

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN**  
**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA Y**  
**ELÉCTRICA.**



**UNIVERSIDAD NACIONAL**  
**DE JAÉN**

**DISEÑO DE UN SECADOR DE CAFÉ MEDIANTE**  
**COLECTORES SOLARES PARA EL DISTRITO DE LA**  
**COIPA, SAN IGNACIO, CAJAMARCA**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO**  
**MECÁNICO ELECTRICISTA**

**Autores** : **Bach. Harold Harmann Marchena Quinde**  
**Bach. James William Vicente Vásquez**

**Asesor** : **Ing. Lenin Franchescoeth Núñez Pintado**

**JAÉN – PERÚ, AGOSTO, 2020**

## ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día 21 de Julio del año 2020 siendo las **18:00** horas, se reunieron los integrantes del Jurado de manera virtual:

Presidente: Mg. Mario Félix Olivera Aldana

Secretario: Mg. Jaime Odar Honorio Acosta

Vocal: Mg. Jannier Alberto Montenegro Juárez, para evaluar la Sustentación de:

( ) Trabajo de Investigación

( X ) Tesis

( ) Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado: DISEÑO DE UN SECADOR DE CAFÉ MEDIANTE COLECTORES SOLARES PARA EL DISTRITO DE LA COIPA, SAN IGNACIO, CAJAMARCA”, presentado por Estudiante /Egresado o Bachiller Harold Harmann Marchena Quinde y James William Vicente Vásquez.

de la Carrera Profesional de Ingeniería Mecánica y eléctrica de la Universidad Nacional de Jaén.

Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:

( x ) Aprobar ( ) Desaprobar ( x ) Unanimidad ( ) Mayoría

Con la siguiente mención:

- |                |            |       |
|----------------|------------|-------|
| a) Excelente   | 18, 19, 20 | ( )   |
| b) Muy bueno   | 16, 17     | ( )   |
| c) Bueno       | 14, 15     | ( )   |
| d) Regular     | 13         | ( x ) |
| e) Desaprobado | 12 ó menos | ( )   |

Siendo la **19:30** pm horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando su participación con la suscripción de la presente.



Presidente



Secretario



Vocal

# ÍNDICE GENERAL

<b>I.</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
1.1.	Antecedentes	2
1.2.	Problemática	3
1.3.	Planteamiento del problema	4
1.4.	Hipótesis	4
1.5.	Justificación	4
<b>II.</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>5</b>
2.1.	Objetivo general	5
2.2.	Objetivos específicos	5
<b>III.</b>	<b>MATERIAL Y MÉTODOS</b>	<b>6</b>
3.1.	Ubicación del área de estudio	6
3.1.1.	Ubicación geográfica	6
3.2.	Tipo de investigación	7
3.3.	Técnicas y procedimientos	7
3.3.1.	Estimación de la radiación solar	8
3.3.2.	Ángulo de inclinación	9
3.3.3.	Condiciones ambientales de la zona de investigación	10
3.3.4.	Producción de café del caficultor beneficiario	11
3.3.5.	Reducción de la humedad del café	12
3.3.6.	Cálculo de diseño del subsistema la cámara de secado	13
3.3.6.1.	Cálculo final de diseño de la cámara de secado	26
3.3.7.	Cálculo de diseño del subsistema de colectores solares	27
3.3.7.1.	Cálculo final de diseño del colector solar	30
3.3.8.	Dimensionado del sistema secador solar	30
3.3.8.1.	Dimensionado del colector	32
3.3.8.2.	Dimensionado de la cámara de secado	33
3.3.9.	Inserción de aire a la cámara de secado	35
3.3.10.	Descripción de los materiales utilizados en el diseño del sistema.	37
3.3.11.	Mantenimiento correctivo del sistema	37
3.3.12.	Presupuesto del proyecto	39
3.3.13.	Evaluación económica	39

3.3.13.1.	Cálculo del precio del café	39
3.3.13.2.	Ingreso monetario anual al utilizar el sistema de secador solar	42
3.3.13.3.	Análisis de inversión TIR y VAN	43
<b>IV.</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>45</b>
<b>V.</b>	<b>DISCUSIÓN</b>	<b>48</b>
<b>VI.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>49</b>
6.1.	Conclusiones	49
6.2.	Recomendaciones	49
<b>VII.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>51</b>
<b>VIII.</b>	<b>ANEXOS</b>	<b>53</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Radiacion promedio mensual en el distrito de La Coipa (kWh/m <sup>2</sup> /dia).	8
Tabla 2	Radiación en (kWh/m <sup>2</sup> /dia) de los meses de cosecha en la zona de investigación.	9
Tabla 3	Temperatura máxima y mínima del distrito de La Coipa.	11
Tabla 4	Humedad relativa en la zona de investigación años 2012 -2019 (%).	11
Tabla 5	Condiciones ambientales de la zona de investigación.	11
Tabla 6	Cantidad de café producido en los últimos cinco años.	12
Tabla 7	Variables generales utilizadas en la investigación.	14
Tabla 8	Valores porcentuales de absorción de la radiación solar en la cámara de secado.	14
Tabla 9	Valores de recuperación de la irradiación.	14

Tabla 10 Datos recolectados para el diseño del sistema.....	15
Tabla 11 Variables utilizadas en el diseño de la cámara de secado. ....	16
Tabla 12 Datos de temperatura, humedad relativa y absoluta según la carta psicométrica. 23	
Tabla 13 Resumen de los valores obtenidos dentro de la cámara de secado.....	31
Tabla 14 Descripción de materiales utilizados en el sistema del secador solar .....	37
Tabla 15 Presupuesto referencial general del sistema de secador solar. ....	39
Tabla 16 Datos utilizados para calcular el precio del café de exportación.....	40
Tabla 17 Base de datos utilizados en el análisis del TIR y VAN.....	43
Tabla 18 Resultados del análisis TIR y VAN. ....	44
Tabla 19 Resultados del diseño para el subsistema cámara de secado.....	45
Tabla 20 Resultados del diseño para el subsistema de colectores solares.....	45
Tabla 21 Resultados del diseño del ventilador .....	47
Tabla 22 Resultados de la evaluación económica del proyecto. ....	47

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Emplazamiento del distrito de La Coipa.....	6
Figura 2. Vista satelital del distrito de La Coipa. ....	7
Figura 3. Comportamiento de la radiación solar con la inclinación de 5°. ....	10
Figura 4. Diagrama de flujo de aire hacia la cámara de secado. ....	12
Figura 5. Cámara de secado tipo invernadero .....	13
Figura 6. Representación gráfica de $D_{\omega y DT}$ .....	22
Figura 7. Diagrama psicométrico para la temperatura óptima del secador. ....	23
Figura 8. Descripción de la eficiencia del colector .....	28

Figura 9. Eficiencia del colector solar con distintos flujos de aire y horas del dia. ....	29
Figura 10. Diseño del sistema secador solar.....	32
Figura 11. Geometría del colector solar .....	33
Figura 12. Estructura de fierro galvanizado de la cámara de secado .....	34
Figura 13. Imagen referencial de una cubierta de la cámara De secado .....	34
Figura 14. Ventilador extractor de aire.....	35
Figura 15. Tipo de tubería utilizada en el diseño del sistema.....	36
Figura 16. Modelo de manga para unir ventilador con tubería. ....	36

## **RESUMEN**

El presente trabajo de investigación muestra el diseño de un secador solar mediante colectores solares para el distrito de La Coipa, para el cual se realizó el análisis de la radiación solar de la zona de investigación basándonos en los datos obtenidos del portal web de la NASA (Administración Nacional de Aeronáutica y Espacio de los EE. UU). Considerando que la radiación recibida en el área de investigación es de 3,56 kWh/m<sup>2</sup>/día, se calculó las dimensiones de la cámara de secado y el colector, siendo estas 65,97 m<sup>2</sup> y 62,7 m<sup>2</sup> respectivamente, donde la temperatura de la cámara será de 28,3 °C con una humedad absoluta de 0,0097 kg/kg. La capacidad de secado de este secador es de 42 000 kg de café

en un tiempo de cinco días. La inversión total del proyecto es de S./ 38 139,20. La presente investigación contribuye al cuidado del medio ambiente al utilizar energías renovables, además promueve la implementación de este tipo de secadores para mejorar el secado del café.

**Palabras clave:** Diseño, colectores solares, secador de café, radiación solar.

## **ABSTRACT**

This research work shows the design of a solar dryer using solar collectors for the district of La Coipa, for which the analysis of the solar radiation of the research area was carried out based on the data obtained from the NASA web portal ( National Aeronautics and Space Administration). Considering that the radiation received in the research area is 3.56 kWh / m<sup>2</sup> / day, the dimensions of the drying chamber and the collector were calculated, these being 65.97 m<sup>2</sup> and 62.7 m<sup>2</sup> respectively, where the temperature of the chamber will be 28.3 ° C with an absolute humidity of 0.0097 kg / kg. The drying capacity of this dryer is 42,000

kg of coffee in five days. The total investment of the project is S./ 38 139,20. This research contributes to caring for the environment by using renewable energies, it also promotes the implementation of this type of dryers to improve the drying of coffee.

**Keywords:** Design, solar collectors, coffee dryer, solar radiation.



## **I. INTRODUCCIÓN**

El distrito de La Coipa es una zona productora de café de muy buena calidad en el Perú. Siendo así que en la última Feria Internacional de Cafés Especiales (FICAFÉ), una productora cafetalera obtuvo el primer puesto en el concurso de taza de excelencia celebrado en la provincia de Jaén.

Esta zona tiene como primer ingreso económico la agricultura y con ello el cultivo de café, para poder exportar los granos de café orgánico los productores se afilian a diversas asociaciones y/o cooperativas que existen en el distrito o las provincias más cercanas, pero son muy pocos los que cuentan con una infraestructura adecuada para darle un buen cuidado a los granos de café después de la cosecha, uno de los procesos más afectados es el secado, ya que al estar expuesto al aire libre es afectado por contaminantes que disminuyen su calidad en taza, siendo el impacto el precio final del producto. Es a partir de esta realidad que surge el interés de diseñar un secador solar para conservar la calidad del café de esta zona.

En el caso del distrito de La Coipa y en la mayoría de zonas productoras de café de esta parte del Perú, el secado se realiza de manera artesanal en patios acondicionados donde se esparce el café, sin poder controlar los agentes externos que puedan afectar la calidad. En algunos casos utilizan secadores rotativos que funcionan con combustibles fósiles y que resultan muy costosos y que además emiten gases que afectan a nuestro medio ambiente.

Debido a esto, el diseño de un secador solar aprovechando los recursos naturales y donde el secado no afecte la calidad del café, se convierte en algo de suma importancia para los productores cafetaleros, pues con ello conservaran la calidad del grano e incrementan sus ganancias monetarias.

## **1.1. Antecedentes**

### **✓ Internacionales**

Maella y Morales (2018) construyeron tres prototipos de secador solar para ser utilizados en la costa del caribe colombiano para el secado de diferentes productos con los siguientes detalles: el primero denominado “mixto” que consta de colector, cámara de secado y chimenea; el segundo denominado “indirecto” consta de colector, cámara de secado con cubierta opaca y chimenea y el tercero denominado “directo” que consta de cámara de secado con cubierta transparente, y chimenea. Los cuales después de los ensayos se obtuvo que la temperatura de salida del colector mixto es de 45° C, más con respecto al ambiente, el colector de modo indirecto alcanza una temperatura 35° C, superior a la del ambiente y la temperatura del colector es de 35° C por encima del ambiente.

Iglesias , et al., (2017) realizaron una investigación en el estado de Chiapas, México donde se implementó y evaluó un prototipo de secador solar en el cual se llevaron a cabo ensayos de deshidratación de mango donde se deshidrataron 190 kg de mango fresco, disminuyendo su humedad inicial de 80% a 8.4% en ocho horas de sol obteniendo muy buenas características organolépticas. Estos resultados indican que el secador solar es una alternativa de solución para aprovechar el mango que se pierde en la zona por sobreproducción o falta de calidad.

Según Espinoza (2016) en Chile entre los meses de enero y abril se llevaron a cabo pruebas en uvas, duraznos y nueces con deshidratadores solares, obteniendo los siguientes resultados: con la uva se obtuvo un producto de textura y color muy superior a los métodos convencionales, con las nueces se redujo el tiempo de secado de cuatro días al ambiente a 1.5 días en el deshidratador solar, con el durazno los tiempos de secado fueron similares pero la apariencia fue superior con una diferencia fundamental al obtener un producto sano, inocuo, atractivo y sin sulfitado.

### **✓ Nacionales**

Pumacalli, Ríos y Molliendo, (2016) construyeron un secador solar por medio de colectores solares para plantas medicinales en Madre de Dios, para el ensayo se consideró tres tipos de plantas medicinales denominadas abuta, cordoncillo y llantén. Los resultados fueron: el

Cordoncillo al ambiente natural se seca en 29 horas mientras que en el secador solar solo tardó 6 horas, la abuta en ambiente natural demora 59 horas en secarse, mientras que en el secador solo 29 horas y el llantén en ambiente natural se seca en 57 horas mientras que en el secador solar 29 horas. Lo que nos muestra los grandes beneficios de estos secadores.

Eufrazio (2010) diseñó un secador solar para maíz en la Universidad Nacional del Centro del Perú, para el diseño se utilizó un colector simple con una placa absorbente directamente expuesta al ambiente y que en ella incide directamente la radiación solar con una capa inferior de aislante térmico para que el aire pase entre la placa absorbente y el aislante y la cámara de secado consiste en un secador de bandejas a presión atmosférica que luego de realizar la simulación y pruebas con tres días diferentes con una muestra de 5 kg de maíz se obtuvo que el secado de maíz se realiza en un tiempo de entre seis a diez horas para alcanzar una humedad de 13% a 15% en base seca.

Bedregal (2014) diseñó un secador por medio de colectores solares en la ciudad de Piura con capacidad para secar 5 kg de cacao, el diseño se basó en un colector solar de doble flujo con generadores de turbulencia y aletas difusoras para un mayor rendimiento con una caja de madera con aislante de lana de vidrio de 44 mm una placa de absorción de 2 mm de espesor, con un espacio para la circulación del aire de 200 mm con aletas difusoras acopladas a lo largo la placa para mayor superficie de contacto y el material cristalizado en la parte superior del colector de 2 mm de espesor y luego de simular el diseño en el programa Ecosimpro, se llegó a concluir que la capacidad de secado es de 5 kg/día reduciendo considerablemente el tiempo de secado a ambiente natural del cacao.

## **1.2. Problemática**

La principal fuente económica del distrito de la Coipa en la provincia de San Ignacio es la agricultura, que en su mayoría está compuesta por producción cafetalera, y en los últimos años la producción de café ha tenido un incremento exponencial en la zona, pero debido a la carencia de infraestructura y un clima bastante lluvioso que dificultan el proceso de un buen secado, la calidad del café se ve afectada ocasionando considerables pérdidas económicas.

### **1.3. Planteamiento del problema**

¿Cómo diseñar un secador de café que mediante un colector aproveche la radiación solar existente en el distrito de La Coipa, San Ignacio, Cajamarca?

### **1.4. Hipótesis**

La radiación solar y la producción de café, influyen en el diseño de un secador de café mediante colectores solares se aprovecha la radiación solar en el distrito de La Coipa, San Ignacio, Cajamarca.

### **1.5. Justificación**

Bedregal, (2014), señala que el proceso de captación de energía por medio de colectores solares es un método en el cual se busca el aprovechamiento de la emisión de radiación solar a través de un dispositivo que la absorbe y la convierte en calor mediante una placa, la cual tiene la capacidad de captar la energía emitida. Este tipo de dispositivo y su sistema de absorción de calor son aptos para la generación y recolección de energía por medio del sol.

En el distrito de La Coipa el mayor problema para los productores de café es el secado de este producto, que, al no ser secado adecuadamente, su calidad se ve disminuida y genera pérdidas económicas, debido a que su precio será menor. Además, en la gran mayoría de casos se ven obligados a trasladar dicho producto a otros lugares con mejores climas para secarlo con el fin de no perder la calidad lo que genera gastos en transporte y logística.

El presente proyecto de investigación se basa en el uso de energías renovables (colectores solares) para el mejoramiento en el secado de café ya que actualmente los métodos utilizados para este fin son artesanales o métodos mecánicos que utilizan combustibles para su funcionamiento los cuales generan emisiones de CO<sub>2</sub> que afecta al medio ambiente. Asimismo, el secador tendrá impacto en la mejora de la calidad del café, el cual generará mayores ingresos económicos a los caficultores de la zona.

## **II. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo general**

- ✓ Diseñar un secador de café mediante colectores solares para el distrito de La Coipa, San Ignacio, Cajamarca.

### **2.2. Objetivos específicos**

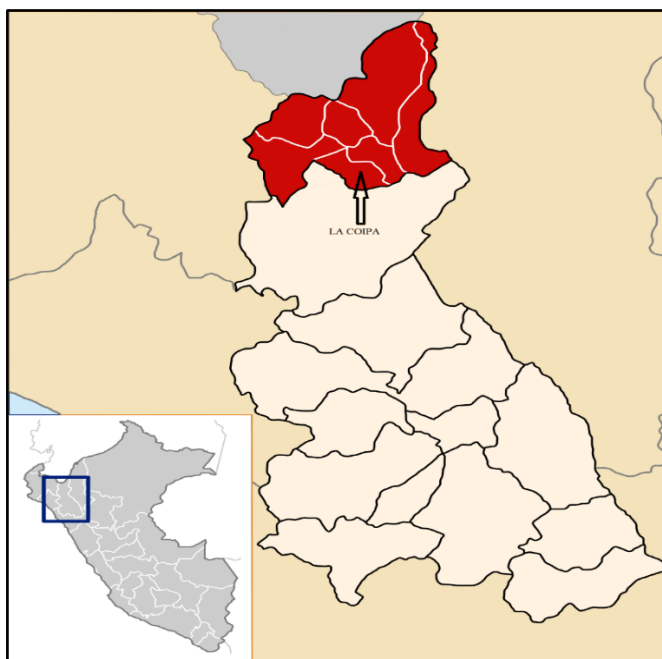
- ✓ Determinar la cantidad de radiación solar existente en el distrito de La Coipa, San Ignacio, Cajamarca.
- ✓ Calcular y dimensionar el colector y secador de café.
- ✓ Evaluar la factibilidad económica de la implementación de la propuesta.

### III. MATERIAL Y MÉTODOS

#### 3.1. Ubicación del área de estudio

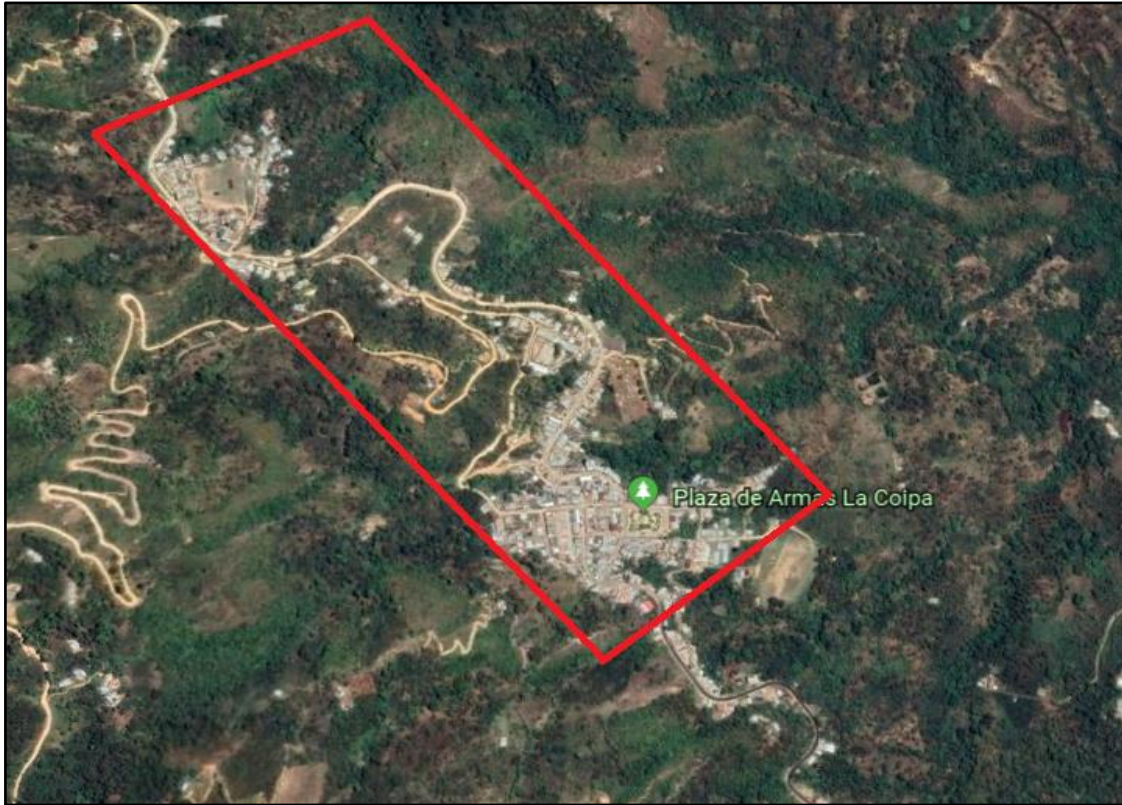
##### 3.1.1. Ubicación geográfica

La zona de investigación del diseño de un secador de café mediante colectores solares para el distrito de La Coipa, San Ignacio, Cajamarca tiene la siguiente ubicación según las coordenadas: latitud  $-5,39361$ , longitud  $-78,9044$ . En la Figura 1, se muestra el emplazamiento del distrito y en la Figura 2, se muestra la vista satelital del distrito de La Coipa.



*Figura 1.* Emplazamiento del distrito de La Coipa.

Fuente: Google imágenes.



*Figura 2.* Vista satelital del distrito de La Coipa.

Fuente: Google Earth.

El diseño del presente proyecto de investigación se realizó teniendo en cuenta posteriormente su implementación en una vivienda de un productor de café del distrito de la coipa, siendo el caficultor seleccionado el señor Porfirio Vicente Abad, considerando la implementación como un prototipo, para luego diseñar un secador con mayores dimensiones y así poder beneficiar a más pobladores del distrito de la Coipa.

### **3.2. Tipo de investigación**

El tipo de investigación es aplicada, descriptiva y con un diseño de investigación de gabinete (no experimental).

### **3.3. Técnicas y procedimientos**

### 3.3.1. Estimación de la radiación solar

Para la estimación de la radiación solar en el distrito de La Coipa, se consideraron los datos obtenidos del portal web del proyecto POWER de la NASA, estos datos indican el promedio diario de radiación en kWh/m<sup>2</sup>/día, con el cual se diseñó el sistema de secador solar. Considerando que la latitud y longitud del distrito La Coipa, provincia de San Ignacio, región Cajamarca es -5,39361 y -78,9044 respectivamente. La Tabla 1, muestra el promedio de radiación solar mensual de la zona de investigación durante los 12 meses del año.

Para la estimación de la radiación solar en la localidad de Jaén, se consideraron los datos obtenidos de la NASA. Los cuales indican un promedio diario de la irradiación en kWh/m<sup>2</sup>/día, con lo cual se evaluó el rendimiento del sistema fotovoltaico. La latitud y longitud respectivamente del Centro de Salud Magllanal es de -5,70819 y -78,81729 aproximadamente. La Tabla 1, muestra la irradiación solar máxima y mínima en la zona de investigación de los 12 meses del año.

Tabla 1

*Radiación promedio mensual en el distrito de La Coipa (kWh/m<sup>2</sup>/día).*

<i>Gdm</i>	<b>Meses</b>											
	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>
(0°)	3,34	3,18	3,51	3,89	3,88	3,64	3,48	3,98	4,10	4,37	4,22	3,89
(5°)	3,36	3,18	3,51	3,93	3,96	3,75	3,56	4,04	4,11	4,38	4,25	3,93
(20°)	3,34	3,12	3,40	3,93	4,10	3,93	3,69	4,10	4,03	4,27	4,23	3,94
(90°)	1,75	1,53	1,44	1,93	2,36	2,45	2,20	2,14	1,69	1,70	2,00	2,07

Fuente: Elaboración propia. Datos NASA (2020)

El inicio de la cosecha del café en el distrito de La Coipa empieza en el mes de junio y se extiende hasta el mes de septiembre, siendo en estos meses donde se realiza el secado del producto, al realizar la evaluación de la radiación y se estimó que julio es el mes de menor radiación solar. La Tabla 2, muestra los datos arrojados por el portal web de la NASA, con la radiación de los meses utilizados para la investigación.



Tabla 2

*Radiación en (kWh/m<sup>2</sup>/dia) de los meses de cosecha en la zona de investigación.*

<i>Gdm</i>	MESES				MEDIA
	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	
(0°)	3,64	<b>3,48</b>	3,98	4,10	3,80
(5°)	3,75	<b>3,56</b>	4,04	4,11	3,87
(20°)	3,93	<b>3,69</b>	4,10	4,03	3,94
(90°)	2,45	<b>2,20</b>	2,14	1,69	2,12

Fuente: Elaboración propia. Datos NASA (2020).

### 3.3.2. Ángulo de inclinación

La superficie se debe orientar hacia el sur si se está situado en el hemisferio norte y hacia el norte si se está en el hemisferio sur.

Para determinar la inclinación óptima de una superficie Enriquez (2013), recomienda usar una formula basada en el análisis estadístico de radiación solar anual sobre superficies con diferentes inclinaciones situadas en lugares de diferentes latitudes que proporcionan la inclinación óptima en función a la latitud del lugar. Con La Ecuación (1) se calcula el ángulo óptimo de inclinación.

$$\beta_{opt} = 3,7 + 0,69 * |\phi| \quad (1)$$

Donde:

$\beta_{opt}$ : Ángulo óptimo de inclinación (grados sexagesimales)

$|\phi|$ : Latitud del lugar, sin signo (grados sexagesimales)

Para calcular el angulo de inclinación óptima reemplaza la latitud de la zona de estudio en la ecuacion (1).

$$\beta_{opt} = 3,7 + 0,69 * (|-5,39361|)$$

$$\beta_{opt} = 7,42^\circ$$

El ángulo óptimo de inclinación para el dimensionado del colector solar es de  $7,42^\circ$ , de esta manera se logrará captar la mayor cantidad de radiación solar, para efectos de diseño del sistema se consideró el ángulo de  $5^\circ$  de inclinación arrojado por la NASA, por ser este el más cercano al ángulo óptimo calculado para su dimensionado del sistema.

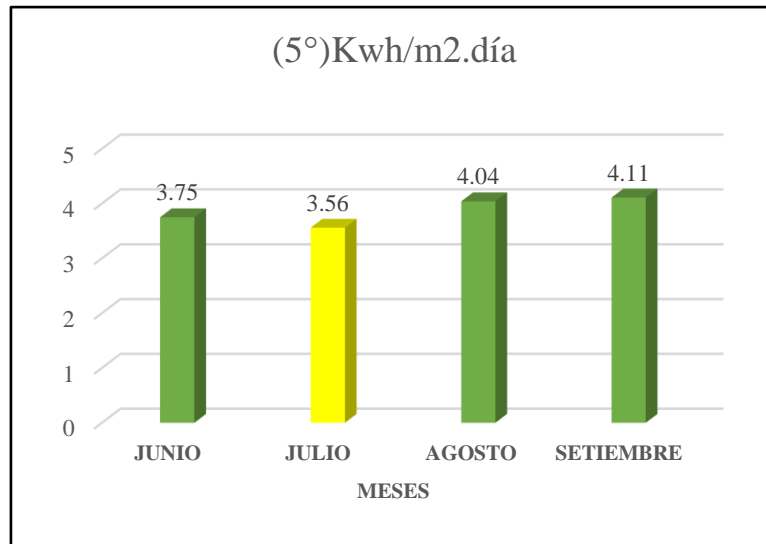


Figura 3. Comportamiento de la radiación solar con la inclinación de  $5^\circ$ .

Fuente: Elaboración propia. Datos NASA (2020).

### 3.3.3. Condiciones ambientales de la zona de investigación

En la evaluación de las condiciones ambientales de la zona de investigación se consideró la altitud (msnm), temperatura promedio y humedad relativa por ser parámetros importantes para el dimensionado del sistema, teniendo en cuenta los meses que dura la cosecha del café, además de la radiación, se considerarán los datos del mes de julio para el diseño del sistema. La Tabla 3, indica los niveles de temperatura máxima y mínima, La Tabla 4, muestra los porcentajes de humedad relativa correspondiente a los años 2012 – 2019 y la Tabla 5, muestra las condiciones ambientales de la zona de investigación, rangos que fueron extraídos de la base de datos de la estación meteorológica del SENAMHI ubicado en el distrito de Chirinos, provincia de San Ignacio, región Cajamarca.

Tabla 3

*Temperatura máxima y mínima del distrito de La Coipa.*

Temperatura	Meses											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
<b>Máxima (°C)</b>	27,27	26,38	26,16	25,78	25,80	25,65	<b>25,95</b>	27,36	28,45	28,41	28,49	27,76
<b>Mínima (°C)</b>	16,75	16,80	16,61	16,42	15,92	15,24	<b>14,90</b>	15,56	16,41	16,78	16,69	16,81

Fuente: Elaboración propia. Datos SENAMHI.

Tabla 4

*Humedad relativa en la zona de investigación años 2012 -2019 (%).*

PERIODO	Meses											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
<b>2012 – 2019</b>	93,75	94,07	93,53	95,82	94,13	<b>91,55</b>	<b>91,48</b>	<b>89,55</b>	<b>88,85</b>	91,05	92,25	93,90

Fuente: Elaboracion propia. Datos SENAMHI.

Tabla 5

*Condiciones ambientales de la zona de investigación.*

Variable	Valor
Altitud	1500 m.s.n.m
Humedad absoluta	0,0097 kg/m <sup>3</sup>
Temperatura promedio	14,9 °C
Humedad relativa (julio)	91,50 %

Fuente: Elaboracion propia. Datos SENAMHI.

### 3.3.4. Producción de café del caficultor beneficiario

Para poder calcular la cantidad de café producido se realizó un censo al caficultor acerca de su producción durante los últimos cinco años. La Tabla 6, detalla la cantidad de café producido en los últimos cinco años.

Tabla 6

*Cantidad de café producido en los últimos cinco años.*

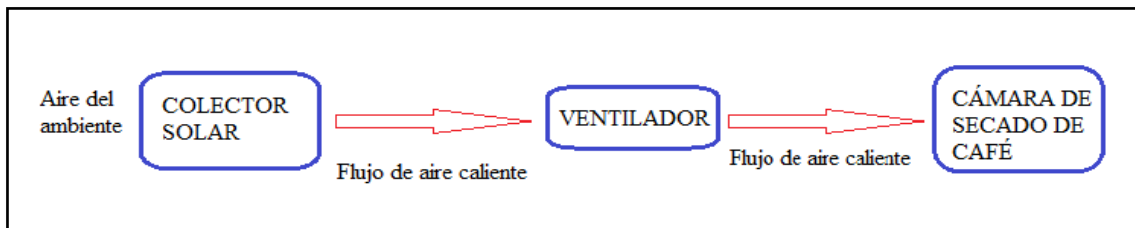
<b>Año</b>	<b>Café húmedo (kg)</b>	<b>Café seco (kg)</b>
2015	36400	7176
2016	28000	5520
2017	39200	7728
2018	33600	6624
2019	42000	8280

Fuente. Elaboracion propia .

### 3.3.5. Reducción de la humedad del café

La cantidad de humedad que contiene el café una vez lavado y estando listo para empezar el proceso de secado corresponde al 57% del total del producto. Este secador está diseñado como un sistema de dos etapas, calentamiento y disminucion de la humedad relativa del aire en el colector solar y secado del producto hasta su punto óptimo, en el caso del café la humedad relativa óptima es del 12%.

Para el diseño se parametrizó primero el secador, posteriormente considerando que el aire fue previamente calentado se analizó el colector solar. El funcionamiento del sistema consiste en introducir el aire mediante ventilación forzada con un ventilador ubicado entre el colector y la cámara de secado el cual absorbe aire del ambiente y lo induce hacia el colector aumentando así la temperatura final y con ello ocurre la deshidratación del grano de café hasta llegar a la humedad optima.



*Figura 4.* Diagrama de flujo de aire hacia la cámara de secado.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.6. Cálculo de diseño del subsistema la cámara de secado

La cámara de secado es tipo invernadero, ya que corresponde a una estructura cerrada cubierta con material transparente para generar la mayor cantidad de calor aprovechando la radiación solar y así crear las condiciones óptimas para el aprovechamiento de la energía y transmitirla al café para mayor rapidez en su secado.



*Figura 5. Cámara de secado tipo invernadero*

Fuente: Google imágenes

Para dimensionar la cámara de secado, se utilizaron las variables generales en las que se apoyó la investigación. La Tabla 7 muestra las variables generales utilizadas en la investigación y la Tabla 8, muestra los valores porcentuales de absorción de la radiación solar en la cámara de secado.

Del total de la radiación solar que llega a la cámara de secado una parte es reflejada y el resto absorbida por los distintos componentes del secador como, el suelo, el aire del interior, la cubierta y el café. Esta distribución depende del tipo de cubierta que se utilice para el secador, siguiendo las recomendaciones de (Corvalán , Horn, Román y Saravia , 1992) se diseñó considerando que el plástico que utilizara la cubierta será de polietileno con protección anti UV y tratamiento térmico mejorando la distribución porcentual que genera al recibir la radiación. Dimensionado

Tabla 7

*Variables generales utilizadas en la investigación.*

<b>Variable</b>	<b>Unidad</b>	<b>Significado</b>
<b>A<sub>s</sub></b>	<b>m<sup>2</sup></b>	Superficie de la cámara de secado
<b>G</b>	<b>kg/s</b>	Flujo másico de aire
<b>G<sub>u</sub></b>	<b>kg/(m<sup>2</sup>.s)</b>	Flujo de aire por unidad de medida
<b>A<sub>c</sub></b>	<b>m<sup>2</sup></b>	Área de cubierta de la cámara

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8

*Valores porcentuales de absorción de la radiación solar en la cámara de secado.*

<b>Coefficiente</b>	<b>Significado</b>	<b>Valor (%)</b>
S <sub>r</sub>	Radiación reflejada	0,25
S <sub>c</sub>	Radiación absorbida por la cubierta transparente	0,17
S <sub>p</sub>	Radiación absorbida por el producto	0,50
S <sub>s</sub>	Radiación absorbida por el suelo	0.08

Fuente: Corvalán , Horn, Román y Saravia (1992).

Además de los valores porcentuales de absorción existen los factores de recuperación que aparecen porque parte de la energía absorbida tanto por la cubierta como por el suelo es reaprovechada, mientras que el resto se pierde en el aire que lo rodea y por medio del suelo. La Tabla 9, muestra los valores de recuperación de la irradiación y la Tabla 10, muestra los datos recolectados para el diseño del sistema.

Tabla 9

*Valores de recuperación de la irradiación.*

<b>Coefficiente</b>	<b>Significado</b>	<b>Valor (%)</b>
r <sub>c</sub>	Recuperación de radiación de la cubierta	0,40
r <sub>s</sub>	Recuperación de radiación del suelo	0,30

Fuente: (Corvalán , Horn, Román y Saravia , 1992)

Tabla 10

*Datos recolectados para el diseño del sistema.*

<b>VARIABLE</b>	<b>VALOR</b>	<b>SIGNIFICADO</b>
$M_P$	42,000 kg	Cantidad de café húmedo a secar por campaña (año 2019)
$P_{ag}$	57%	Porcentaje total de agua en el producto
$H_h$	3.69 kWh/m <sup>2</sup> .dia	Radiación solar diaria sobre el secador
$T_a$	24.90 °c	Temperatura de entrada al secador
$N_{ds}$	5 días	Días para secar café
$N_h$	10 h	Número de horas por día
$P_{pr}$	20%	Porcentaje de agua a eliminar el primer día
$G_u$	0.01 kg/m <sup>2</sup> .s	Flujo masico unitario de aire
$HR_{max}$	60%	Humedad relativa máxima permitida en la cámara de secado

Fuente: Elaboracion propia

Basado en la experiencia de los productores los días necesarios para secar el café hasta su humedad óptima de manera artesanal son nueve días. El ICAFE (Instituto de Café de Costa Rica), indica que el café luego de lavado tiene una humedad de 57 % la cual se reduce hasta el 37% en el primer día de secado. Es decir, se pierde un 20% de humedad. De la misma forma, la humedad relativa máxima permitida en la cámara de secado según la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) es del 60 % para tener unas condiciones óptimas de secado y así evitar daños en el grano de café.

En su libro Corvalán , Horn, Román y Saravia (1992) hacen mención a un valor eficiente de flujo de aire unitario  $G_u$ , para secadores solares tipo invernadero la experiencia realizada a mostrado que un valor de 0.01kg/s.m<sup>2</sup> son suficientes para permitir un funcionamiento óptimo sin ocasionar gastos excesivos. La Tabla 11, muestra las variables utilizadas en el diseño de la camara de secado.

Tabla 11

*Variables utilizadas en el diseño de la cámara de secado.*

<b>Parámetro</b>	<b>Significado</b>	<b>Valor</b>
$S_r$	Radiación reflejada	0,25
$S_c$	Radiación absorbida por la cubierta	0,17
$S_p$	Radiación absorbida por el café	0,50
$S_s$	Radiación absorbida por el suelo	0,08
$r_c$	Recuperación de radiación de la cubierta	0,40
$r_s$	Recuperación de radiación del suelo	0,30
$F_c$	Factor de relación del área de la cubierta y del suelo	1,6
$h_c$	Coefficiente de convección en la cubierta	10 w/m <sup>2</sup>
$h_s$	Coefficiente de convección del suelo	8 w/m <sup>2</sup>
$C_p$	Calor específico del aire	1,005kj/kg. °C
$Q_f$	Calor latente del agua	2 400 kj/kg

Fuente: Corvalán , Horn, Román y Saravia (1992).

Los valores de factor de relacion del area y el suelo, coeficientes de conveccion por la cubierta y el suelo han sido establecidas de acuerdo al material según Corvalán , Horn, Román y Saravia (1992).

Para calcular el area de la cubierta ( $A_c$ ) se utilizo La Ecuación (2) utilizando un factor de conversión geométrico.

$$A_c = F_c * A_s \quad (2)$$

Donde:

$A_c$ : área de la cubierta.

$F_c$ : factor de conversión geométrico

$A_s$ : superficie de la cámara de secado .

Para calcular la cantidad de aire necesario a utilizar en el sistema debemos tomar en cuenta La Ecuacion (3).



$$G_u = G/A_s \quad (3)$$

Donde:

$G_u$ : Flujo de aire por unidad de medida

$G$ : Flujo másico de aire

$A_s$ : superficie de la cámara de secado .

Para el caso de la descomposición de la radiación solar que incide sobre el sistema, La Ecuación (4), muestra todos los factores que tienen relación con la radiación solar y su descomposición.

$$q_{rad} = q_{cub} + q_{suelo} + q_{sens} + q_{ev} \quad (4)$$

Donde:

$q_{rad}$ : radiación solar diaria captada por el sistema de secado

$q_{cub}$ : energía que se pierde a través de la cubierta de la cámara de secado

$q_{suelo}$ : energía que se pierde a través del suelo

$q_{sens}$ : energía utilizada en el calentamiento de aire dentro de la cámara de secado (calor sensible)

$q_{ev}$ : energía utilizada en la evaporación de agua (componente útil de la energía total captada).

Para calcular la cantidad de radiación que absorbe la cámara de secado se utilizó La Ecuación (5).

$$q_{rad} = (S_p + r_c * s_c + r_s * s_s) * A_s * H_h \quad (5)$$

Donde:

$S_p$ : radiación absorbida por el café

$r_c$ : factor de recuperación de radiación de la cubierta de la cámara de secado

$s_c$ : radiación absoluta en cubierta transparente

$r_s$ : factor de recuperación de radiación del suelo

$s_s$ : radiación absorbida por el suelo

$H_h$ : Radiación diaria sobre el secador

La Ecuación (6), muestra el coeficiente de aprovechamiento de la radiación solar.

$$C_{apr} = (s_p + r_c * s_c + r_s * s_s) \quad (6)$$

Teniendo todos los valores porcentuales del aprovechamiento de la radiación que llega a la cámara de secado, calculamos el coeficiente de aprovechamiento reemplazando los valores de la ecuación.

$$C_{apr} = 0,50 + (0,40 * 0,17) + (0,30 * 0,08)$$

$$C_{apr} = 0,592$$

Por lo tanto, al remplazar los datos de La Ecuación 5 y 4 respectivamente, obtenemos la siguiente Ecuación (7).

$$q_{rad} = C_{apr} * A_s * H_h \quad (7)$$

Donde:

$q_{rad}$ : radiación absorbida por la cámara de secado

$C_{apr}$ : coeficiente de aprovechamiento

$A_s$ : área de la cámara de secado

$H_h$ : Radiación diaria sobre el secador

En la cubierta de la cámara de secado existen pérdidas de radiación que se transfieren al aire que se encuentra a su alrededor. Con la Ecuación (8) se calcula las pérdidas de la cubierta.

$$q_{cub} = h_c * A_c * (T_{cam} - T_a) * N_h * 3600 \quad (8)$$

Donde:

$h_c$  ( $\frac{W}{m^2 * ^\circ C}$ ): coeficiente de convección de la cubierta

$A_c$ : área de la cubierta

$T_{cam}$ : temperatura del aire dentro de la cámara de secado

$T_a$ : temperatura del ambiente

3600: coeficiente de conversión de horas a segundos

$N_h$ : número de horas de sol por día

$F_c$ : factor de conversión en relación del área de la cubierta respecto al área de secado

Teniendo en cuenta que la fórmula del área de la cubierta se conoce, La Ecuación (8) se redefine como La Ecuación (9).

$$q_{cub} = h_c * F_c * A_s * (T_{cam} - T_a) N_h * 3600 \quad (9)$$

Para realizar el cálculo de las pérdidas del aire que circula dentro de la cámara de secado. Se aplicó La Ecuación (10).

$$q_{suelo} = r_s * h_s * A_s * (T_{cam} - T_a) * N_h * 3600 \quad (10)$$

Donde:

$r_s$  : factor de recuperación de radiación del suelo

$h_s$ : coeficiente de convección del suelo

$A_s$ : área de la cámara de secado

$T_{cam}$ : temperatura de la cámara de secado

$T_a$ : temperatura del ambiente

$N_h$ : numero de horas de sol por día

La temperatura dentro de la camara de secado tambien sufre cambios debido al ingreso de aire caliente del colector, por ello para calcular la cantidad de calor se tomo la La Ecuación (11).

$$q_{sens} = G * N_h * 3600 * C_p * (T_{cam} - T_a) \quad (11)$$

Donde:

$G$ : Flujo másico de aire

$N_h$ : numero de horas de sol por dia

$C_p$ : calor especifico del aire

$T_{cam}$ : temperatura dentro de la camara

$T_a$ : temperatura del ambiente.

El aire que ingresa a la camara de secado ingresa con una humedad inferior a la humedad con la que abandona la camara, el consumo de energia que utiliza para evaporar el agua que contiene el café se define con La Ecuación (12).

$$q_{ev} = q_f * G * N_h * 3600(\omega_{cam} - \omega_a) \quad (12)$$

Donde:

$\omega_a$ : humedad absoluta que entra a la cámara

$\omega_{cam}$ : humedad absoluta a la salida de la cámara

$q_f$ : calor latente de vaporización de agua

Teniendo todos los factores que tienen relacion con la radiación solar y su descomposición, mostrados en La Ecuación (4), se remplazo los datos y se obtuvo La Ecuación (13), que sirve para obtener la relación directa entre la temperatura del secador y la humedad absoluta.

$$C_{appr} * A_s * H_h = (r_s * h_s + h_c * F_c + G_u * C_p) * N_h * 3600 * \quad (13)$$

$$(T_{cam} - T_a) + G_u * N_h * 3600 * q_f * (\omega_{cam} - \omega_a)$$

Según la FAO, para el correcto funcionamiento de un secador solar la humedad relativa debe estar limitada, ya que si lo sobrepasa este sufre daños con respecto a la humedad. La humedad relativa máxima debe ser del 60%. Al tener en cuenta que la humedad relativa máxima está limitada, se relaciona directamente con la temperatura del secador, redefiniendo la Ecuación (13) de la siguiente forma.

$$\frac{(T_{cam} - T_a)}{D_T} + \frac{(\omega_{cam} - \omega_a)}{D_\omega} = 1$$

Donde:

$$D_T = \frac{C_{apr} * H_h}{[(r_s * h_s + h_c * F_c + G_u * C_p) * N_h * 3600]}$$

$$D_\omega = \frac{C_{apr} * H_h}{(G_u * N_h * 3600 * q_f)}$$

Al reemplazar los datos de La Tabla 8, como resultado quedó el siguiente diferencial de temperatura.

$$D_T = \frac{0,592 * 12816000}{[(0,30 * 8) + (10 * 1,6) + (0,01 * 1000)] * 10 * 3600}$$

$$D_T = 7,42^\circ C$$

Al reemplazar los datos de La Tabla 9, se obtuvo un diferencial de humedad absoluta.

$$D_\omega = \frac{0,592 * 12816}{0,01 * 10 * 3600 * 2400}$$

$$D_\omega = 0.0087$$

Los resultados se trazan en la carta psicométrica, teniendo en cuenta las condiciones iniciales a las que ingresa el aire a la cámara de secado, y a partir de este punto es que la temperatura aumenta una magnitud  $D_T$  y lo mismo pasa con la humedad absoluta que aumenta en una magnitud de  $D_\omega$  desde el punto inicial formando un ángulo de  $90^\circ$  con  $D_T$ .

Luego se traza una línea entre estos dos puntos y donde se entrelace con la humedad relativa máxima, se obtendrá los datos de humedad absoluta y temperatura de la cámara.

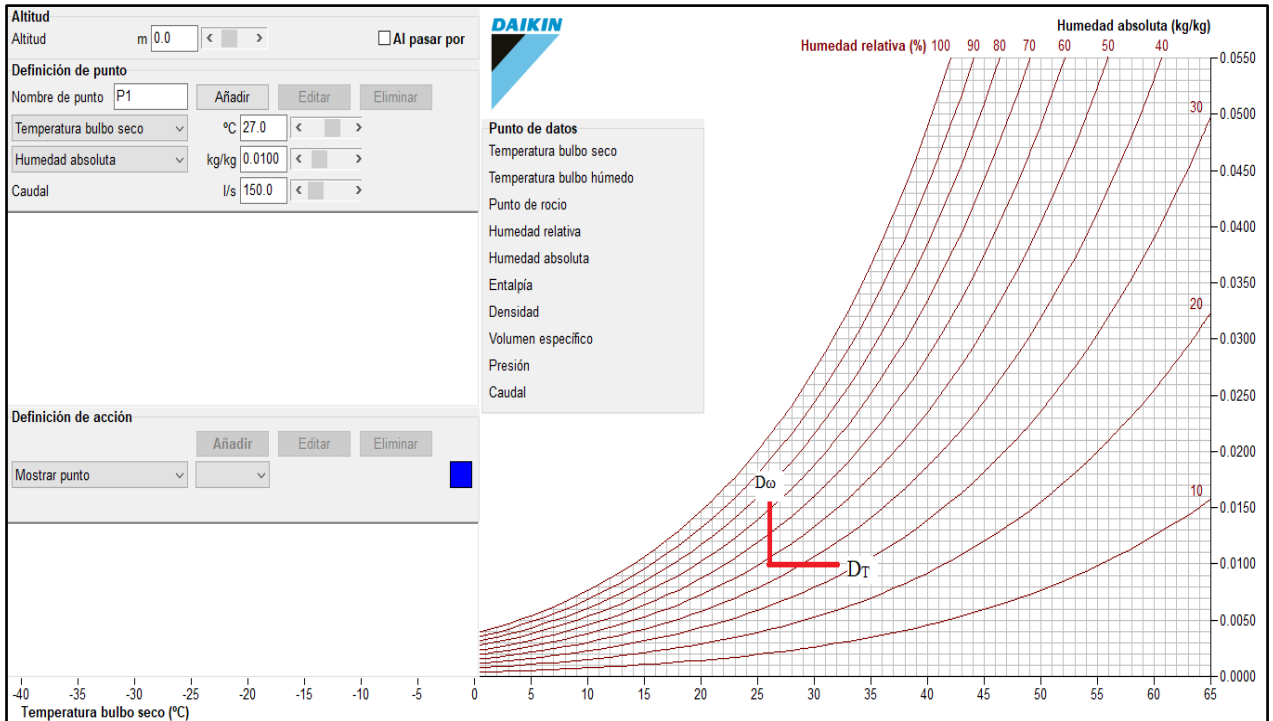


Figura 6. Representación gráfica de  $D_{\omega}$  y  $D_T$

Fuente: Elaboración propia.

Para el diseño del sistema se consideró que el aire que entra a la cámara de secado es precalentado por los colectores solares, debido a que el aumento de temperatura es proporcional a la cantidad de radiación que recibe el colector. Camacho y Ramírez, (2015) en una investigación concluyeron que el aumento de temperatura mínimo del colector de placa plana es de  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , el cual se consideró en el diseño por ser el indicador mínimo. .

La temperatura ambiente de la zona de investigación es de  $14,9\text{ }^{\circ}\text{C}$  por lo que al considerar este incremento a la salida del colector tendríamos una temperatura de  $24,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ , lo que ayuda a que el secado se desarrolle en un menor tiempo. La Figura 7, muestra el diagrama psicrométrico donde se ingresaron los valores de temperatura y humedad absoluta para obtener el valor real de la temperatura del secador solar y La Tabla 12, muestra un resumen de los datos de temperatura, humedad relativa y absoluta.

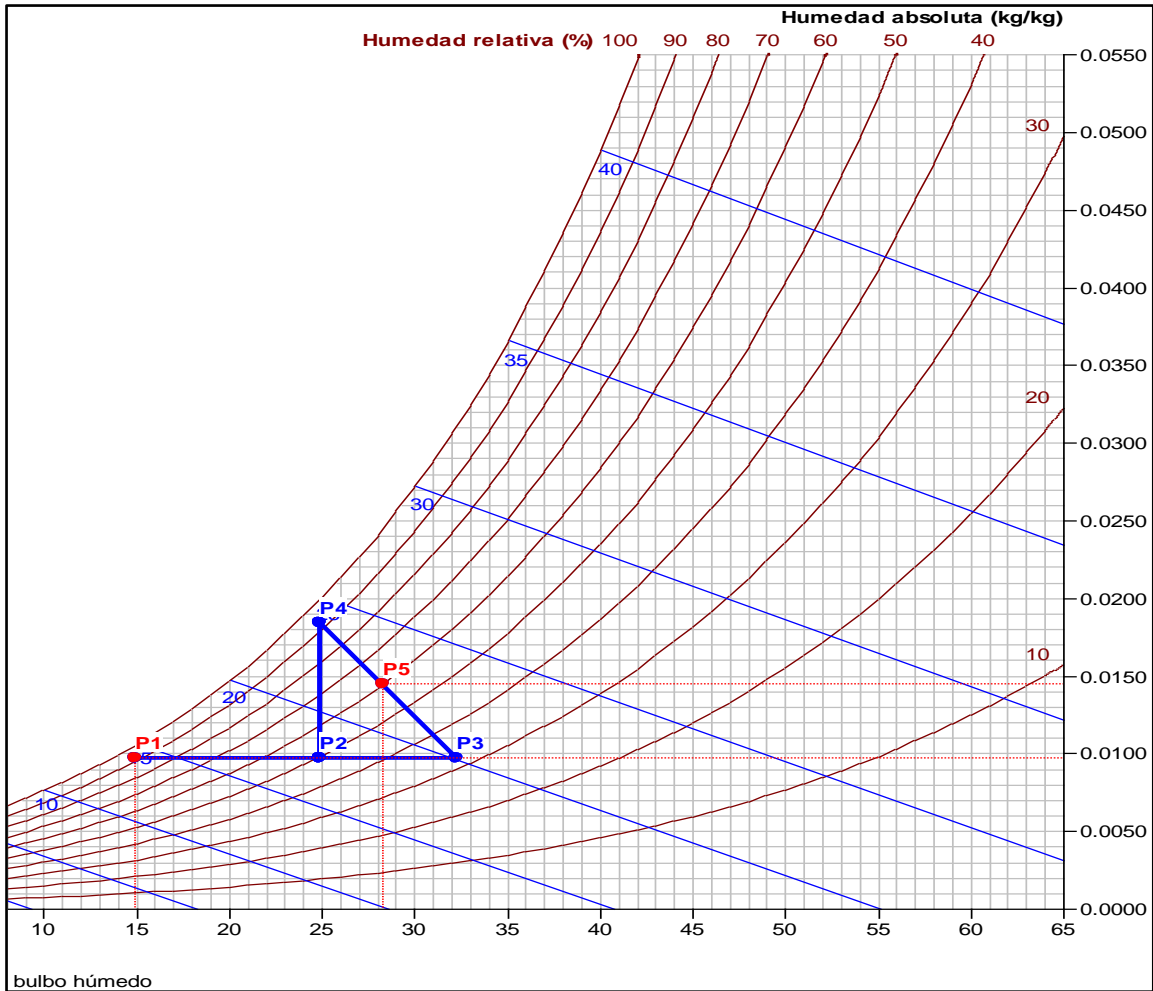


Figura 7. Diagrama psicrométrico para la temperatura óptima del secador.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12

Datos de temperatura, humedad relativa y absoluta según la carta psicrométrica.

	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5
temperatura (°C)	14,9	24,9	32,3	24,9	28,3
humedad relativa (%)	91,5	49,4	32,1	92,4	60
humedad absoluta (kg/kg)	0,0097	0,0097	0,0097	0,0184	0,0145

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla psicrométrica obtenemos los valores de temperatura de la cámara y la humedad absoluta dentro de la cámara de secado:

$$T_{cam} = 28.3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\omega_{cam} = 0,0145$$

Teniendo en cuenta la cantidad de café a secar durante el periodo de secado, y el porcentaje de agua referido a la masa del café húmedo, con esto se conoce la cantidad de agua a extraer durante el proceso. Además, se debe considerar que el café lavado representa un 43% del peso total de la fruta. Para calcular la masa de agua a secar se utilizo la ecuacion (14).

$$M_a = M_p * 0,43 * P_{ag} \quad (14)$$

Donde:

$M_a$ : Masa de agua a secar

$M_p$ : Masa de café por secar

$P_{ag}$ : Porcentaje de agua en el producto

Del total de agua a extraer en todo el proceso, se debe tomar en cuenta la cantidad de agua perdida en el primer día de secado, por ser el día que mas energia se necesita teniendo en cuenta la relación entre el total de agua existente y la cantidad de agua evaporada en el transcurso del día. Para tal efecto se utilizó La Ecuación 15, para determinar el total de agua disminuida en el primer dia de secado.

$$P_{pr} = \frac{M_{pr}}{M_a} \quad (15)$$

Donde:

$P_{pr}$ : porcentaje de agua evaporado el primer día

$M_{pr}$ : masa de agua eliminada el primer dia

$M_a$ : masade agua a secar

Por lo tanto, la diferencia de humedad absoluta que se da en el proceso determina la cantidad de agua eliminada el primer día de secado. La Ecuación (16), muestra cómo obtener la cantidad de agua extraída el primer día.

$$M_{pr} = G_u * N_h * 3600 * (\omega_{cam} - \omega_{amb}) \quad (16)$$

Donde.



$M_{pr}$ : masa de agua eliminada el primer día.

$G_u$ : flujo unitario de aire

$N_h$ : número de horas de sol por día

$\omega_{cam}$ : humedad absoluta de la cámara de secado

$\omega_{amb}$ : humedad absoluta del ambiente

Una vez conocida la humedad absoluta de la cámara a partir del diagrama psicométrico obtenido de  $D_T$  y  $D_\omega$ . Con La Ecuación (17) se calculó la cantidad de agua extraída en el proceso de secado.

$$M_a = \frac{f_{cam} * G_u * A_s * N_h * 3600 * (\omega_{cam} - \omega_{amb})}{P_{pr}} \quad (17)$$

Donde:

$M_a$ : masa de agua a secar

$G_u$ : flujo másico unitario de aire

$A_s$ : área de la cámara de secado

$N_h$ : número de horas de sol por día

$\omega_{cam}$ : humedad absoluta de la cámara de secado

$\omega_{amb}$ : humedad absoluta del ambiente

$P_{pr}$ : porcentaje de agua eliminada el primer día

Según Camacho y Ramírez, (2015), el factor  $f_{cam}$  aparece debido a que en el colector se calienta el aire y al ingresar a la cámara de secado hay una mayor disponibilidad de energía en forma de calor para extraer la humedad que se encuentra en el café, según los estudios realizados la disponibilidad de energía aumenta un 68 % en relación al 100 % de energía que se encuentra en la cámara de secado de café, por lo que consideramos este valor como 1,68. Teniendo La Ecuación (15), que determina el total de agua disminuida en el primer día de secado y La Ecuación (17), para determinar la cantidad de agua extraída en el proceso de secado, igualamos ambas ecuaciones y quedaría como resultado La Ecuación (18). Para encontrar en el área del secador se aplicó La Ecuación (19).

$$\frac{f_{cam} * G_u * A_S * N_h * 3600 * (\omega_{cam} - \omega_{amb})}{P_{pr}} = M_p * 0,43 * P_{ag} \quad (18)$$

$$A_S = \frac{P_{ag} * M_p * 0,43 * P_{pr}}{f_{cam} * G_u * N_h * 3600 * (\omega_{cam} - \omega_{amb})} \quad (19)$$

### 3.3.6.1. Cálculo final de diseño de la cámara de secado

Teniendo en cuenta las ecuaciones detalladas anteriormente en cuanto al dimensionado de la cámara de secado el resultado de su diseño se muestra a continuación.

$$A_S = \frac{0,57 * 1680 * 0,20}{1,68 * 0,01 * 10 * 3600 * (0,0145 - 0,0097)} \quad (20)$$

$$A_S = 65,97 \text{ m}^2$$

Una vez encontrada el área del secador podemos encontrar el flujo másico de aire.

$$G = A_S * G_u$$

$$G = 65,97 * 0,01$$

$$G = 0,65 \text{ kg/s}$$

Para seleccionar el ventilador a utilizar se requiere calcular el flujo volumétrico que se requiere en el secador, para ello utilizamos la siguiente Ecuación.

$$\dot{m} = G * \rho_{aire} \quad (21)$$

Donde:

$\dot{m}$ : flujo volumétrico de aire

$G$ : flujo másico de aire

Al resolver la ecuación anterior obtenemos el volumen de aire requerido para que el secador funcione óptimamente.

$$\dot{m} = 0,65 * 1,145$$

$$\dot{m} = 0,74 \text{ m}^3/\text{s}$$

### 3.3.7. Cálculo de diseño del subsistema de colectores solares

Es importante conocer la finalidad del colector solar en el secador de café, para que el sistema reduzca la humedad relativa del aire por medio del calentamiento y como resultado obtener un aumento en la temperatura del aire que ingresa al secador de 10 °C. y con este aumento de temperatura reducir el tiempo de secado del café, sin llegar a temperaturas muy elevadas ya que pueden causar daños al grano de café. En el anexo 4 se muestra el colector con sus especificaciones técnicas y características. Según Yunus (2007) La Ecuación (22), es fundamental para definir a los colectores solares es la siguiente.

$$\eta = \frac{Q_u}{A.I} \quad (22)$$

Donde:

$\eta$ : eficiencia del colector

$Q_u$ : calor útil ganado por el colector

$A$ : área del colector

$I$ : radiación incidente sobre el colector

En una investigación Claros (2008), describe el análisis teórico que se aplicó en el colector solar de placa plana desarrollado por el grupo de Ingeniería Solar de la universidad nacional de bogotá, en esta investigación evaluaron el comportamiento de un dispositivo que transforma la energía solar en energía térmica para una necesidad en específico, calentar agua, en este caso utilizaron vidrio de 4mm de espesor para la cubierta transparente, los tubos donde se transportara el fluido son de cobre y la placa absorbente es de aluminio debido a su bajo costo, luego de la evaluación realizada en este estudio obtuvo que la eficiencia del colector sería del 70 %.

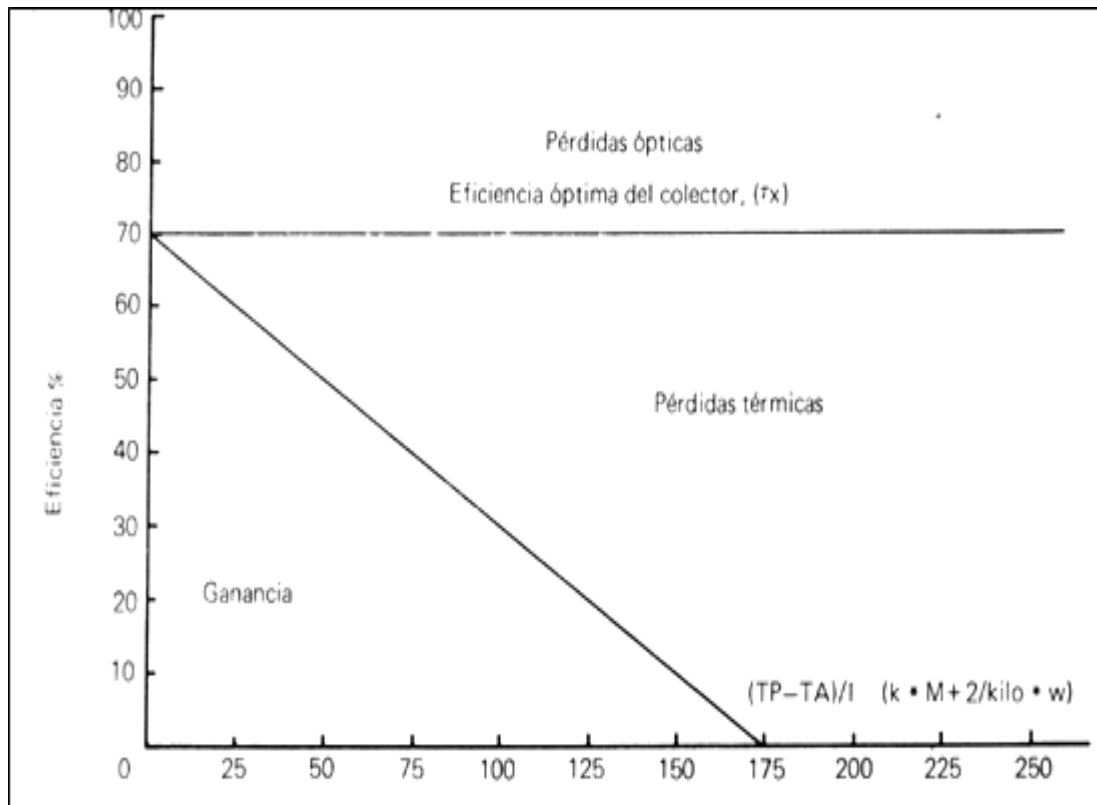


Figura 8. Descripción de la eficiencia del colector

Fuente: Claros (2008)

Vindas (2014) en su tesis denominada dimensionamiento, construcción y puesta en marcha de un sistema de secado de granos de café con uso de colectores solares, determinó que la eficiencia térmica del colector solar se ve afectada por muchos factores, entre ellos la cantidad de radiación solar que tenga al momento del secado y además el flujo de aire es la parte fundamental de que tan eficiente sea el colector solar. En La Figura 9, se muestra la eficiencia que tiene el colector solar con distintos flujos de aire y a distintas horas del día.

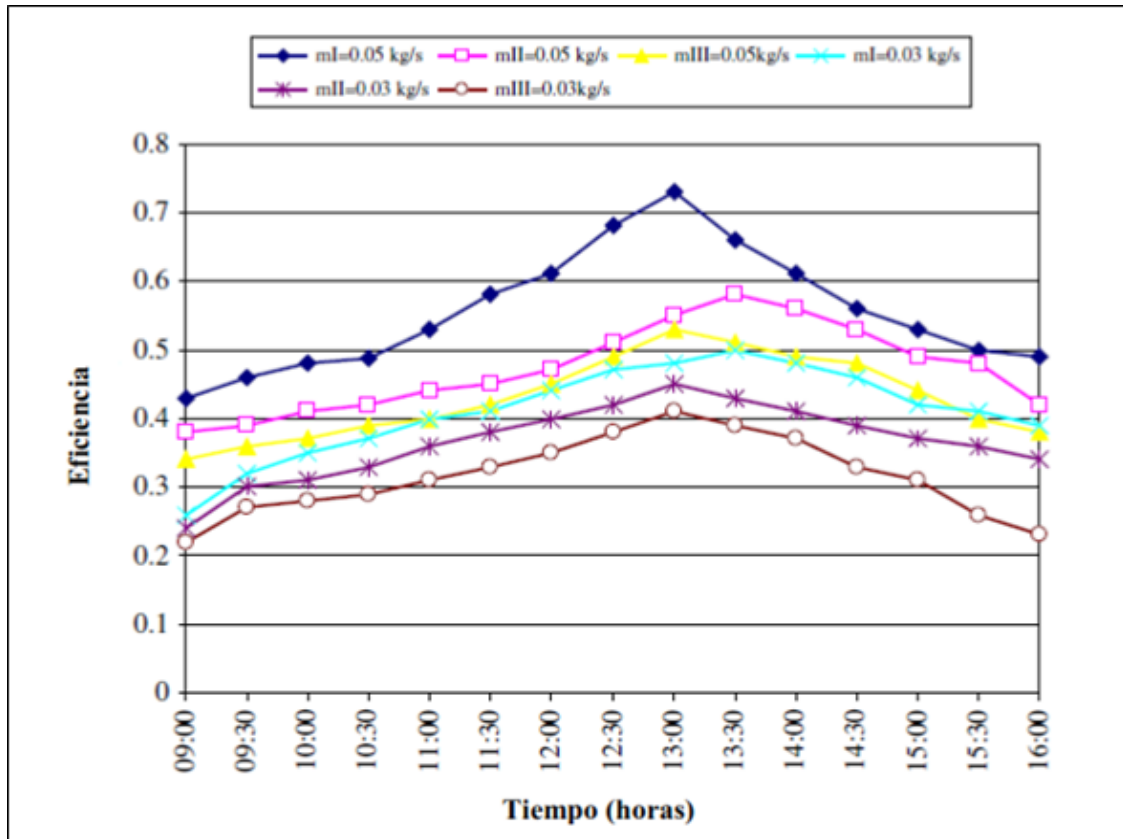


Figura 9. Eficiencia del colector solar con distintos flujos de aire y horas del día.

Fuente: Vindas (2014).

Luego de revisar los artículos anteriores y considerando que la eficiencia mínima de los colectores de placa plana evaluados es del 70% y teniendo en cuenta las especificaciones técnicas del fabricante consideramos este valor para el diseño del colector.

Según Yunus (2007) el calor adquirido por un colector solar se determina con la siguiente Ecuación (21).

$$Q_u = \dot{m} * C_p * (T_{sal} - T_{ent}) \quad (23)$$

Donde:

$\dot{m}$  = flujo masico

$C_p$  = calor específico del aire

$T_{ent}$  = temperatura de entrada al colector (temperatura ambiente)

$T_{sal}$  = temperatura de salida del colector

### 3.3.7.1. Cálculo final de diseño del colector solar

Teniendo en cuenta el desarrollo de las ecuaciones mostradas anteriormente, para el cálculo final del dimensionado del colector final, se aplicó La Ecuación 24.

$$Q_u = \dot{m} * C_p * (T_{sal} - T_{ent}) \quad (24)$$

Donde:

$\dot{m}$ = flujo masico

$C_p$ = calor específico del aire

$T_{ent}$ = temperatura de entrada al colector (temperatura ambiente)

$T_{sal}$ = temperatura de salida del colector

En este caso al reemplazar el valor del calor útil ganado por el colector en la ecuación fundamental se obtiene la siguiente Ecuación (25).

$$A = \frac{\dot{m} * C_p * (T_{sal} - T_{ent})}{\eta * I} \quad (25)$$

$$A = \frac{0,65 * 1000 * (24,9 - 14,9)}{0,70 * 0,148}$$

$$A = 62,7 \text{ m}^2$$

### 3.3.8. Dimensionado del sistema secador solar

La cámara de secado tiene un área de 65,97 m<sup>2</sup> de tipo invernadero, el recubrimiento a considerar es polietileno transparente con protección contra UV, la temperatura dentro de la cámara de secado será de 28,3 °C cuando la temperatura del ambiente sea de 14.9 °C. El conjunto de colectores solares elegido será de placa plana con absorción de radiación solar, tendrá vidrio para poder satisfacer la demanda de energía térmica de la cámara de secado. El conjunto constara de 32 colectores separados en cuatro grupos de 8 unidades conectados a un ventilador axial, para ello se consideró dos ventiladores extractores de aire que se ubican

al extremo de cada uno de los grupos para extraer el aire de los colectores y enviarlo a la cámara de secado.

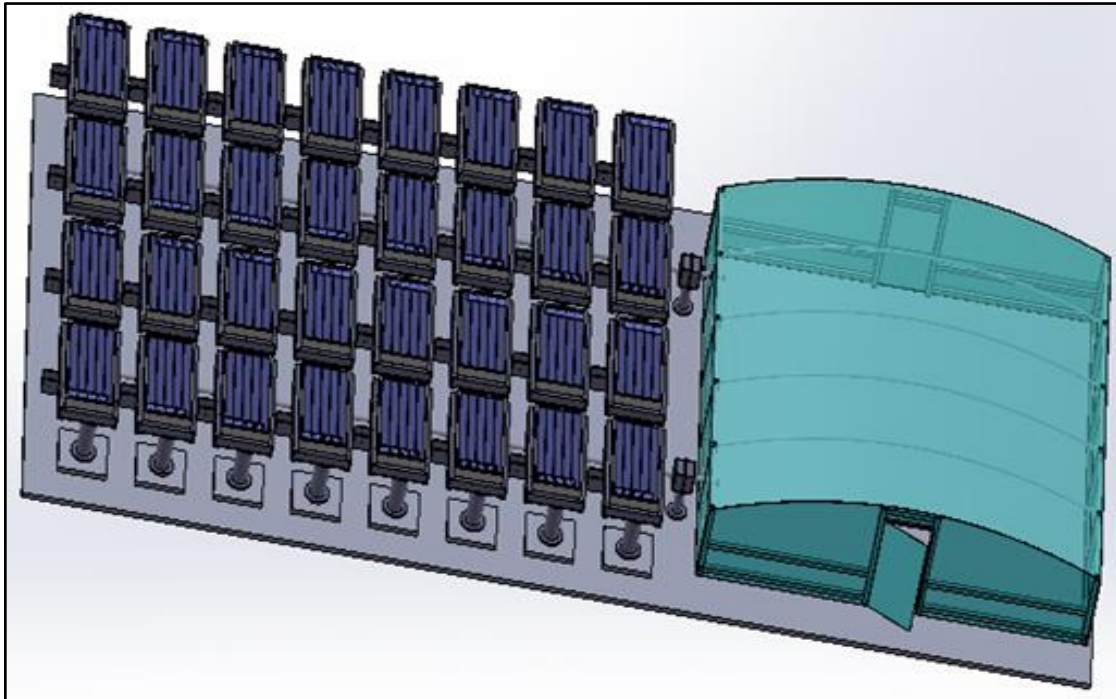
EL sistema requiere un área total de 157,31 m<sup>2</sup> donde se ubicarán el conjunto de colectores unido a la cámara de secado, los cuales están subdivididos en grupos de 8 colectores que conforman un área total de 91,34 m<sup>2</sup>, cada colector estará distanciado uno del otro 0,30 m en las columnas y 0,50 m entre filas. La Tabla 13, muestra el resumen de todos los valores que se calculó para el sistema de secador de café mediante colectores solares y La Figura 10, muestra el diseño completo del sistema, el plano del detalle de la conexión del secador solar se encuentra en el (Anexo 2).

Tabla 13

*Resumen de los valores obtenidos dentro de la cámara de secado*

<b>Ítem</b>	<b>Descripción</b>	<b>Valor</b>
1	Temperatura dentro de la cámara de secado	28,3 °C
2	Humedad relativa dentro de la cámara de secado	60 %
3	Área de la cámara de secado	65,97 m <sup>2</sup>
4	Área del sistema de colectores solares	91,34 m <sup>2</sup>
5	Temperatura de salida del colector solar	24.9 °C
6	Flujo de aire a la cámara de secado	0.65 kg/s

Fuente: Elaboración propia



*Figura 10.* Diseño del sistema secador solar

Fuente: Elaboración propia

### **3.3.8.1. Dimensionado del colector**

El subsistema de colectores diseñado tiene una medida total de  $62,7 \text{ m}^2$  el cual estará dividido en colectores de  $2 \text{ m}^2$  cada uno. Se considera este tamaño de colector para así evitar curvaturas en la placa de absorción y rupturas o agrietamientos en ducha área. En total se consideran 32 colectores solares que suman un área total de captación de radiación solar de  $64 \text{ m}^2$  que a su vez estarán divididos en dos grupos de 16 colectores cada grupo por los que circulará aire y se calentará para luego pasar a la cámara de secado, este aire será extraído por un ventilador extractor de aire, mediante tuberías de polietileno.

Los colectores estarán ubicados con un ángulo de inclinación de  $7,42^\circ$  para su óptimo rendimiento, calculado anteriormente. Los colectores estarán ubicados a  $0,70 \text{ m}$  en la parte de captación del aire frío



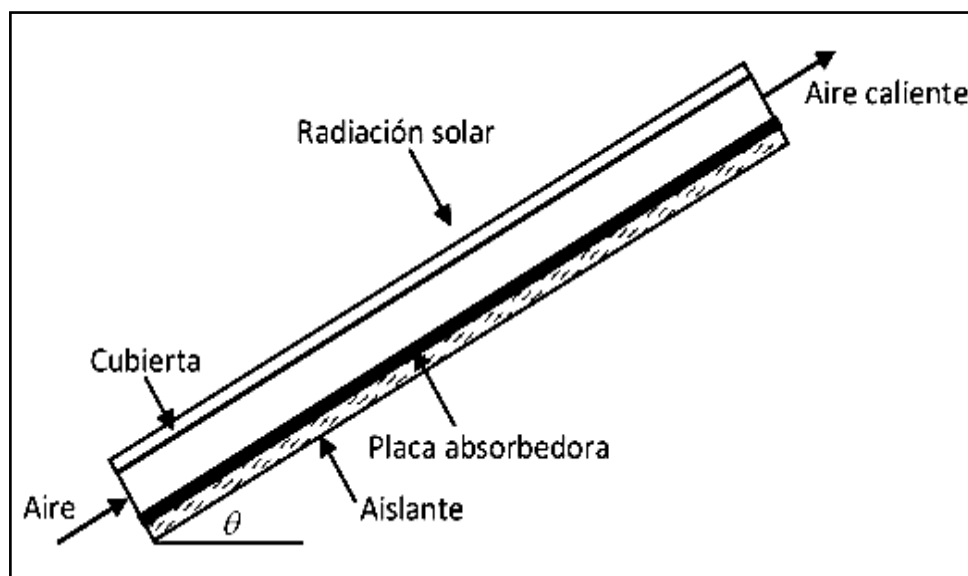


Figura 11. Geometría del colector solar

Fuente: Google imágenes

### 3.3.8.2. Dimensionado de la cámara de secado

La cámara de secado está diseñada con un área total de  $65,97 \text{ m}^2$ , cuenta con una estructura metálica tipo invernadero, esta forma de secador aumenta la capacidad de captar la energía solar, este tipo de estructura tiene en su parte central una altura de  $2,00 \text{ m}$  está diseñado para que el acceso sea fácil, y para que al momento de ingresar y salir con el producto no se tenga inconvenientes y la característica más importante es que es de fácil montaje y bajo costo.

Estas cámaras de secado tipo invernadero son más eficientes a la hora de aprovechar la radiación solar debido a que su estructura le permite absorberla en la mayor parte de su estructura. Esta estructura estará cubierta con material de polietileno transparente con protección UV de  $200 \text{ micrones}$  de espesor que captará la radiación solar, estas dimensiones son las más eficientes y más comerciales.

#### a) Estructura de la cámara de secado

La estructura que soportará la cubierta de polietileno será de tubo galvanizado redondo en forma de invernadero ya que se trata de un tipo de construcción económico y fácil de realizar, buena absorción de la radiación solar y rápido montaje. La Figura 12, muestra una estructura referencial del sistema.



*Figura 12.* Estructura de hierro galvanizado de la cámara de secado

Fuente: Google imágenes

#### **b) Cubierta de la cámara de secado**

La cubierta es de uso comercial muy usado para los secadores de café en esta zona del país, es económica y de buena durabilidad. La Figura 13, muestra una cubierta referencial de la cámara y el (Anexo 6) muestra las especificaciones técnicas de la cubierta.



*Figura 13.* Imagen referencial de una cubierta de la cámara De secado

Fuente: Google imágenes

### 3.3.9. Inserción de aire a la cámara de secado

El sistema de ventiladores está diseñado para satisfacer la demanda de aire que requiere la cámara de secado para evaporar el agua contenida en el producto, consta de dos ventiladores de flujo axial que extraerán el aire previamente calentado en los colectores solares, y transportado mediante tubería hasta la cámara de secado. El flujo de aire insertado a la cámara de secado debe tener una capacidad de  $0,74 \text{ m}^3/\text{s}$ . Por lo que la capacidad mínima de cada ventilador será de  $0,37 \text{ m}^3/\text{s}$ , siendo el modelo a utilizar TBN-D I 355- 6P 1/4hp. La Figura 14, muestra el modelo de ventilador utilizado en el sistema.



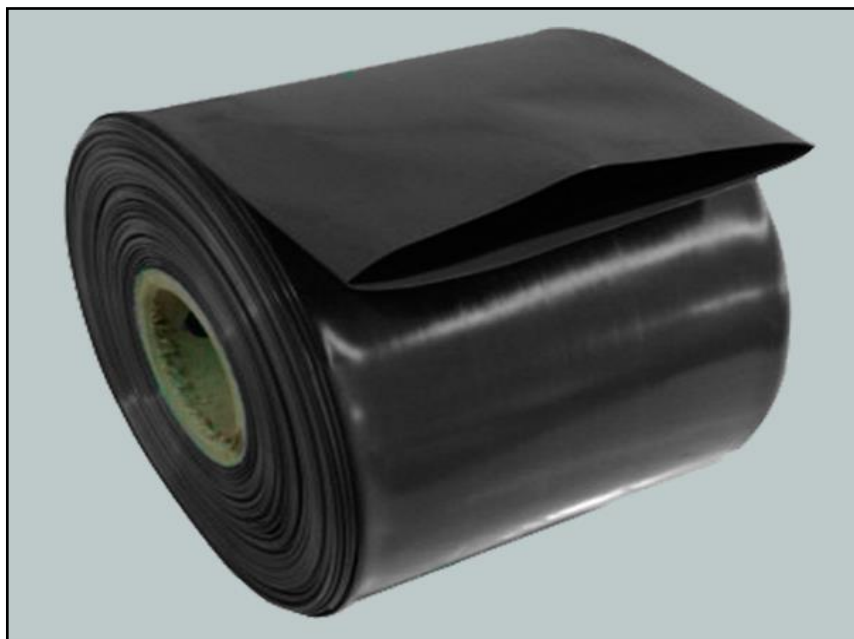
*Figura 14.* Ventilador extractor de aire.

Fuente: Soler & Palau.

El aire será transportado mediante tubería de polietileno dotada de aislamiento térmico en el exterior para evitar las pérdidas de calor en el ambiente. Los conductos serán redondos con un diámetro de 3 pulgadas. la longitud total de la tubería a utilizar es de 31 metros, desde la conexión del primer colector hasta la cámara de secado. Se utilizará un adaptador tipo reducción para conectarla la tubería que llega de los colectores hasta el ventilador. La Figura 15, muestra el tipo de tubería utilizada en el diseño del sistema y La Figura 16, muestra el modelo de la manga para unir el ventilador con la tubería.



*Figura 15.* Tipo de tubería utilizada en el diseño del sistema.  
Fuente: Google imágenes



*Figura 16.* Modelo de manga para unir ventilador con tubería.  
Fuente: Google imágenes

### 3.3.10. Descripción de los materiales utilizados en el diseño del sistema.

Los materiales a utilizar en este diseño, se establecieron teniendo en cuenta las condiciones del caficultor beneficiario, la zona de investigación y la producción de café, por lo cual se estableció utilizar materiales que se encuentran disponibles en el mercado, sin afectar el diseño del secador, debido a una posible ampliación del sistema a futuro. La Tabla 13, muestra los materiales utilizados en el sistema del secador solar.

Tabla 14

*Descripción de materiales utilizados en el sistema del secador solar*

	<b>Descripción del material</b>
<b>I Cámara de secado</b>	
Estructura de la cámara de secado	Fierro galvanizado redondo
Cubierta de la cámara	Polietileno con protección anti UV
<b>II Colector solar</b>	
Cubierta del colector solar	Vidrio transparente de 4mm de espesor
La placa colectora	-
El aislamiento del colector	Fibra de vidrio
Soportes del colector	Fierro galvanizado
<b>III Transporte de aire</b>	
Ventiladores	Tubular centrifugo
Ductos de transporte del aire	Tubos de Policloruro de vinilo (PVC)

Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.11. Mantenimiento correctivo del sistema

El proyecto se basa en la vida útil del colector solar, teniendo en cuenta los datos brindados por el fabricante la vida útil es de veinte años, durante el cual lo que se deberá cambiar la cubierta de la cámara de secado que tiene un tiempo de duración de tres años y el ventilador que tiene vida útil de seis años.

**a) Costo de cambio de cubierta.**

En la vida útil del proyecto se considera cambiar seis veces la cubierta. Debido a que la durabilidad de esta es de tres años.

Con La Ecuación 26, se calculó el costo total de la cubierta durante el periodo del proyecto.

$$C_t = C_u * (\#veces) \quad (26)$$

Donde:

$C_t$ : costo total del cambio de cubierta

$C_u$ : costo unitario de la cubierta.

$$C_t = 800 * 6$$

$$C_t = 4\,800 \text{ S./}$$

**b) Costo de cambio de ventilador**

Teniendo en cuenta que ventilador tiene una vida útil de seis años se estableció un cambio de tres veces, con La Ecuación 27, se realizó el cálculo de reposición del ventilador.

$$C = C_v * N_v * (\text{veces de cambio}) \quad (27)$$

Donde:

$C$ : costo total

$C_v$ : costo del ventilador

$N_v$ : número de ventiladores

$$C = 600 * 2 * 3$$

$$C = 3\,600 \text{ S./}$$

### 3.3.12. Presupuesto del proyecto

Para determinar el presupuesto del sistema, se insertó todos los costos habidos, como materiales, accesorios, entre otros referentes al sistema del secador solar, además se incluyó el costo de mantenimiento y montaje mecánico del sistema. El presupuesto referencial detallado con los precios de cada partida se muestra en el (Anexo 1). La Tabla 15, muestra el presupuesto referencial general del sistema de secador solar.

Tabla 15

*Presupuesto referencial general del sistema de secador solar.*

<b>Ítem</b>	<b>Descripción</b>	<b>Sub total</b>
1	Subsistema la cámara de secado	3 800,00
2	Subsistema de colectores solares	25 600,00
3	Elementos para la conducción de aire	2 072,00
4	Montaje mecánico	3 000,00
5	Mantenimiento	200,00
<b>Sub total S/.</b>		<b>34 672,00</b>
<b>Gastos generales 10 %</b>		<b>3 467,20</b>
<b>Total S/.</b>		<b>38 139,20</b>

Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.13. Evaluación económica

Para analizar la viabilidad económica del proyecto, tenemos el presupuesto total con una suma de 38 139,20 Nuevos Soles.

#### 3.3.13.1. Cálculo del precio del café

Para establecer el precio del café, se tomó en cuenta la certificación alemana *Fairtrade* o Comercio Justo, debido a que establece un precio justo a los caficultores y no depende del valor de la bolsa de valores de New York, Estados Unidos, con la cual se establece el precio

del Café de exportación, para realizar los cálculos del valor del café en esta parte del país se tomó como referencia la Asociación de Productores Cafetaleros Café Diamante Verde R.U.C 20604223424. La Tabla 16, muestra los datos a utilizar para calcular el precio del café.

Tabla 16

*Datos utilizados para calcular el precio del café de exportación.*

<b>Descripción</b>	<b>Valor</b>
Peso del saco de café	55,2 kg.
Peso del saco de café en oro exportable	46 kg.
Nivel de humedad del café según norma técnica	12%
Nivel de humedad del café secado en secador solar	12%
Nivel de humedad del café secado artesanalmente	15 a 18%
Rendimiento del café secado artesanalmente	75%
Rendimiento del café secado en secador solar	78% a mas
Precio del café exportable con la certificación Fairtrade o Comercio Justo, incluido gastos administrativos de la certificadora y asociación.	160,00 Dólares
Precio del café exportable con la certificación Fairtrade o Comercio Justo, neto para el caficultor.	135,00 Dólares

Fuente: Elaboración propia.

**a) Cálculo del precio del café por rendimiento**

Para efectos de cálculos monetarios se establece que el precio del dólar en Perú es de 3,57 Nuevos Soles a la fecha 14 de agosto de 2020, según la Superintendencia de Banca y Seguros y AFP. El rendimiento del café secado de manera artesanal considerando los valores establecidos en La Tabla 16, se calculó con La Ecuación 28.

$$\text{Café oro exportable} = \text{Peso del saco de cafe} * \% \text{ de rendimiento} \quad (28)$$

$$\text{Café oro exportable} = 55,2 * 0,75$$

$$\text{Café oro exportable} = 41,4 \text{ kg}$$



$$\text{Precio del kg. café oro} = \frac{\text{Precio del café exportable}}{\text{Peso del saco café oro exportable}}$$

$$\text{Precio del kg. café oro} = \frac{135}{46}$$

$$\text{Precio del kg. café oro} = 2,93 \text{ Dólares}$$

Por lo tanto:

$$\text{Precio del café} = 41,4 * 2,93$$

$$\text{Precio del café} = 121,30 \text{ Dólares}$$

$$\text{Precio del café} = \mathbf{433,00 \text{ Nuevos Soles}}$$

Teniendo en cuenta la ecuación anterior se calculó el rendimiento del café secado en el secador solar.

$$\text{Café oro exportable} = 55,2 * 0,78$$

$$\text{Café oro exportable} = 43,05 \text{ kg}$$

$$\text{Precio del kg. café oro} = \frac{135}{46}$$

$$\text{Precio del kg. café oro} = 2,93$$

Por lo tanto:

$$\text{Precio del café} = 43,05 * 2,93$$

$$\text{Precio del café} = 126,13 \text{ Dólares}$$

$$\text{Precio del café} = \mathbf{450,00 \text{ Nuevos Soles}}$$

#### b) Descuento por humedad del café

Para calcular el descuento en kg, cuando el café no presenta el rango de humedad óptimo del 12%, se utilizó La Ecuación 29.

(29)

$$\text{Descuento en kg} = \frac{\text{Humedad del café} - \% \text{ humedad optima} * \text{Peso del saco}}{\% \text{Café seco}}$$

$$\text{Descuento en kg} = \frac{15 - 12 * 55,2}{88}$$

$$\text{Descuento en kg} = 1,88$$

Por lo tanto, al tener en cuenta que el precio del café es de 2,93 dólares por kg., hallamos el valor de descuento por humedad.

$$\text{Precio del descuento} = \text{Descuento en kg} * \text{Precio del kg}$$

$$\text{Precio del descuento} = 1,88 * 2,93$$

$$\text{Precio del descuento} = 5,50 \text{ dólares}$$

$$\text{Precio del descuento} = 19,60 \text{ Nuevos Soles}$$

Finalmente teniendo en cuenta el descuento por humedad de 19,60 Nuevos Soles, el precio final por saco de café secado artesanalmente es 413,40 Nuevos Soles.

### 3.3.13.2. Ingreso monetario anual al utilizar el sistema de secador solar

Para determinar el ingreso monetario utilizando el sistema de secador solar se tiene en cuenta que el precio del café secado artesanalmente es 413,40 Nuevos Soles y el precio del café secado en el secador solar es 450,00 Nuevos Soles y la cantidad de café producida anualmente por el caficultor es 150 sacos. El cálculo se realizó con La Ecuación (30).

$$\text{Ingreso monetario anual} = P. \text{ café sec. sist} - P. \text{ café sec. art} * \text{Cant. prod} \quad (30)$$

$$\text{Ingreso monetario anual} = 450,00 - 413,40 * 150$$

$$\text{Ingreso monetario anual} = 5 490,00 \text{ Nuevos Soles}$$

Donde:

$P. \text{ café sec. sist}$  = Precio del café secado en sistema secador solar

$P. \text{ café sec. art}$  = Precio del café secado artesanalmente

$\text{Cant. prod}$  = Cantidad producida anualmente

### 3.3.13.3. Análisis de inversión TIR y VAN

Utilizando las formulas financieras del Excel se realizaron los cálculos de inversión TIR y VAN, y el retorno de inversión del proyecto, teniendo en cuenta el mantenimiento correctivo cambio de cubierta cada tres años y cambio de ventiladores cada seis años, el presupuesto del proyecto es de 38 139,20 Nuevos Soles, ingreso monetario anual 5 490,00 Nuevos Soles y una tasa de rentabilidad mínima del 5 %, cuyos datos representan la viabilidad económica del proyecto formulado. La Tabla 17, muestra la base de datos utilizados en el análisis del TIR y VAN, y la Tabla 18, muestra los resultados del análisis con un TIR de 11 %, VAN de S/. 22 757,17 y un retorno de inversión de 8 años.

Tabla 17

*Base de datos utilizados en el análisis del TIR y VAN.*

<b>Años</b>	<b>Inversión inicial</b>	<b>Gastos</b>	<b>Ingresos</b>	<b>Flujo de caja</b>	<b>Flujo de caja actualizado</b>	<b>Flujo de caja acumulado</b>
0	38139.2	0.00	0.00	-38139.20	-38139.20	-38139.20
1	0.00	200	5490	5290.00	5038.10	-33101.10
2	0.00	200	5490	5290.00	4798.19	-28302.92
3	0.00	1000	5490	4490.00	3878.63	-24424.29
4	0.00	200	5490	5290.00	4352.10	-20072.19
5	0.00	200	5490	5290.00	4144.85	-15927.34
6	0.00	2200	5490	3290.00	2455.05	-13472.29
7	0.00	200	5490	5290.00	3759.50	-9712.79
8	0.00	200	5490	5290.00	3580.48	-6132.31
9	0.00	1000	5490	4490.00	2894.29	-3238.01
10	0.00	200	5490	5290.00	3247.60	9.59
11	0.00	200	5490	5290.00	3092.95	3102.54
12	0.00	2200	5490	3290.00	1832.00	4934.54
13	0.00	200	5490	5290.00	2805.40	7739.94
14	0.00	200	5490	5290.00	2671.81	10411.75
15	0.00	1000	5490	4490.00	2159.77	12571.51
16	0.00	200	5490	5290.00	2423.41	14994.92

17	0.00	200	5490	5290.00	2308.01	17302.93
18	0.00	2200	5490	3290.00	1367.06	18670.00
19	0.00	200	5490	5290.00	2093.43	20763.43
20	0.00	200	5490	5290.00	1993.75	22757.17

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18

*Resultados del análisis TIR y VAN.*

<b>Año</b>	<b>Ingresos totales</b>	<b>Egresos totales</b>	<b>Costo fijo</b>	<b>Flujo neto efectivo</b>
0			-38139.2	-38139.2
1	5490	200		-32849.2
2	5490	200		-27559.2
3	5490	1000		-23069.2
4	5490	200		-17779.2
5	5490	200		-12489.2
6	5490	2200		-9199.2
7	5490	200		-3909.2
8	5490	200		1380.8
9	5490	1000		5870.8
10	5490	200		11160.8
11	5490	200		16450.8
12	5490	2200		19740.8
13	5490	200		25030.8
14	5490	200		30320.8
15	5490	1000		34810.8
16	5490	200		40100.8
17	5490	200		45390.8
18	5490	2200		48680.8
19	5490	200		53970.8
20	5490	200		59260.8
<b>TIR</b>				<b>11 %</b>
<b>VAN</b>				<b>S/. 22,757.17</b>

Fuente: Elaboración propia.

#### IV. RESULTADOS

Los resultados de los subsistemas cámara de secado, colectores solares y ventilación, además de los resultados de la evaluación económica del proyecto sistema de secador solar para el distrito de La Coipa, provincia de San Ignacio se detallan a continuación.

Tabla 19

*Resultados del diseño para el subsistema cámara de secado.*

Especificaciones técnicas de diseño	Área m <sup>2</sup>	Altura m	Cubierta	
			Espesor (micras)	Duración años
La cámara de secado estructura y cubierta.	65,97	2	200	3

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 20

*Resultados del diseño para el subsistema de colectores solares.*

Especificaciones técnicas de diseño	Área m <sup>2</sup>	Colector		
		Temperatura de salida °C	Modelo	Duración años
El subsistema está conformado por 32 colectores Termocan serie NEO	91,34	24,9	Termocan NEO 18	20

Fuente: Elaboración propia.



Tabla 21

*Resultados del diseño del ventilador*

Especificaciones técnicas de diseño	Ventilador			
	Cantidad	Capacidad mínima m <sup>3</sup> /s	Modelo	Duración años
El flujo de aire insertado a la cámara de secado debe tener una capacidad de 0,74 m <sup>3</sup> /s.	2	0,37	TBN-D I 355- 6P 1/4hp	6

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 22

*Resultados de la evaluación económica del proyecto.*

Presupuesto	Ingreso monetario anual	COK o Tasa de rentabilidad mínima	TIR	VAN	Retorno de inversión
S/. 38 139,20	S/. 5 490,00	(0,05) 5%	11	S/. 22 757,17	8 años

Fuente: Elaboración propia.

## V. DISCUSIÓN

Quintanar y Roa (2017), en una investigación concluyeron que el secado de café de manera artesanal es de nueve a doce días, pero con su secador solar fue de cinco días promedio de secado de café, además el secador obtuvo una temperatura máxima de 46 °C con una humedad máxima del 60%. Este sistema de secador de café mediante colectores reduce la humedad desde un 40% hasta 60% en promedio y tiene un tiempo de secado de cinco días llegando a la humedad óptima del 12 %.

Mendez, (2017) realizó un estudio donde construyó un secador solar llegó a la conclusión que el incremento de la temperatura dentro del secador es dependiente a la cantidad de radiación que le llega, los valores alcanzados en este prototipo diseñado para el secado de maíz o frijol, se obtuvo una temperatura máxima de 55 °C. El diseño del secador de café por colectores ingresa una temperatura de 24,90 °C a la cámara de secado.

De la Vega, (2017) realizó un prototipo de secador solar donde realizaron pruebas de secado y obtuvieron que el producto secado por convección natural demora 5 días, adicionándole un extractor de aire se obtuvo una disminución de cinco a dos días de secado, concluyendo de manera experimental que para un óptimo secado de producto (plátano) es con 60 °C de temperatura máxima y con un flujo de aire de 2.3m/s. En el diseño de secador mediante colectores para mejorar la eficiencia del sistema se instalaron dos ventiladores extractores de aire con una capacidad 0,37 m<sup>3</sup>/s permitiendo así que la capacidad del flujo de aire insertada a la cámara de secado sea 0,74 m<sup>3</sup>/s.



## VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1. Conclusiones

- ✓ Según los datos evaluados para la zona de investigación, el nivel de radiación promedio mensual varía desde un mínimo en el mes de febrero de 3,18 kWh/m<sup>2</sup>/día al máximo siendo este octubre con 5,16 kWh/m<sup>2</sup>/día en relación a Gdm 5°. Para el proyecto se consideró el mes de menor radiación solar en el periodo de cosecha, que corresponde a julio con 3,56 kWh/m<sup>2</sup>/día.
- ✓ Se estimó que la cantidad de café producida por el caficultor beneficiario del proyecto es de 150 sacos de café pergamino.
- ✓ Para la implementación del sistema secador solar se calculó que se requieren una cubierta plástica para la cámara, 32 colectores, 6 ventiladores y 11 tubos de 3 Plg. PVC.
- ✓ Se estimó un área total de 157,31 m<sup>2</sup> para la instalación del sistema, del cual la cámara de secado tiene un área de 65,97 m<sup>2</sup>, y una altura de 2 m, el área de los colectores es de 91,34 m<sup>2</sup>.
- ✓ En la evaluación económica del proyecto se calculó un presupuesto referencial de S/.38 139,20. El retorno de inversión es de 8 años y un ingreso monetario anual de S/. 5 490,00.

### 6.2. Recomendaciones

- ✓ Se recomienda la implementación de un secador de café mediante colectores ya que se obtienen grandes ventajas en el secado de café, disminuyendo el tiempo de secado y aumentar el rendimiento del café.

- ✓ El sistema del secador de café podría ser implementado por asociaciones, cooperativas dedicadas al comercio y exportación del café y así brindarles solución a sus socios en cuanto al secado del café.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almuhanna , E. (2012). Utilization of a Solar Greenhouse as a Solar Dryer for Drying Dates. *Journal of Agricultural Science*, 4(3), 237 - 246. Obtenido de <http://www.ccsenet.org/journal/index.php/jas/article/view/11772>
- Bedregal, R. (2014). diseño, modelo matemático y simulación de un colector solar de doble flujo y ventilacion forzada, con generadores de turbulencia. *simposio peruano de energia solar y del ambiente (XXI - SPES)*, 11, 10 - 14. Obtenido de <https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as>
- Boonyasri, M., Lertsatitthanakorn, C., Wiset, L., & Poomsa-ad, N. (2001). Performance analysis and economic evaluation of a greenhouse dryer for pork drying. *KKU Engineering Journal*, 38(4), 433 - 442. Obtenido de <https://www.tci-thaijo.org/index.php/easr/article/view/1681/7798>
- Camacho, S., & Ramírez, O. (2015). *Diseño de un secador para café mediante el calentamiento del aire en dos etapas utilizando energia solar*. Universidad de Costa Rica, Costa Rica . Obtenido de <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/bitstream/123456789/3125/1/38678.pdf>
- Carrasco, H. (2017). *rendimiento de sistemas fotovoltaicos de 100Wp*. Obtenido de (tesis de pre grado) universidad nacional toribio rodriguez de mendoza : <http://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/UNTRM/1326/HENRY%20CAR RASC>
- Claros, F. M. (s.f.). colector solar de placa plana. *energia*, 67 - 77. Obtenido de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/ingainv/article/view/28627/28929>
- Corvalán , R., Horn, M., Román , R., & Saravia , L. (1992). *ingenieria del secado solar* . CYTED - D .
- De la Vega , F. (2017). *diseño y cosntruccion de un deshidratador de plátano mediante el aprovechamiento de energia solar pasiva para los laboratorios de la facultad de ingenieria civil y mecánica*. universidad tecnica de Ambato, Ambato, Ecuador . Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/25559>
- El-Sawi, A., Wifi, A., Younan , M., Elsayed, E., & Basily, B. (2010). application of folded sheet metalin flat bed solar air collectors. *Applied Thermal Engineering*, 30, 864 - 871. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1359431109003652>

- Espinoza, J. (2016). innovacion en el deshidratado solar. *ingeniare. revista chilena de ingenieria, especial(24)*, 72 - 80. Obtenido de [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S07183305201600050010&lang=es](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S07183305201600050010&lang=es)
- Eufracio, W. (2010). *modelamiento y simulacion de un secador solar activo para granos en el valle del mantaro*. Obtenido de (tesis doctoral) universidad nacional de trujillo, trujillo, peru: <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/7730>
- Iglesias , R., José, R., Lastres, O., López, P., Farrena, N., & Ibáñez, G. (2017). diseño, construcción y evaluación de un secador solar para mango ataulfo. *revista mexicana de ciencias agricolas*, 8(8), 1719 - 1732. Obtenido de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S200709342017000801719&lang=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S200709342017000801719&lang=es)
- Maella, L., & Morales, J. (2018). evaluacion del comportamiento termico en regimen pasivo. *tecnologicas*, 21(41), 29-44. Obtenido de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S012377992018000100003&lang=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S012377992018000100003&lang=es)
- Mendez, E. (2017). *diseño, construccion y caracterizacion de prototipo de deshidratador solar para productos agrícolas*. universidad de el salvador, San Salvador, El Salvador . Obtenido de <http://ri.ues.edu.sv/13048/>
- Menya, E., & Komakech, A. (2013). Investigating the effect of different loading densities on selected properties of dried coffee using a GHE dryer. *Agric Eng Int: CIGR Journal*, 15(3), 231 - 237. Obtenido de <https://cigrjournal.org/index.php/Ejournal/article/view/2270/1785>
- Pumacalli, E., Ríos, V., & Molliendo, E. (2016). construccion de un secador solar para el secado de plantas medicinales de comercialización en la provincia de tambopata. *el ceprocimad*, 04(2), 53 - 67 . Obtenido de <https://journal.ceprosimad.com/index.php/ceprosimad/article/view/50>
- Quintanar , J., & Roa, R. (2017). evaluacion termica y financiera del proceso de secado de grano de café en un secador solar activo para invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agricolas*, 8(2), 321 - 331. Obtenido de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342017000200321&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342017000200321&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Vindas, A. M. (2014). dimensionamiento, construcción y puesta en marcha de un sistema de secado de granos de café con uso de colectores solares. San José, Costa Rica. Obtenido de <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/handle/123456789/3501>
- Yunus, C. (2007). *transferencia de calor y masa* . mexico : McGrau interamericana .

## **VIII. ANEXOS**

**ANEXO 1: Presupuesto referencial detallado del proyecto**

**ANEXO 2: Plano del detalle de la conexión del secador solar**

**ANEXO 3: Diseño del colector**

**ANEXO 4: Características y especificaciones técnicas del colector**

**ANEXO 5: Diseño de la cámara de secado**

**ANEXO 6: Características y especificaciones técnicas de la cubierta de la cámara**

**ANEXO 7: Diseño de la conexión de la tubería de extracción de aire**

**ANEXO 8: Características y especificaciones técnicas del ventilador**

**ANEXO 9: Sistema de secador de café mediante colectores solares**

**ANEXO 10: Vista de planta del sistema de secado**

**ANEXO 11: Soporte para colectores y ventiladores y diseño de la cámara de secado**

## Anexo 1: Presupuesto referencial detallado del proyecto

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

UBICACIÓN: CAJAMARCA - SAN IGNACIO - LA COIPA

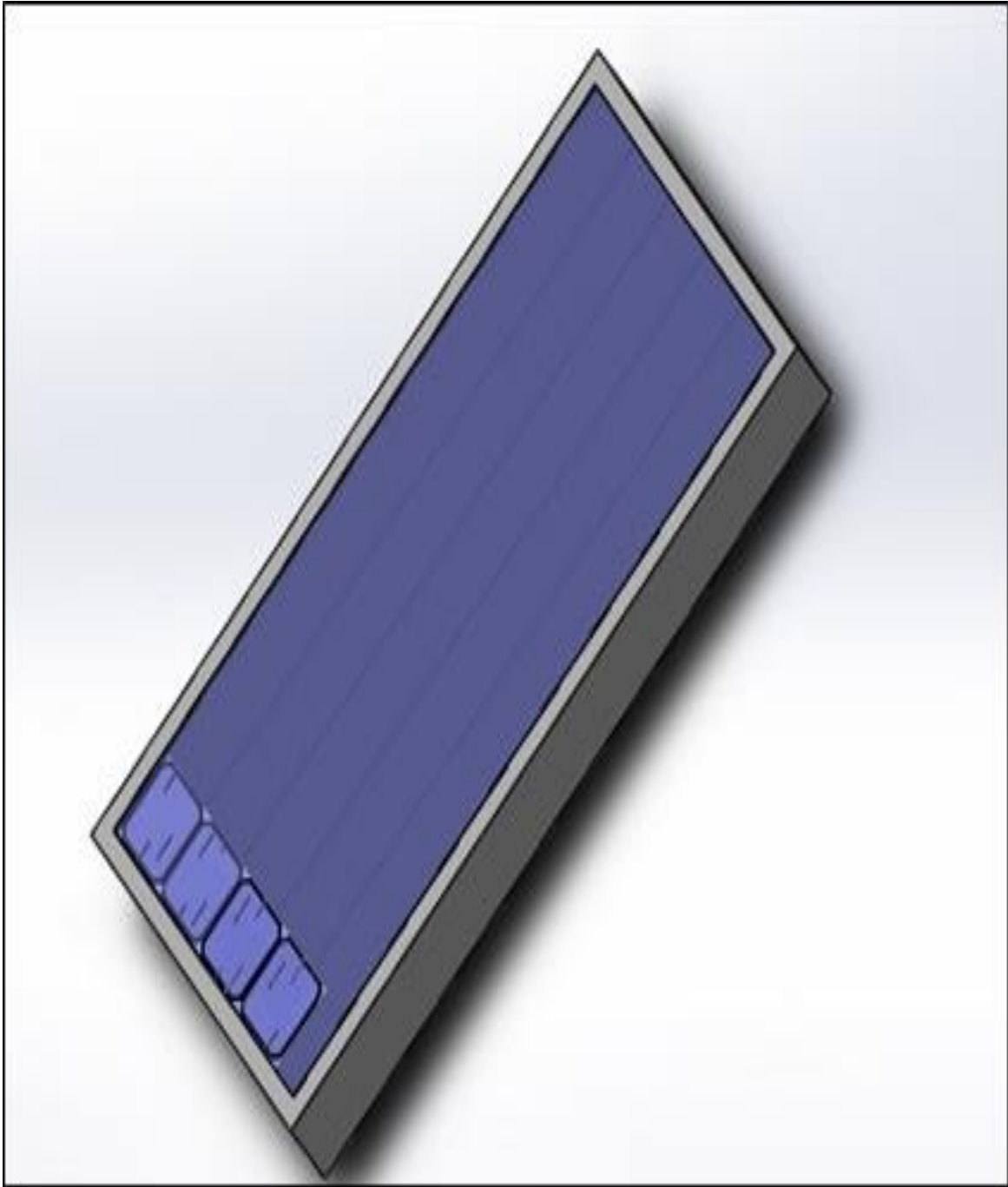
TESISTAS: MARCHENA QUINDE HAROLD HARMANN - VICENTE VASQUEZ JAMES WILLIAM

ITEM	DESCRIPCIÓN	UND	CANT.	PRECIO S/.	SUB TOTAL S/.
<b>SECADOR SOLAR</b>					
<b>I</b>	<b>SUMINISTRO DE MATERIALES Y EQUIPOS</b>				
<b>1.1</b>	<b>SUBSISTEMA LA CAMARA DE SECADO</b>				
1.1.1	Estructura de la cámara de secado	Und	1	3 000,00	3 000,00
1.1.2	Cubierta de la cámara de secado	Und	1	800,00	800,00
<b>1.2</b>	<b>SUBSISTEMA DE COLECTORES SOLARES</b>				
1.2.1	Colector solar Termocan Serie NEO	Und	32	650,00	20 800,00
1.2.2	Soporte para colector solar	Und	32	150,00	4 800,00
<b>1.3</b>	<b>ELEMETOS PARA LA CONDUCCION DE AIRE</b>				
1.3.1	Ventiladores extractores	Und	2	600,00	1 200,00
1.3.2	Unión de tubería con ventilador	m	1	50,00	50,00
1.3.3	Soporte para ventilador	Und	2	50,00	100,00
1.3.4	Tubo redondo PVC de 3 Plg	Und	11	26,00	286,00
1.3.5	Soporte para tubería	Und	8	50,00	400,00
1.3.6	Fibra de vidrio	m2	6	6,00	36,00
<b>II</b>	<b>MONTAJE MECANICO</b>				
2.1	Costo del montaje del sistema de secador	Gbl	1	3 000,00	3,000,00
2.2	Costo de mantenimiento	Gbl	1	200,00	200,00
<b>SUB TOTAL S/.</b>					<b>34 672,00</b>
<b>GASTOS</b>					
<b>GENERALES 10%</b>					<b>3 467,20</b>
<b>TOTAL S/.</b>					<b>38 139,20</b>

Anexo 2: Plano del detalle de la conexión del secador solar



Anexo 3: Diseño del colector



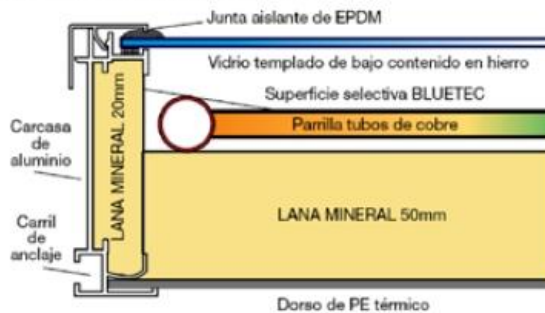


## Anexo 4: Características y especificaciones técnicas del colector

### COLECTOR SOLAR SELECTIVO DE ALTO RENDIMIENTO

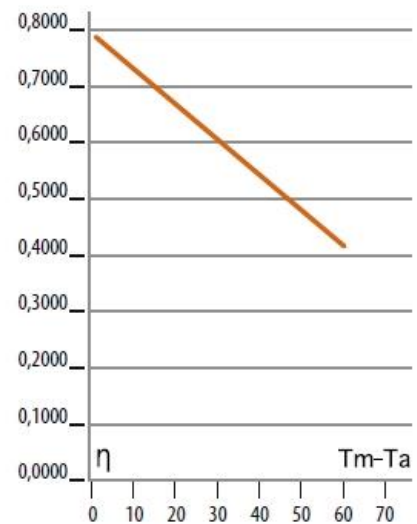
## TERMOCAN SERIE NEO

- Absorbedor continuo de cobre con tratamiento selectivo BLUETEC soldado por ultrasonidos a un colector cu. tipo arpa.
- Soldaduras en el absorbedor por inducción.
- Marco extrusionado al 100% y anodizado de alta calidad.
- Vidrio solar templado de alta resistencia y baja emisividad.
- Cubierta posterior en PE térmico.



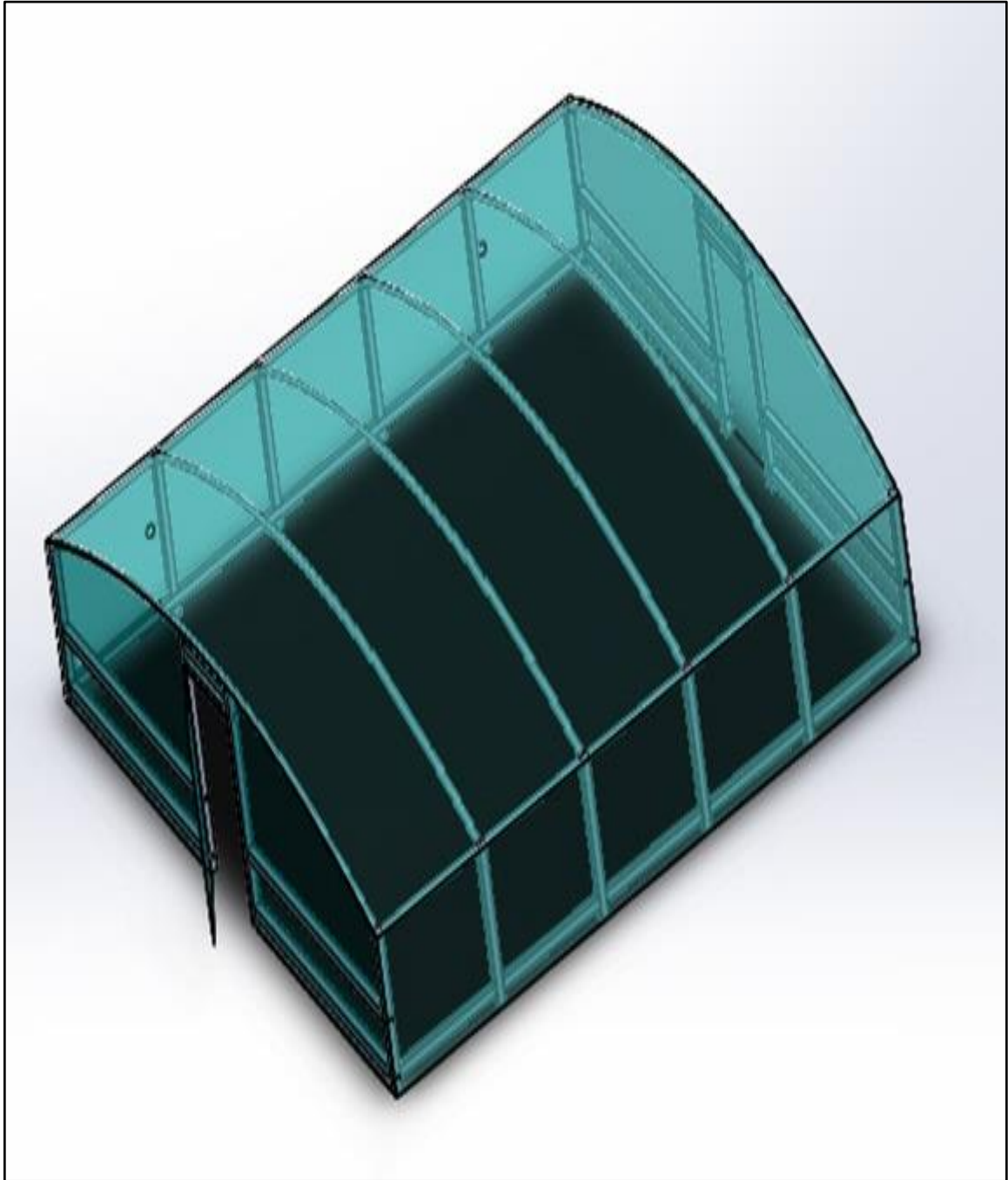
### CARACTERÍSTICAS DE LOS COLECTORES

Modelo		NEO 18	NEO 20	NEO 24	NEO 26	AH 26
Largo	mm	1.861	2.098	2.098	2.177	1.257
Anch	mm	1.056	1.056	1.256	1.256	2.176
Fondo	mm	94,5	94,5	94,5	94,5	96,0
Área total	m <sup>2</sup>	1,97	2,22	2,64	2,73	2,74
Área útil	m <sup>2</sup>	1,77	2,00	2,41	2,50	2,50
Cap. Fluido	L	1,40	1,50	1,70	1,80	2,22
Caudal R.	l/h	80	90	108	117	117
Salidas		4x22	4x22	4x22	4x22	4x22
$\eta$	%	75,70	75,70	75,70	76,90	75,90
a1	W/m <sup>2</sup> K	3,994	3,994	3,994	3,957	4,241
a2	W/m <sup>2</sup> K	0,009	0,009	0,009	0,010	0,003
certificaciób n NPS		5511	5611	6011	6111	30409
SOLAR KEYMARK		011-751517 F				ND




Referencia	Artículo
Termocan 1.8 A	Captador solar selectivo alto rendimiento
Termocan 2.0 A	Captador solar selectivo alto rendimiento
Termocan 2.4 A	Captador solar selectivo alto rendimiento
Termocan 2.6 A	Captador vertical solar selectivo alto rendimiento
Termocan 2.6 A	Captador horizontal solar selectivo alto rendimiento

Anexo 5: Diseño de la cámara de secado

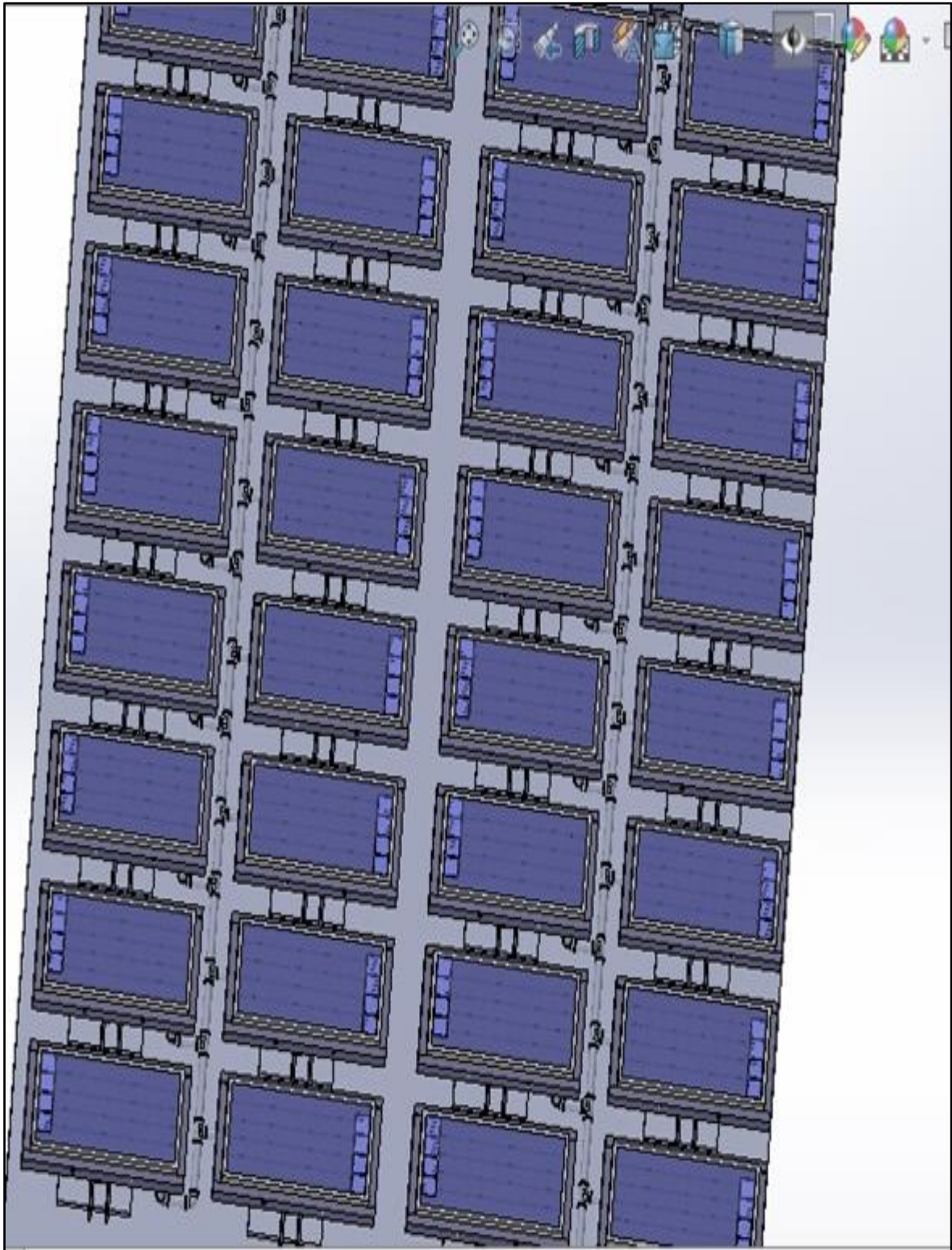


## Anexo 6: Características y especificaciones técnicas de la cubierta de la cámara

			
<b>FICHA TECNICA</b>			
<b>1.0 NOMBRE COMERCIAL DEL PRODUCTO:</b>			
Producto final: <b>PLASTERMIC DH</b>			
1.1. Identificación del fabricante:			
Nombre: <b>SOTRAFA S.A.</b>			
Dirección: Paraje Cartabona Nº 12 04710 Santa Mª del Aguila, El Ejido (Almeria-Spain)			
1.2. Identificación de la empresa importadora:			
Nombre: <b>MARUPLAST INTERNACIONAL EIRL</b>			
Dirección: Av. Primavera 120 Of. B -404 Surco, Lima - Perú			
<b>2.0 INFORMACIÓN Y CARACTERÍSTICA DEL PRODUCTO</b>			
Propiedades	Valor	Unidad	Norma
<b>Espesor Medio</b>	200	<b>Micras</b>	USE 53328
<b>Propiedades Mecánicas</b>			
• Tracción en el punto de rotura D.M.	21	Mpa	USE 53165
D.T.	20		
• Elongación Final		%	USE 53165
D.M.	600		
D.T.	800		
• Resistencia al rasgado		N	USE 53220
D.M.	9		
D.T.	14		
• Resistencia al impacto	700	g (F50)	USE 53119
<b>Propiedades Ópticas</b>			
• Transmisión global luz visible	84	%	ASTM D 1003
• Efecto Térmico	88	%	UNE 53328
• Dispersión luz visible	60	%	ASTM D 1003
<b>Duración</b>			
• Campañas agrícolas recomendadas	3	Campañas	UNE-53328



Anexo 7: Diseño de la conexión de la tubería de extracción de aire



## Anexo 8: Características y especificaciones técnicas del ventilador

### TBN-D - VENTILADOR CENTRÍFUGO TUBULAR 1200 RPM

#### Características técnicas 1200 RPM

##### TBN-D | 355 - 6P - 1/4HP

RPM	PRESIÓN ESTÁTICA inwg / mmca											
	0.175" / 4.445 mm		0.330" / 8.509 mm		0.5" / 12.7 mm		0.670" / 17.01 mm		0.825" / 20.955 mm		0.99" / 25.146 mm	
	CFM BHP	m³/hr LwA	CFM BHP	m³/hr LwA	CFM BHP	m³/hr LwA	CFM BHP	m³/hr LwA	CFM BHP	m³/hr LwA	CFM BHP	m³/hr LwA
1200	1,473	2,503	1,373	2,333	1,248	2,120	1,052	1,787	791	1,344	388	659
	0.18	72.5	0.21	72.5	0.23	72.5	0.24	72.2	0.24	71.92	0.17	72.81

##### TBN-D | 400 - 6P - 1/2HP

RPM	PRESIÓN ESTÁTICA inwg / mmca											
	0.26" / 6.604 mm		0.46" / 11.684 mm		0.67" / 17.018 mm		0.87" / 22.098 mm		1" / 25.4 mm		1.25" / 31.75 mm	
	CFM BHP	m³/hr LwA	CFM BHP	m³/hr LwA	CFM BHP	m³/hr LwA	CFM BHP	m³/hr LwA	CFM BHP	m³/hr LwA	CFM BHP	m³/hr LwA
1200	2,082	3,537	1,938	3,293	1,748	2,970	1,472	2,501	1,227	2,085	592	1,006
	0.34	76.5	0.38	76.7	0.41	76.4	0.43	75.9	0.44	75.7	0.33	76.9

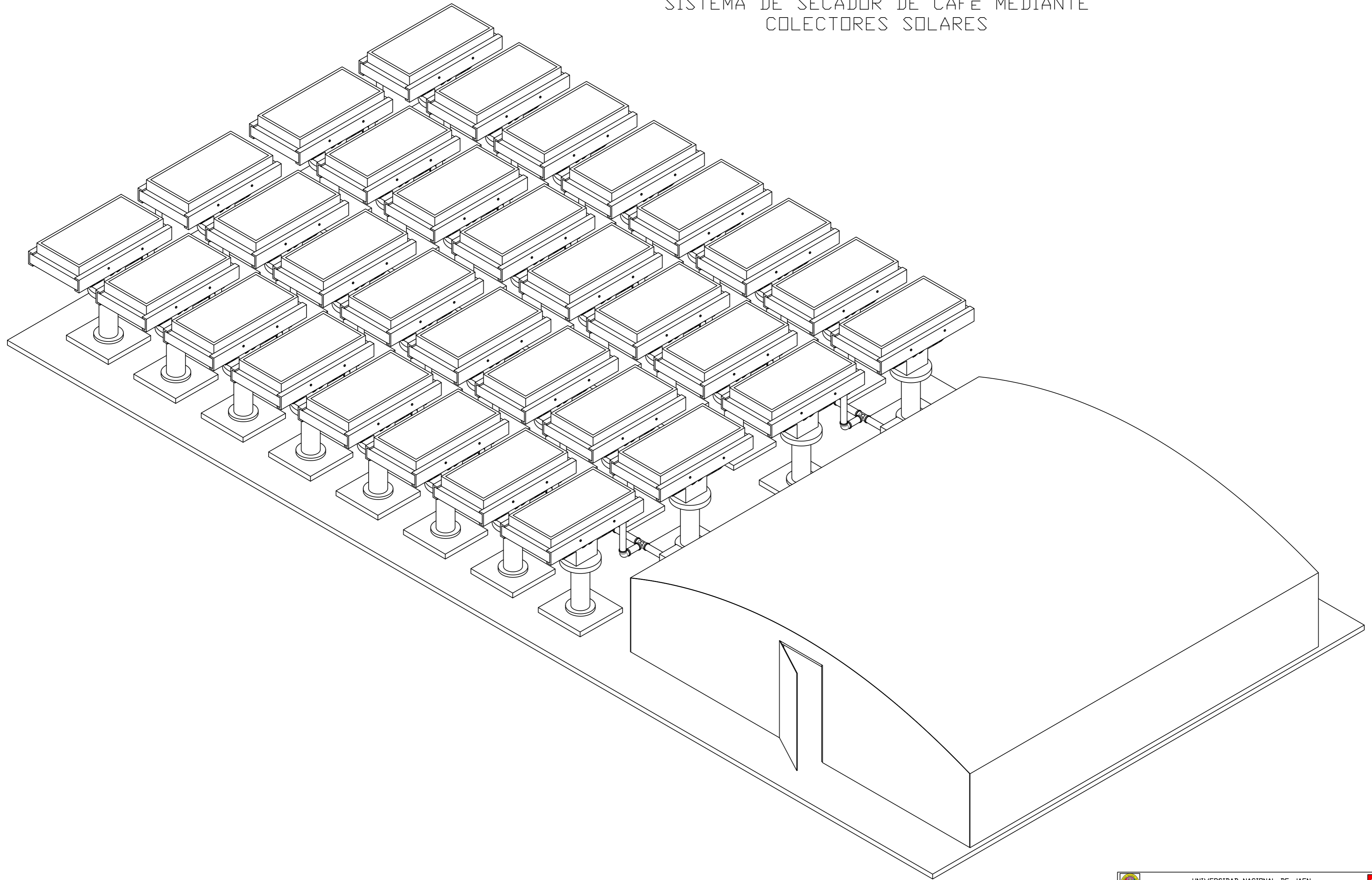
##### TBN-D | 450 - 6P - 1HP



RPM	PRESIÓN ESTÁTICA inwg / mmca											
	0.4" / 10.16 mm		0.625" / 15.87 mm		0.85" / 21.59 mm		1" / 25.4 mm		1.25" / 31.75 mm		1.5" / 38.1 mm	
	CFM BHP	m³/hr LwA	CFM BHP	m³/hr LwA	CFM BHP	m³/hr LwA	CFM BHP	m³/hr LwA	CFM BHP	m³/hr LwA	CFM BHP	m³/hr LwA
1200	2,909	4,942	2,722	4,625	2,487	4,225	2,276	3,867	1,783	3,029	1,165	1,979
	0.63	80.7	0.70	80.5	0.75	80.0	0.77	80.0	0.79	80.0	0.71	81

##### TBN-D | 500 - 6P - 1 1/2HP

RPM	PRESIÓN ESTÁTICA inwg / mmca											
	0.4" / 10.16 mm		0.75" / 19.05 mm		1" / 25.4 mm		1.375" / 34.92 mm		1.65" / 41.91 mm		1.95" / 49.784 mm	
	CFM BHP	m³/hr LwA	CFM BHP	m³/hr LwA	CFM BHP	m³/hr LwA	CFM BHP	m³/hr LwA	CFM BHP	m³/hr LwA	CFM BHP	m³/hr LwA
1200	4,071	6,917	3,755	6,380	3,476	5,906	2,842	4,829	2,175	3,695	1,112	1,889
	1.03	84.0	1.17	83.6	1.25	83.3	1.32	82.7	1.33	82.7	0.98	84.2

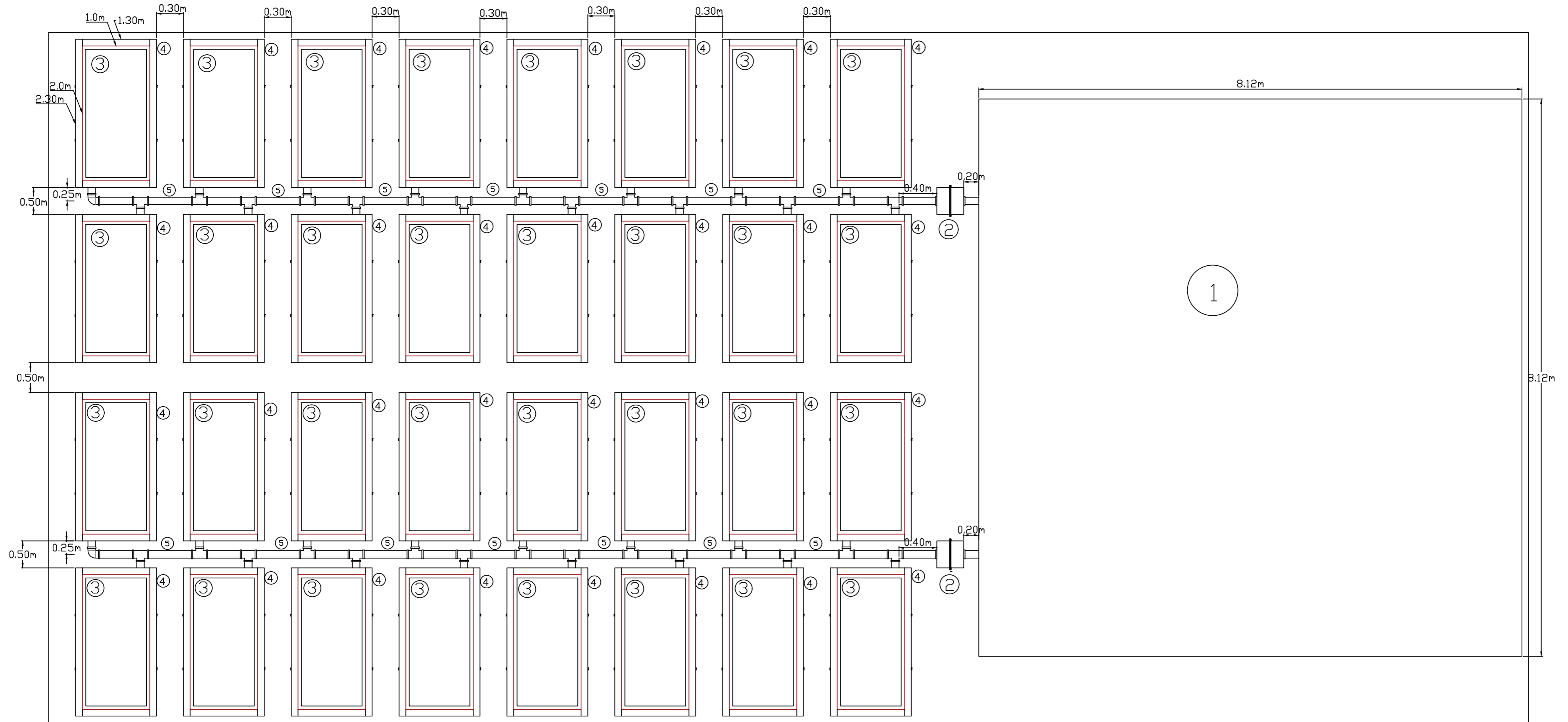
SISTEMA DE SECADOR DE CAFÉ MEDIANTE  
COLECTORES SOLARES




	UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN Carrera Profesional de Ingeniería Mecánica y Eléctrica	
DIBUJADO POR: Bach. HAROLD HARMANN Marchena Quinde Bach. JAMES WILLIAM Vicente Vasquez	TESIS	ESCALA: S/N
DEPARTAMENTO: CAJAMARCA	DISEÑO DE UN SECADOR DE CAFÉ MEDIANTE COLECTORES SOLARES PARA EL DISTRITO DE LA COIPA, SAN IGNACIO, CAJAMARCA	LAMINA N° 1
PROVINCIA: JAÉN		



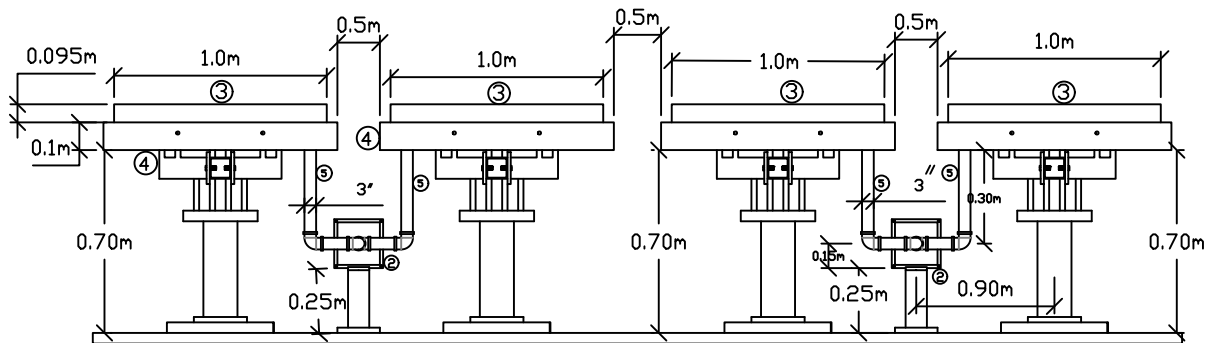
# VISTA DE PLANTA DEL SISTEMA DE SECADO



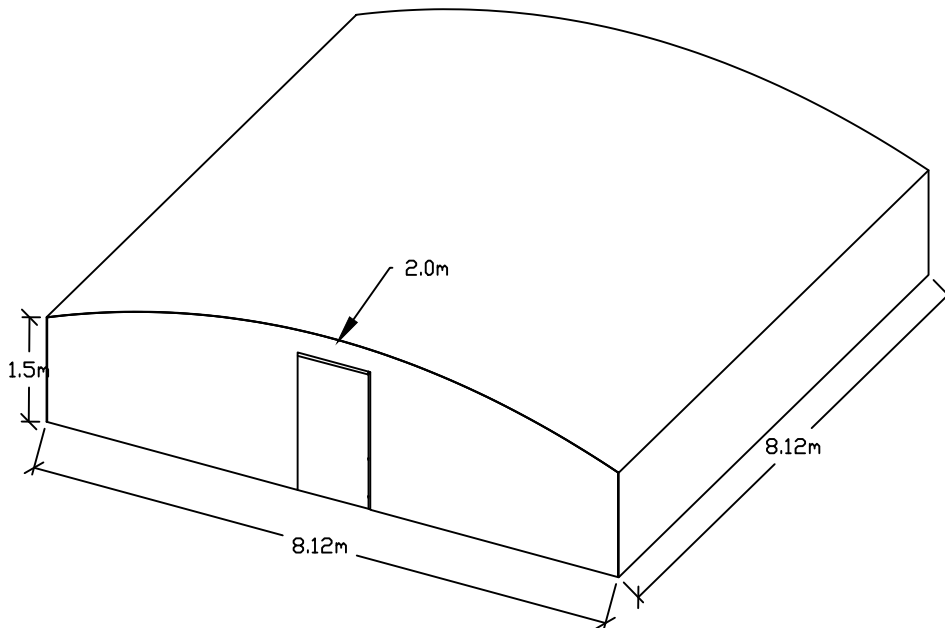
LEYENDA	
①	CÁMARA DE SECADO
②	VENTILADOR
③	COLECTOR SOLAR
④	SOPORTE PARA COLECTOR SOLAR
⑤	TUBERIA PARA AIRE CALIENTE

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN Carrera Profesional de Ingeniería Mecánica y Eléctrica		
DIBUJADO POR: Bach. HAROLD HARMANN Marchena Quinde Bach. JAMES WILLIAM Vicente Vasquez	TESIS	ESCALA: S/N
DEPARTAMENTO: CAJAMARCA	DISEÑO DE UN SECADOR DE CAFÉ MEDIANTE COLECTORES SOLARES PARA EL DISTRITO DE LA COIPA, SAN IGNACIO, CAJAMARCA	LAMINA N° 2
PROVINCIA: JAÉN		

## SOPORTES PARA COLECTORES Y VENTILADORES



## CÁMARA DE SECADO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN  
Carrera Profesional de Ingeniería Mecánica y Eléctrica



DIBUJADO POR:  
Bach. HAROLD HARMANN Marchena QUINDE  
Mach. JAMES WILLIAM Vicente Vásquez

TESIS

ESCALA:  
S/N

DEPARTAMENTO:  
CAJAMARCA

PROVINCIA:  
JAEN

DISEÑO DE UN SECADOR DE CAFÉ  
MEDIANTE COLECTORES SOLARES  
PARA EL DISTRITO DE LA COIPA,  
SAN IGNACIO, CAJAMARCA

LAMINA N°:

3