

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

# DISEÑO DE UN SECADOR DE CAFÉ CON CONTROL AUTOMÁTICO ENERGIZADO CON UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO PARA ZONAS RURALES DEL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA.

Gustavo Cuervo Cruz  
Luis Carlos Vásquez Márquez

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:  
Ingeniero Mecatrónico – Ingeniero Electromecánico

Asesor:  
Carlos Alberto Acevedo Álvarez, IM.

Instituto Tecnológico Metropolitano - ITM  
Facultad de Ingenierías  
Departamento Mecatrónica y Electromecánica  
Medellín, Colombia  
2022

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

## RESUMEN

---

En muchos municipios del departamento de Antioquia y principalmente en el suroeste, sus habitantes basan su sustento en la siembra y comercialización de café, pero debido a las fluctuaciones del precio a nivel internacional y nacional, estos ven afectada su economía. En la actualidad, existen varios factores que afectan el precio del café a nivel nacional, pero los más relevantes son: La humedad contenida debido a las condiciones climáticas, pureza o calidad del café y forma de secado.

Con este proyecto, se contribuye a la problemática actual existente en relación con el proceso de secado del café, el cual origina pérdidas cercanas al 30 % en el precio final asignado por el comprador, debido a los estándares de calidad con los cuales es evaluado: Aroma, sabor y aspecto. Un mal secado origina que el café presente: Grano negro total o parcial, olor a vinagre, cristalizado, manchas oscuras o colores y forma de aplastado (Federación de cafeteros, 2019).

En este trabajo se presenta el diseño de un secador de café con control automático que utiliza como fuente principal de energía, la energía solar fotovoltaica y como fuente secundaria la energía eléctrica, proporcionando un café de buena calidad al menor costo posible, beneficiando a la gran mayoría de los caficultores de los municipios de Antioquia.

Este diseño está basado en la cantidad de café a secar, el porcentaje de humedad contenida y la radiación solar recibida por día, con lo cual se dimensionaron y seleccionaron los componentes a utilizar en el sistema solar fotovoltaico y las características del ventilador a utilizar para la circulación o extracción de la humedad contenida en el café.

**Palabras clave:** Energía solar fotovoltaica, deshumidificación, radiación solar, transferencias de calor, proceso de secado.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

## RECONOCIMIENTOS

---

En primer lugar, queremos agradecerle a Dios por habernos fortalecido en los momentos difíciles y por bendecirnos, permitiéndonos estudiar la carrera de ingeniería mecatrónica una de las más promisorias en la actualidad.

Agradecer al Institución Tecnológico Metropolitano que es un espacio idóneo para el aprendizaje, el cual nos recibió con los brazos abiertos y nos dio las herramientas necesarias durante estos 5 años.

A los profesores por guiar, formar y entregar lo mejor de sí, para formar profesionales capaces de afrontar las diferentes circunstancias que se presentaran en la vida laboral.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

# ACRÓNIMOS

---

**CPS:** Café pergamino seco

**FNC:** Federación nacional de caficultores de Colombia

**IDEAM:** Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

**ISF:** Instalación Solar Fotovoltaica

**DANE:** Departamento Administrativo Nacional de Estadística

**SIEL:** Sistema de Información Energético Colombiano

**SIMEC:** Sistema de Información Minero Energética

**UNEF:** Unión Española Fotovoltaica

**UPME:** Unidad de Planeación Minero Energética

## TABLA DE CONTENIDO

---

1.	INTRODUCCIÓN .....	8
1.1	Objetivo general.....	9
1.2	Objetivos específicos .....	9
2.	MARCO TEÓRICO .....	10
2.1	Relevancia del café.....	11
2.3	Proceso de secado del café.....	13
2.4	Energía solar fotovoltaica .....	20
2.4.1	Celdas fotovoltaicas.....	22
2.4.2	Los acumuladores o baterías.....	23
2.4.3	Regulador.....	23
2.4.4	El inversor.....	24
3.	METODOLOGÍA.....	25
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	26
4.1	Parámetros de diseño del secador .....	26
4.2	Selección del tipo de estructura del secador .....	27
4.3	Otros componentes del secador .....	29
4.4	Parámetros del diseño.....	29
4.5	Porcentaje de humedad y proceso de secado .....	33
4.6	Balance termodinámico (Primera ley).....	35
4.7	Selección de los elementos de control .....	38
4.8	Estudio de viabilidad técnico-económica .....	41
5.	CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO .....	46
	REFERENCIAS .....	47
	ANEXOS .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

# LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Arbusto de café. ....	12
Figura 2. Etapas del proceso de producción de café. ....	12
Figura 3. Secado al sol: a) suelo de cemento y b) cajones de madera con rieles.....	13
Figura 4. Secadores solares: a) Elbas con techo de zinc y b) Techo parabólico de plástico. ....	14
Figura 5. Problemas presentado por granos de café secados al sol. ....	15
Figura 6. Secador de café mecánico. ....	16
Figura 7. Mapa de radiación solar de Colombia. ....	19
Figura 8. Radiación solar en el departamento de Antioquia.....	20
Figura 9. Componentes de una celda solar fotovoltaica.....	21
Figura 10. Tipos de paneles solares. ....	21
Figura 11. Componentes de una instalación solar fotovoltaica. ....	22
Figura 12. Tipos de baterías de plomo-acido. ....	23
Figura 13. Ubicación del Inversor de corriente en un sistema solar fotovoltaico. ....	24
Figura 14. Ejemplo de secador solar construido de lámina de latón y vidrio.....	28
Figura 15. Estructura del Secador Solar. ....	30
Figura 16. Entrada de aire a circular dentro del secador. ....	31
Figura 17. Tiempo de secado según temperatura. ....	33
Figura 18. Curva de secado en función de la humedad libre vs. tiempo. ....	33
Figura 19. Curva de secado en función de la velocidad de secado vs. humedad libre. ....	33
Figura 20. Proceso de convección natural y forzada. ....	34
Figura 21. Esquema representativo del proceso de secado.....	35
Figura 22. Cotización sistema solar fotovoltaico para generar 5 KW por día de potencia. ....	37
Figura 23. Disponibilidad de ventiladores marca SODECA.....	37
Figura 24. Sensor de temperatura y humedad maraca GOVEE.....	39
Figura 25. Sensor de temperatura TMP36. ....	40
Figura 26. Encode maraca NAYLAND. ....	40
Figura 27. Resistencias eléctricas marca.....	41
Figura 28. Vista isométrica del secador de café. ....	43
Figura 29. Vista trasera del secador de café.....	44
Figura 30. ducto de entrada del aire con las resistencias eléctricas.....	44
Figura 31. Tablero de control del secador.....	45
Figura 32. Planos eléctricos del sistema solar fotovoltaico aislado de la red. ....	45

## LISTA DE TABLAS

---

	Pág.
Tabla 1. Ganancias y costos de vender café húmedo. ....	11
Tabla 2. Ganancias y costos de vender café seco. ....	11
Tabla 3. Área mínima necesaria para secar café según la producción de café pergamino seco (cps). .....	15
Tabla 4. Porcentaje de radiación solar. ....	20
Tabla 5. Parámetros de diseño del proceso de secado. ....	26
Tabla 6. Parámetros de consideración para la estructura del secador. ....	27
Tabla 7. Parámetros evaluados con sus porcentajes asignados. ....	28
Tabla 8. Matriz de ponderación creada para la selección de la estructura del secador. ....	28
Tabla 9. Etapas del secado del café. ....	34
Tabla 10. Características del ventilador axial seleccionado. ....	38
Tabla 11. Precios de componentes seleccionados para el secador y el sistema de control. ....	41
Tabla 12. Costo de mano de obra. ....	42

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

# 1. INTRODUCCIÓN

---

El suministro de energía eléctrica es uno de los principales indicadores del desarrollo de la población, gracias a esta, se tiene acceso a la televisión, radio, internet y educación, permite mantener nuestros alimentos conservados y mejorar nuestro nivel de vida. En Colombia existen muchos factores que afectan el suministro de energía eléctrica, entre ellos se encuentran los siguientes: conflicto armado, infraestructura, geografía, demografía y economía.

En muchas veredas de los municipios del departamento de Antioquia, poseer un sistema de suministro de energía eléctrica es costoso. Por tal motivo, es indispensable promover proyectos de índole energético donde se evalúen otras fuentes de energía como es el caso de la energía solar y eólica, las cuales tiene un costo de inversión inicial elevado, pero resultan ser económicas a largo plazo. En las zonas cafeteras del departamento de Antioquia, los caficultores ven afectados sus ingresos debido al proceso de secado del grano de café, por no contar con un suministro de energía eléctrica eficiente y económico, ni con los equipos requeridos para la obtención de un café de buena calidad. Muchos de ellos, toman la decisión de realizar este proceso de forma artesanal y rudimentaria en sus patios, techos o calles, ocasionando que el café se llene de impurezas, tenga mal aspecto y pierda sabor y aroma.

Para contribuir con esta problemática, se diseñó un secador de café con control automático energizado con un sistema solar fotovoltaico útil para zonas rurales del departamento de Antioquia, siendo la energía solar la más indicada para esta problemática, por sus grandes ventajas: no se necesita de infraestructura, es renovable, limpia e inagotable, mantenimiento nulo, su uso puede ser descentralizado y económico en comparación con las otras fuentes de energía convencionales, mediante este sistema, se realiza el proceso de secado del grano de café de forma rápida, eficiente y sin afectar su calidad permitiendo aumentar los ingresos de los caficultores del departamento.

Este trabajo está compuesto por cinco capítulos: En el primero, se realizó una breve introducción a la problemática existente en zonas rurales del departamento de Antioquia y como la falta de energía eléctrica y de equipos adecuados para el proceso de secado del café afecta parte de la población e impide su desarrollo.

En la segunda parte se realizó un estudio profundo de la literatura existente en relación con la producción de café, etapas y procesos como de todo lo relacionado con radiación solar, energía fotovoltaica, funcionamiento, mantenimiento, eficiencia y costo. También, se investigó todo lo relacionado con procesos de deshumidificación o extracción de la humedad del grano.

Posteriormente en el tercer capítulo, se encuentra la metodología planteada, la cual está compuesta por una serie de actividades que tendrán como meta alcanzar cada uno de los objetivos

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

específicos del proyecto y posteriormente el cumplimiento del objetivo general, que es el diseño de un secador de café con control automático energizado con un sistema solar fotovoltaico útil para zonas rurales del departamento de Antioquia.

Dentro de estas actividades, se encuentran: el cálculo de la energía mínima requerida para extraer la humedad contenida en el café, el área necesaria para la generación de dicha energía utilizando celdas fotovoltaicas, la selección de los demás componentes del sistema de fotovoltaico, basados en su eficiencia, costo y mantenimiento.

En el capítulo cuarto, se encuentran los resultados obtenidos de las actividades anteriormente realizadas según la metodología, donde se obtuvieron los valores o parámetros que definen el diseño del sistema de secado con control automático como la cantidad de café a secar y las características que deben tener los componentes del equipo para cumplir con los requerimientos establecidos según la carga de café producida por caficultor.

Para terminar, se presentan una serie de conclusiones obtenidas a lo largo del proyecto, que serán las indicadoras de la viabilidad de fabricar e implementar esta solución en zonas rurales del departamento de Antioquia.

### **1.1 Objetivo general**

Diseñar un secador de café con control automático energizado con un sistema solar fotovoltaico para zonas rurales del departamento de Antioquia.

### **1.2 Objetivos específicos**

- Realizar una investigación bibliográfica en internet, tesis y repositorios de todo lo relacionado con el proceso de secado de café y sobre los diferentes tipos de secadores existentes donde se identifiquen sus características y componentes.
- Crear una matriz de ponderación para seleccionar los componentes que formarán parte del secador de café, según los parámetros de diseño establecidos (cantidad de café a secar, espacio disponible y costo).
- Diseñar los componentes mecánicos que formarán parte del secador de café.
- Seleccionar los componentes eléctricos y electrónicos que formarán parte del sistema de control del secador de café.
- Crear los planos mecánicos, eléctricos y de control del sistema de secado café.
- Realizar un estudio de viabilidad técnico-económica para la implementación del secador de café.

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

## 2. MARCO TEÓRICO

---

El café es el segundo producto más comercializado a nivel mundial después del petróleo, realiza ventas al año de 70000 millones de dólares, es producido en más de 50 países y es el principal producto agrícola de Colombia (Echeverri, 2005). El café genera 26 % del empleo en el sector agrícola, genera ingresos a más de 550 mil familias que habitan en 595 municipios del país y, por último, es uno de los principales multiplicadores del producto interno bruto PIB, incluso más que el sector minero (Ortega, 2019).

El café proviene de Etiopía, ubicada en África Oriental, exactamente en el territorio denominado «Kaffa», de cuyo nombre se deriva el café. El arbusto de café produce unas semillas aromáticas que los marineros africanos llevaron a la península de Arabia, país donde se creó el cultivo del café. Desde Arabia los peregrinos que se dirigían a la Meca lo llevaron a Europa y, por último, los europeos durante la época de la conquista lo trajeron a América (Echeverri, 2005).

Una de las grandes historias contadas acerca del café, dice que fue descubierto por error, por monjes que veían que sus ovejas pasaban las noches despiertas y excitadas, pero que estas masticaban y rumiaban de un arbusto de frutos rojos no conocido. De aquí nació la idea de tomar café para mantenernos despiertos y activos.

En Colombia, los caficultores están expuestos constantemente a una problemática, debido al secado solar del café, porque el grano de café es sensible a las variaciones del clima (humedad y temperatura del proceso). Este método es efectivo, pero por ser artesanal dificulta que los pequeños caficultores produzcan un café que cumpla con las expectativas más exigentes del mercado y, por lo tanto, acaban vendiendo su producto por un valor menor. Si a esto se le suma que algunas de estas fincas productoras de café no poseen servicio de energía eléctrica y las que lo poseen es intermitente y, además, que el costo del kWh de energía es costoso.

Para dar solución a esta problemática se han realizado varias investigaciones: Por ejemplo, la realizada en el tecnoparque del SENA en Angostura, Huila, donde un grupo de investigación viralizó esta problemática y diseñó un sistema de secado automático de café, accesible y replicable, que se adapta a las condiciones climáticas del departamento (TEC, 2018).

Otra investigación, como la realizada por Oliveros, se enfoca en proponer un modelo de gestión del proceso de secado de café que garantice su eficacia y eficiencia, tomando como ejemplo e implementándolo en la finca Villa Loyola ubicada en el departamento de Nariño (Bedoya, 2016).

En el año 2001 se realizó una investigación donde se evidencio las diferencias en el precio del café cuando este es vendido seco o húmedo, permitiendo obtener los siguiente resultados, según las 7 fechas de recolección realizadas en un año de producción de café:

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Tabla 1. Ganancias y costos de vender café húmedo.

Pase	Kg cereza por pase	Conversión cereza: Pergamino	@ de Cps si el café se vende húmedo	Precio \$/@	Ingreso bruto \$/pase
1	2.678	68,73	39,0	31.500	1'227.368
2	2.827	65,38	43,2	31.500	1'362.045
3	2.376	58,00	41,0	31.500	1'290.414
4	4.107	59,11	69,5	31.500	2'188.640
5	13.136	65,93	199,2	31.500	6'276.111
6	7.033	66,05	106,5	31.500	3'354.118
7	260	65,65	4,0	31.500	124.752
<b>Total</b>	<b>32.417</b>		<b>505,6</b>		<b>15'925.027</b>

Fuente: (Federación de cafeteros, 2020).

Tabla 2. Ganancias y costos de vender café seco.

Pase	Kg cereza por pase	Conversión cereza: Pergamino	@ de Cps si el café se vende seco	Precio \$/@	Ingreso bruto \$/pase
1	2.678	66,80	40,1	33.462	1'341.486
2	2.827	62,0	45,5	33.000	1'502.271
3	2.376	57,28	41,5	33.462	1'388.019
4	4.107	56,26	73,0	32.710	2'387.842
5	13.136	61,86	212,4	32.711	6'946.196
6	7.033	63,29	111,1	32.670	3'630.401
7	260	63,10	4,1	32.868	135.431
<b>Total</b>	<b>32.417</b>		<b>526,9</b>		<b>17'331.645</b>

Fuente: (Federación de cafeteros, 2020).

En las Tablas 1 y 2, se puede apreciar el análisis minucioso realizado en una finca de la vereda Altigracia de la ciudad de Pereira en relación con la venta de café húmedo o seco, donde se analizaron 7 pases realizados durante los meses de octubre y noviembre del año 2000. Donde se pudo evidenciar que el precio del café húmedo permanece más estable para su comercialización (31.500 Precio \$/@) mientras que el precio del café pergamino seco es variante, ver Tabla 2. Además, se pudo comprobar que las conversiones son altas (Tabla 1), es decir se requiere más kg de café cereza cuando este es vendido húmedo por arroba de pergamino seco y que las ganancias cedidas por el caficultor son de \$ 1'406.610.

## 2.1 Relevancia del café

Para entender la relevancia del café es necesario conocer sobre su proceso de producción, el cual comienza por la plantación de la semilla que posteriormente va creciendo y se convierte en un arbusto de hojas verdes y ramas delgadas, la cual arroja unos frutos verdes que pasan posteriormente a tomar un color amarillo y, por último, rojo indicando su estado de maduración (MundoCafé, 2019), ver Figura 1.



Figura 1. Arbusto de café.

Fuente: (Verema, 2016).

Después se encuentra la etapa de cosecha o recolección, la cual se puede realizar de dos formas: Una es manual donde solo se extraen los frutos maduros y otra donde se utilizan máquinas, las cuales recogen las semillas maduras y verdes para después pasar por un proceso de selección, la principal diferencia de estos dos métodos es el costo. A continuación, sigue la etapa de procesamiento o despulpado donde se extrae la cereza y se elimina la pulpa (Federación de Cafeteros, 2019).

Luego, sigue el proceso de secado donde el café adquiere su sabor y aroma más característico. El grano es sometido a altas temperaturas que alcanzan los 200 °C, haciendo que este aumente su tamaño en un 80 a 100 %, pero pierde entre un 12 a 20 % de su peso, disminuye su cafeína, y finalmente adquiere su color característico (MundoCafé, 2019). Por último, se realiza el proceso de molienda y preparación para degustarlo en forma líquida como una buena taza de café, ver Figura 2.



Figura 2. Etapas del proceso de producción de café.

Fuente: (Bedoya, 2016).

En este proyecto, se interviene el proceso de secado, el cual consiste en extraer la humedad contenida en el grano de café después de ser despulpado. En la actualidad, esta humedad se extrae de forma rudimentaria en la mayoría de los municipios, para lo cual, el caficultor utiliza el piso o techo de las viviendas donde habitan, ocasionando que el café este expuesto a agentes

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

contaminantes presentes en el aire atmosférico, los cuales afectan su sabor y olor. Además, su secado no es uniforme, lo cual se ve representado por manchas oscuras o de colores que afectan su aspecto, visualizándose aplastado o cristalizado debido a su exposición excesiva al sol durante muchas horas.

Para contribuir con la solución a esta problemática se piensa diseñar un secador de café con control automático de humedad y temperatura energizado con un sistema solar fotovoltaico como fuente principal, por ser una energía amigable con el medio ambiente, inagotable y renovable. Permitiendo que sea construido e instalado en cualquier zona rural sin problema alguno.

### 2.3 Proceso de secado del café

Después del proceso de lavado del café, este posee una humedad del 60 %, la cual debe ser reducida a un 11 o 12 %, según lo establecido por las normas vigentes para su comercialización. Para esto, el café debe exponerse a varias horas al sol, un día normal tiene en promedio 9 horas aprovechables de radiación solar, se recomienda que, para un secado exitoso, el café este expuesto aproximadamente a 45 horas de sol, o sea 5 días, pero para cantidades superiores a las 500 arrobas, se recomienda, entre 7 y 15 días, dependiendo de la temperatura del lugar y las lluvias (COFFEEIO, 2019).

Existen varios métodos de secado, pero sobresalen 2: El secado solar y el mecánico; el secado solar es uno de los métodos más antiguos por ser natural. Para este, el caficultor utiliza una superficie plana donde el grano de café es extendido, algunas de estas superficies pueden ser: Pisos de cemento o ladrillo, cajones de madera o carros, techos de zinc (elbas) y domos parabólicos. Por ejemplo, en: las superficies de cemento o ladrillo, esta debe ser lisa, poseer una inclinación del 1 %, no poseer agujeros para evitar la acumulación de líquidos, pero su principal desventaja es que cuando llueve el grano se moja nuevamente. Por tal motivo, se utiliza otro método donde se crean cajones de madera, los cuales son montados sobre rieles que permiten su desplazamiento hacia fuera y hacia dentro de techos que lo cubren de las lluvias evitando que este nuevamente se humedezca (COFFEEIO, 2019), esto se puede apreciar, en la Figura 3b.



Figura 3. Secado al sol: a) suelo de cemento y b) cajones de madera con rieles  
Fuente: (COFFEEIO, 2019).

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

La principal diferencia entre los métodos de secado solar es la superficie donde es extendido el café: suelo, techo, cajones de madera, entre otros; los cuales, permiten que el grano reciba la mayor cantidad de radiación solar, además para este proceso de secado, el caficultor utiliza un rastrillo para voltear el grano cada hora y un separador de café que es como un peine grande que facilita la separación de los granos.

Para disminuir el tiempo de secado, se diseñan elbas donde el café es extendido y protegido con láminas de zinc, las culés permiten proteger el grano de la lluvia y a la vez almacenan el calor dentro de la estructura haciendo que el tiempo de secado se reduzca. Por último, se encuentra las estructuras con techos parabólicos fabricados en plástico y con una altura promedio de 2,5 m de alto, los cuales poseen en su interior poseen camas de madera donde es depositado el café; a través del recubrimiento de plástico se almacena el calor del efecto de los rayos solares y debido a la forma de su estructura se tiene una circulación constante de aire (Cenicafé, 2016), ver Figura 4.



Figura 4. Secadores solares: a) Elbas con techo de zinc y b) Techo parabólico de plástico.  
Fuente: (COFFEEIO, 2019).

Este método de secado solar es recomendado para fincas con producciones menores a 500 arrobas/año. Pero bajo estas circunstancias, no se puede controlar las variables principales del secado: humedad y temperatura, las cuales disminuyen la calidad del café, este se contamina, aparecen manchas y hongos que desmejoran su aspecto. En la Figura 5, se pueden visualizar algunos de los problemas presentados en cuanto al aspecto del café debido a la falta de control de temperatura y la humedad.

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020



Figura 5. Problemas presentado por granos de café secados al sol.  
Fuente: (COFFEEIO, 2019).

Para mejorar el proceso de secado solar, se recomienda un área mínima para extenderlo, ver Tabla 3.

Tabla 3. Área mínima necesaria para secar café según la producción de café pergamino seco (cps).

PRODUCCIÓN DE LA FINCA (cps/año)	ÁREA DE SECADO (m <sup>2</sup> )
40	12
60	18
80	24
100	30
200	60
300	90
400	120
500	150

Fuente: (Cenicafé, 2016).

Otro de los métodos utilizados es el mecánico, este es recomendado para fincas con producciones mayores a 500 arrobas/año. En la actualidad existen diferentes tipos de secadores mecánicos, algunos poseen una sola cámara o dos cámaras, tiene forma rectangular o cilíndrica y su funcionamiento consiste en hacer fluir una masa de aire a una temperatura entre los 45 y 55 °C, la cual es impulsada por un ventilador perpendicularmente a los granos de café, pero se debe tener mucho cuidado con el tiempo de exposición porque el grano puede perder más humedad de la indicada y empezar su descomposición volviéndose quebradizo y cristalizándose (Gutiérrez, 2009), ver Figura 6.

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL  TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

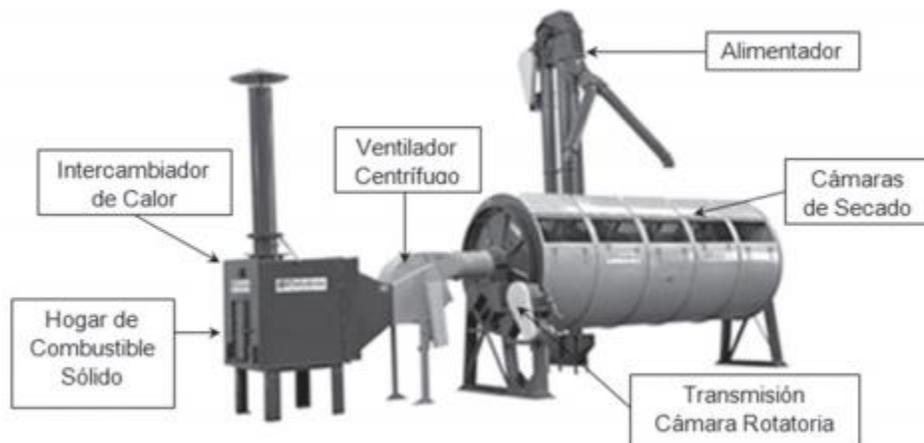


Figura 6. Secador de café mecánico.  
Fuente: (Gutiérrez, 2009).

El aire puede calentarse con estufas o quemadores, los cuales, funcionan con ACPM, carbón mineral o energía eléctrica. Pero algunas veces estos combustibles se impregnan al grano. El secado mecánico se recomienda tan pronto termine el lavado para lo cual se deja escurrir completamente el agua contenida en el grano después del lavado.

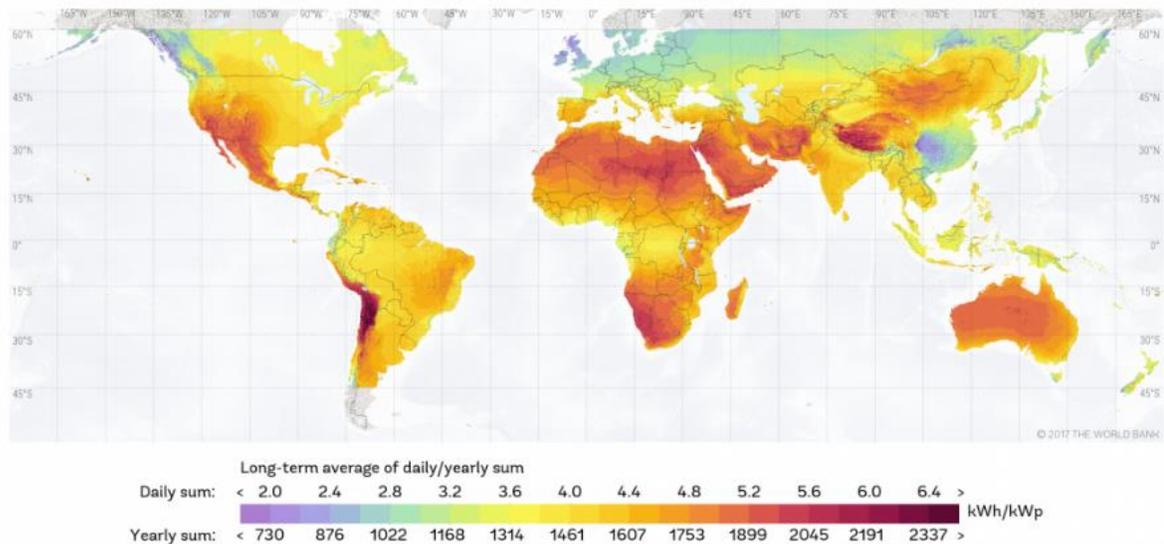
## 2.2 Energía solar

El sol, está compuesto por 74,9 % de hidrógeno, 23,6 % de oxígeno, 1 % de helio, 0,3 % de carbono y el 0,2 % restante de neón y hierro. En el interior del sol se queman cada segundo 700 millones de toneladas de helio, de las cuales 4,3 millones se transforman en energía y solamente  $1,7 \times 10^{14}$  kW llegan a la tierra que equivalen a 10000 veces el consumo energético mundial diario.

Hoy en día la energía solar, se utiliza principalmente para el calentamiento de agua y para sistemas de calefacción en muchas regiones de Europa; la energía solar fotovoltaica es la energía renovable con más futuro y en 40 años sustituirá a las energías convencionales derivadas del petróleo (Saclima, 2017).

## 2.3 Energía solar a nivel mundial y nacional

El aprovechamiento de la energía solar térmica y fotovoltaica a nivel mundial está en aumento, presentado un incremento del 20 % el último año. En la Gráfica 1, se observan las zonas a nivel mundial más representativas (UNEF, 2016).

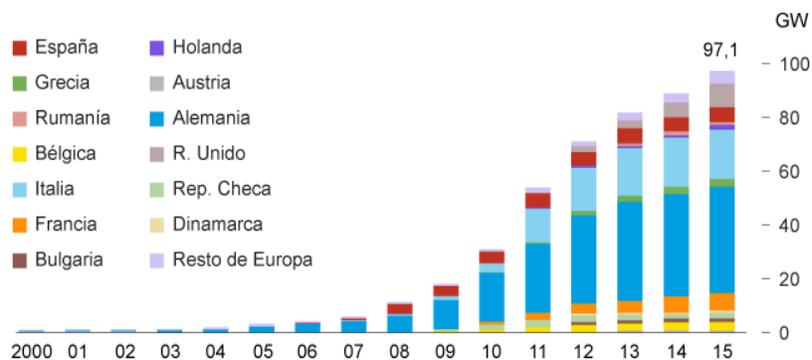


Gráfica 1. Zonas con Energía Solar Fotovoltaica a nivel mundial.

Fuente: (UNEP, 2016).

Europa lleva la delantera en lo relacionado a energía solar fotovoltaica e incrementa cada año, pero con la inestabilidad de los mercados europeos este aumento se ha visto afectado y países como Alemania e Italia están comenzando a aprovechar esto para aumentar su capacidad total (Fresneda, 2016).

En la Gráfica 2, se puede visualizar la cantidad de energía solar generada por diferentes países en el mundo en GW.



Gráfica 2. Potencial Generado por cada País en GW.

Fuente: (Fresneda, 2016).

El uso de energía solar en Colombia más conocido es para calentamiento de agua y climatización de piscinas, por otra parte, a pequeña escala es utilizada para generación eléctrica y casi desconocido por todos para el secado de cultivos agrícolas (Murcia, 2009). Pero hoy en día, se piensa

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

que es una de las alternativas más idóneas por ser una fuente inagotable de energía, produce baja contaminación y puede ser utilizada en zonas no interconectadas.

Recientemente se aprobó en Colombia la ley 1715 de 2014 que busca promover el uso de las energías renovables, esta puede ser la oportunidad que el país estaba esperando para retomar el uso de las energías alternativas. Esta ley busca incentivar la inversión y el desarrollo de energías no contaminantes mediante alivios tributarios, arancelarios o contables. Además, se podría vender el exceso de energía que no se utilice, a la red eléctrica nacional (Accounter, 2017).

En Colombia la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) y el Sistema de Información Minero Energética (SIMEC) están creando un banco de ideas para la solución de la problemática energética en zonas rurales del país, estos proyectos son llamados PERS (planes de energización rural sostenible), los cuales son patrocinados por el gobierno nacional, lo cual permitiría que este proyecto sea evaluado como una posible solución a la problemática existente en las zonas rurales del departamento de Antioquia (UPME, 2017).

Para pensar en generar energía eléctrica a partir de celdas fotovoltaicas se debe consultar la radiación solar radiada en Colombia y más específicamente en Antioquia, la entidad encargada de proporcionar esta información es el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), el cual genera mapas donde se puede apreciar la radiación solar por m<sup>2</sup> en diferentes zonas del territorio.

En la Figura 7, se observa las zonas colombianas donde es viable el aprovechamiento de la energía solar, los departamentos con mayor potencial son: Guajira, Magdalena, Atlántico, Cesar, Sucre Córdoba, Norte de Santander y San Andrés. Otros departamentos como Antioquia, Santander, Bolívar, Vichada, Guainía, Casanare y Meta presentan un potencial solar medio-alto, con una radiación solar de 4 a 5 kW-h/m<sup>2</sup> que es considerable para generación (UPME, 2018).

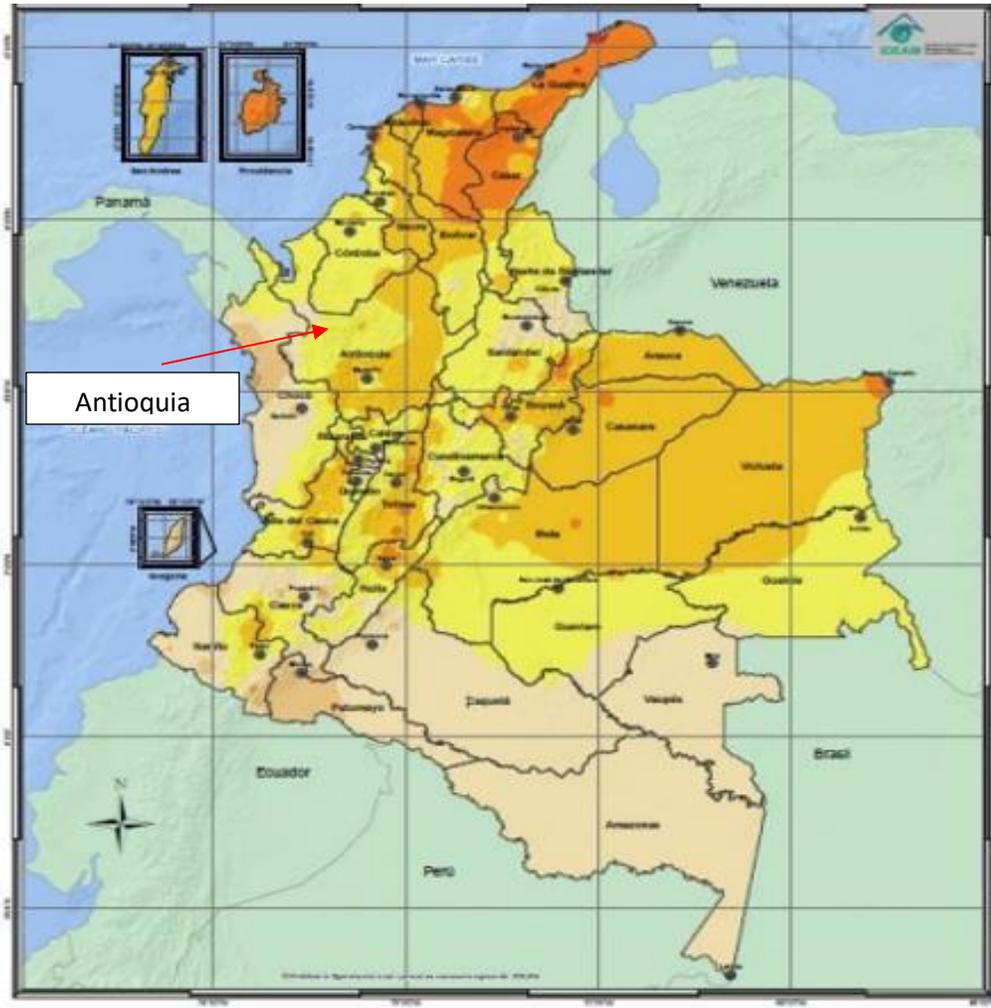


Figura 7. Mapa de radiación solar de Colombia.  
Fuente: (UPME, 2018).

La ubicación geográfica de nuestro país y los niveles de radiación solar recibidos día a día sugieren el uso de celdas fotovoltaicas como una posible solución para la obtención alternativa de energía eléctrica. En la Figura 8, se apreciar mejor el potencial solar presente en el departamento de Antioquia, identificado por los colores amarillo claro y oscuro del mapa, ver Figura 8.

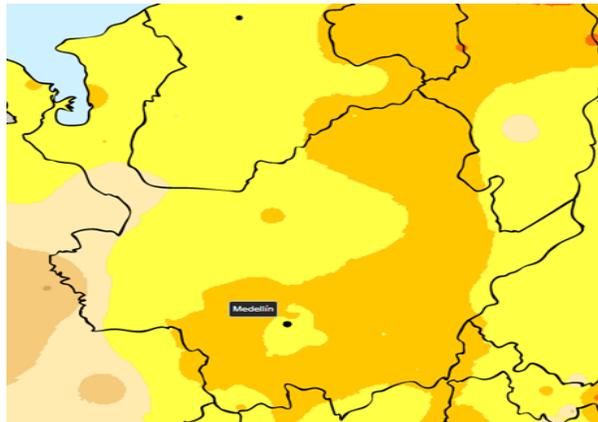


Figura 8. Radiación solar en el departamento de Antioquia.  
Fuente: (Ideam, 2015).

Antioquia cuenta con una posición geográfica favorable, debido a la radiación solar emitida que es casi constante en varias regiones del departamento durante 12 horas diarias. Esto implica menos celdas fotovoltaicas para lograr un efecto igual o mayor que en otros países, permitiendo abastecer fácilmente una casa o edificio de una manera eficiente (DANE, 2016). En la Tabla 4, se puede apreciar el porcentaje que representa cada uno de los colores del mapa en la Figura 8.

Tabla 4. Porcentaje de radiación solar.



Fuente: (Ideam, 2015).

## 2.4 Energía solar fotovoltaica

Los paneles solares fotovoltaicos, tienen la función de transformar la energía radiada por el sol en energía eléctrica de forma directa, están compuestos por materiales que tienen la capacidad de absorber fotones de luz y emiten electrones libres los cuales son capturados y como resultado es una corriente eléctrica, ver Figura 9 (Cabrera, 2017).

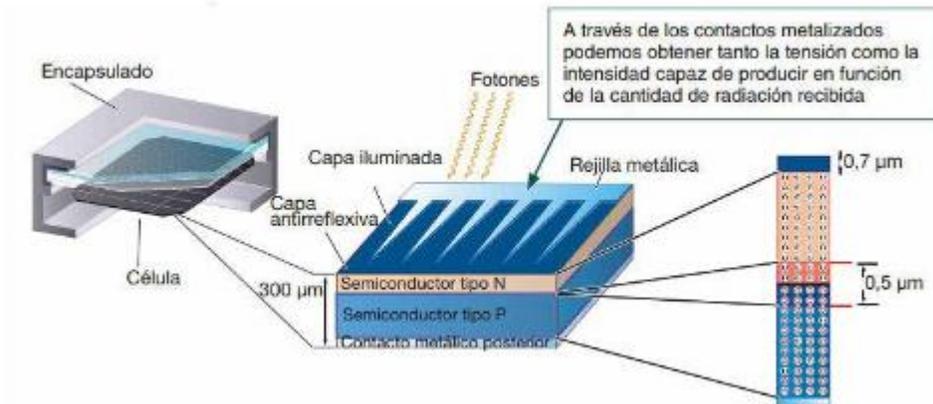


Figura 9. Componentes de una celda solar fotovoltaica.  
Fuente: (Cabrera, 2017).

Existen varios tipos de celdas solares, entre ellas los monocristalinos, policristalino y de capa fina, pero siempre tienen como base el silicio, la diferencia está en la cantidad de silicio que posee la celda y por ende mayor eficiencia a la hora de convertir energía solar en eléctrica, ver Figura 10 (Gomez, 2012).

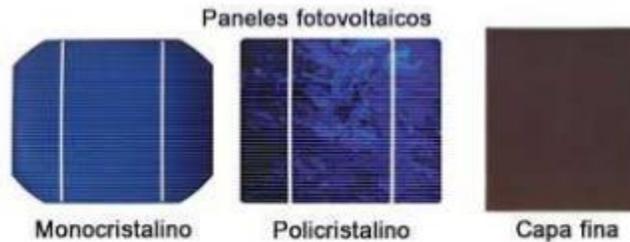


Figura 10. Tipos de paneles solares.  
Fuente: (Gomez, 2012).

Los monocristalinos poseen la mayor eficiencia 21 %, pero son más costosos que los demás, los policristalino son más fáciles de fabricar, pero son menos eficientes 15 %, pero a su vez soportan mayor calor, son los más baratos, pero su eficiencia es baja 10 %, por lo tanto, se necesita mayor espacio para generar la misma cantidad de energía eléctrica (Gomez, 2012).

Los componentes fundamentales en una instalación fotovoltaica son los siguientes:

- Celdas y paneles fotovoltaicos
- Acumuladores
- Reguladores de carga
- Estructura
- Conectores e interruptores

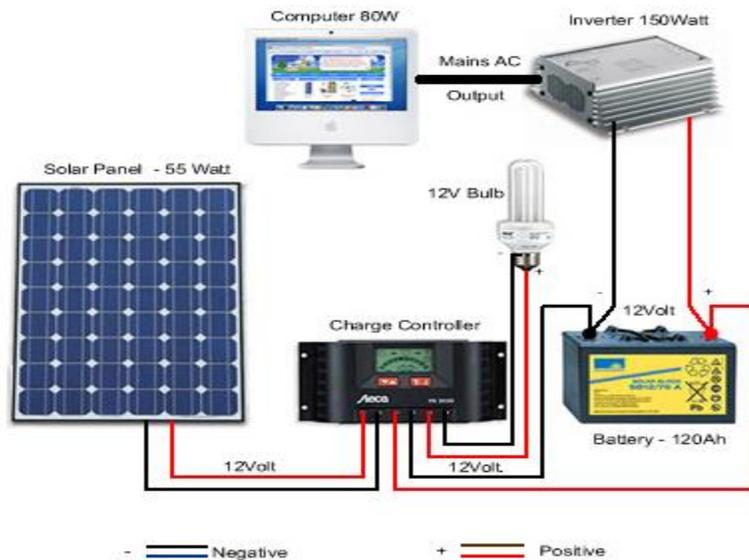


Figura 11. Componentes de una instalación solar fotovoltaica.  
Fuente: (Canarias, 2010).

**2.4.1 Celdas fotovoltaicas.** Estas funcionan bajo la acción de radiaciones luminosas para lo cual se utilizan materiales metálicos, este efecto puede ser de tres formas (Canarias, 2010):

- Efecto fotoemisor o fotoexterno: Provoca un arranque de electrones con liberación de estos.
- Efecto fotoconductor o fotointerno: Modifica la conductividad eléctrica del material.
- Efecto fotovoltaico: Crea una fuerza electromotriz en el material.

Los más utilizados son los de efecto fotovoltaico, generando un paso de corriente proporcional al flujo luminoso, esta energía es capaz de desprender electrones del núcleo, los cuales empiezan a circular por el semiconductor generando un campo eléctrico.

A continuación, se describen algunas características especiales de las celdas existentes:

- Células de arseniuro de galio. Rendimiento cercano al 27% - 28%, tecnología poco avanzada y costes elevados.
- Células de sulfuro de cadmio y sulfuro de azufre. Bajos rendimientos. Posible alternativa de bajo coste en el futuro.
- Células bifaciales. Células activas en sus dos caras. Rendimiento cercano al 30% pero muy caras y complejidad en la instalación.
- Células de silicio amorfo. Posee la ventaja de que su espesor llega a ser 50 veces más fino que el equivalente en células de silicio monocristalino. Eficiencia en torno al 9%, pudiendo aumentar en las versiones multicapa. Costes muy económicos.

- Células de silicio policristalino. Rendimiento de hasta el 14%. Posibilidad de producirlas directamente en forma cuadrada, por lo que no es necesario el posterior mecanizado.
- Células de silicio monocristalino. Son las más empleadas en la actualidad. No olvidemos que el silicio es el material más abundante en la Tierra después del oxígeno.

**2.4.2 Los acumuladores o baterías.** Estos equipos son utilizados para almacenar la energía producida por los módulos fotovoltaicos, garantizando un suministro de energía uniforme y constante, porque la energía solar llega a los módulos fotovoltaicos de manera no uniforme, además en las horas de la noche donde el sol no está presente permite el funcionamiento de los equipos conectados al sistema (Tudela, 2013).

Las baterías son dispositivos que convierten la energía química en eléctrica, una batería debe poseer las siguientes características:

- Bajo mantenimiento
- Depósito para materiales sueltos
- Vasos transparentes
- Buen funcionamiento con diferentes tipos de corrientes (altas y bajas).
- Buena resistencia al ciclado (cargue y descargue).

Las baterías más utilizadas en instalaciones solares fotovoltaicas son las de plomo-ácido, las cuales poseen las siguientes características: un ciclaje medio, almacenan entre 30 y 50 kW y su precio es bajo.

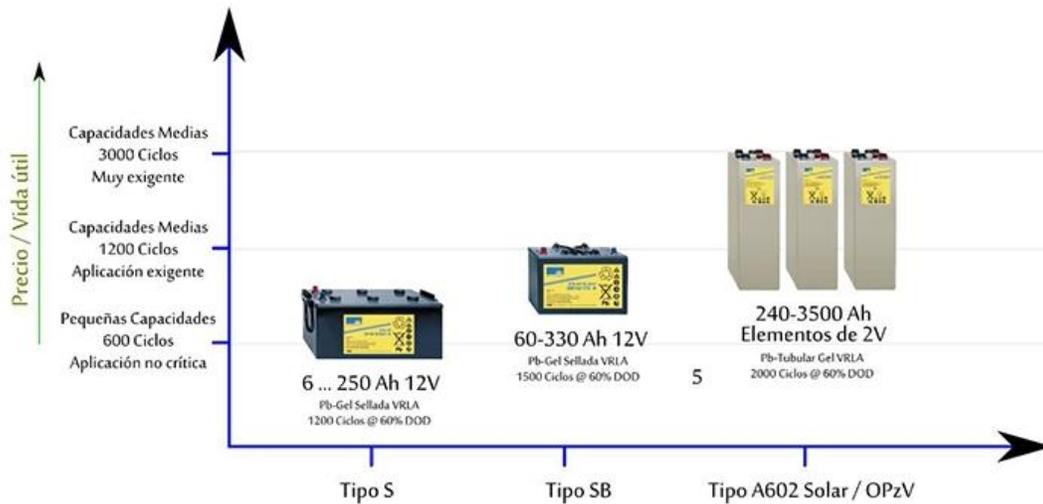


Figura 12. Tipos de baterías de plomo-ácido.  
Fuente: (Amazonaws, 2009).

**2.4.3 Regulador.** Normalmente los paneles solares manejan tensiones mayores que la de la batería, este equipo es el encargado de proteger la batería o el acumulador en situaciones

peligrosas, cuando se está cargando lo protege de sobrecargas o corto circuitos y en la descarga garantiza el suministro de energía solicitada y evita la descarga total de la batería, alargando su vida útil. Este equipo siempre estará presente en una instalación fotovoltaica (ISF) (Amazonaws, 2009).



Figura 12. Regulador de instalación solar fotovoltaica.  
Fuente: (Amazonaws, 2009).

Existen diferentes tipos de reguladores:

- Según el tipo de interruptor (Relé electromecánico o de estado sólido).
- Según la estrategia de desconexión del consumo (por tensión, algoritmos de cálculo, algoritmos de gestión de energía).
- Según la posición del interruptor de control (serie o paralelo).

**2.4.4 El inversor.** Es el encargado de convertir la corriente continua en corriente directa o AC, es un elemento indispensable en instalaciones conectadas a la red, también es necesario en instalaciones autónomas para electrificación de viviendas (Americafotovoltaica, 2015).

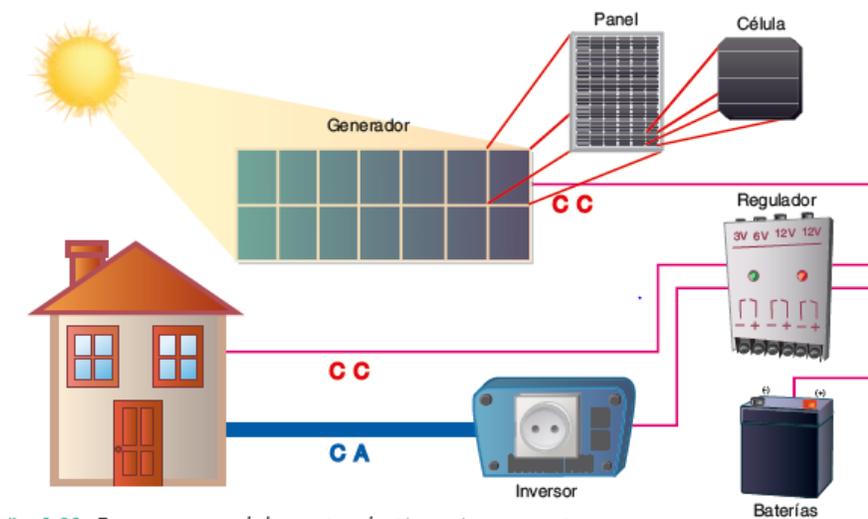


Figura 13. Ubicación del Inversor de corriente en un sistema solar fotovoltaico.  
Fuente: (Amazonaws, 2009).

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

### 3. METODOLOGÍA

---

La metodología empleada en el proyecto estará compuesta por 6 etapas, las cuales, se describen detalladamente a continuación:

En la primera etapa, se realizó una búsqueda bibliográfica en sitios web, tesis, repositorios y artículos de revistas científicas sobre todo lo relacionado con el proceso de secado de café, lo cual permitió identificar las variables relevantes del proceso, tipos de secadores, componentes de estos sistemas, ventajas y desventajas de cada uno. Esta información fue organizada y descrita en el marco teórico del proyecto para su posterior utilización en el diseño del secador de café propuesto.

En la segunda etapa, se utilizó la información obtenida durante la búsqueda bibliográfica y descrita en el marco teórico para la creación de una matriz de ponderación que permitió evaluar los tipos de secadores disponibles juntamente con los parámetros identificados y establecidos como requisitos para el diseño del secador de café. Para la evaluación en la matriz de ponderación, se establecieron valores porcentuales para cada parámetro, los cuales, están comprendidos entre 0 y 1, indicando que el secador con un valor más cercano a la unidad será tomado como guía para el diseño.

En la tercera etapa, se diseñaron los componentes mecánicos no disponibles en el mercado (estructura), para esto, se debe establecer la cantidad de café a secar como la ubicación del sitio de montaje, lo cual permitirá cuantificar la cantidad de radiación solar disponible. Luego, se realizó la selección de los componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos disponibles en el mercado que complementan el diseño (sensores temperatura y humedad, ventilador, celdas solares, regulador, convertidor de corriente si es necesario, entre otros).

La cuarta etapa, se diseñó el sistema de control automático a implementar al secador de café, el cual será lo más sencillo posible para ahorrar costos, este poseerá sensores que controlen las variables más relevantes del proceso de secado del café. En la quinta etapa, se procedió a la creación de los planos mecánicos, eléctricos y de control del secador de café, para los cuales, se utilizó el software de SolidWorks 2018, el cual, posee archivos para la parte mecánica, eléctrica, electrónica.

En la última etapa, se realizará el estudio de viabilidad técnico-económica para la implementación del secador de café.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Mediante la búsqueda bibliográfica realizada, se pudo obtener información sobre el proceso de secado del café como de los diferentes tipos de secadores existentes donde se aprovecha la energía solar radiada. Además, de las características ideales que debe poseer un grano de café para su venta (humedad, color y aroma). Esta información fue organizada y descrita en el marco teórico del proyecto, permitiendo identificar las características más relevantes del proceso de secado, ver Figuras 2 y 5.

### 4.1 Parámetros de diseño del secador

Para empezar el proceso de diseño del secador es importante conocer los parámetros del proceso de secado, los cuales, definen la buena calidad del producto final: tiempo de secado recomendado, humedad, energía térmica requerida, cantidad de grano a secar, radiación solar disponible, espacio ocupado y costo.

Estos parámetros fueron identificados durante la búsqueda bibliográfica realizada, la cual fue plasmada en el marco teórico juntamente con la información recolectada con los caficultores. En la Tabla 5, se definen algunos de estos parámetros:

Tabla 5. Parámetros de diseño del proceso de secado.

PARAMETROS	PROCESO DE SECADO
humedad	12 %
Espacio disponible	Producción promedio por finca
color	Gris
Tiempo	40 Horas recomendado
Espacio	5 m x 5 m Aislado
Radiación solar Antioquia	4 a 4,5 kWh/m <sup>2</sup>
Costo	Bajo

Fuente: Elaboración Propia.

Los parámetros de espacio están definidos por la producción promedio de café por finca caficultora, la radiación solar disponible y el espacio disponible para su construcción. El costo del secador debe ser lo más económico posible para garantizar su implementación.

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

#### 4.2 Selección del tipo de estructura del secador

Para el diseño del sistema de secado, se buscó la estructura más adecuada o idónea que genere un efecto invernadero óptimo, reduciendo la cantidad de energía requerida para el proceso de secado que a su vez está relacionada con las características del café a secar, temperatura requerida, porcentaje de humedad del aire y del café.

Por tal motivo, el tipo de estructura debe cumplir las siguientes condiciones: eficiencia, espacio requerido, contaminación y economía. En la Tabla 6 se pueden visualizar los parámetros a considerar en la selección de la estructura del secador.

Tabla 6. Parámetros de consideración para la estructura del secador.

<b>PARÁMETROS</b>	<b>SECADO NATURAL SUELOS Y TECHOS</b>	<b>ELBAS CON TECHO DE ZINC</b>	<b>TECHO PARABÓLICO DE PLÁSTICO Y MADERA</b>	<b>SECADOR SOLAR EN LAMINA Y VIDRIO FORMA DE PENTÁGONO</b>
<b>Espacio Requerido</b>	Alto	Alto	Medio	Medio
<b>Contaminación</b>	Alto	Media	Baja	Baja
<b>Costo</b>	Bajo	Bajo	Medio	Alto
<b>Eficiencia</b>	Bajo	Media	Alta	Alto

Fuente: Elaboración Propia.

A continuación, se definen cada una de estas variables:

En cuanto al espacio requerido, este depende de la cantidad de café a secar, pero influye a la vez en la energía requerida. Por ejemplo, si el secador requiere de mucha área, el consumo de energía aumenta considerablemente y por ende los costos del sistema solar fotovoltaico. La contaminación, es controlada debido a la hermeticidad del secador aumentando su eficiencia, debido al efecto invernadero disminuyendo la energía requerirá, impidiendo a su vez que el grano de café se contamine con impurezas del ambiente que afecten su sabor y aroma.

La eficiencia está relacionada con la capacidad del equipo para secar en menos tiempo los granos de café introducidos en al menor costo posible. Ahora si el efecto invernadero causado por la estructura es bueno requiere de menor energía para el proceso de secado y por ende se reducen los costó del proceso de secado.

En la Tabla 7, se puede apreciar el porcentaje asignado a cada una de las variables a evaluar según el tipo para la selección de la estructura.

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Tabla 7. Parámetros evaluados con sus porcentajes asignados.

PARÁMETRO	PORCENTAJE ASIGNADO		
	Bajo	Medio	Alto
Espacio Requerido	0,1	0,15	0,25
Contaminación	0,1	0,15	0,25
Costo	0,1	0,15	0,25
Eficiencia	0,1	0,15	0,25

Fuente: Elaboración Propia.

Luego de tener definidos los parámetros más relevantes para el diseño de la estructura del secador, se procedió a crear la matriz de ponderación. La matriz de ponderación creada, se puede visualizar en la Tabla 8, la cual, está compuesta por 4 columnas (Tipos de secadores) y 4 filas (parámetros). Los cuales, fueron evaluados para obtener un valor total.

Tabla 8. Matriz de ponderación creada para la selección de la estructura del secador.

PARÁMETROS	SECADO NATURAL SUELOS Y TECHOS	ELBAS CON TECHO DE ZINC	TECHO PARABÓLICO DE PLÁSTICO Y MADERA	SECADOR SOLAR EN LÁMINA Y VIDRIO GEOMETRÍA DE PENTÁGONO
<b>Espacio Requerido</b>	0,25	0,25	0,15	0,15
<b>Contaminación</b>	0,25	0,15	0,10	0,10
<b>Costo</b>	0,10	0,10	0,15	0,25
<b>Eficiencia</b>	0,10	0,15	0,25	0,25
<b>Total</b>	0,70	0,65	0,65	0,75

Fuente: Elaboración Propia.

El tipo de estructura que su valor total se aproxime a la unidad (1) sería la idónea, en este caso la matriz de ponderación muestra que el secador solar fabricado en lámina y vidrio con geometría de pentagonal es la ideal. Aunque tiene un costo moderado es mucho más eficiente debido al efecto invernadero producido por los materiales de fabricación.

Por tal motivo, se utilizarán elementos comerciales y materiales de construcción amigables con el medioambiente como la madera. Para el aislamiento, se piensa utilizar vidrio y lámina de latón por su economía y eficacia a la hora de contener el calor radiado por el sol, ver Figura 14.



Figura 14. Ejemplo de secador solar construido de lámina de latón y vidrio.

Fuente: (ONF, 2013).

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

#### 4.3 Otros componentes del secador

El secador contará con resistencias eléctricas energizadas por la energía generada por el módulo fotovoltaico, estas resistencias deben ser comerciales para reducir costos a lo hora de su fabricación. También contará con un sistema de ventilación forzada energizado por el mismo módulo fotovoltaico, el cual será el encargado de recircular y succionar el aire que entre al secador, el cual, es calentado por las resistencias antes mencionadas. Este aire caliente será el encargado de interactuar con los granos de café extrayendo la humedad contenida en estos. Además, los granos de café serán depositados en cajones móviles de madera que faciliten la entrada y salida de estos al recinto del secador.

El sistema de control diseñado posee un sensor de temperatura y humedad para controlar estas variables dentro del recinto o secador, permitiendo obtener un grano de café con características ideales para su comercialización. Para el diseño, se escogió un municipio como referencia para los cálculos o diseño del secador, en este caso, se tomó como referencia el municipio de Cañas Gordas, el cual posee una temperatura promedio de 20,8 °C, humedad relativa de 92 %, una superficie promedio de 391 km<sup>2</sup> y se encuentra a 1320 m sobre nivel del mar y posee una presión atmosférica de 0,87 bar (EPM, 2018).

#### 4.4 Parámetros del diseño

El promedio de café producido por caficultor se calculó en kg, llegándose a obtener un promedio de 310 kg por caficultor al mes, esta cantidad de café se tomará como base para el diseño de la estructura, entonces:

$$A_{\text{interna}} = L * b \quad \text{Ecuación 1}$$

La estructura tendrá forma rectangular, donde L = será el largo y b = ancho. Para el diseño, se tomó un ancho de 3 m y un largo de 5 m, estos valores son reemplazados en la ecuación 1:

$$A_{\text{interna}} = 5 \text{ m} * 3 \text{ m} = 15 \text{ m}^2$$

Esta será el área disponible para secar los 310 kg de café que produce cada caficultor en promedio al mes. Ahora, según datos obtenidos de la comercializadora de café de Cañas Gordas, el café del municipio tiene una humedad promedio del 53 % y un café bien seco debe tener una humedad máxima del 12 % (Fonseca, 2015), para garantizar su preservación y calidad. La forma de estructura utilizada será la siguiente, (ver Figura 15).

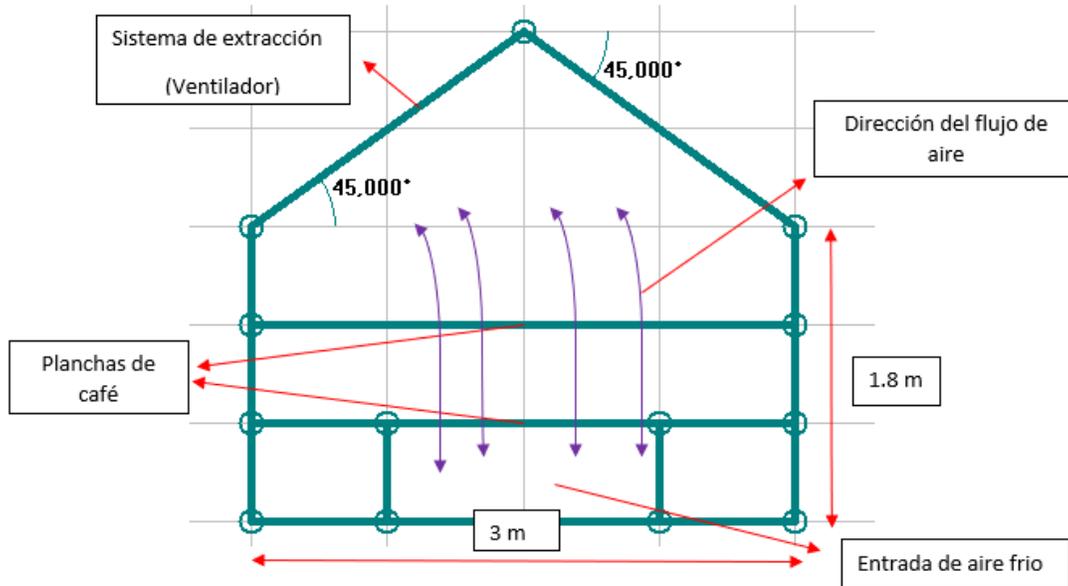


Figura 15. Estructura del Secador Solar.  
Fuente: Elaboración propia.

Esta estructura estará construida en lámina de acero y ventanas de vidrio para aumentar la temperatura interior y atrapar los rayos solares. Además, se utilizó en el nivel más bajo un sistema de resistencias eléctricas encargadas de transformar la energía entregada por el sistema solar fotovoltaico en calor.

Esta masa de café equivalente en peso es:

$$W = m * g \text{ Ecuación 2}$$

Reemplazando en la ecuación 2:

$$W = 310 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}^2}{\text{s}} = 3014,1 \text{ N}$$

Área total requerida en láminas de acero:

$$A_{total\ exterior} = 2 * laterales + 2 * (frontal\ y\ trasera) \text{ Ecuación 3}$$

$$A_{total\ exterior} = 2 * (1,8m * 5m) + 2 * (3m * 1,8m)$$

$$A_{total\ exterior} = 28,8 \text{ m}^2 \text{ de láminas de acero}$$

Área total requerida en vidrio:

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

$$A_{total} = 2 * \text{techo laterales a } 45^{\circ} + 2 * \text{triangulo frontales} + 2 \text{ triangulos traseros} \quad \text{Ecuación 4}$$

$$A_{total} = 2 * (5 \text{ m} * 2,1213\text{m}) + 4 * \left( \frac{1,5\text{m} * 1,5\text{m}}{2} \right)$$

$$A_{total} = 25,713 \text{ m}^2$$

Para la entrada de arie de renovación, se piensa dejar un área de entrada de 1 m de larga por 0,3 m de alta y a 0,5 m del suelo. Esta entrada no puede ser muy grande para evitar que un animal o hojas de los árboles entren al secador, esto según criterios de diseño, ver Figura 16.

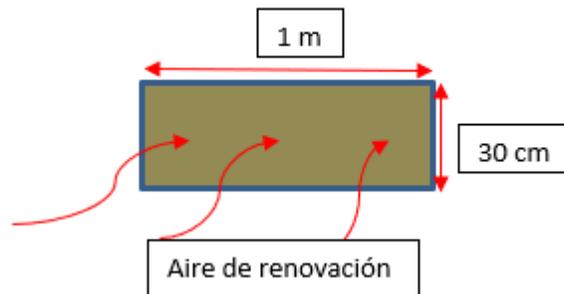


Figura 16. Entrada de aire a circular dentro del secador.  
Fuente: Elaboración propia.

Se tomó una velocidad de entrada de aire baja (0,5 m/s) recomendada por el libro de ventilacion industrial de Soler & Paulo (Soler & Paulo, 2020) para permitir el calentamiento optimo del aire antes de su circulación y a la vez aumentar la permanencia de este dentro del secador.

Caudal de entrada al secador (Cengel, 2008):

$$V^0 = v * A \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

$V^0$ : Flujo volumétrico o caudal ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

A: Área ( $\text{m}^2$ )

V: velocidad del aire (m/s)

Reemplazando en la ecuación 3:

$$V^0 = \left( 0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right) * (1\text{m} * 0,3 \text{ m}) = 0,15 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ hora}} = 540 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

A partir del flujo volumétrico, se calcula el flujo másico de entrada necesario para realizar el balance de energía (Cengel, 2008):

$$m_0 = \rho * V^0 \text{ Ecuación 5}$$

Donde:

$m^0$ : Flujo masico (kg/s)

$\rho$ : densidad ( $m^3/kg$ )

La densidad del aire se tomó de la Tabla A-16 del libro de Cengel según la altura sobre el nivel del mar que es 1320 m (Cengel, 2008):

$$\rho = 1,0245 \frac{kg}{m^3}$$

La presión del municipio de Cañas Gordas Antioquia es:

$$T = 273,5 + T_{ambiente} \text{ Ecuación 6}$$

Donde:

$T_{ambiente}$ : Temperatura ambiente o atmosférica del lugar de ubicación del secador ( $^{\circ}C$ )

Reemplazando en la ecuación 5:

$$T = 273,5 + 20 = 293,5 \text{ } ^{\circ}C$$

La presión atmosférica del lugar es:

$$0,87 \text{ bar} * \frac{100 \text{ kPa}}{1 \text{ bar}} = 87 \text{ kPa}$$

Reemplazando en la ecuación 4 el flujo másico será (Cengel, 2008):

$$m_0 = 1,0245 \frac{kg}{m^3} * 0,15 \frac{m^3}{s} = 0,153675 \frac{kg}{s}$$

Existe un tiempo promedio de secado según la temperatura que se logre alcanzar en el secador, ver Figura 17.

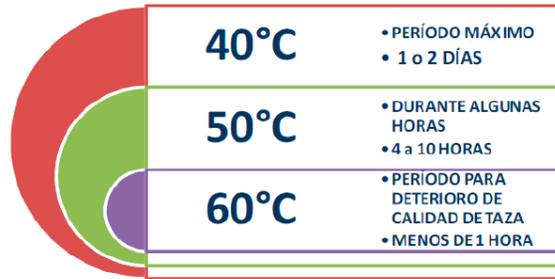


Figura 17. Tiempo de secado según temperatura.  
Fuente: (IICA, 2010).

#### 4.5 Porcentaje de humedad y proceso de secado

Otra de las etapas del diseño consiste en calcular la energía necesaria para alcanzar la temperatura y la potencia requerida para el tiempo de secado indicado. Que en este caso es de 2 hora para el secado del grano y tener una humedad del 12 %. Para lo cual, se utilizan las curvas de secado, ver Figuras 18 y 19.

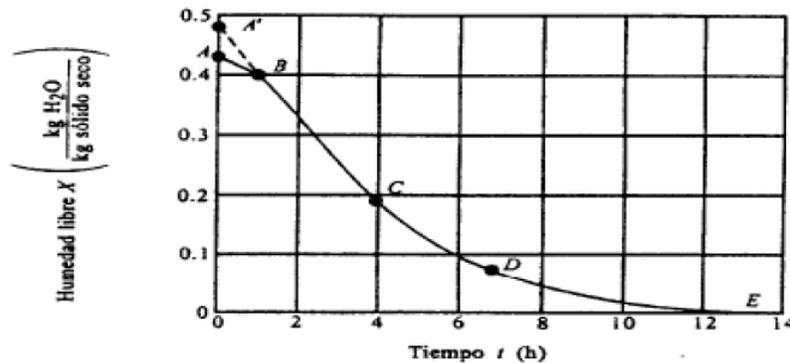


Figura 18. Curva de secado en función de la humedad libre vs. tiempo.  
Fuente: (IICA, 2010).

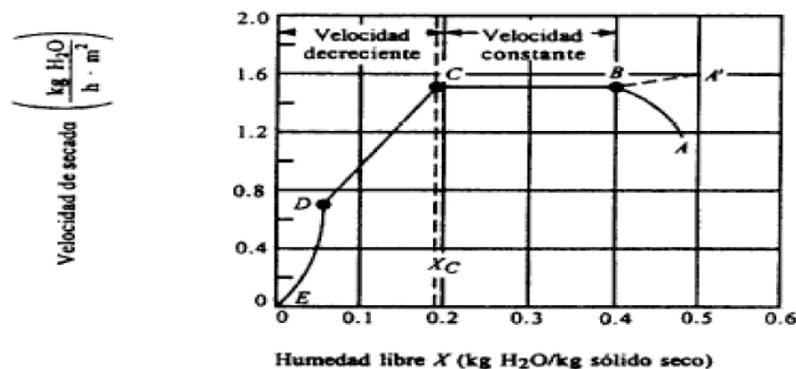


Figura 19. Curva de secado en función de la velocidad de secado vs. humedad libre.  
Fuente: (IICA, 2010).

Cuando se habla de humedad libre, se entiende por el contenido de agua que tiene el café después de su lavado, que es muy diferente al contenido de humedad interno que este posee; por eso en las Figuras 18 y 19, se pueden apreciar dos velocidades de secado una constante y otra decreciente.

La X indica el contenido de humedad contenido en el grano, pero es importante recordar que este se seca de afuera hacia dentro y que este proceso está dividido en tres etapas: oreado, presecado y secado, ver Tabla 9.

Tabla 9. Etapas del secado del café.

OREADO	PRECOCIDO	SECADO
Humedad del grano pasa de 53 % a 48 %	Velocidad constante y deshidratación del grano de 47,5 % a 32,5 %	Velocidad decreciente y secado interno del grano, la humedad pasa de 32,5 % a 12 %

Fuente: (Fonseca, 2015).

Fonseca y Hernández (2015), dicen “Un proceso de secado de alimentos se basa en la transferencia de energía y masa que se da entre el producto y el aire circundante, lo que se define como la ganancia de energía del alimento para transferir su contenido de agua al medio, esto se debe a movimientos a nivel molecular que son explicados con principios termodinámicos”.

Los procesos termodinámicos que ocurren son los siguientes: primero un colector solar que aumenta la temperatura del aire circundante y una cámara de secado que aprovecha este aire para secar un producto, debido a un fenómeno de convección forzada que ocurre dentro de la cámara de secado, ver Figura 20.

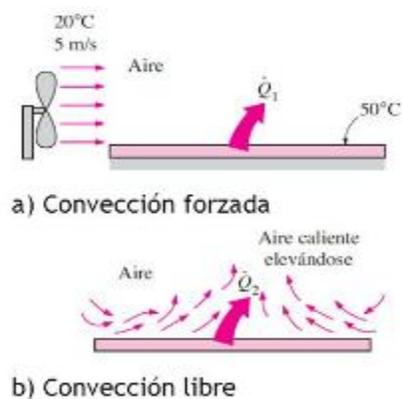


Figura 20. Proceso de convección natural y forzada.

Fuente: (Raimundo, 2016)

#### 4.6 Balance termodinámico (Primera ley)

En la Figura 20, se puede establecer que es un sistema termodinámico abierto, porque la masa como la energía atraviesan las fronteras. Por tal motivo, se debe realizar un balance de masa y de energía, fundamentados en el principio de conservación o primera ley de la termodinámica (Cengel, 2008).

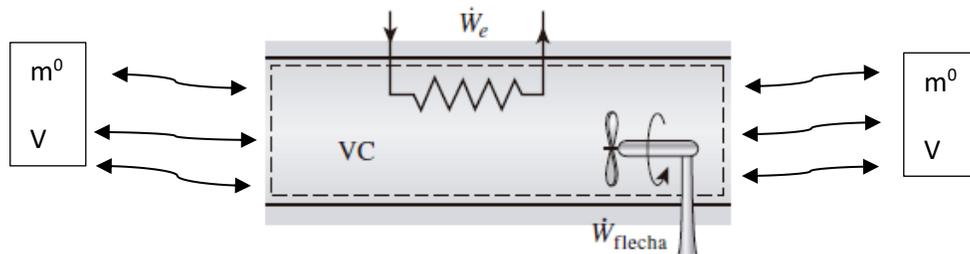


Figura 21. Esquema representativo del proceso de secado.  
Fuente: (Cengel, 2008).

Para el sistema de calentamiento de aire, se utilizaron resistencias eléctricas, las cuales fueron ubicadas en la parte inferior del sistema o estructura, específicamente a la entrada del aire. Estas serán las encargadas de calentar el aire que entra al secador debido a la succión generada por un ventilador axial, el cual a su vez es el encargado de hacer recircular el aire por la parte interna del secador.

Principio de conservación de la masa:

$$m_{entra}^0 = m_{sale}^0 \quad \text{Ecuación 7}$$

Principio de conservación de la energía:

$$E_{entra} = E_{sale} \quad \text{Ecuación 8}$$

Incorporando todos los elementos del balance:

$$Q_{entra}^0 + W_{entra}^0 + m_{entra}^0 * \left( h_{entra} + \frac{v_{entrada}^2}{2 * g} + g * L \right) = Q_{salida}^0 + W_{salida}^0 + m_{salida}^0 * \left( h_{salida} + \frac{v_{salida}^2}{2 * g} + g * L \right) \quad \text{Ecuación 9}$$

En este diseño existen 2 tipos de trabajo empleados: uno es el trabajo de una resistencia eléctrica ( $W_{eléctrico}$ ) y el otro es el trabajo realizado por una flecha ( $W_{flecha}$ ). Los cuales están definidos por las ecuaciones 9 y 10.

$$W_{eléctrico} = V * I = I^2 * R \quad \text{Ecuación 10}$$

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

$$W_{flecha} = 2 * \pi * \omega * T \text{ Ecuación 11}$$

Donde:

V= voltaje (voltios)

I= corriente (Amperios)

R= resistencia

$\omega$ = velocidad angular (rad/s)

T= torque (N.m)

Se reemplaza en la ecuación 9 y se obtiene el trabajo realizado por las resistencias eléctricas:

$$W_{\text{electrico}} = 3 * (15 \text{ amp})^2 * (10 \text{ ohm}) = \frac{6,75 \text{ kW}}{2 \text{ horas}} = 3,375 \text{ kWh}$$

El número tres aparece en la formula indicando que se utilizaran 3 resistencias eléctricas para calentar el aire.

Como se quiere secar el café en 2 horas: la temperatura que debe alcanzar el secador es de 60 °C, la potencia que debe recolectar y suministrar el sistema solar fotovoltaico es de 6,75 kW/h en 2 horas, ósea que debe recolectar 3,375 kWh. Es importante reconocer que esta potencia puede ser menor porque el efecto invernadero generado por la estructura aporta una cantidad de calor al sistema.

Por tal motivo, se pensó en cotizar un sistema solar fotovoltaico que generara 5 kW/día de potencia, la cual puede ser almacenara en las baterías o consumida directamente. Además, se recuerda que el sistema solar fotovoltaico debe ser capaz de recolectar la energía necesaria para calentar las resistencias a 60 °C y alimentar el ventilador axial del secador.



 TECNOLOGÍA PARA EL CAMPO			
COTIZACIÓN 07052018			
CLIENTE	Diego Muñoz	NIT	
CONTACTO		CELULAR	
DIRECCIÓN		CIUDAD	
EMAIL		ASUNTO	Cotización
FECHA		VALIDEZ OFERTA	30 Días
Datos Iniciales	El Cliente Requiere Puntualmente de un Sistema de Energía Solar off-Grid Aislado de la Red Pública, el Cual Pueda Abastecer de Energía Eléctrica una Vivienda con un Consumo Promedio de 5 KWH/DIA, Las Características Principales del Sistema Serían Las Sigüientes.		
CANTIDAD	REFERENCIA	VALOR A.IVA	TOTAL
4	Batería AGM MTEK 340 AH	\$ 1.380.000	\$ 5.520.000
8	PANEL SOLAR POLICRISTALINO 260 W	\$ 393.380	\$ 3.147.040
1	Inversor Híbrido 3 KW	\$ 1.970.000	\$ 1.970.000
2	Kit de Monturas para Techo	\$ 420.000	\$ 840.000
SUBTOTAL			\$ 11.477.040
IVA			\$ 2.180.638
TOTAL COTIZACIÓN			\$ 13.657.678

  
**Andres Felipe Alvarez Herrera**  
 Ingeniero de Energias Renovables  
[afalvarez@ferragro.com](mailto:afalvarez@ferragro.com) [www.ferragro.com](http://www.ferragro.com)  
 Teléfono: (57 +4) 448 37 97 Ext. 131 FAX: (57 +4) 338 68 18  
 Celular 311 287 8182 Gratis 018000115159  
 Carrera 42 # 51 - 34 Itagüi Antioquia  
B25-143B26-143B27-143B31-143

Figura 22. Cotización sistema solar fotovoltaico para generar 5 KW por día de potencia.  
Fuente: SOLARTECH.

Para calcular el trabajo de flecha necesario o requerido en el proceso de secado del grano de café, se debe seleccionar uno de los ventiladores disponibles en el mercado. Por tal motivo, se buscó en internet los diferentes fabricantes y se pudo constatar que los ventiladores marca SODECA son los más indicados por su versatilidad, ver Figura 23.



Figura 23. Disponibilidad de ventiladores marca SODECA.  
Fuente: (SODECA, 2012).

Sus características se pueden ver en la Tabla 10, donde aparece la velocidad angular, la potencia consumida y voltaje máximo de trabajo.

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Tabla 10. Características del ventilador axial seleccionado.

**60Hz**

**Características técnicas**

Modelo	Velocidad (r/min)	Intensidad máxima admisible 220V (A)	Potencia instalada (kW)	Caudal máximo (m <sup>3</sup> /h)	Nivel sonoro irradiado dB(A)	Peso aprox. (Kg)
SV-125/H	2664	0,65	0,08	400	32	5,2
SV-125/H-T	2664	0,65	0,08	400	32	5,2
SV-150/H	2640	1,25	0,17	560	40	6,8
SV-150/H-T	2640	1,25	0,17	560	40	6,8
SV-200/H	1488	0,85	0,12	880	44	8
SV-200/H-T	1488	0,85	0,12	880	44	8
SV-200/L	1536	0,75	0,1	760	42	8
SV-250/H	2856	0,95	0,14	1300	48	10,8
SV-250/L	2832	0,85	0,12	1000	46	10,8
SV-315/H	1596	0,75	0,12	2100	50	21
SV-350/H	1536	0,95	0,14	2850	51	28,5
SV-400/H	1680	1,8	0,3	3500	53	38

Fuente: (SODECA, 2012).

Reemplazando en la ecuación 10, se obtiene el valor del trabajo requerido por el ventilador:

$$W_{flecha} = 2 * \pi * (0,78) * (3 \text{ N.m}) = 14,7 \text{ kW}$$

El balance de energía será:

$$6,75 \text{ KW} + 14,7 \text{ KW} + 0,16851 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} * 178,5 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}} = 0,16851 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} * 217,6 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}} + Q_{salida}^0$$

$$Q_{salida}^0 = 14,04 \text{ kW}$$

#### 4.7 Selección de los elementos de control

Para el control de los componentes del sistema de secado o secador, se utilizará un sensor de temperatura y humedad como un controlador de posición-encode para controlar los rpm del ventilador, pero por economía estos deben estar comercialmente disponibles para reducir los costos de fabricación. A continuación, se muestra el sensor de temperatura y humedad a instalar si se decide construir el sistema de secado de café, ver Figura 24.

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020



Figura 24. Sensor de temperatura y humedad marca GOVEE.  
Fuente: (GOVEE, 2020).

El sensor de humedad y temperatura de GOVEE posee un alcance habilitado de hasta 60 m / 196 pies, la conectividad Bluetooth le permite verificar de forma remota los datos en la aplicación en cualquier momento. En cuanto a su precisión por ser fabricado en Suiza su temperatura tiene una precisión de  $\pm 0,5$  ° F /  $\pm 0,32$  ° C y la humedad es de  $\pm 3\%$  RH. La velocidad de respuesta de 2s lo mantiene actualizado con las lecturas (GOVEE, 2020).

Cuando la temperatura o la humedad se salen del rango preestablecido, le envía una notificación de alerta a través de la aplicación al instante.

**Fácil de conectar:** Este sensor se puede conectar por Bluetooth a una distancia de 260 pies / 80 m, permitiendo conocer cualquier cambio de aire.

**Precisión:** sensor higrómetro inteligente construido en Suiza, la temperatura tiene una precisión de  $\pm 0,54$  ° F, mientras que la humedad es de  $\pm 3\%$  RH. Proporciona un seguimiento de alta precisión. La velocidad de actualización de hasta 2S siempre le brinda los últimos cambios de entorno.

**Pantalla LCD grande:** ofrece lecturas de temperatura / humedad en tiempo real con números grandes y registros máximos / mínimos en una pantalla LCD de 3 pulgadas, viene con 3 indicadores de nivel de confort seco / confort / húmedo que lo mantienen al tanto de la situación de la casa con solo un vistazo.

**Alerta de aplicación inteligente:** recibirá una alerta de notificación una vez que la temperatura o la humedad estén fuera del rango preestablecido. Puede ayudarlo a ajustar eficazmente la situación de su bodega, invernadero, sótano u otros lugares en el tiempo.

**Almacenamiento de datos gratuito:** cuenta con 20 días de almacenamiento de datos en línea. Puede ver registros recientes de temperatura y humedad. La visualización del gráfico de curvas le brinda una pista clara de cambio de datos. Puede exportar los datos de los últimos 2 años a formato CSV en cualquier momento.

La temperatura de las resistencias será controlada puede controlar con un sensor de temperatura, ver Figura 25.

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

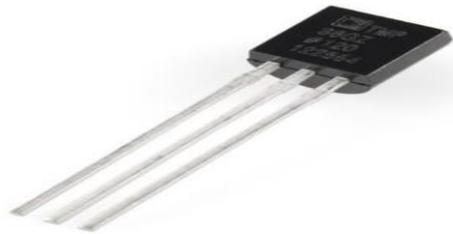


Figura 25. Sensor de temperatura TMP36.  
Fuente: (UNIT, 2019).

El TMP36 es un sensor de temperatura que en su salida los proporciona una lectura en grados centígrados de precisión y de bajo voltaje. Cuenta con una precisión de  $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  por encima del rango de temperatura de  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Trabaja con un voltaje de funcionamiento de 2.7V a 5.5V (UNIT, 2019).

Se utilizan el sensor TMP36 para medir la temperatura de los sistemas de control ambiental, protección térmica, control de procesos industriales, alarmas contra incendios, monitores de sistemas de potencia y gestión térmica de la CPU.

#### ESPECIFICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS

Voltaje de funcionamiento: 2.7 a 5.5 V

Salida: Analógica

Consumo de corriente en reposo: 0.5 uA máx

Factor de escala: 10 mV /  $^{\circ}\text{C}$

Precisión:  $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  sobre temperatura

Linealidad:  $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$

Rango de temperatura:  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$

Para controlar las revoluciones del motor se utilizará un encode marca NAYLAND, ver Figura 26.

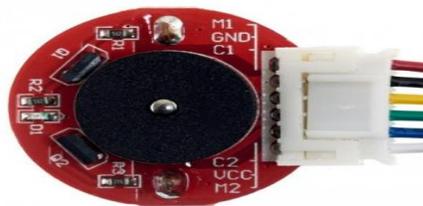


Figura 26. Encode marca NAYLAND.  
Fuente: (naylampmechatronics, 2018).

El Motor DC con encode y caja reductora 25GA - 12V 100 RPM es ideal para proyectos de control de velocidad o posición en lazo cerrado, como: péndulo invertido, robot móvil autónomo, servomotor DC, faja transportadora y más. El dispositivo está compuesto de tres partes: el motor DC, la caja reductora y el encode de cuadratura. El motor DC trabaja a un voltaje nominal de 12V.

La caja reductora de metal cumple la función de reducir la velocidad de entrada y aumentar el torque de salida. El motor y la caja reductora están fabricados en metal para una mayor durabilidad y resistencia. El encode sirve como un sensor de velocidad y sentido de giro, funciona utilizando dos sensores de efecto Hall (naylorlampmechatronics, 2018).

Las resistencias eléctricas para utilizar en el diseño del secador, ver Figura 27.

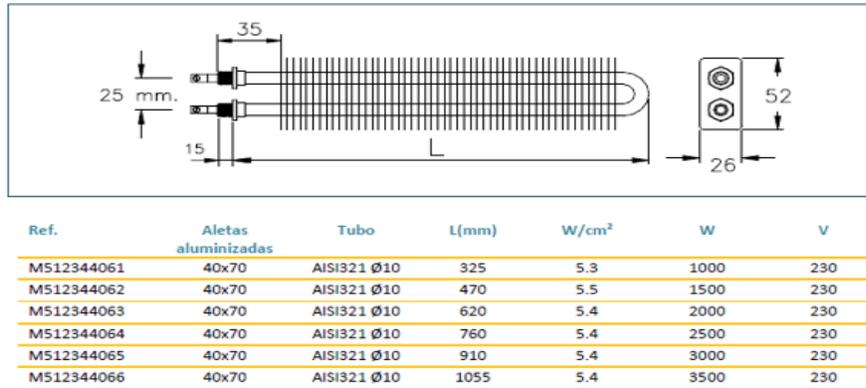


Figura 27. Resistencias eléctricas marca  
Fuente: (Tope, 2020).

Este tipo de resistencias tienen incorporado de aletas aluminizadas permiten una gran transmisión de calor al ambiente. El tipo de aletas rectangular con 2 aletas por cm lineal y debido a la gran conductividad térmica del aluminio garantiza un mínimo gradiente térmico entre la temperatura superficial del tubo y la temperatura del aire.

#### Características:

Tubo acero inoxidable 321 de Ø 8 mm

Aletas aluminizadas medidas 25x50 mm

Racor pinzado de acero M12x125.

Temperatura máxima 250° C con una velocidad del aire de 2m/s.

#### 4.8 Estudio de viabilidad técnico-económica

Para saber el costo de la inversión total, se tomó en cuenta las características de los elementos seleccionados. En la Tabla 11, se puede visualizar sus precios en el mercado.

Tabla 11. Precios de componentes seleccionados para el secador y el sistema de control.

COMPONENTES	UNIDADES	VALOR UNITARIO	COSTO (\$)
Resistencias eléctricas	3	60.000	180.000
Ventilador axial	1	329.000	329.000
Sistema solar fotovoltaico	1	13'657.678	13'657.678

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Láminas de latón	7	129.900	909.300
vidrios	8	24.500	196.000
Cables de conexión	22 m	5445.45	119.800
Sensor de humedad y temperatura	1	370.000	370.000
Sensor de temperatura	1	6.500	6.500
Control de posición o encode	1	27.000	27.000
<b>Total</b>			<b>15'795.278</b>

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la Tabla 11, se encuentran los costos de todos los componentes para la instalación. A continuación, se calcula también el costo de la construcción del secador, ver Tabla 12.

Tabla 12. Costo de mano de obra.

<b>GASTOS DETALLADOS</b>	<b>COSTO (\$)</b>
Horas/Hombre (120 h)	\$9.300/h
Transporte de los componentes	540.000
Alimentación	1'200.000
<b>Total</b>	<b>2'856.000</b>

Fuente: Elaboración propia.

Para calcular el retorno de la inversión, se partirá del costo de fabricación total dividido en 12 meses:

$$Costo_{Total} = \$18'651.278 * \frac{1 \text{ año}}{12 \text{ meses}} = \$1'554.273$$

El precio de compra de la carga de café en pesos colombianos depende enteramente del comportamiento de las siguientes variables de mercado: cotizaciones en la Bolsa de Nueva York, prima por la calidad que se le reconoce al café colombiano y la tasa de cambio del peso colombiano frente al dólar. Por tal motivo, es difícil de calcular un valor exacto del retorno de la inversión, pero se mostrará un valor aproximado.

Por ejemplo, hoy 17 de marzo el precio interno de café fue de \$2'160.000 de referencia para la compra de café pergamino seco por carga de 125 Kg y un caficultor gasta en promedio \$ 750.000 para producirlo y demora 1 meses para obtener sus ganancias. Para el caficultor es muy difícil cumplir las condiciones exigidas por la FNC y al final recibe en promedio solamente \$ 1'341.000 por tener una humedad del 40,1 % dejando de ganar \$ 819.000 debido a estas condiciones, pero si contara con un instrumento (secador) que le permita cumplir estas exigencias este dinero sería para él.

Entonces:

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

$$\$18'651.278 * \frac{1 \text{ mes}}{\$ 819.000} = 22,77 \text{ meses oséa 2 años}$$

A continuación, se visualiza una vista isométricas del secador solar, Ver Figura 28.

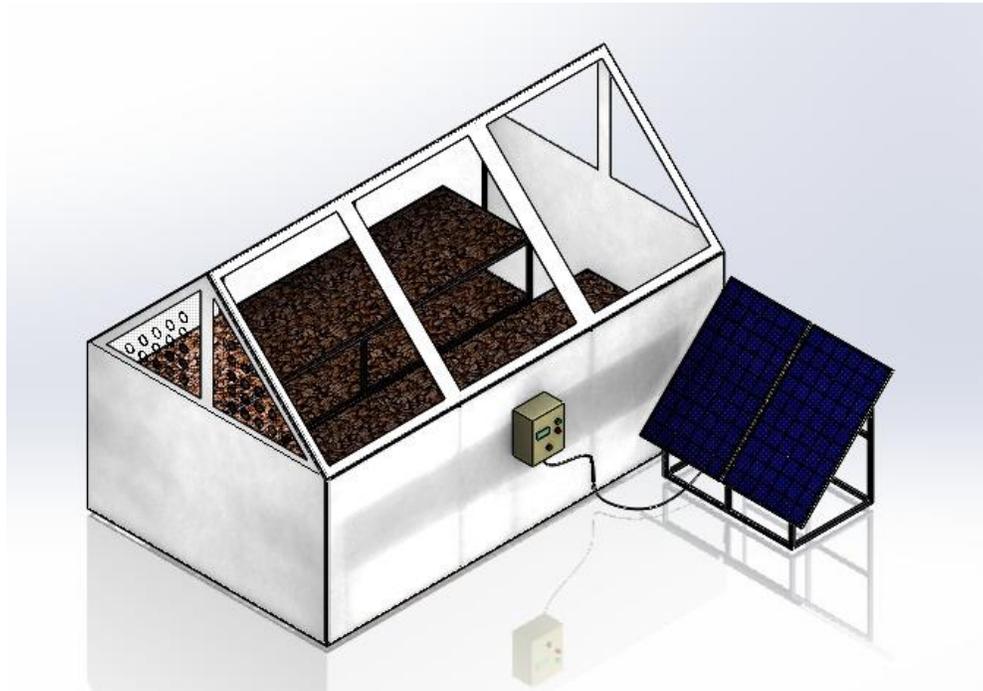


Figura 28. Vista isométrica del secador de café.

Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura 28, se pueden visualizar el sacador de café diseñado con sus componentes principales: Tablero de control, sistema solar fotovoltaico y estructura. Además, en las Figuras 29, 30 y 31. Se pueden visualizar sus componentes principales.

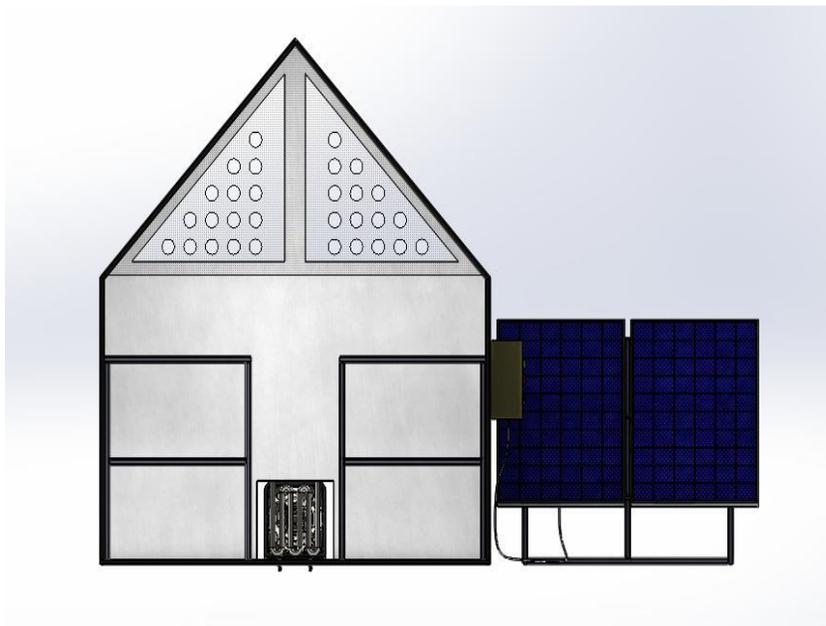


Figura 29. Vista trasera del secador de café.  
Fuente: Elaboración propia.

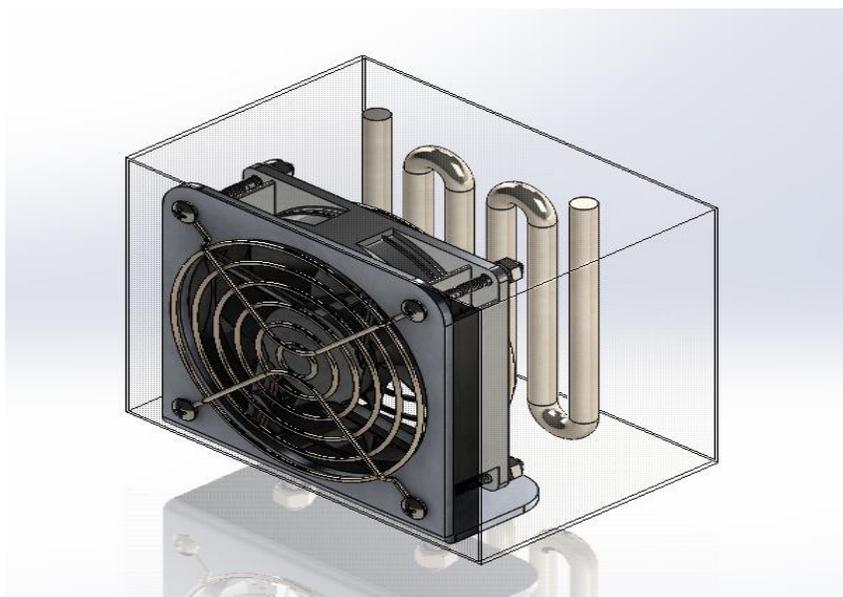


Figura 30. ducto de entrada del aire con las resistencias eléctricas.  
Fuente: Elaboración propia.

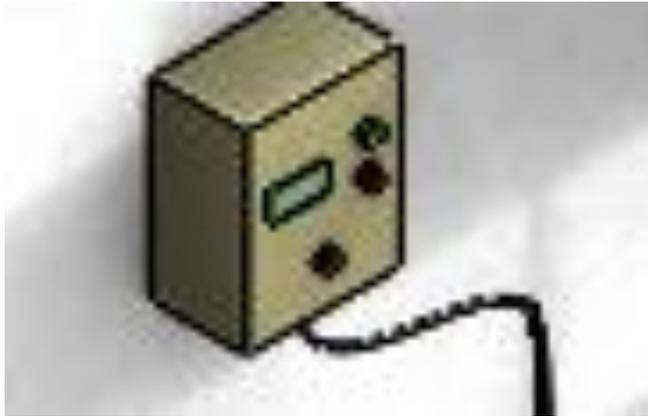


Figura 31. Tablero de control del secador.  
Fuente: Elaboración propia.

Por último, tenemos los planos eléctricos del sistema solar fotovoltaico que alimenta las resistencias y el ventilador, ver Figura 32.

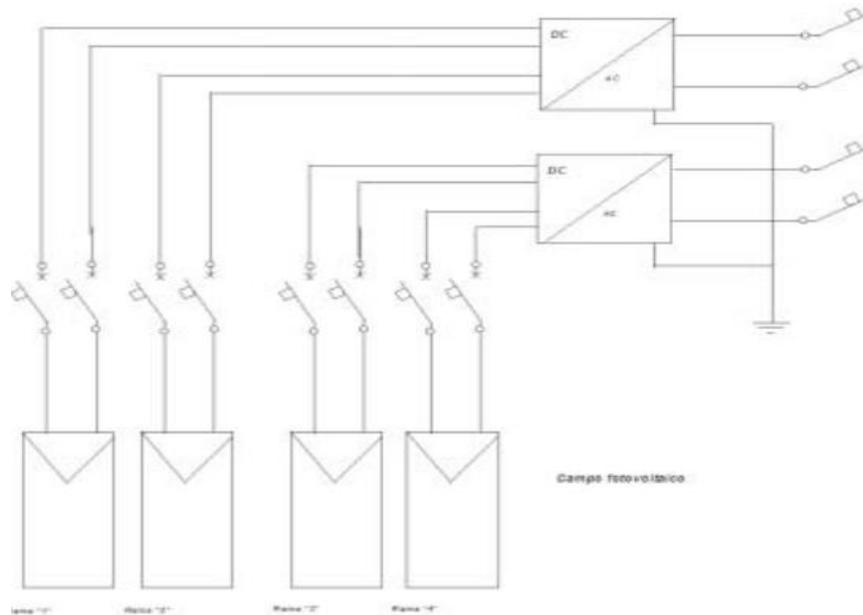


Figura 32. Planos eléctricos del sistema solar fotovoltaico aislado de la red.  
Fuente: Elaboración propia.

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

## 5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

---

Este proyecto mejora el sistema de secado del café y conserva sus características fundamentales como pureza, aroma, calidad.

Por medio de la búsqueda bibliográfica realizada, se puede identificar que el principal problema hoy en día de la energía solar fotovoltaica es el alto costo de los dispositivos de almacenamiento (baterías), ocasionando que su utilización sea muy reducida o solamente se utilice para sustituir una parte de la energía consumida.

Para el diseño de la estructura del secador, se utilizó una matriz de ponderación la cual permitió identificar la estructura más adecuada para el secador, la cual permitirá a su vez generar un efecto invernadero disminuyendo el consumo de energía térmica utilizada para el secado del grano de café.

También se pudo comprobar que actualmente existen sistemas de secado o secadores de café rudimentarios o que solamente controlan una variable como la humedad, pero no la temperatura del secado simultáneamente. Además, la incorporación de este nuevo tipo de energía favorece considerablemente el medio ambiente.

Con este diseño muchos de los caficultores existentes aumentarán sus ingresos debido a la disminución de la humedad de forma controlada sin variar la calidad del café, pero a un bajo costo.

Para la selección de los demás componentes eléctricos y electrónicos, se buscó en lo posible que estos fueran comerciales para reducir costos y garantizar su disponibilidad en caso de un mantenimiento correctivo.

El estudio de viabilidad técnico-económico permitió establecer que el secador diseñado es una alternativa ideal para ciertas partes del territorio donde el servicio de energía eléctrica es deficiente o carecen de este, ocasionando mayores gastos de transporte para el caficultor porque este debe llevar su café a secar y luego a vender.

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

## REFERENCIAS

---

- Accounter. (2017). *Accounter*. Obtenido de <http://www.accounter.co/normatividad/decretos/28588-decreto-2143-beneficios-tributarios-ley-1715-de-2014-para-la-promocion-desarrollo-y-utilizacion-de-las-fuentes-no-convencionales-de-energia-fnce-en-especial-las-de-caracter-renovable.html>
- Amazonaws. (2009). *Amazonaws.com*. Recuperado el 4 de enero de 2017, de <http://spain-s3-mhe-prod.s3-website-eu-west-1.amazonaws.com/bcv/guide/capitulo/8448171691.pdf>
- Americafotovoltaica. (2015). Obtenido de <http://www.laguiasolar.com/energia-solar-en-colombia/>
- Bedoya, M. D. (2016). Obtenido de <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/33854/OliverosBedoyaMaria-delMar2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cabrera, R. G. (2017). *Universidad de Guacato*. Obtenido de [http://mctp.mx/pdf/optics\\_and\\_energy/day5/Celdas%20solares.pdf](http://mctp.mx/pdf/optics_and_energy/day5/Celdas%20solares.pdf)
- Canarias, G. d. (2010). Recuperado el 12 de enero de 2017, de [http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49914e4ed9045/1234263307\\_GuiaFotovoltaicaGobCan.pdf](http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49914e4ed9045/1234263307_GuiaFotovoltaicaGobCan.pdf)
- Cano, X. B. (2009). El sol, nuestra estrella. *Revista Digital Universitaria*, 16.
- Cengel, Y. A. (2008). *Termodinamica*. Mexico: Mc Graw Hill.
- Cenicafé. (2016). Obtenido de [https://www.cenicafe.org/es/publications/cartilla\\_21.\\_Secado\\_del\\_cafe.pdf](https://www.cenicafe.org/es/publications/cartilla_21._Secado_del_cafe.pdf)
- COFFEEIO. (2019). Obtenido de <https://www.coffeeiq.co/secado-de-cafe-al-sol-y-mecanico/>
- DANE. (1 de septiembre de 2016). pág. 1.
- Dane. (2 de octubre de 2017). Obtenido de <http://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/mercado-laboral/empleo-y-desempleo>
- Echeverri, D. (2005). Cafe para cardiacos. *Revista Colombiana de Cardiología*, 8. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/rcca/v11n8/v11n8a1.pdf>
- EPM. (2018). Obtenido de [https://www.epm.com.co/site/Portals/3/CONDICIONES%20ATMOSFERICAS/Condiciones%20Atmosf%C3%A9ricas\\_Municipios%20Antioquia\\_25052018.pdf](https://www.epm.com.co/site/Portals/3/CONDICIONES%20ATMOSFERICAS/Condiciones%20Atmosf%C3%A9ricas_Municipios%20Antioquia_25052018.pdf)

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

- Federación de cafeteros. (2019). Obtenido de <https://federaciondecafeteros.org/app/uploads/2019/11/Afiche-Espa%C3%B1ol-2-final.pdf>
- Federación de cafeteros. (2021). Obtenido de <https://federaciondecafeteros.org/wp/servicios-al-caficultor/aprenda-a-vender-su-cafe/>
- Fonseca, S. C. (abril de 2015). *repositorio Sibdi*. Recuperado el 19 de junio de 2018, de <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/bitstream/123456789/3125/1/38678.pdf>
- Fresneda, C. (29 de Septiembre de 2016). *El Mundo*. Obtenido de <https://www.elmundo.es/ciencia/2016/09/29/57ec06ff46163fe6798b4658.html>
- Gomez, C. (2012). *tipo de paneles solares*. Obtenido de <file:///C:/Users/W/Desktop/old%20escritorio/articulos%20par%20aproyectos/solar/ultimo%20proyecto/Caracteristicas%20Paneles%20Solares.pdf>
- GOVEE. (2020). Obtenido de <https://www.nibib.nih.gov/espanol/temas-cientificos/sensores>
- Gutiérrez, J. M. (Diciembre de 2009). Hacia la mejora del secado mecánico del café. *Tecnologicas*, 109-132. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/3442/344234316007.pdf>
- Ideam. (2015). Obtenido de <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>
- IICA. (23 de mayo de 2010). *Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura*. Recuperado el 25 de junio de 2018, de <http://www.iica.int/es/countries/costa-rica>
- MundoCafé. (1 de Octubre de 2019). Obtenido de <https://elautenticocafe.es/las-8-etapas-del-proceso-de-produccion-del-cafe/>
- Murcia, H. R. (2009). Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas. *dossier*, 83-90.
- naylampmechatronics. (2018). Obtenido de <https://naylampmechatronics.com/motores-dc/616-motor-dc-con-caja-reductora-y-encoder-25ga-12v-350rpm.html>
- ONF. (11 de mayo de 2013). *Oficina Nacional Forestal Costa Rica*. Recuperado el 18 de mayo de 2018, de <https://onfcr.org/article/secadores-solares-para-madera-aserrada/>
- Ortega, L. G. (Diciembre de 2019). *Federacion nacional de cafeteros*. Obtenido de [https://federaciondecafeteros.org/app/uploads/2019/12/Econom%C3%ADa-Cafetera-No.-30\\_Web.pdf](https://federaciondecafeteros.org/app/uploads/2019/12/Econom%C3%ADa-Cafetera-No.-30_Web.pdf)
- Propanogas. (25 de junio de 2018). Obtenido de <https://propanogas.com/faq/propano/consumo-agua-caliente>
- Raimundo, F. (2016). Obtenido de <https://slideplayer.es/slide/10459558/>

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

SODECA. (2012). Obtenido de

[http://www.sodeca.com/upload/imgCatalogos/ES/CT11\\_60Hz\\_2012ES.pdf](http://www.sodeca.com/upload/imgCatalogos/ES/CT11_60Hz_2012ES.pdf)

TEC. (2 de Agosto de 2018). *Todo Es Ciencia*. Obtenido de

<https://todoesciencia.minciencias.gov.co/cafe>

Tope. (2020). *Resistencias tope*. Obtenido de <https://www.resistenciastope.com/es/11-resistencias-aire/19-resistencias-con-aletas-aluminizadas/>

Tudela, J. M. (3 de junio de 2013). Recuperado el 5 de enero de 2017, de

<http://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/3553/pfc5203.pdf;jsessionid=4F67397E3E43680A6219D2C2F4747C34?sequence=1>

UNEF. (2016). Obtenido de [http://unef.es/wp-content/uploads/dlm\\_uploads/2016/08/Informe-Anual-UNEF-2016\\_El-tiempo-de-la-energia-solar-fotovoltaica.pdf](http://unef.es/wp-content/uploads/dlm_uploads/2016/08/Informe-Anual-UNEF-2016_El-tiempo-de-la-energia-solar-fotovoltaica.pdf)

UNIT. (2019). *Unit electronics*. Obtenido de <https://uelectronics.com/producto/sensor-de-temperatura-tmp36/>

UPME. (2014). Obtenido de [http://www.upme.gov.co/docs/atlas\\_radiacion\\_solar/2-mapas\\_radiacion\\_solar.pdf](http://www.upme.gov.co/docs/atlas_radiacion_solar/2-mapas_radiacion_solar.pdf)

UPME. (13 de 03 de 2017). Obtenido de <http://www.upme.gov.co/zni/>

Verema. (23 de Febrero de 2016). Obtenido de <https://www.verema.com/blog/productos-gastronomicos/1348876-origen-cafe>

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

FIRMA ESTUDIANTES

  
C. 1214723829

Luis Carlos Vásquez M.



FIRMA ASESORES

FECHA ENTREGA: \_\_\_\_ 31/03/2022 \_\_\_\_