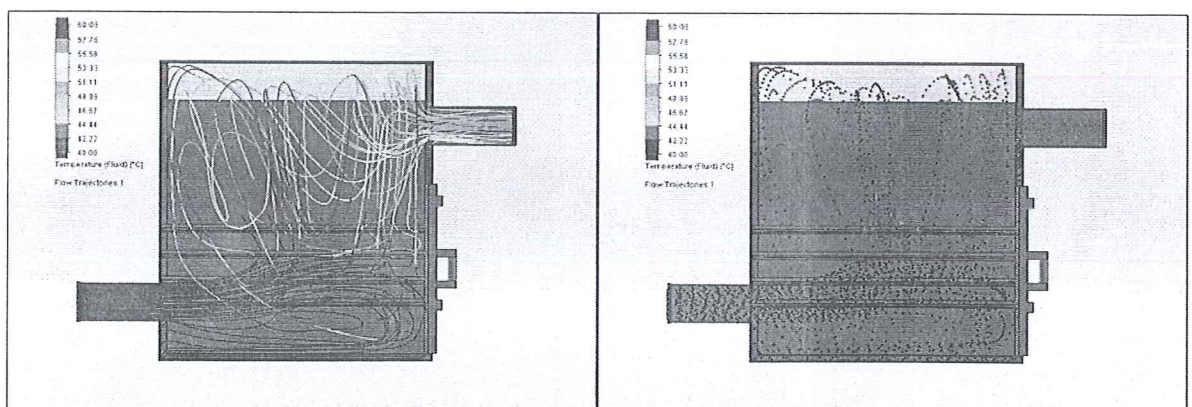


Figura 2-11 Análisis de Temperatura con Flujo de Aire de Secado

Visualizando la figura 2-11, se nota que la temperatura se mantiene en todo su recorrido hasta el nivel de la tercera bandeja, arriba de la tercera bandeja se produce un aumento importante hasta el nivel del ducto de salida

Velocidad

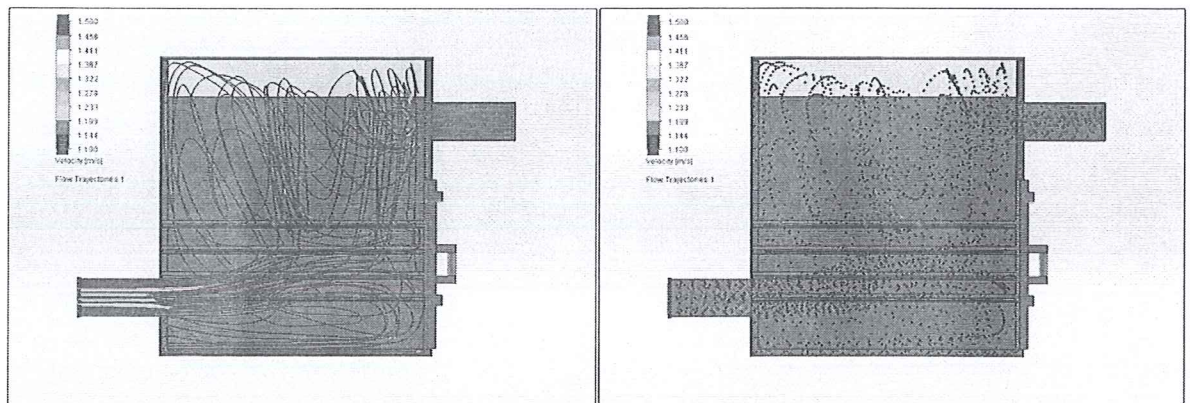


Figura 2-12 Análisis de Velocidad con Flujo de Aire de Secado

Visualizando la figura 2-12, se nota que la velocidad tiene una mínima variación por todo el recorrido dentro de la cámara de secado a excepción en el ducto de salida lo cual es de esperarse por su cambio de sección.

2.4.2.2.3 Simulación con distribución 3

Para esta tercera alternativa o distribución 3 se ha propuesto las distancias mostradas en la tabla 16.

Tabla 16. Distancias con distribución 3

Bandeja	Distancia desde el nivel de base de ducto de entrada hasta la bandeja [mm]
Primera	70
Segunda	170
Tercera	270
Cuarta	370

Trayectorias

Observando las figuras 2-13 y 2-14, podemos notar que el flujo de aire circula abarcando en su totalidad la primera y la mitad de la segunda bandeja, pero la tercera con poca incidencia en la parte izquierda, y en la cuarta bandeja con presencia solo en su parte central.

Sobre la cuarta bandeja circula gran cantidad de flujo aprovechable; teniendo una recirculación desde la primera y segunda bandeja hasta el fondo de la cámara de secado.

Temperatura

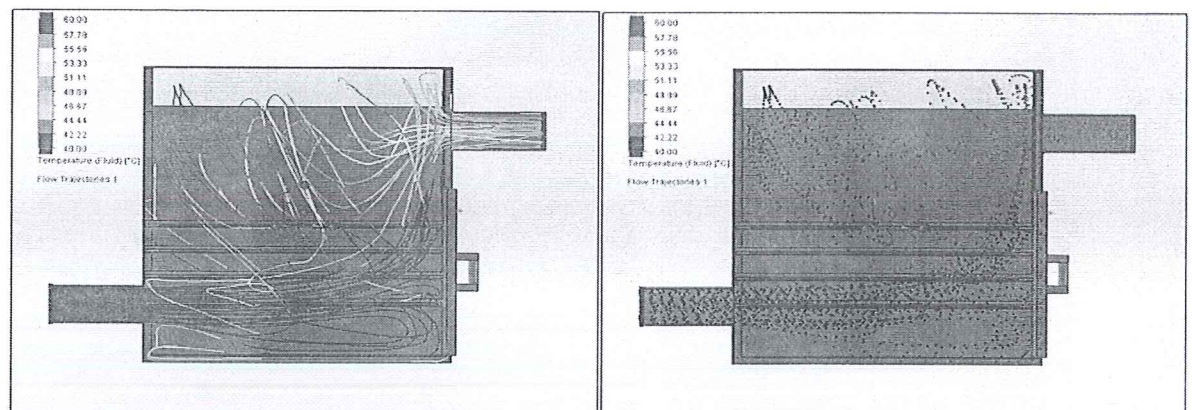


Figura 2-13 Análisis de Temperatura con Flujo de Aire de Secado

Visualizando la figura 2-13, podemos notar que la temperatura se mantiene desde el nivel de la segunda bandeja hasta el fondo de la cámara de secado y en parte que sube por la pared derecha, el resto del flujo de aire la temperatura tiene un cambio notable mayormente desde la parte superior de la segunda bandeja hasta el nivel del túnel de salida de aire húmedo.

Velocidad

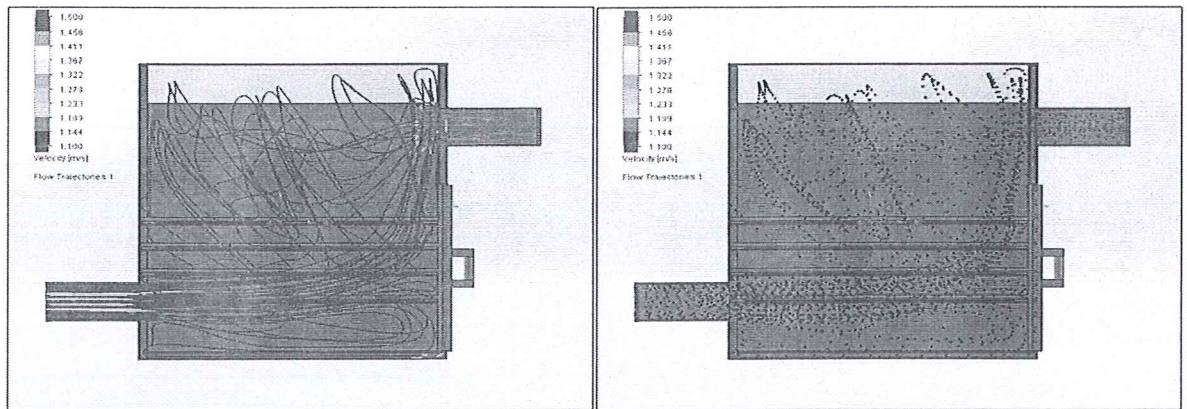


Figura 2-14 Análisis de Velocidad con Flujo de Aire de Secado

Visualizando la figura 2-14, podemos decir que la velocidad en el flujo de aire de secado tiene poca variación en todo su recorrido, con mayor valor de velocidad en las dos primeras bandejas y mínima a nivel de la cuarta bandeja hacia arriba.

2.4.2.2.4 Resultados de simulación: distribución de bandejas

Tabla 17. Matriz de selección de mejor distribución de bandejas

	Costo		seguridad		desempeño		Confiabilidad		rango
Factor de ponderación	0.3		0.3		0.2		0.3		1
Prototipo 1	7	2.1	8	2.4	6	1.2	6	1.8	7.5
Prototipo 2	7	2.1	8	2.4	7	1.4	7	2.1	8
Prototipo 3	7	2.1	8	2.4	5	1.0	5	1.0	6.5

Comparando las distribuciones de flujo las mejores son la del primer y segundo prototipo porque abarcan la mayor parte de las secciones de las 4 bandejas, cumplen con los rangos de temperatura y las velocidades son similares en los puntos analizados; pero la distribución del prototipo 2 completa mayor sección que los otros dos por lo cual este aire será aprovechado de forma más eficiente que en los otros dos prototipos.

Por lo que se elige con la matriz de selección el diseño del prototipo 2 con un igual costo y seguridad que los otros dos; pero mayor desempeño y confiabilidad.

Descripción del diseño detallado:

Tabla 18. Condiciones de alternativas escogidas

Material de la base del secador	Acero inoxidable
Material de la puerta	Acero inoxidable
Material de cubierta lateral	ABS transparente solo solar
Material del techo	ABS transparente solo solar
Superficie radioactiva de cubierta lateral	pared absorbente
Superficie radioactiva del techo	pared absorbente
Dimensiones de superficie ducto de entrada	
Alto	140 mm
Ancho	740 mm
Dimensiones de superficie ducto de salida	
Alto	150 mm
Ancho	230 mm
Bandeja	Distancia desde el nivel de base de ducto de entrada hasta la bandeja [mm]
Primera	60
Segunda	140
Tercera	240
Cuarta	340

2.5 Selección de Materiales

Esta sección se especifica la cantidad y dimensiones de los materiales a utilizar para la construcción del secador solar híbrido; el cual está compuesto por un colector solar y una cámara de secado.

Colector solar

Las paredes del colector fueron construidas con acero inoxidable 430-#4 0.40MM utilizando como material aislante lana de vidrio con un espesor de 10 cm, el aire caliente es transportado en el interior de las secciones de una plancha de policarbonato traslucido con un espesor de 10 mm que se caracteriza por su elevado grado de aislamiento térmico, la misma se encuentra conectada a una tubería de 30mm, donde se transportara el fluido a la cámara de secado, finalmente se seleccionó vidrio transparente de bajo contenido de hierro para las

cubiertas de espesor de 3mm. Adicionalmente cuenta con una placa absolvedora en parte inferior del colector, elaborada en plancha de acero comercial de 3 mm, cubriéndola con pintura anticorrosiva color oscuro.

Cámara de secado

La estructura de soporte del prototipo se realizó con perfiles cuadrado de acero comercial, la base, las paredes y la puerta de la cámara es de acero inoxidable 430 de 0.40MM, la cubierta lateral de policarbonato translucido con 1mm de espesor, el techo de cámara se diseñó de acrílico de 1 mm de espesor y dentro de todas las paredes de acero se usa como aislante lana de vidrio.

Las bandejas de secado fueron realizadas con una malla de plástico y su marco de soporte fueron realizara en madera comercial, utilizado comúnmente para productos alimenticios.

2.6 Componentes

Cámara de secado

Tabla 19. Componentes de cámara de secado

Componentes	Cantidad
Plancha de acero inoxidable 430 1220x2440x0.4	5
Plancha policarbonato 2x1 e 4mm	1
Plancha acrílico	1
Lana de vidrio e 5mm	3 m ²
Tirantes de madera 5m	1
Malla plástica 1000x1000	8
Par de bisagras	2
Picaporte	1
Remache 4.8 mm x 10	10

Colector

Tabla 20. Componentes de colector

Componente	Cantidad
Plancha de acero inoxidable 430 1220x2440x0.4	2
Plancha de hierro negro 1.22X2.44	1
Placa de policarbonato incoloro 2x1 e 4mm	1
Vidrio 1x1 espesor e 1mm	1
Vidrio 1x1 espesor 3mm	1
Tubo cuadrado hueco 25x25x2	10 m
Lana de vidrio e 5mm	2m ²
Remache 4.8 mm x 10	5

2.7 Normativas

- **NORMATIVA ECUATORIANA DE CONSTRUCCION**
NEC-10 PARTE 14-1 ENERGÍA RENOVABLE “SISTEMAS DE CALENTAMIENTO DE AGUA CON ENERGÍA SOLAR PARA USO SANITARIO EN EL ECUADOR”
- **NORMATIVA TECNICA ECUATORIANA**
NTE INEN 2 507:2009 “RENDIMIENTO TERMICO DE COLECTORES SOLARES EN SISTEMAS DE CALENTAMIENTO DE AGUA PARA USO SANITARIO”
- **REGLAMENTO TERMICO ECUATORIANO**
RTE INEN 152 “RENDIMIENTO TÉRMICO DE COLECTORES SOLARES”

CAPITULO 3

3. Análisis de Resultados

En esta sección se analizó y realizó la comparación con los resultados de simulación para cada una de las propuestas a seleccionar, utilizando como parámetros de comparación la velocidad del flujo y la temperatura del flujo en puntos definidos específicamente.

3.1 Simulación Colector

Observando las tablas 21 y 22, se pudo visualizar la variación de la temperatura en diferentes puntos, los valores de la velocidad y temperatura en el mismo punto de salida.

Tabla 21. Resultados de temperatura en cada canal

Punto	Temperatura [°C]
Canal 1	67,65
Canal 2	69,55
Canal 3	71,10
Canal 4	70,75
Canal 5	70,83
Canal 6	71,01
Canal 7	71,03
Canal 8	71,04
Canal 9	71,18
Canal 10	71,84
Canal 11	68,27

Tabla 22. Resultados de temperatura y velocidad en la salida

Parámetros	Datos
Temperatura de salida [°C]	68,33
Velocidad de salida [m/s]	1,20

A continuación podemos observar la gráfica de temperatura media y de salida del fluido con respecto del tiempo en el colector. Figura 3-1.

Estas curvas de la temperatura media y la temperatura de salida del colector solar tienen el mismo comportamiento como era de esperarse teniendo al final una pequeña diferencia de grados, alcanzando mayor valor la temperatura media. Podemos observar que la temperatura tiene una tendencia creciente hasta determinado punto del tiempo después del cual se podría decir se mantendría en el mismo valor u oscilaría 1 o 2 grados que serie entre los 66 °C a 68 °C.

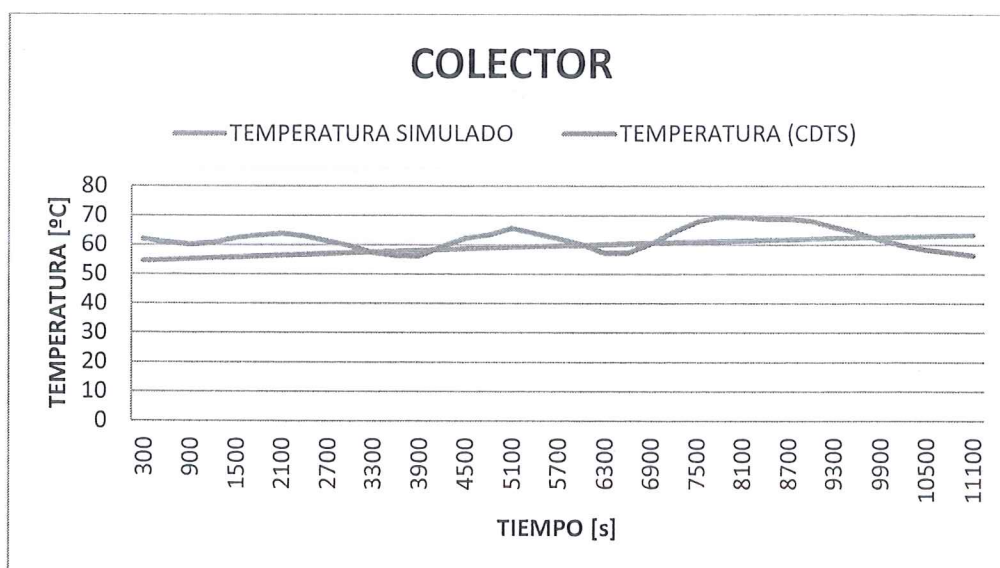


Figura 3-1 Temperatura del simulado y CDTs vs Tiempo

La curva de temperatura del colector simulado y del colector CDTs tiene variaciones parecidas en su recorrido y alcanzan temperaturas máximas muy

cercanas por lo que la temperatura no sería una razón principal para la selección de algún de las dos alternativa.

En el siguiente figura 3-2 de temperatura media y de salida del colector con respecto a las irradiaciones experimentales podemos darnos cuenta que hasta donde llega los valores experimentales hay una diferencia de 10 °C entre la temperatura de salida y la temperatura media; estas dos temperaturas tienen un comportamiento guardando relación a los valores de la irradiación en si mayoría son valores que van aumentando o se mantiene altos mayores a 400 W/m².

En este caso la temperatura de salida del colector al inicio se comporta de igual forma y en un punto se sobreponen, con el pasar del tiempo la temperatura de salida se incrementa alcanzando un diferencia 10 °C con respecto a la temperatura media hasta donde llegan los datos experimentales.

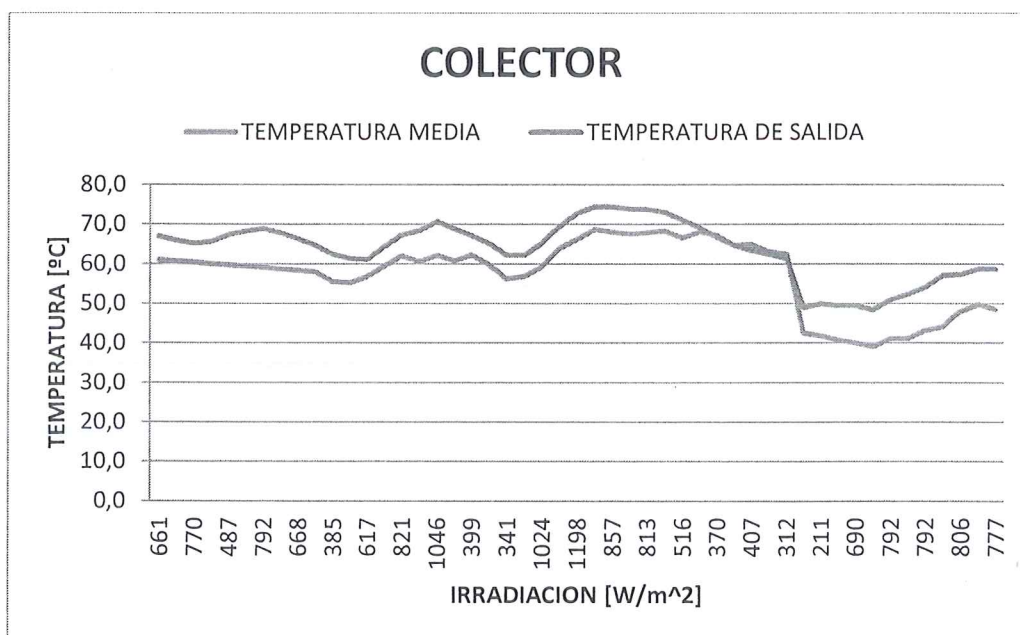


Figura 3-2 Temperatura Media y de Salida vs Irradiación

Como se observa en la figura 3-3 de velocidad media y de salida del colector solar la diferencia entre ambas es de 1 m/s en el inicio pero a partir de un tiempo determinado en adelante la diferencia aumenta a más de 1.5 m/s; la media manteniéndose menor a 1 m/s y la de salida empezando en 2.2 m/s y termina manteniéndose mayor a 2.4 m/s.

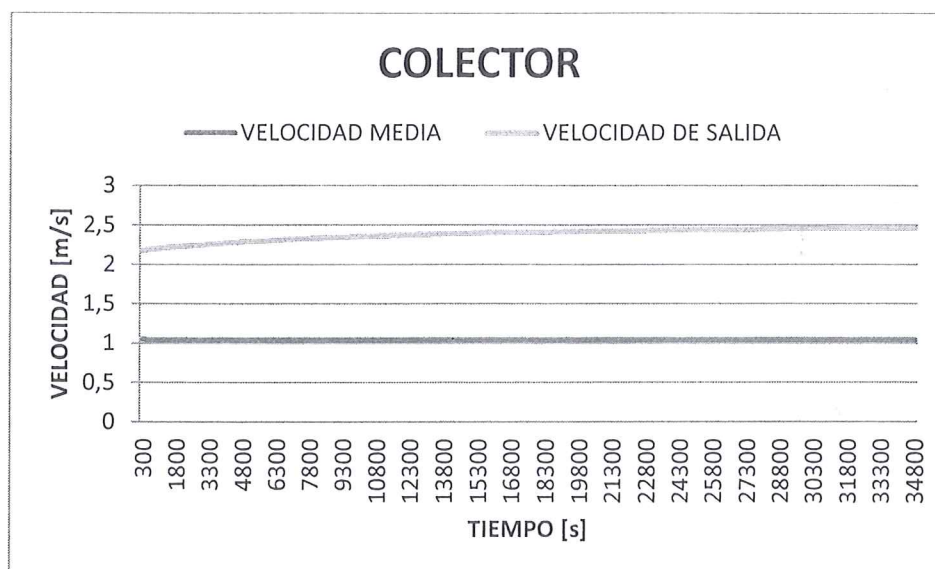


Figura 3-3 Velocidad Media y de Salida vs Tiempo

3.2 Cámara de Secado

Realizando las selecciones de mejor alternativa para la relación entre túnel de entrada y el de salida de aire mediante simulaciones de flujo en el CAD SOLIDWORKS y su posterior matriz de selección usando variables de gran importancia pude llegar a obtener el siguiente resultado:

3.2.1 Relación de Superficies en Ductos

Tabla 23. Resultados de temperatura en cada nivel

Punto	Relación 1-3 Temperatura [°C]	Relación 1-2 Temperatura [°C]	Relación 3-4 Temperatura [°C]
Nivel fondo izquierdo (P0L)	64,48	64,47	64,65
Nivel fondo derecho (P0R)	64,40	64,50	64,54
Nivel bajo izquierdo (P1L)	65,24	65,10	64,85
Nivel bajo derecho (P1R)	64,89	64,83	64,68
Nivel medio izquierdo (P2L)	65,84	65,56	65,01
Nivel medio derecho (P2R)	65,36	65,21	64,84
Nivel alto izquierdo (P3L)	65,86	65,51	64,08
Nivel alto derecho (P3R)	65,43	65,29	65,95

Tabla 24. Resultados de velocidad en cada nivel

Punto	Relación 1-3 Velocidad [m/s]	Relación 1-2 Velocidad [m/s]	Relación 3-4 Velocidad [m/s]
Nivel fondo izquierdo (P0L)	0.80	0.66	20.8
Nivel fondo derecho (P0R)	0.44	0.24	0.57
Nivel bajo izquierdo (P1L)	0.73	0.70	2.73
Nivel bajo derecho (P1R)	0.54	0.52	1.43
Nivel medio izquierdo (P2L)	0.18	0.25	0.83
Nivel medio derecho (P2R)	0.37	0.44	1.45
Nivel alto izquierdo (P3L)	0.15	0.25	0.78
Nivel alto derecho (P3R)	0.28	0.38	1.54

El comportamiento de las curvas en las tres relaciones entre el ducto de entrada y el de salida del colector son similares al inicio con una máxima diferencia de temperatura entre las relaciones de 3°C, pero desde un punto en el tiempo en adelante las curvas se sobrepone manteniendo la misma tendencia y valores, las tres alcanzando una temperatura final de 64 °C. Ver figura 3-4.

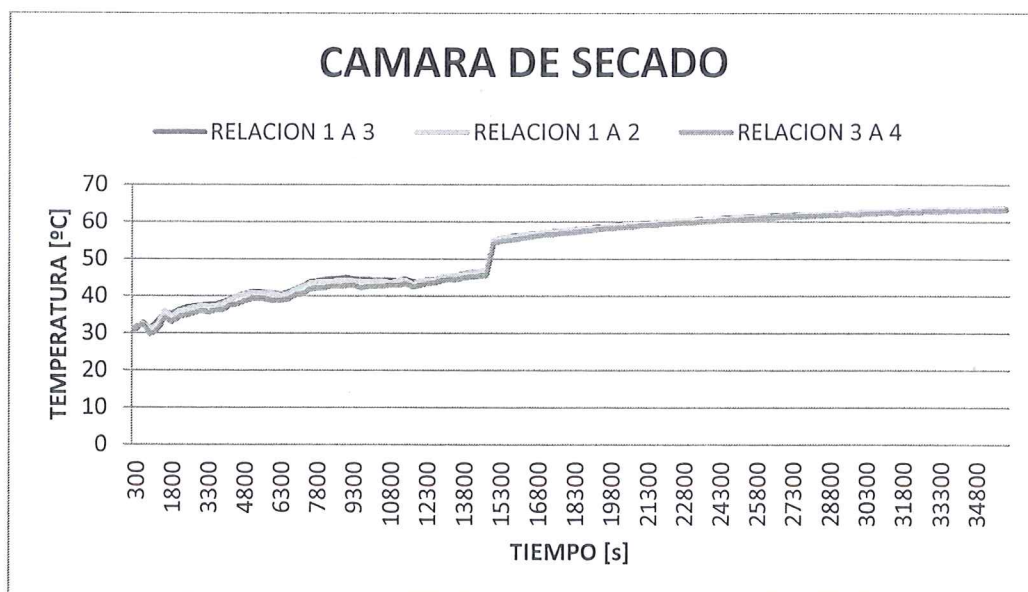


Figura 3-4 Temperatura Media vs Tiempo a diferentes relaciones

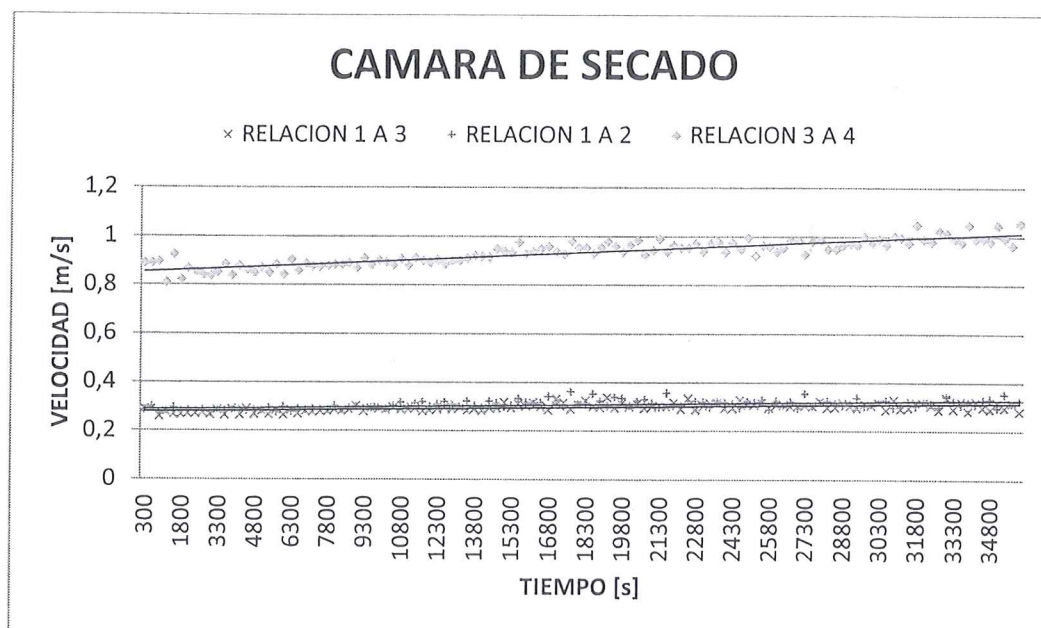


Figura 3-5 Velocidad Media vs Tiempo a diferentes relaciones

Observando la figura 3-5, se tuvo resultados de velocidad con los cuales nos pudimos dar cuenta que el comportamiento entre las curvas de la relación 1-3 y 1-2 son similares con diferencias despreciables, la curva de la relación 3-4 tiene un comportamiento diferente y con valores más altos a las otras dos; la diferencia de los valores finales de velocidad entre la relación 3-4 y las otras dos es de un poco menos de 0.6 m/s.

El mejor comportamiento los tienen la relación 1-3 y 1-2 ya que se mantienen en un valor con leves cambios lo cual es lo que se necesita para un secado uniforme dentro de la cámara.

Se utilizó la matriz de selección analizando la distribución y recorrido del flujo de aire, los gráficos, valores de temperatura y velocidad; se decidió la relación 3-4.

Al obtener condiciones de temperatura similares en las tres relaciones y la mejor comportamiento de velocidad entre las relación 1-3 y 1-2 para la selección de la mejor relación se realizó una observación de la trayectoria del flujo de aire de secado dentro de la cámara para las tres relaciones en la cual se analizó el mejor recorrido por las secciones donde se encontrara el producto a secar.

Al realizar todo este análisis y comparaciones se optó como mejor relación la de 1/3. Ver tabla 25.

Tabla 25. Alternativa escogida con relación 1/3

Dimensiones de superficie ducto de entrada	
Alto	140 mm
Ancho	740 mm
Dimensiones de superficie ducto de salida	
Alto	150 mm
Ancho	230 mm

3.2.2 Distribución de Bandejas

Realizando las selecciones de mejor alternativa para las distancias entre bandejas iniciando desde la base del túnel de entrada de aire mediante simulaciones de flujo en el CAD SOLIDWORKS y su posterior matriz de selección usando variables de gran importancia pude llegar a obtener el siguiente resultado. Ver tablas 26 y 27.

Tabla 26. Resultados de temperatura en cada nivel

Punto	Prototipo 1 Temperatura [°C]	Prototipo 2 Temperatura [°C]	Prototipo 3 Temperatura [°C]
Nivel fondo izquierdo (P0L)	64,27	63,52	60,70
Nivel fondo derecho (P0R)	62,77	64,45	59,88
Nivel bajo izquierdo (P1L)	64,82	64,81	64,36
Nivel bajo derecho (P1R)	64,25	64,53	63,12
Nivel medio izquierdo (P2L)	64,96	65,91	64,31
Nivel medio derecho (P2R)	64,98	65,16	64,72
Nivel alto izquierdo (P3L)	65,05	65,47	64,04
Nivel alto derecho (P3R)	65,09	66,23	64,45

Tabla 27. Resultado de velocidad en cada nivel

Punto	Prototipo 1 Velocidad [m/s]	Prototipo 2 Velocidad [m/s]	Prototipo 3 Velocidad [m/s]
Nivel fondo izquierdo (P0L)	0,25	0,06	2,55
Nivel fondo derecho (P0R)	2,06	0,41	1,22
Nivel bajo izquierdo (P1L)	1,50	0,39	2,15
Nivel bajo derecho (P1R)	1,03	0,95	1,38
Nivel medio izquierdo (P2L)	0,46	0,51	0,37
Nivel medio derecho (P2R)	0,22	0,26	1,11
Nivel alto izquierdo (P3L)	0,39	0,47	0,28
Nivel alto derecho (P3R)	0,25	0,19	1,22

Temperatura

Podemos apreciar que el comportamiento de las curvas de temperatura del prototipo 1 y 3 son similares el prototipo 2 varia un poco en el inicio pero desde un instante en el tiempo en adelante posee el mismo comportamiento que los otros 2 prototipos; al final alcanzando una mayor temperatura el prototipo 2 llegando a 65°C y una menor temperatura el prototipo 3 con 60°C. Ver figura 3-6.

La diferencia entre las temperaturas finales que alcanzan los tres prototipos son pequeñas no mayores a 5 °C.

En comparación con los valores experimentales de la cámara de secado de CDTS esta crece de forma rápida en el inicio hasta que llegan un máximo de 78 °C luego de esto decrece de igual forma hasta valores menores a 40 °C; llegando con un diferencia máxima de temperatura entre los prototipos y la cámara CDTS de 18°C.

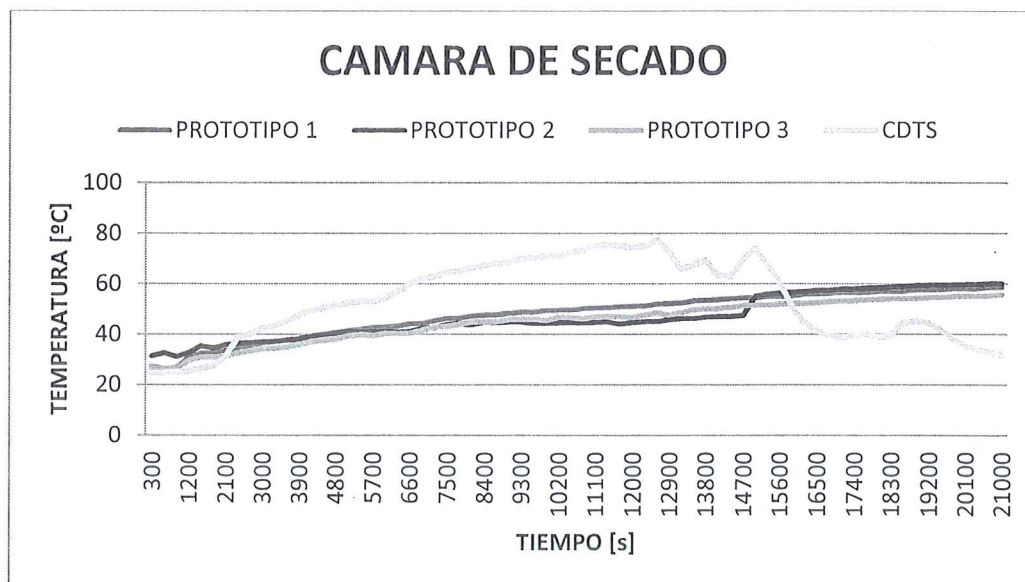


Figura 3-6 Temperatura Media de Prototipos y CDTS vs Tiempo

Analizando los resultados de la temperatura en los tres prototipos pudimos decir que la mayoría de los valores en las tres simulaciones tienen resultados muy parecidos con leves diferencias al final que no superan los 7 °C por lo menos hasta donde llegan los valores de irradiaciones experimentales, los tres prototipos tienen un comportamiento creciente debido a que las irradiaciones se mantienen en su mayoría con valores superiores de 400 W/m². Ver figura 3-7.

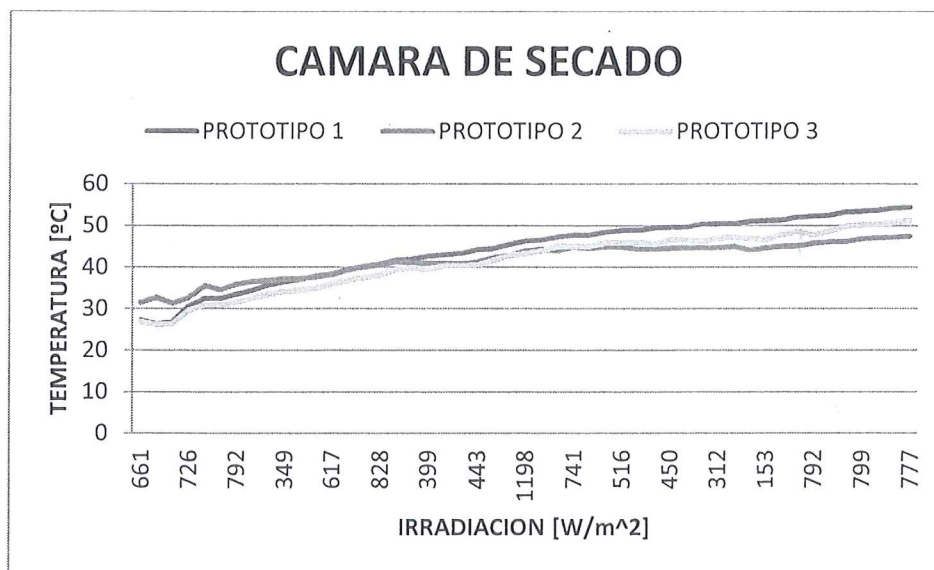


Figura 3-7 Temperatura Media vs Irradiaciones de diferentes prototipos

Velocidad

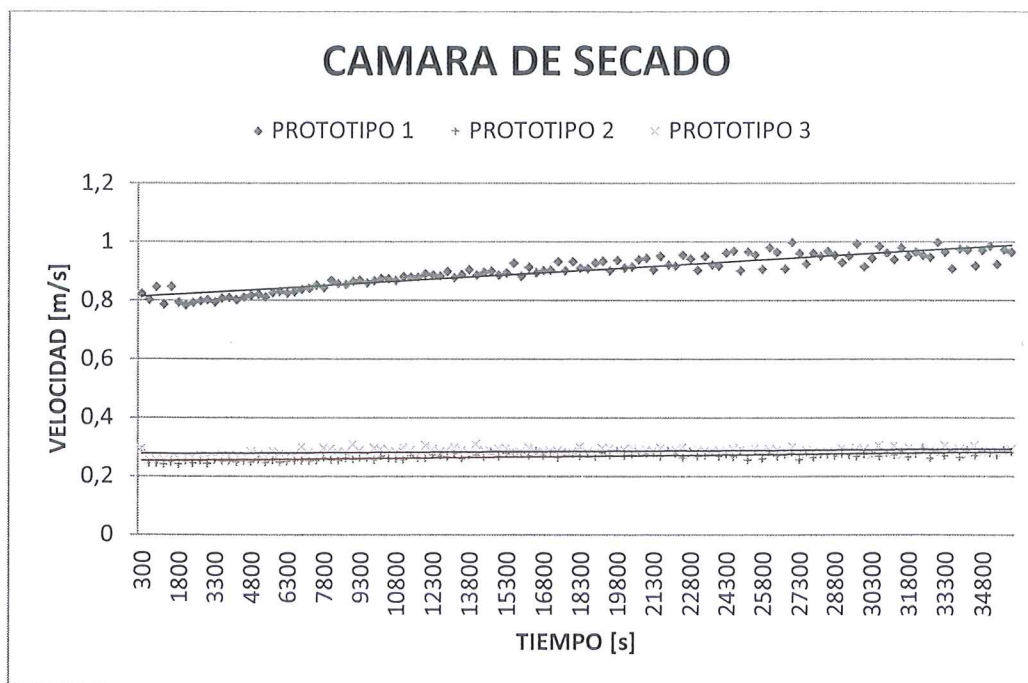


Figura 3-8 Velocidad Media vs Tiempo [s] de diferentes prototipos

Comparamos los resultados de los tres prototipos en los cuales la velocidad tiene un comportamiento similar o casi el mismo en los prototipos 2 y 3 con muy leves diferencias pero al final no sobrepasando los 0.3 m/s, el prototipo 1 tiene un diferente comportamiento a los otros dos, en general todos los resultados no exceden el valor de 1 m/s hasta los 25000 segundos y al final llega hasta un valor máximo de 1 m/s. Ver figura 3-8.

Tabla 28. Alternativa escogida con distribución 2

Bandeja	Distancia desde el nivel de base de ducto de entrada hasta la bandeja [mm]
Primera	60
Segunda	140
Tercera	240
Cuarta	340

3.3 Análisis de Costos

3.3.1 Secador solar

Tabla 29. Costo de cada material en cámara de secado

Ítem	Cantidad	Descripción	P. unitario	Precio
1	5	Plancha de acero inoxidable 430 1220x2440x0.4	88.00	440.00
2	1	Plancha de policarbonato incoloro 2x1 e 1mm	30.00	30.00
3	1	Plancha acrílico transparente	65.00	65.00
4	3 m ²	Lana de vidrio e 5mm 1 m ²	10.00	30.00
5	4	Tirantes de madera 5m	1.50	7.50
6	5	Malla plástica 1000x1000	5.00	25.00
7	1	Par de bisagras	15.00	15.00
8	1	Picaporte	10.00	10.00
9	10	Remache 4.8 mm x 10	0.60	6.00
			SUB-TOTAL \$	628.50
			IVA	75.42
			TOTAL A PAGAR	703.92

3.3.2 Colector

Tabla 30. Costos de cada material en colector

ítem	Cantidad	Componente	P. unitario	Precio
1	2	Plancha de acero inoxidable 430 1220x2440x0.4	88.00	176.00
2	1	Plancha de hierro negro 1.22X2.44	50.00	50.00
3	1	Placa de policarbonato incoloro 2x1 e 4mm	65.00	65.00
4	1 m ²	Vidrio 1x1 espesor e 1mm	40.00	40.00
5	1 m ²	Vidrio 1x1 espesor 3mm	60.00	60.00
6	1	Tubo cuadrado hueco 25x25x2	6.60	6.60
7	2 m ²	Lana de vidrio e 5mm 1 m ²	10.00	20.00
8	5	Remache 4.8 mm x 10	0.60	3.00
			SUB-TOTAL \$	
			IVA	
			TOTAL A PAGAR \$	
				420.60
				50.47
				471.07

3.4 Eficiencia

Se calcularon las eficiencias con los datos experimentales de temperatura e irradiaciones, con los datos de velocidad y temperatura de salida resultantes de las diferentes simulaciones; se graficó las eficiencias con respecto a las irradiaciones experimentales.

3.4.1 Calculo de eficiencia teórica en colector

Con los datos resultantes de la simulación del colector se calculó la eficiencia y se lo gráfico con respecto a las irradiaciones experimentales.

Utilizando valores de área con respecto al diseño realizado y el $c_p = 1006.92 \left[\frac{J}{kg \cdot ^\circ K} \right]$ tomado de la tabla del aire.

$$\dot{m} \left[\frac{kg}{s} \right] = \text{Flujo masico}$$

$$A_d [m^2] = \text{Area de ducto de entrada}$$

$$V \left[\frac{m}{s} \right] = \text{velocidad de aire}$$

$$\rho \left[\frac{kg}{m^3} \right] = \text{densidad de aire}$$

$$\dot{m} = A[m^2] * V \left[\frac{m}{s} \right] * \rho \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

$$A_d = \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$Q_u \left[\frac{J}{s} \right] = \text{Calor aprovechado}$$

$$c_p \left[\frac{J}{kg \cdot ^\circ k} \right] = \text{calor especifico del aire}$$

$$T_{fs} [^\circ k] = \text{Temperatura de salida de aire}$$

$$T_{fe} [^\circ k] = \text{Temperatura de salida de aire}$$

$$G_T \left[\frac{W}{m^2} \right] = \text{Irradiacion solar}$$

$$A_c [m^2] = \text{Area de colector}$$

$$A_c = l[m] * b[m]$$

$$\eta = \frac{\text{calor aprovechado}}{\text{radiacion solar incidente}} = \frac{Q_u}{G_T A_c} = \frac{\dot{m} c_p \cdot (T_{fs} - T_{fe})}{G_T A_c}$$

Calculando con:

$$c_p = 1006.92 \left[\frac{J}{kg \cdot ^\circ k} \right]$$

$$T_{fs} = 325 [^\circ k]$$

$$T_{fe} = 300 [^\circ k]$$

$$G_T = 661 \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

$$A_c = 0.8811 [m^2]$$

$$\dot{m} = 0.0007068[m^2] * 2 \left[\frac{m}{s} \right] * 1.1686 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

$$\dot{m} = 0.0016 \left[\frac{kg}{s} \right]$$

$$A_d = \frac{\pi \times 0.3^2}{4}$$

$$A_d = 0.0007068 [m^2]$$

$$\eta = \frac{Q_u}{G_T A_c} = \frac{(0.001677) \left[\frac{kg}{s} \right] * (1006.92) \left[\frac{J}{kg \text{ } ^\circ k} \right] * (325 - 300) [^\circ k]}{(661) \left[\frac{W}{m^2} \right] * (0.8811) [m^2]}$$

$$\eta = 0.07 \times 100$$

$$\eta = 7 \%$$

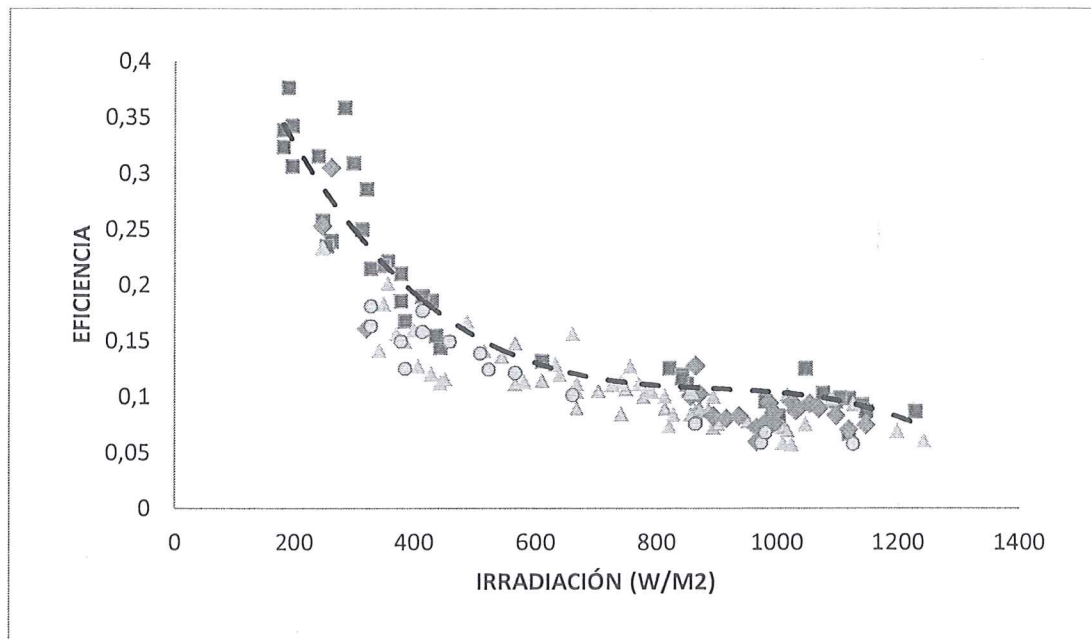


Figura 3-9 Eficiencia de Colector CDTS vs Irradiación

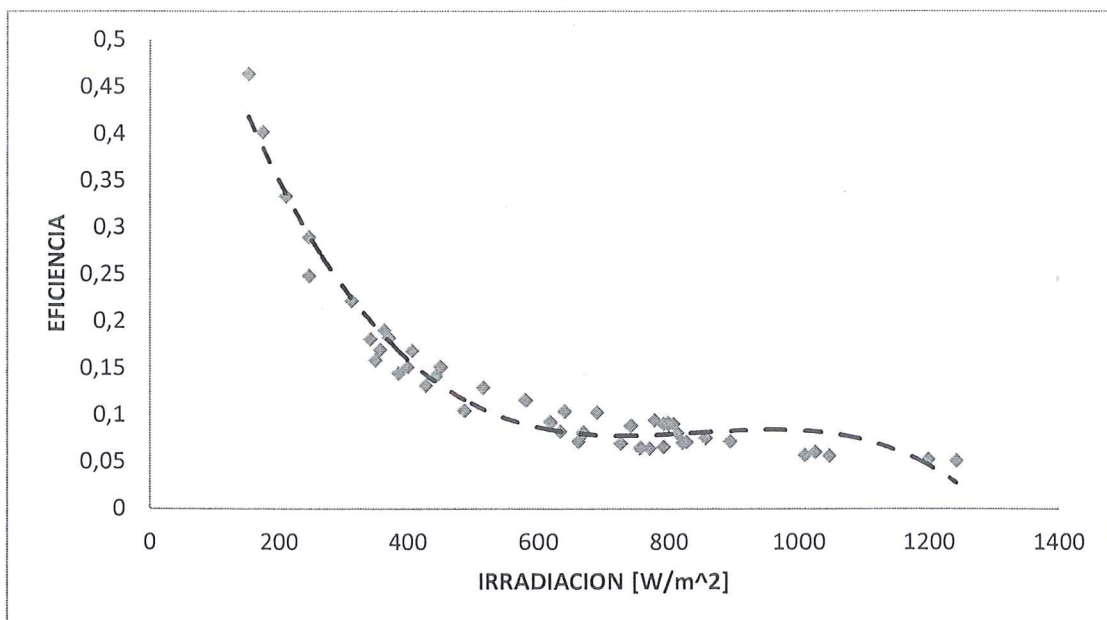


Figura 3-10 Eficiencia de colector Simulado vs Irradiación

3.4.2 Cálculo de eficiencia teórica de cámara de secado

Con los datos resultantes de la simulación de la cámara se calculó la eficiencia y se lo gráfico con respecto a las irradiaciones experimentales.

Utilizando valores de área y número de bandejas del diseño realizado; las entalpías, las humedades del gráfico de psicrometría a las diferentes condiciones inicial y final del producto a secar y la velocidad de secado del café (Víctor R. Ferro Fernández, 1999).

$$\eta = \frac{Q_T}{(H_T * A) + (\dot{m}_{colector} * C_p colector * \Delta T)}$$

$$Q_T \left[\frac{kJ}{s} \right] = \text{Energía suministrada}$$

$$H_T \left[\frac{W}{m^2} \right] = \text{Radiación incidente en la superficie}$$

$$A [m^2] = \text{Área de captación del secador}$$

$$\dot{m}_c \left[\frac{kg}{s} \right] = \text{Flujo masico del colector}$$

$$C_p \left[\frac{J}{kg \text{ } ^\circ k} \right] = \text{Calor específico del colector}$$

$$\Delta T [^\circ k] = \text{diferencia de temperatura de salida y entrada de aire en el colector}$$

$$T_{s,colector} [^\circ k] = \text{Temperatura de salida del colector}$$

$$T_{e,colector} [^\circ k] = \text{Temperatura de entrada del colector}$$

$$Q_T = \dot{m}_a \left[\frac{kg}{s} \right] * (h_2 \left[\frac{kJ}{kg} \right] - h_1 \left[\frac{kJ}{kg} \right])$$

$$\dot{m}_a \left[\frac{kg_{air}}{s} \right] = \text{Flujo masico del colector}$$

$$h_2 \left[\frac{kJ}{kg} \right] = \text{Entalpia en condiciones iniciales del producto}$$

$h_1 \left[\frac{kJ}{kg} \right] = \text{Entalpia en condiciones finales del producto}$

$$\dot{m}_a = \frac{V_T \left[\frac{kg_{H_2O}}{hm^2} \right]}{H_{a,c} \left[\frac{kg_{H_2O}}{kg_{air}} \right] - H_w \left[\frac{kg_{H_2O}}{kg_{air}} \right]}$$

$V_T \left[\frac{kg_{H_2O}}{hm^2} \right] = \text{Velocidad de evaporacion}$

$H_{a,c} \left[\frac{kg_{H_2O}}{kg_{air}} \right] = \text{Humedad absoluta en las condiciones iniciales del producto}$

$H_w \left[\frac{kg_{H_2O}}{kg_{air}} \right] = \text{Humedad absoluta en las condiciones finales del producto}$

$\dot{m}_c \left[\frac{kg}{s} \right] = \text{Flujo masico del colector}$

$$V_T = R_c \left[\frac{kg_{H_2O}}{hm^2} \right] * A_b [m^2] * N_b$$

$R_c \left[\frac{kg_{H_2O}}{hm^2} \right] = \text{Velocidad de secado}$

$A_b [m^2] = \text{Area de bandeja}$

$N_b = \text{Numero de bandejas}$

$$R_{c,cafe} = 1.4 \left[\frac{kg_{H_2O}}{hm^2} \right]$$

Calculando con:

$$R_{c,cafe} = 1.4 \left[\frac{kg_{H_2O}}{hm^2} \right]$$

$$A_b = 0.5904 [m^2]$$

$$H_{a,c} = 70 \left[\frac{kg_{H_2O}}{kg_{air}} \right]$$

$$H_w = 78 \left[\frac{kg_{H_2O}}{kg_{air}} \right]$$

$$H_T = 661 \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

$$V_T = 1.4 \left[\frac{kg_{H_2O}}{hm^2} \right] * 0.5904 [m^2] * 4$$

$$V_T = 3.4 \left[\frac{kg_{H_2O}}{hm^2} \right]$$

$$\dot{m}_a = \frac{3.4 \left[\frac{kg_{H_2O}}{hm^2} \right] * \frac{1}{3600} \left[\frac{h}{s} \right]}{0.012 \left[\frac{kg_{H_2O}}{kg_{air}} \right] - 0.01 \left[\frac{kg_{H_2O}}{kg_{air}} \right]}$$

$$\dot{m}_a = 0.452 \left[\frac{kg_{air}}{s} \right]$$

$$Q_T = 0.452 \left[\frac{kg}{s} \right] * \left(78 \left[\frac{kJ}{kg} \right] - 70 \left[\frac{kJ}{kg} \right] \right)$$

$$Q_T = 3.616 \left[\frac{kJ}{s} \right]$$

$$\eta = \frac{3.616 \left[\frac{kJ}{s} \right]}{\left(661 \left[\frac{j}{kg s} \right] * \frac{1}{1000} \left[\frac{kJ}{j} \right] * 1 [m^2] \right) + \left(0.25 \left[\frac{kg}{s} \right] * 1.007 \left[\frac{kJ}{kg \text{ } ^\circ K} \right] * 25 [^\circ R] \right)}$$

$$\eta = 0.5202 * 100$$

$$\eta = 52.02 \%$$

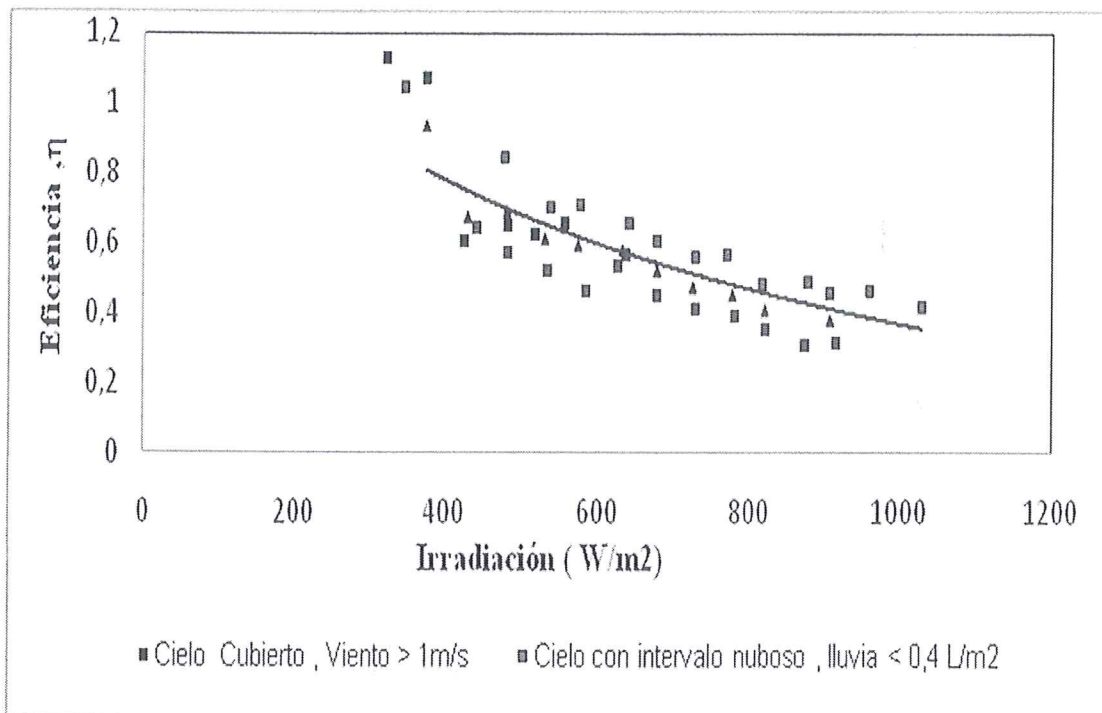


Figura 3-11 Eficiencia de Cámara de Secado del CDTs vs Irradiación

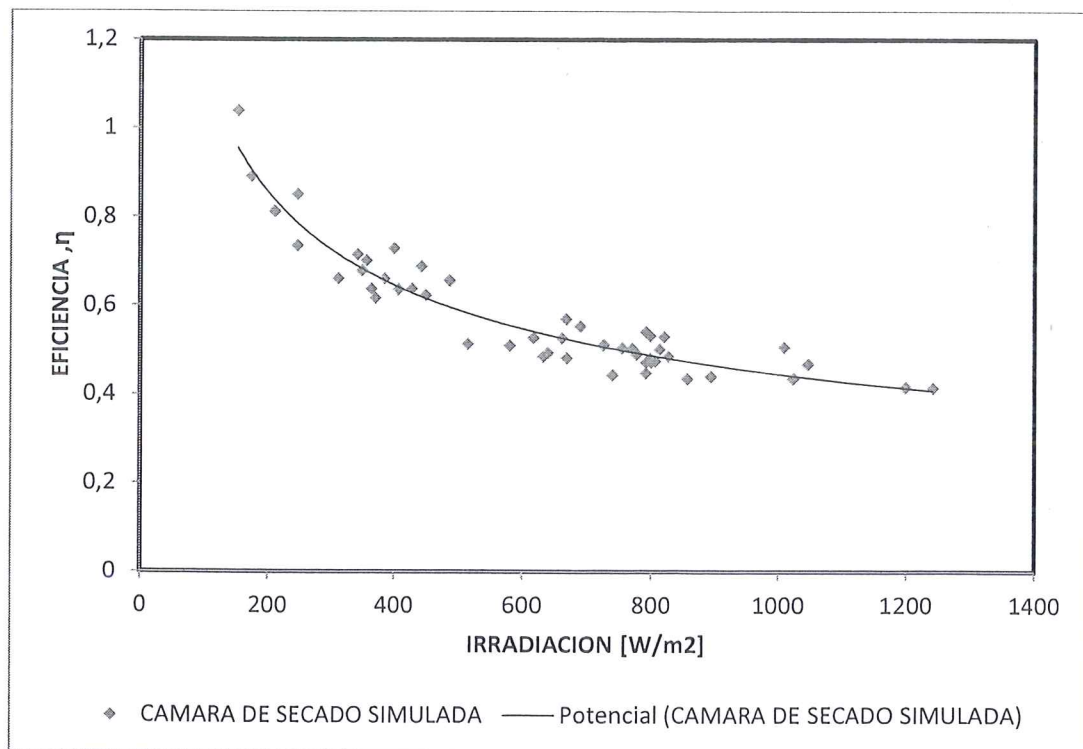


Figura 3-12 Eficiencia de Cámara de Secado Simulada vs Irradiación

CAPITULO 4

4. Discusión y Conclusiones

4.1 Conclusiones

Se realizó el rediseño del secadero solar que consta de un colector solar compactándolo y aumentando el diámetro su ducto de entrada alcanzando una eficiencia promedio teórica de 40%; también con una cámara de secado al cual se cambió la posición y geometría de los ductos de entrada y salida asegurando la salida del aire de secado.

Se realizó las simulaciones del colector solar rediseñado esta nos permitió observar la distribución del flujo de aire en los canales del colector, el comportamiento de la temperaturas y velocidades promedio y en el punto de salida con valores de 65 °C para ambas temperaturas media y salida, 1 m/s de velocidad media y 2.4 m/s de velocidad de salida.

Por estos resultados comparándolos con los del diseño original muestran un aumento en temperatura y una velocidad prácticamente uniforme por lo cual utilizamos el diseño modificado y no el original.

Se realizó la simulación de la cámara de secado sin las bandejas, variando la relación de la superficie de los ductos de entrada y salida, con relaciones de 1/3, 1/2 y 3/4; dando como resultados de temperatura y velocidad media valores similares pero con mejor distribución en la relación 1/3 por lo cual se la eligió con temperatura de 65°C y velocidad de 0.3 m/s.

Se simuló la cámara de secado con la relación de entrada y salida de 1/3, con 3 diferentes distribuciones de bandejas en las cuales varía la ubicación de la primera y las distancias entre las bandejas; las 3 distribuciones con resultados de temperaturas finales con variación mínima entre distribuciones y las velocidades el que hace la diferencia siendo mayor es la distribución 1; por el arreglo del flujo se decidió utilizar el prototipo 2.

Al comparar las eficiencias teóricas del colector y la del simulado podemos notar que existe un aumento de casi el 8% (ver figura 3-9 y 3-10). Al comparar las eficiencias teóricas de la cámara de secado y la simulada notamos que la variación es mínima con un aumento máximo de 5% (ver figuras 3-11 y 3-12).

4.2 Recomendaciones

Antes de comenzar con el diseño de sistemas que utilicen energía solar es necesario conocer las características meteorológicas en donde se va implementar el sistema. Valores experimentales que pueden ser tomados por ti mismo o para esto existe también entidades como el INAMHI en el Ecuador que posee los anuarios meteorológicos para todas las provincias del Ecuador.

Para disminuir las pérdidas de calor se podría aumentar el aislamiento en las paredes del colector y la cámara de secado, aumentando así la eficiencia en cada uno de ellos.

Se podrían hacer las simulaciones probando diferentes materiales en las bandejas, con diferentes geometrías y agujeros.

Ya que los valores de temperatura en el colector y la cámara de secado son mayores que las recomendadas para que el producto elegido a secar mantenga sus propiedades organolépticas, el momento que se tenga que secar un producto a menor temperatura que la alcanzada en el colector lo que podría recomendar es hacer otra entrada de aire a temperatura ambiente la cual ingrese al colector solar con un caudal regulable dependiendo de la temperatura que debemos disminuir.

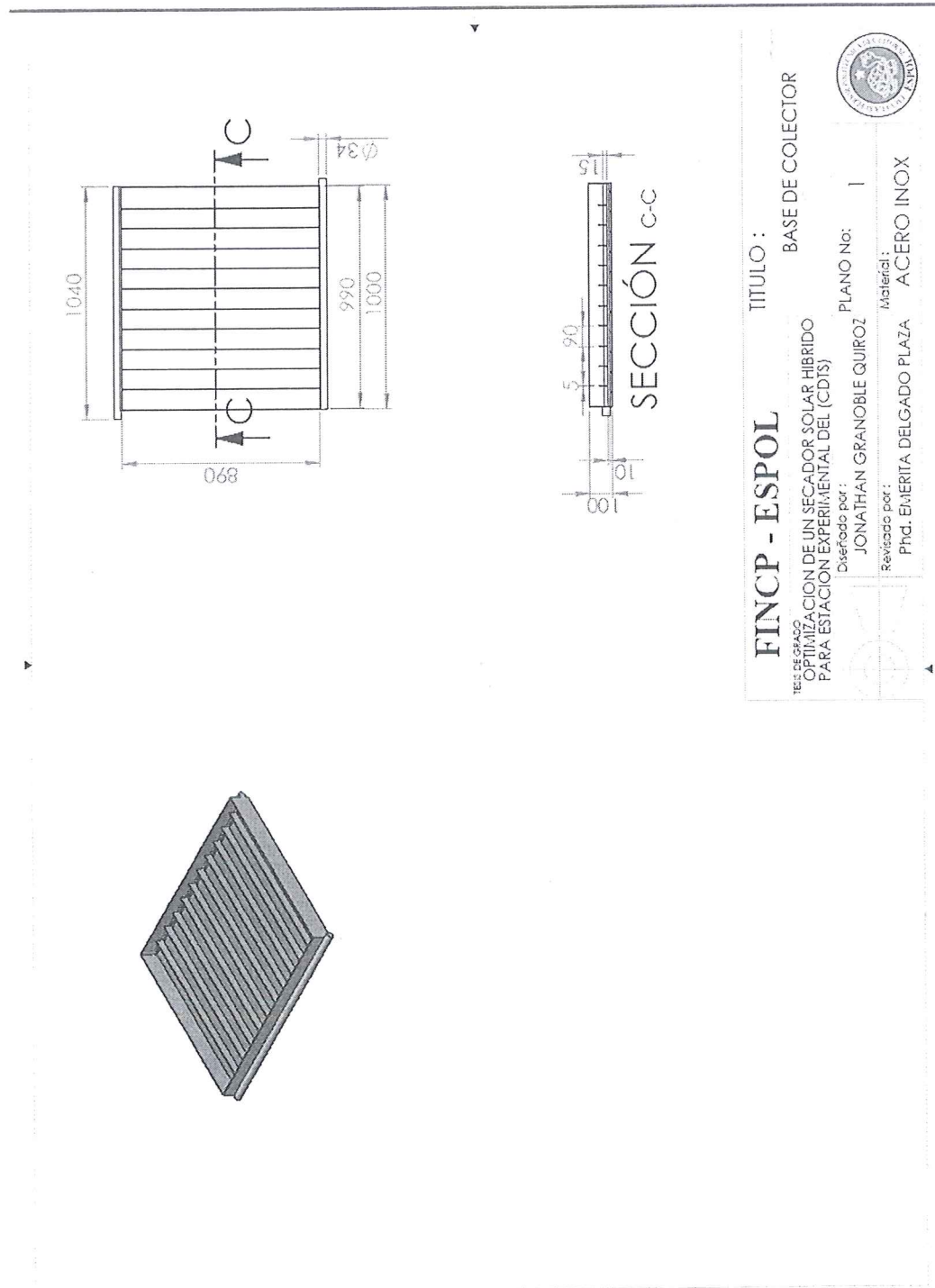
5. Bibliografía

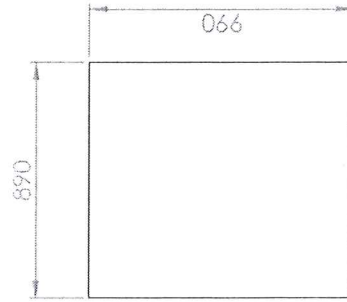
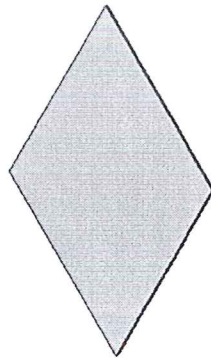
- A Lopez, P. V. (1995). *MODELIZACION DE LA CINETICA DE SECADO DE PATATA CORTADA EN LAMINAS*. Pamplona: Universidad Publicaa de Navarra.
- Cabanillas, M. C. (2003). *DISEÑO Y EVALUACION DE UN SECADOR SOLAR PARA EL SECADO INDUSTRIAL DEL TOMATE*. Tacna: Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.
- Carreño Olejua René, C. O. (2012). *Uso de secadores de tambor como herramienta para el secado de café (Estrategia de control como soporte a un análisis metodológico para elevar la calidad de producto)*. Bucaramanga: Universidad Pontificia Bolivariana .
- Ciro César Bergues Ricardo, O. F. (2006). *MINISECADOR SOLAR PARA LA AGRICULTURA URBANA "MINISOL"*. Santiago de Cuba: Universidad de Oriente.
- COVA Walter J. D., M. H. (2005). *Desección de Productos Agrarios: Antecedentes Teóricos y Bibliográficos*. La Rioja: Universidad Tecnológica Nacional.
- Dr. Adrián Vidal Santo, D. O. (2012). *Diseño y construcción de un secador solar portátil*. Chiapas: Academia Journals.
- Dra. Tania Vázquez, I. S. (1997). *Manual del Secado Solar Técnico de alimentos*. Cochabamba: EnergeticA, FAKT.
- Echeverriarza, D. M. (2005). *GUIA DE USO de secaderos solares para frutas, legumbres, hortalizas, plantas medicinales y carnes*. Montevideo: UNESCO.
- G. Orlando Porras Rey, I. D. (2012). *Simulación Computacional del Secado Solar*. Bogotá, Colombia: Departamento de Ingeniería Mecánica. Universidad de Los Andes.
- Henry A. Váquiro, R. A.-R. (2011). *Efecto de la velocidad y la temperatura del aire sobre la contracción del mango en el proceso de secado convectivo*. Ibagué, Colombia: Facultad de Ingeniería Agronómica, Universidad del Tolima.
- Lyes Bennamoun, A. B. (2002). *Design and simulation of a solar dryer for agriculture products*. Algeria: Universite Mentouri Constantine.

- Martinez Olarte Wilmer A., R. P.-A. (2012). *Diseño, construcción y puesta a punto de un secador dual solar* –. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Nuria Galán Lacarra, J. M. (2011). *OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA DE UN SECADERO INDUSTRIAL*. Zaragoza: Centro Politécnico Superior.
- Plaza, J. C. (2006). *IMPLEMENTACION DE UN EQUIPO DE SECADO PARA ALIMENTOS*. Guayaquil: ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL (FIMCP).
- Silvia Bistoni, A. I. (2010). *SECADERO SOLAR TIPO GABINETE PASIVO CON ESTANTES*. NOA: INENCO – CONICET.
- V Passamai, M. T. (2000). *SECADO SOLAR: PROCESO DE REQUERIMIENTO DE INFORMACIÓN Y GENERACIÓN DE TRANSFERENCIA*. Salta: Universidad Nacional de Salta.
- Víctor R. Ferro Fernández, S. F. (1999). *ANÁLISIS DE OPCIONES PARA EL SECADO SOLAR DE CAFÉ. PARTE 1. ASPECTOS CINÉTICOS*. Santiago: Centro de Investigaciones de Energía Solar (CIES).

6. Anexos

6.1 Anexo A





FINCP - ESPOL

TESIS DE GRADO
OPTIMIZACION DE UN SECADOR SOLAR HIBRIDO
PARA ESTACION EXPERIMENTAL DEL (CDTS)

Diseñado por:
JONATHAN GRANOBLE QUIROZ

Revisado por:
Phd. EMERITA DELGADO PLAZA

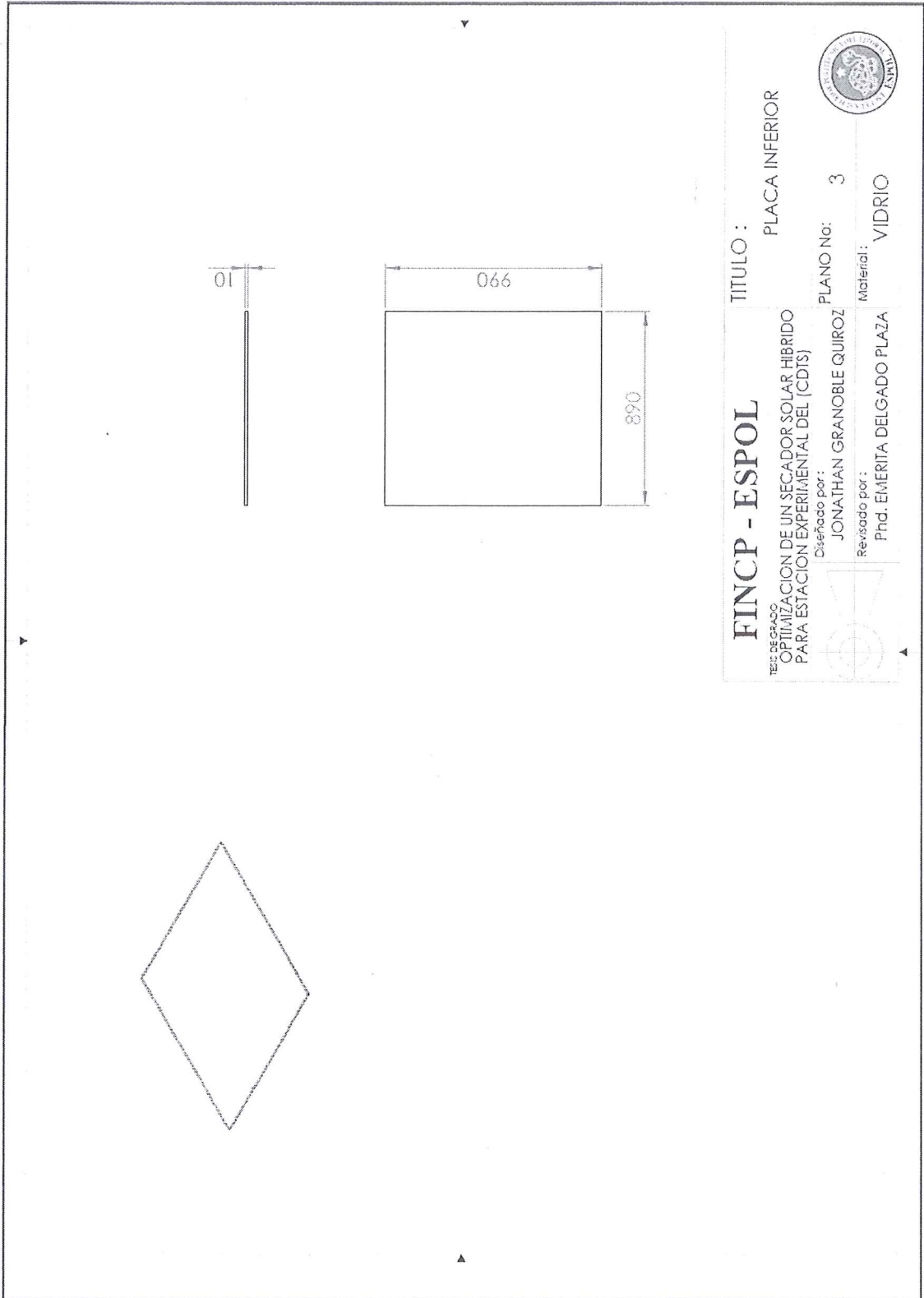
TITULO :

PLACA NEGRA

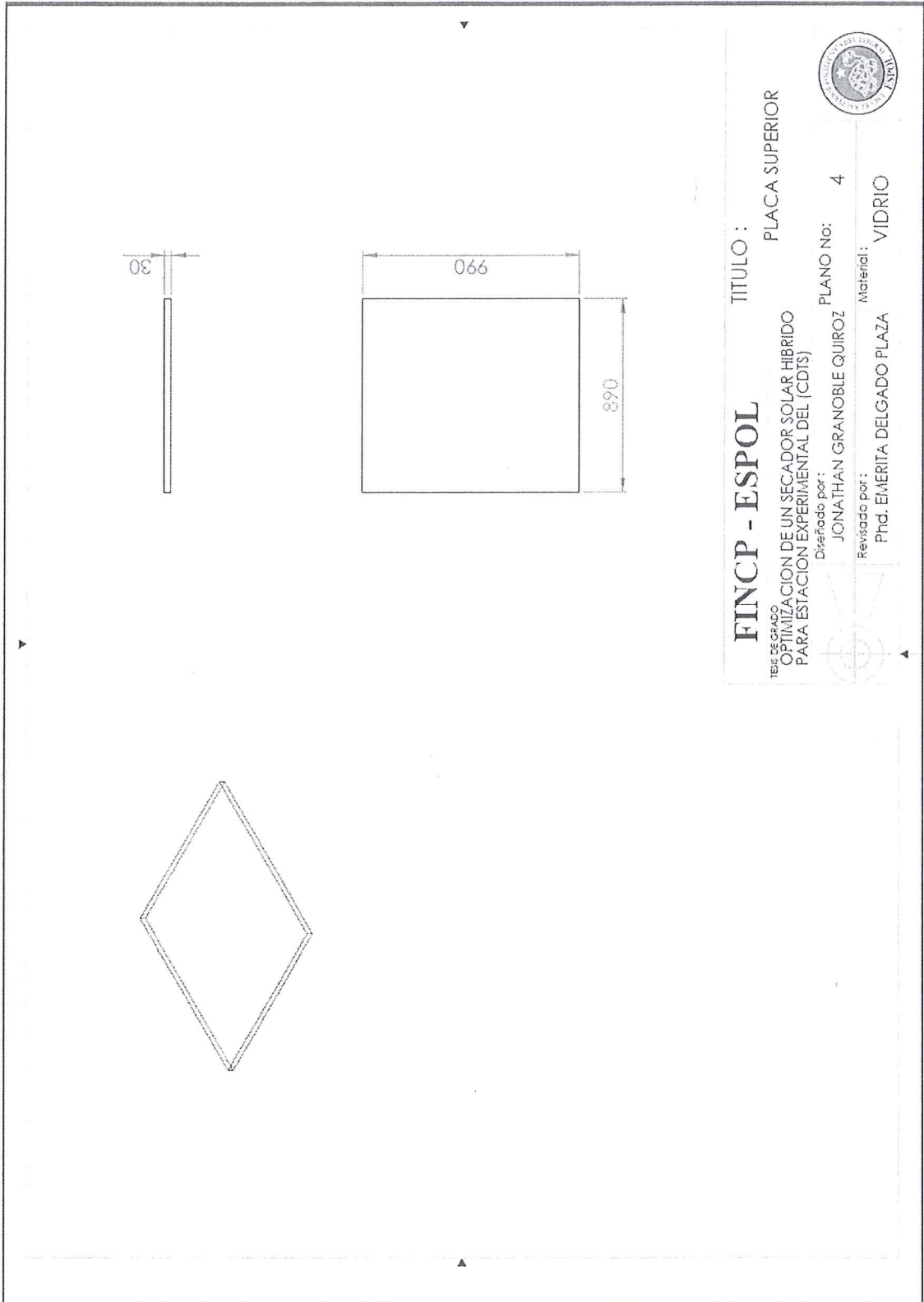
PLANO No: 2

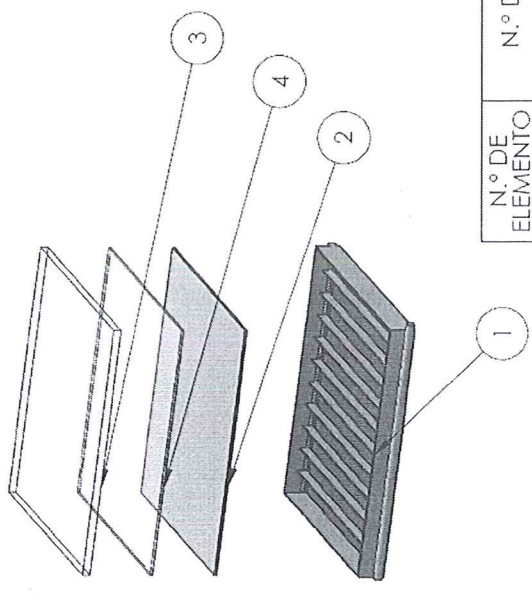
Materia: A. COMERCIAL





FINCP - ESPOL
TITULO : PLACA INFERIOR
TEMA: DESARROLLO DE UN SECADOR SOLAR HIBRIDO
OPTIMIZACION PARA ESTACION EXPERIMENTAL DEL (CDTS)
Diseñado por : JONATHAN GRANOBLE QUIROZ
Revisado por : Phd. EMERITA DELGADO PLAZA
PLANO No: 3
Material: VIDRIO





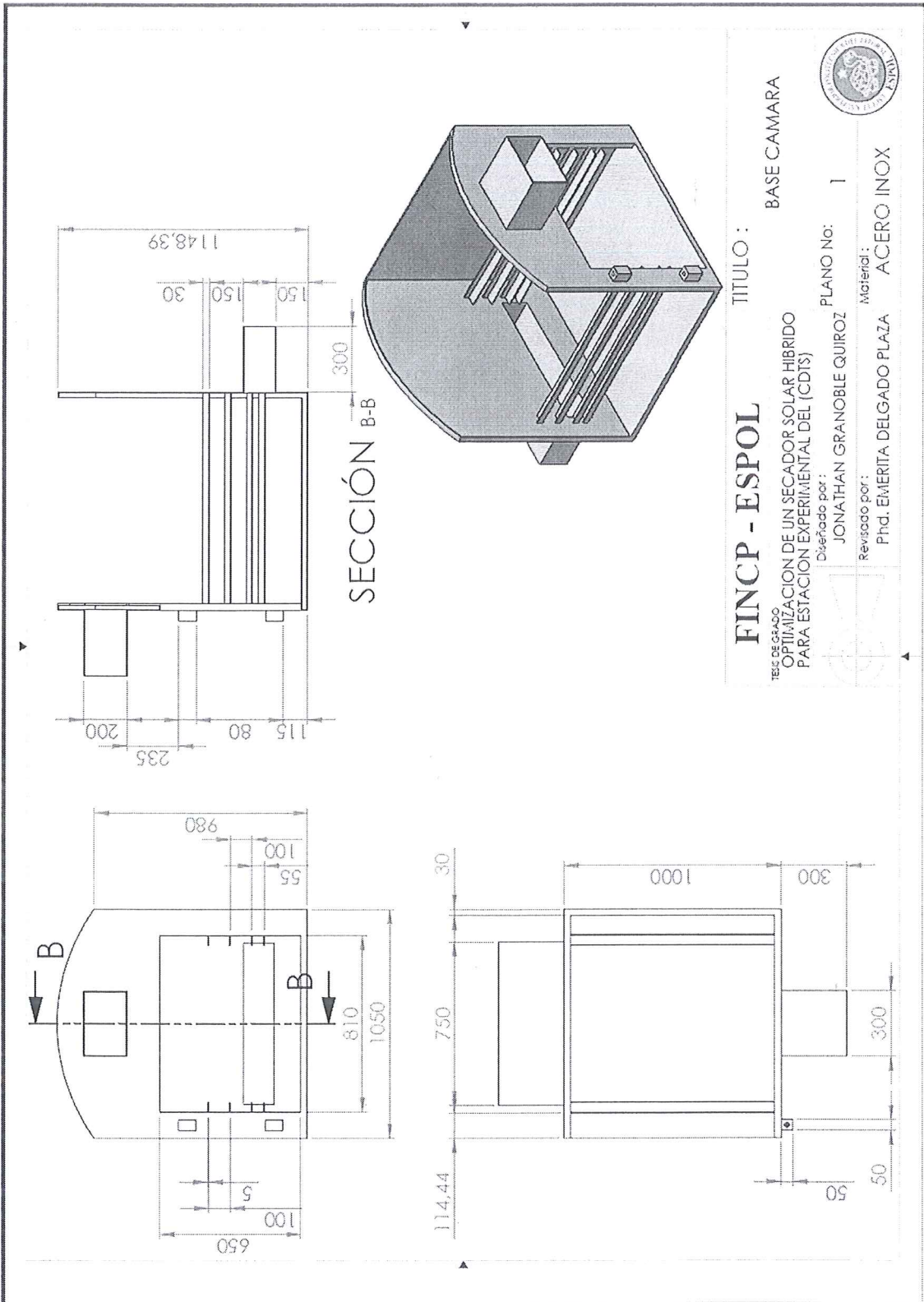
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	BASE COLECTOR	ACERO INOXIDABLE	1
2	PLACA NEGRA	ACERO COMERCIAL	1
3	PLACA SUPERIOR	VIDRIO	1
4	PLACA INFERIOR	VIDRIO	1

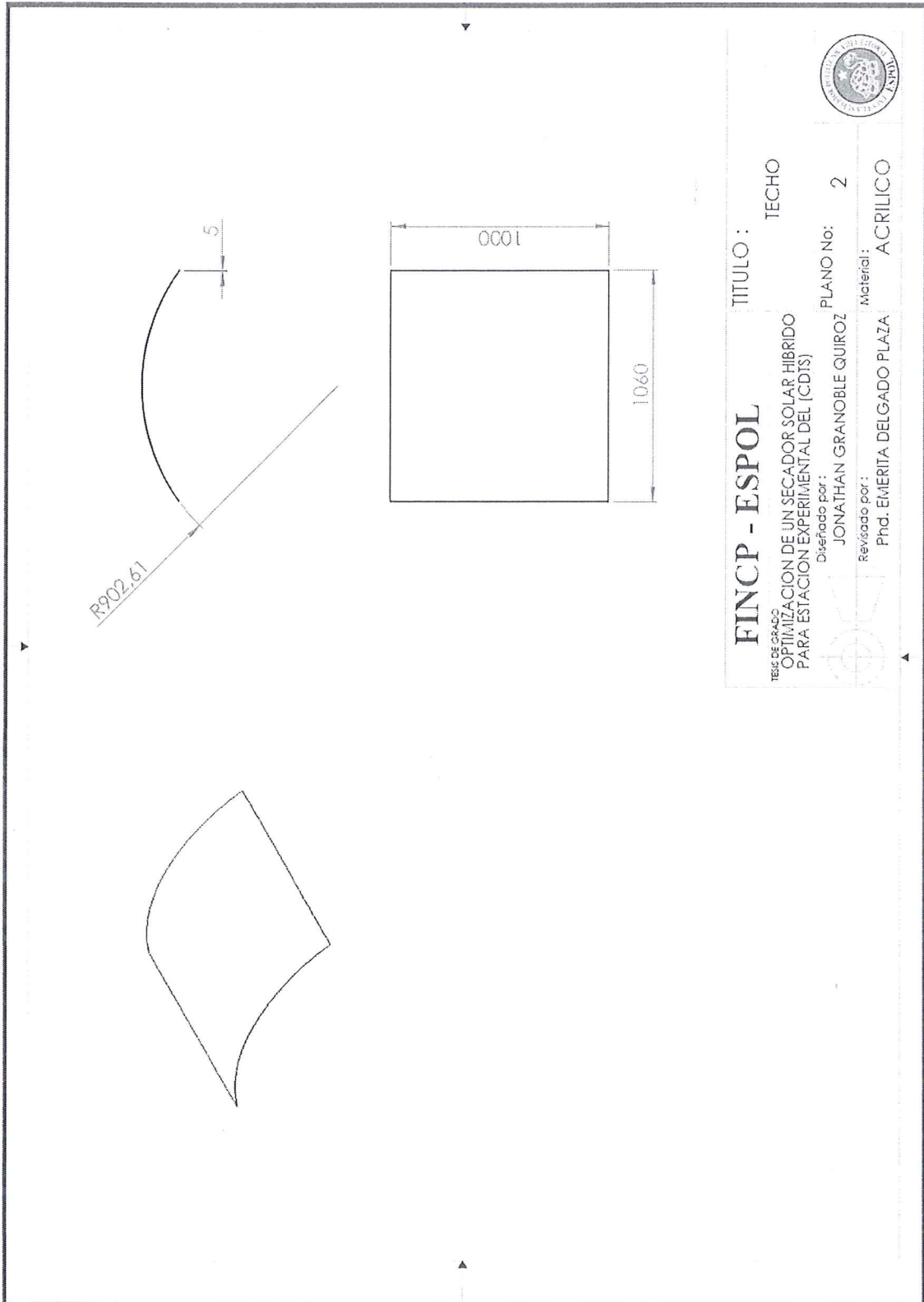
FINCP - ESPOL TITULO :

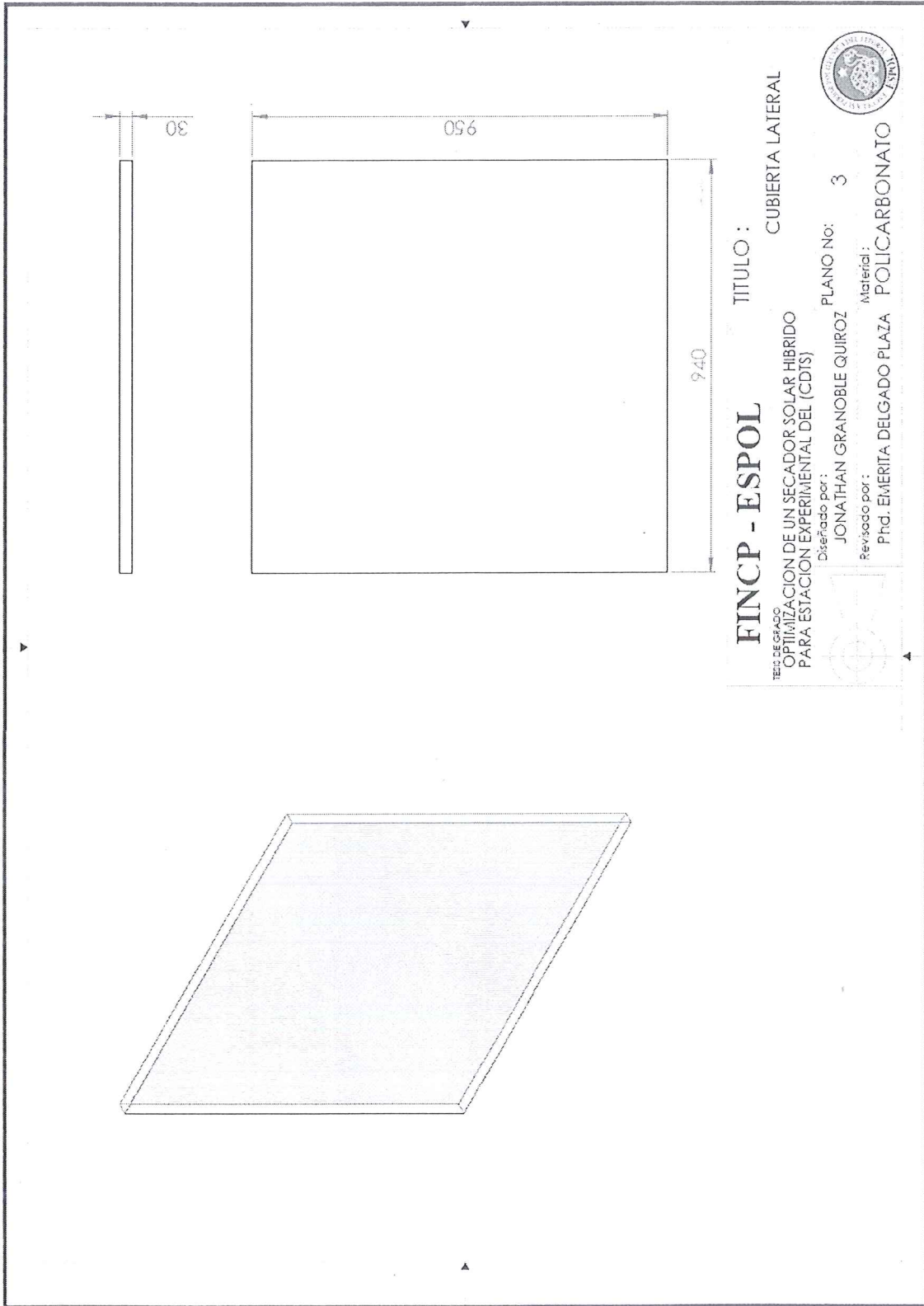
ENSAMBLE
 TERCER GRADO
 OPTIMIZACIÓN DE UN SECADOR SOLAR HIBRIDO
 PARA ESTACION EXPERIMENTAL DEL (CDTS)

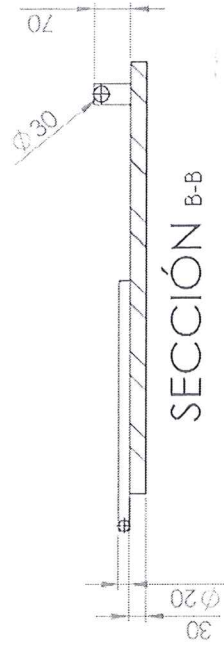
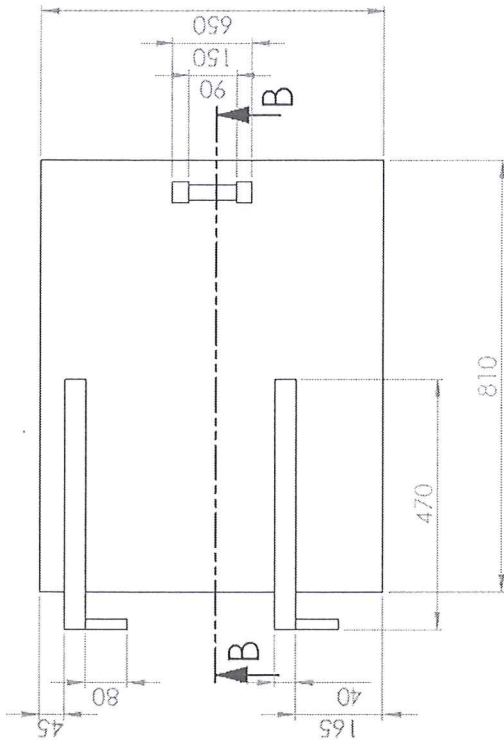
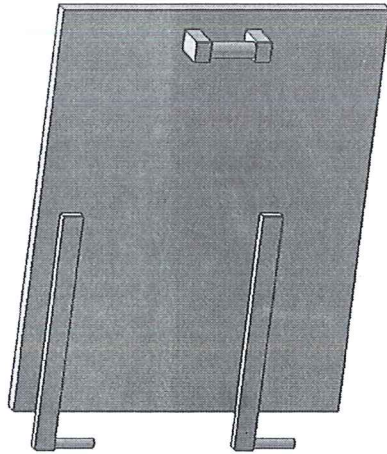
Diseñado por: JONATHAN GRANOBLE QUIROZ PLANO No: 5
 Revisado por: Pnd. EMERITA DELGADO PLAZA Material: VARIOS











FINCP - ESPOL

TITULO :

PUERTA

TEMA DE GRUPO
 OPTIMIZACION DE UN SECADOR SOLAR HIBRIDO
 PARA ESTACION EXPERIMENTAL DEL (CDTS)

Diseñado por : JONATHAN GRANOBLE QUIROZ

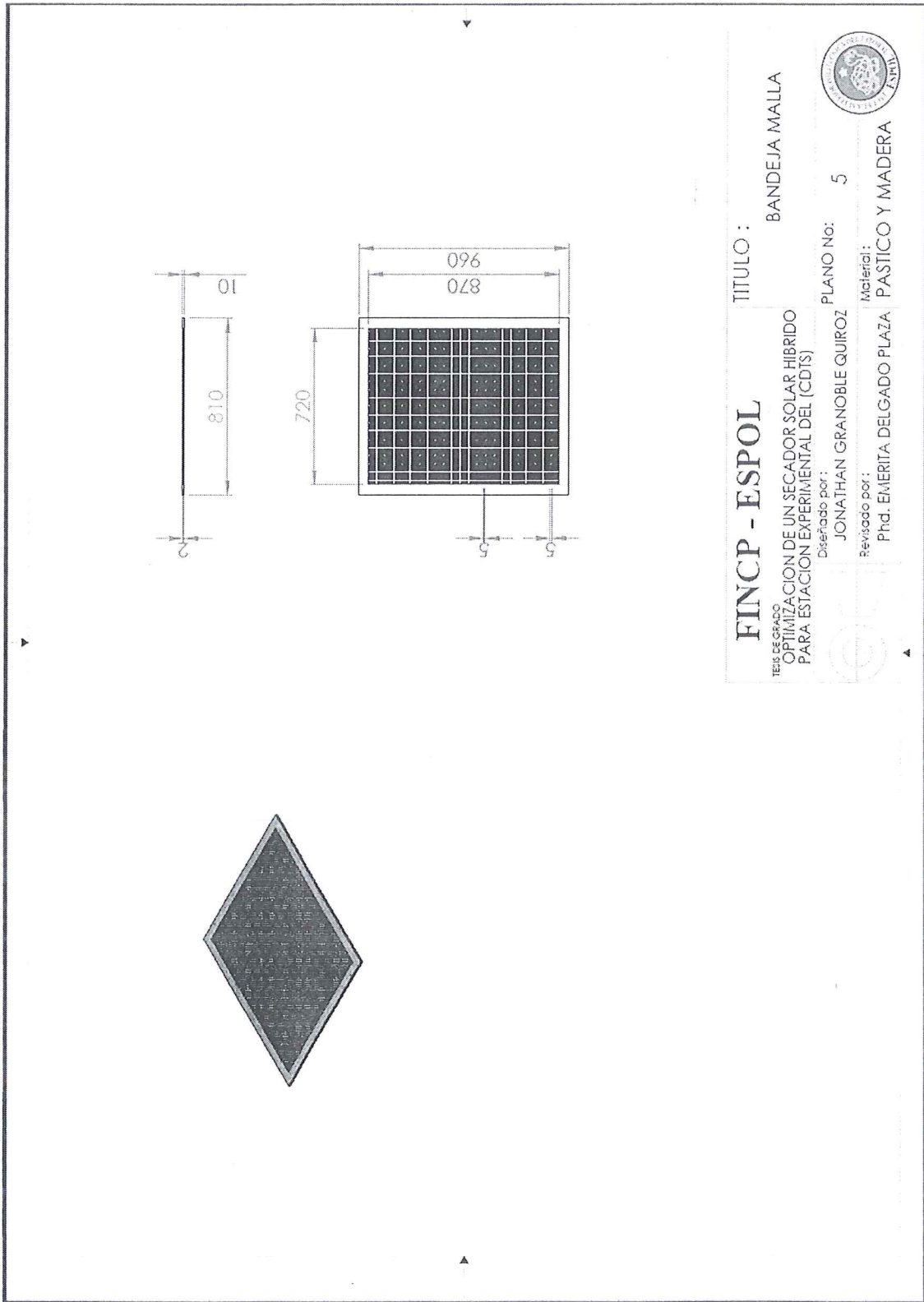
PLANO No: 4

Revisado por :

Phd. EMERITA DELGADO PLAZA

Materia: ACERO INOX





FINCP - ESPOL

TESIS DE GRADO
OPTIMIZACION DE UN SECADOR SOLAR HIBRIDO
PARA ESTACION EXPERIMENTAL DEL (CDTS)

Diseñado por: JONATHAN GRANOBLE QUIROZ
PLANO No: 5

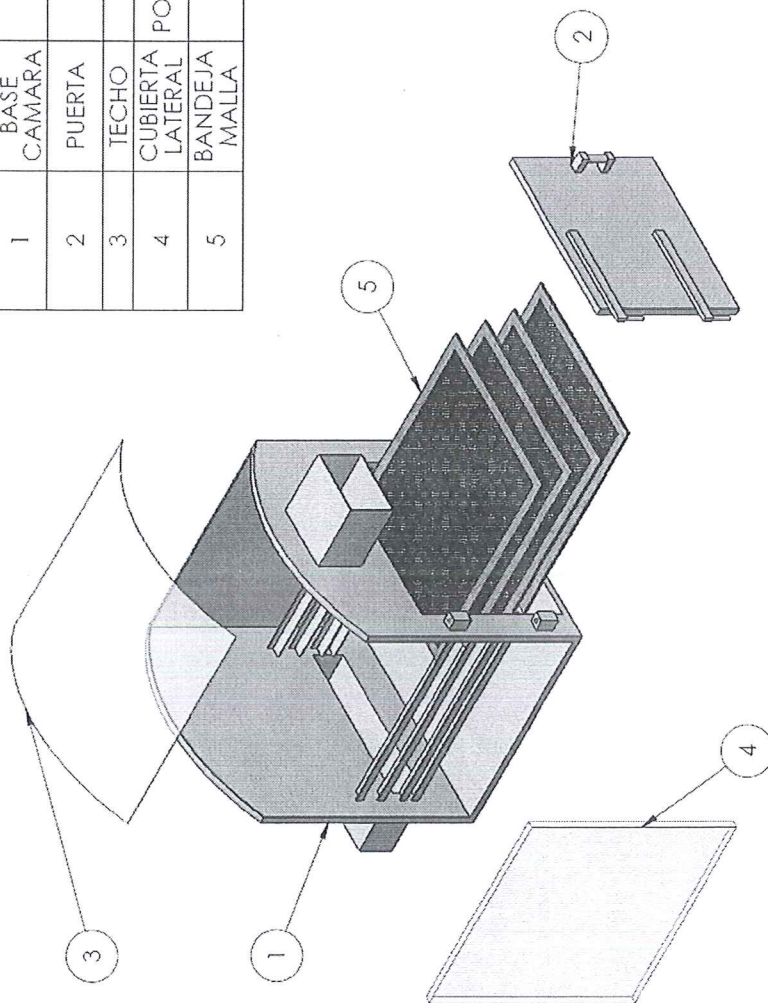
Revisado por: Phd. EMERITA DELGADO PLAZA
Material: PASTICO Y MADERA

TITULO :

BANDEJA MALLA



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	BASE CAMARA	ACERO INOXIDABLE	1
2	PUERTA	ACERO INOXIDABLE	1
3	TECHO	ACRILICO	1
4	CUBIERTA LATERAL	POLICARBONATO	1
5	BANDEJA MALLA	PLASTICO Y MADERA	4



FINCP - ESPOL

TESIS DE GRADO
OPTIMIZACIÓN DE UN SECADOR SOLAR HIBRIDO
PARA ESTACION EXPERIMENTAL DEL (CDTS)

Diseñado por:
JONATHAN GRANOBLE QUIROZ
Revisado por:
Phd. EMERITA DELGADO PLAZA



TITULO :
ENSAMBLE CAMARA

PLANO No: 6
Material: VARIOS

ESCALA 1 : 20