

Estudio Técnico-Económico de la Implementación de un Gasificador de Biomasa y Paneles  
Solares para Suplir la Energía de un Silo de Café

Daniel Enrique Ríos Durán, Alirio Alfonso Peralta Hernández

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Mecánico

Director

Yesid Javier Rueda Ordóñez

PhD. Ingeniero Mecánico

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físicomecánicas

Escuela de Ingeniería Mecánica

Bucaramanga

2020

**Dedicatoria**

*A mis padres, un académico consagrado y con un espíritu implacable, y una mujer  
encantadora que ilumina cada uno de mis días.*

*A mis hermanos, que uno tras otro representa un motivo de orgullo y admiración, en  
especial a ti Ángela, no me alcanzará la vida para agradecerte.*

*A Lenny, por cada uno de los días que hemos compartido.*

*Alirio Alfonso Peralta Hernández*

**Tabla de Contenido**

	Pág.
Introducción .....	14
1. Objetivos .....	16
1.1. Objetivo general .....	16
1.2. Objetivos específicos .....	16
2. Marco Teórico.....	17
2.1. Descripción general del proceso de producción de café.....	17
2.2. Construcción y funcionamiento del silo actual.....	19
2.3. Funcionamiento esperado del nuevo silo.....	22
2.4. Biomasa .....	23
2.5. Gasificación de la biomasa .....	24
2.6. Tipos de gasificadores .....	25
2.7. Energía solar .....	28
2.7.1. Geometría solar .....	28
2.7.2. Cuantificación de la energía solar .....	30
2.8. Instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red.....	32
2.8.1. Características básicas de los módulos fotovoltaicos.....	33
2.8.2. Inversores .....	36
2.9. Antecedentes de investigación.....	38
3. Metodología .....	39
3.1. Análisis de alternativas .....	39

3.1.1. Análisis de alternativas para el gasificador .....	40
3.1.2. Análisis de las alternativas para la biomasa .....	40
3.1.3. Análisis de alternativas para el sistema fotovoltaico .....	42
3.2. Necesidades energéticas a abastecer por el gasificador y paneles solares. ....	43
3.2.1. Necesidades de carácter térmico .....	43
3.2.2. Estudio de la necesidad de un secador de Biomasa .....	48
3.2.3. Necesidades de carácter eléctrico.....	49
4. Resultados .....	54
4.1. Análisis económico.....	54
4.1.1. Análisis de costos de construcción, instalación, y puesta en funcionamiento del nuevo sistema. ....	54
4.1.2. Determinar la cantidad de dinero que se puede ahorrar al implementar este sistema alternativo, así como su tiempo de amortización; .....	58
5. Conclusiones .....	62
Referencias Bibliográficas .....	64
Apéndices.....	67

**Lista de Tablas**

	Pág.
Tabla 1. Diferencias entre los módulos solares según su fabricación.. .....	34
Tabla 2. Matriz QFD para gasificador de biomasa. ....	40
Tabla 3. Matriz QFD para selección de biomasa. ....	41
Tabla 4. Poder calorífico de combustibles utilizados en el secado mecánico del café....	41
Tabla 5. Matriz QFD para la estructura de los paneles solares.....	42
Tabla 6. Valores de radiación promedio mensuales para una superficie inclinada. ....	53
Tabla 7. Propuesta de gasificador de la empresa Fimar .....	55
Tabla 8. Propuesta de gasificador de la empresa Orígenes.....	56
Tabla 9. Propuesta de sistema fotovoltaico de la empresa Ambiente Soluciones. ....	57
Tabla 10. Propuesta de sistema fotovoltaico de la empresa Solartex .....	58
Tabla 11. Propuesta de sistema fotovoltaico de la empresa Green Energy .....	58
Tabla 12. Consumos anuales y precios .....	59
Tabla 13. Costo de adquisición.....	60
Tabla 14. Ahorro anual en combustible y energía eléctrica. ....	61
Tabla 15. Flujo de Caja.....	61
Tabla 16. Criterios Financieros.....	62

**Lista de Figuras**

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Distribución de los costos de producción del café pergamino seco (cps).....	14
Figura 2. Secado natural de café.....	18
Figura 3. Funcionamiento del silo de café.....	20
Figura 4. Diagrama del proceso de generación de gases calientes.....	21
Figura 5. Estructura del serpentín.....	21
Figura 6. Esquema de generación de energía térmica con gasificador.....	22
Figura 7. Gasificadores de biomasa:.....	26
Figura 8. Incidencia de los rayos solares sobre distintas superficies .....	29
Figura 9. Posición relativa del sol para una superficie inclinada al sur.....	29
Figura 10. Componentes de la radiación solar terrestre sobre una superficie de captación.	30
Figura 11. Incidencia de los rayos solares a través de la atmosfera. ....	31
Figura 12. Elementos básicos de un sistema fotovoltaico conectado a la red. ....	32
Figura 13. Estructura de la célula solar. Diaz y Carmona .....	33
Figura 14. Conformación de un panel solar y sus características principales. ....	34
Figura 15. Conexión de las células en un módulo fotovoltaicos de silicio monocristalino.	35
Figura 16. Curvas de intensidad y potencia en un panel solar. ....	36
Figura 17. Análisis de una hoja de características de un inversor. Diaz y Carmona.....	37
Figura 18. Esquema de pérdidas.....	44
Figura 19. Calentamiento sensible del aire.....	45
Figura 20. Porcentaje de gases presentes en la mezcla .....	47
Figura 21. Consumo de energía eléctrica a lo largo del año.....	49
Figura 22. Irradiación global horizontal medio diario anual. ....	50

Figura 23. Mapa de Santander con las cuatro estaciones meteorológicas del IDEAM.....	51
Figura 24. Radiación promedio mensual en Mogotes. ....	51
Figura 25. Orientación espacial de la Finca .....	52
Figura 26. Orientación geográfica y espacio disponible del techo de la finca .....	52

**Lista de Apéndices**

Apéndice A. Fotografías de los componentes del silo actual. ....	67
Apéndice B. Factura de consumo de energía eléctrica. ....	69
Apéndice C. Datos de Producción anual y consumo de combustible.....	70
Apéndice D. Determinación del Calor de Pérdidas. ....	71
Apéndice E. Cotización del gasificador ofrecido por la empresa Fimar. ....	72
Apéndice F. Cotización Gasificador Orígenes .....	73
Apéndice G. Cotización Solar Ambiente Soluciones .....	74
Apéndice H. Cotización Solar Solartex. ....	75
Apéndice I. Cotización Solar GreenEnergy.....	76
Apéndice J. Plan Amortización Banco Colpatria. ....	77
Apéndice K. Cálculo del Calentamiento Sensible del aire. ....	78
Apéndice L. Producción de energía anual generado por sistema fotovoltaico. ....	79

## Resumen

**Título:** Estudio Técnico-Económico de la Implementación de un Gasificador de Biomasa y Paneles Solares para Suplir la Energía de un Silo de Café\*

**Autores:** Daniel Enrique Ríos Duran, Alirio Alfonso Peralta Hernández \*\*

**Palabras clave:** silo de café, energía térmica, energía renovable, servicios públicos, variedad, análisis económico.

## Descripción

Este documento refiere a la metodología utilizada para un estudio de viabilidad económica y tecnológica de la sustitución de los instrumentos generadores de energía térmica actuales de un silo de café, por unos elementos de generación térmica y eléctrica a base de energía renovable; instituyendo una sistemática apropiada para aplicar en cualquier finca procesadora y distribuidora de café, con el fin de decretar el ahorro en costos unitarios de los servicios públicos y el combustible para el funcionamiento del silo actual.

Por intermedio de este proyecto se pudo llevar a cabo el estudio de diferentes fuentes de datos e información con el propietario de la finca, para constituir la distribución de las cuentas del gasto y el costo, desde una etapa inicial hasta las etapas más específicas del proceso que conlleva a la producción en masa de café variedad castilla excelso, tipo de café producido en la finca.

Posteriormente se inspeccionó y validó el análisis técnico- económico, donde se establecen unos criterios financieros para determinar la viabilidad, de esta misma forma se consigue llevar a criterios fijos el ahorro final que tiene la implementación de los instrumentos generadores de energía térmica a base de energía renovable, y de esta manera implantar conclusiones y recomendaciones para el mejoramiento continuo del proyecto.

---

\* Trabajo de grado

\*\* Facultad de ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: PhD. Yesid Javier Rueda Ordoñez.

### Abstract

**Title:** Technical-Economic Study of the Implementation of a Biomass Gasifier and Solar Panels to Supply the Energy A Coffee Silo\*

**Authors:** Daniel Enrique Rios Duran, Alirio Alfonso Peralta Hernandez.\*\*

**Key Words:** coffee silo, thermal energy, renewable energy, public services, economic analysis.

#### Description:

This document refers to the methodology used for a study of economic and technological feasibility of replacing the current thermal energy generating instruments of a coffee silo, with elements of thermal and electrical generation based on renewable energy; establishing an appropriate system to apply in any coffee processing and distribution farm, in order to decrease the savings in unit costs of public services and the fuel for the operation of the current silo.

Through this project it was possible to carry out the study of different sources of data and information with the owner of the farm, to constitute the distribution of the expense and cost accounts, from an initial stage to the more specific stages of the process which leads to the mass production of coffee variety castilla excelso, type of coffee produced on the farm.

Subsequently, the technical-economic analysis was inspected and validated, where financial criteria are established to determine the viability, in this way, the final saving of the implementation of the energy-based thermal energy generating instruments is fixed. renewable, and in this way implement conclusions and recommendations for the continuous improvement of the project.

---

\* Bachelor Thesis

\*\* Physics-Mechanics engineering Faculty. Mechanical engineering school. Director: PhD. Yesid Javier Rueda Ordoñez

## Introducción

En Colombia, la industria del café presenta un crecimiento económico y genera una cifra muy alta de ingresos, según la balanza comercial. A nivel mundial, Colombia es el tercer país con más exportaciones de café en el mundo. En 2017 obtuvo una exportación de 810.000 kg, aportando en un 9,42% de la producción mundial; el mercado lo lidera Brasil con 30,16% seguido de Vietnam con 19.18% (Infocafe, 2018.). El potencial cafetero de Colombia se soporta en cerca de 82,000 caficultores, asociados con 33 cooperativas y con 530 puntos de compra.

Con el incremento de la producción de café se busca aumentar las ganancias. Esto se consigue disminuyendo los costos de producción, siendo los procesos de secado y recolección del café los que registran los costos más elevados. Por lo tanto, los esfuerzos se deben canalizar hacia la optimización económica de los procesos de producción del café. Un estudio de la plataforma de

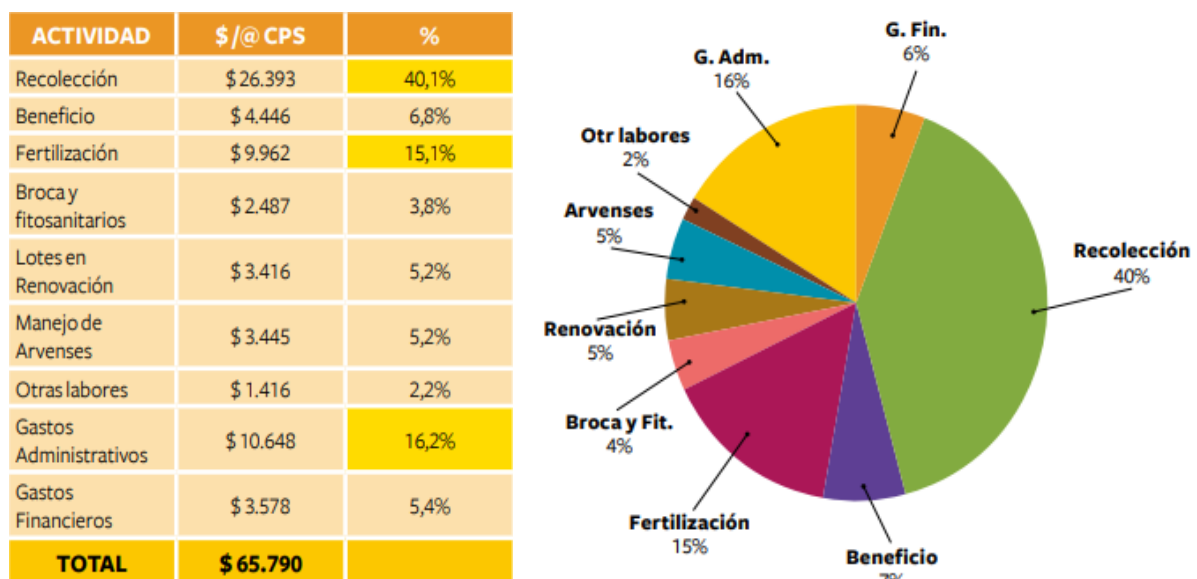


Figura 1. Distribución de los costos de producción del café pergamino seco (cps)

comercio sostenible, la cual es una alianza colombiana que busca fortalecer la producción y el comercio sostenible del país, demuestra que los gastos de recolección son muy elevados con un porcentaje aproximado del 40.1%; La distribución de los porcentajes en el costo de producción del café se pueden observar en la Figura 1.

Básicamente, el proceso de producción del café comienza con su recolecta, luego se retira la cáscara del grano para después dejarlo por 3 días expuesto a la humedad del medio ambiente. Sigue la fase de lavado del grano para eliminar restos de hojas, suciedad, mucílago y demás impurezas que intervengan en la integridad del grano. El proceso finaliza con el secado del grano.

El propósito del secado es retirar la mayor cantidad posible de humedad presente en el grano de café. En algunas fincas cafeteras, donde el secado se realiza mediante la exposición del grano al sol, este proceso puede durar varios días, aproximadamente 6 o 7. Para reducir el tiempo de secado comúnmente se utiliza un silo de café alimentado por electricidad y combustible, reduciendo el tiempo de secado en más de un 50% (3 o 4 días) y de igual manera se aumenta la calidad a grandes escalas. Sin embargo, hacer uso del silo eleva considerablemente los costos, debido al uso del combustible y la electricidad.

El presente estudio surge de la necesidad de reducir los costos en el proceso de secado del café, a través de la optimización energética de los silos de café. Adicionalmente, se pretende encontrar una solución ambientalmente favorable al aprovechar los residuos orgánicos que se generan en el proceso y evitar el uso y las emisiones contaminantes de los combustibles fósiles. Tecnologías como la gasificación de biomasa y producción de energía eléctrica mediante paneles solares son propuestas idóneas para la aplicación.

## **1. Objetivos**

### **1.1. Objetivo general**

Analizar en términos económicos y de viabilidad tecnológica, el reemplazo de los sistemas energéticos convencionales de petrodiesel y red eléctrica, presentes en un silo que produce 9000 kg de café al año, por la implementación de un sistema de gasificación de biomasa residual del proceso y otro de paneles solares.

### **1.2. Objetivos específicos**

Determinar las necesidades energéticas a ser reemplazadas por el sistema de biomasa y paneles solares.

Seleccionar y dimensionar los componentes del sistema alternativo de generación de energía, con el fin de abastecer el consumo actual del silo, siendo estos: Paneles solares y sus respectivos componentes, con un espacio de 102 m<sup>2</sup> disponible para instalación; Gasificador de biomasa, con un espacio de 6 m<sup>2</sup> disponible para instalación; Biomasa, con una cantidad producida de 40 kg anuales de cisco.

Estimar el costo de construcción, instalación, y puesta en funcionamiento del sistema alternativo de energía compuesto por paneles solares y un gasificador de biomasa residual del procesamiento del café;

Calcular la cantidad de dinero que se puede ahorrar en biocombustible y energía eléctrica, al implementar este sistema alternativo, así como su tiempo de amortización.

## 2. Marco Teórico

### 2.1. Descripción general del proceso de producción de café

**Siembra:** El proceso de producción empieza por la siembra del café que requiere de un terreno previamente preparado y nutrido. Como todo organismo vivo, el café tiene un ciclo de vida y potencial productivo definido, donde la planta desarrolla sus procesos biológicos de desarrollo, por lo que se protege el café de cualquier plaga o maleza que pueda interrumpirlo.

**Recolección:** Una vez se alcanza el periodo productivo de la planta, se lleva a cabo la recolecta manual de los granos de café. Estos granos se reúnen en un sitio generalmente cerrado para empezar procesos de tratamiento.

**Despulpado:** En este proceso se busca remover la capa externa que protege el grano del café. Generalmente se usan maquinas rotativas, que disponen de pequeñas secciones que efectúan cortes. Los granos más pequeños o verdes presentan dificultades en el proceso, así que las maquinas los descartan por efecto tamiz.

**Clasificación:** No todos los productos del despulpado son aptos para producir el café pergamino seco. Los granos que puedan afectar la calidad del producto final (por ejemplo, que estén ‘picados’ o faltos en maduración) serán apartados.

**Desmucilaginado:** El mucílago es una piel que recubre el grano de café y debe removerse de igual forma mediante procesos mecánicos.

**Lavado:** El objetivo del lavado es limpiar al máximo el grano que será llevado a secarse, ya que luego de ahí viene su comercialización. Para lograrlo, el proceso generalmente se hace en varias etapas, esto con el fin de lograr un lavado profundo y al mismo tiempo seguir removiendo mecánicamente impurezas residuales.

**Secado:** Esta es la etapa final del proceso. Aquí se busca extraer la mayor humedad posible del café. En Colombia el café pergamino seco debe presentar un contenido de humedad entre 10

y 12% (Oliveros Tascon, 2009). Este secado se consigue con el aprovechamiento de las energías del sol y el aire para producciones bajas o con ayuda de secadores mecánicos.

### **Secado en forma natural:**

Es un proceso tradicional que le atribuye al café cualidades importantes, sobre todo de sabor. El café es esparcido en un patio de cemento con una inclinación del 1%, expuesto a la radiación solar, con espesores menores a 10 cm (al principio solo de 3 o 4 cm) como se ve en la Figura 2. El café se remueve periódicamente, hasta que el grano haya perdido entre un 43 y 48% del agua con relación a su peso. Este proceso toma entre 8 y 15 días para llegar al nivel óptimo de humedad del 12% (Roa-Mejía et al., 2000). Algunos inconvenientes son: requiere características específicas del aire (alta temperatura y baja humedad), alto trabajo operativo (guardar en caso de lluvias y por la noche) y el grano está expuesto a contaminantes.



*Figura 2.* Secado natural de café.

**Secado artificial o mecánico:**

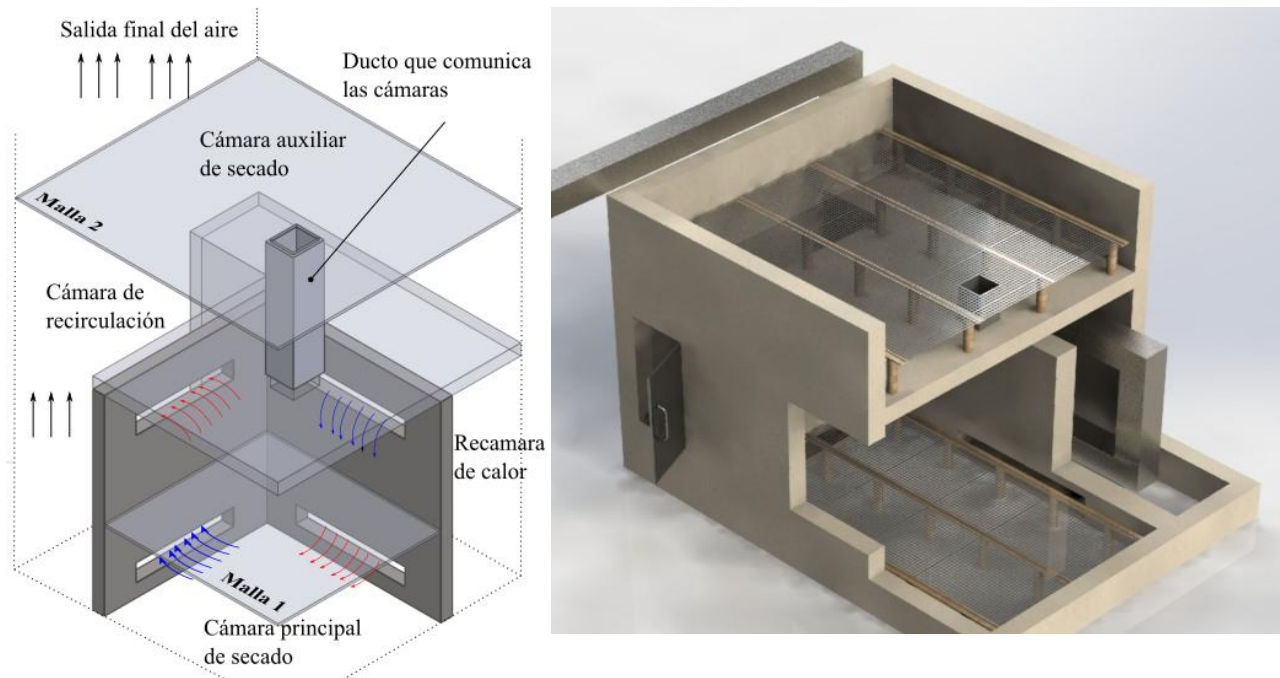
Consiste en hacer pasar una corriente de aire caliente sobre una capa de café, generalmente estática, para que absorba la humedad del café, reduciendo significativamente el tiempo empleado en el secado frente al proceso tradicional. El sistema requiere de una fuente térmica que genera los gases calientes, un intercambiador que usa estos gases para calentar el aire de secado y un ventilador que lo hace circular a través de la capa de café.

Estos secadores pueden ser de una etapa, es decir, que sobre una única capa de café esparcido se hace pasar la corriente de aire caliente, o pueden ser en múltiples etapas conformando así cámaras de presecado, que aprovechan las corrientes calientes residuales que salen de la cámara de secado principal.

Para generar los gases calientes es habitual quemar combustibles como petrodiesel, propano o carbón, en un quemador alimentado con aire. Estos combustibles son caros y se opta por otros sistemas. Los secadores mecánicos pueden adaptarse para aprovechar los residuos de la producción del café como combustible, ya que en particular estos residuos tienen un elevado valor energético (Roa-Mejía et al., 2000).

**2.2. Construcción y funcionamiento del silo actual.**

El silo actual consta principalmente de dos cámaras de secado, una principal y otra auxiliar, como se muestra esquemáticamente en la Figura 3. La cámara principal tiene 4 ventanas y una malla (Malla 1) donde se deposita el café, para ser secado por el aire caliente que proviene de la Recámara de calor. Para un *secado desde arriba*, se abren las ventanas asociadas a las flechas azules y se cierran las demás. Para un secado desde abajo, las ventanas de las flechas rojas permanecen abiertas mientras las otras se cierran.



*Figura 3.* Funcionamiento del silo de café

Una vez el aire abandona la cámara principal, es conducido a través de la cámara de recirculación hacia la cámara auxiliar, donde se intenta aprovechar el calor restante del aire para adicionar un secado al café depositado en la Malla 2. Finalmente, el aire es liberado a la atmósfera. El café de la Malla 2 pasa posteriormente hacia la cámara principal por medio de un ducto rectangular que comunica las dos cámaras, para así dar fin al proceso de secado.

Como se ha dicho, el aire se calienta en una recámara de calor gracias a un serpentín que transporta los gases de combustión de la quema de petrodiesel. Este proceso de generación de energía térmica y su uso se ilustra esquemáticamente en la Figura 4.

El ciclo inicia con la quema de petrodiesel en una cámara de combustión (C.C. en la figura 4) con ayuda de un quemador y un ventilador. El combustible pasa por medio de una válvula y un filtro antes de llegar al quemador, el cual genera una chispa que enciende la mezcla de

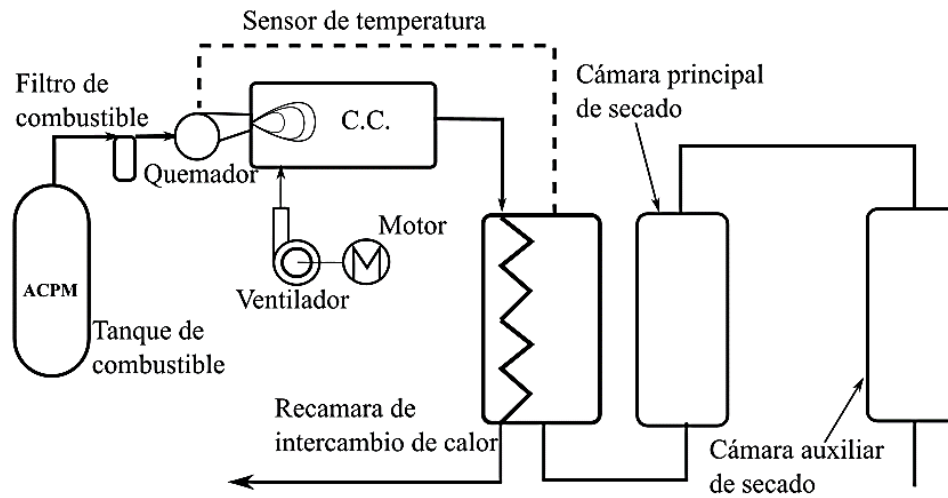


Figura 4. Diagrama del proceso de generación de gases calientes

combustible y aire proveniente de un ventilador industrial de aspas rectas. Los gases calientes son dirigidos hacia la recámara de intercambio de calor para calentar el aire, ver Figura 5. En el Apéndice A se presentan fotografías de algunos de los componentes del silo actual.

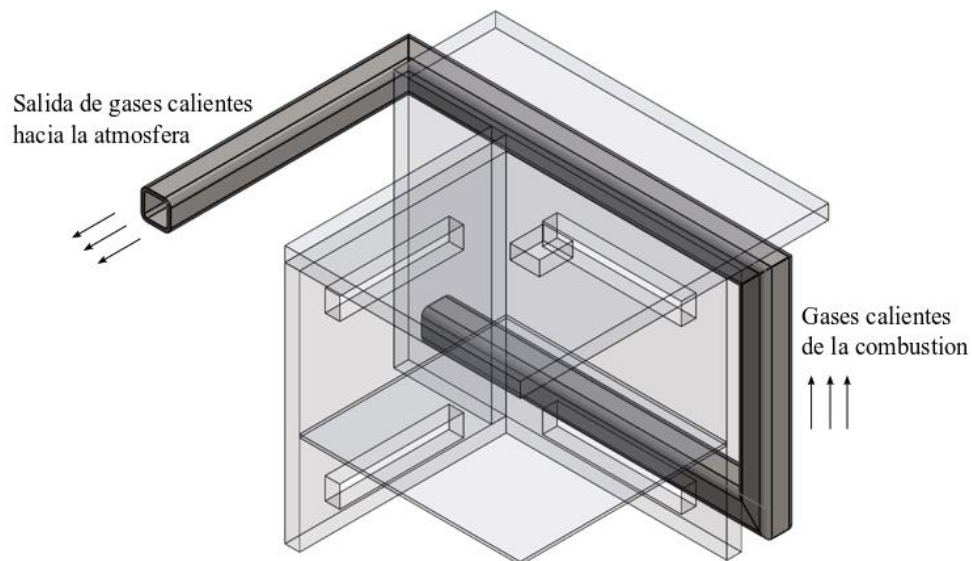


Figura 5. Estructura del serpentín

### 2.3. Funcionamiento esperado del nuevo silo

El funcionamiento del silo requiere el uso de la energía eléctrica para poner en marcha el ventilador del quemador, además se quema un biocombustible para producir la llama en la boca del serpentín y de esta manera calentar el aire. La finca cuenta con un área expuesta al ambiente de 104 m<sup>2</sup> (13m x 8m) que puede ser utilizada para la instalación de los paneles solares que sustituirán la energía eléctrica. Por otra parte, el quemador del silo se sustituye por un gasificador de biomasa down-draft que aprovecha la cascarilla del café como combustible para generar los gases calientes.

En conclusión, el único cambio en el silo será la manera de generar los gases calientes y la fuente de la energía eléctrica; el proceso de secado del café en consecuencia será el mismo. La Figura 6 muestra esquemáticamente la generación de los gases calientes con la implementación del gasificador de biomasa. El ventilador y su respectivo motor se mantienen, salvo que la energía que usan es generada por los paneles solares. Se requiere de la tolva para almacenar la biomasa a quemar por medio de un sistema de alimentación.

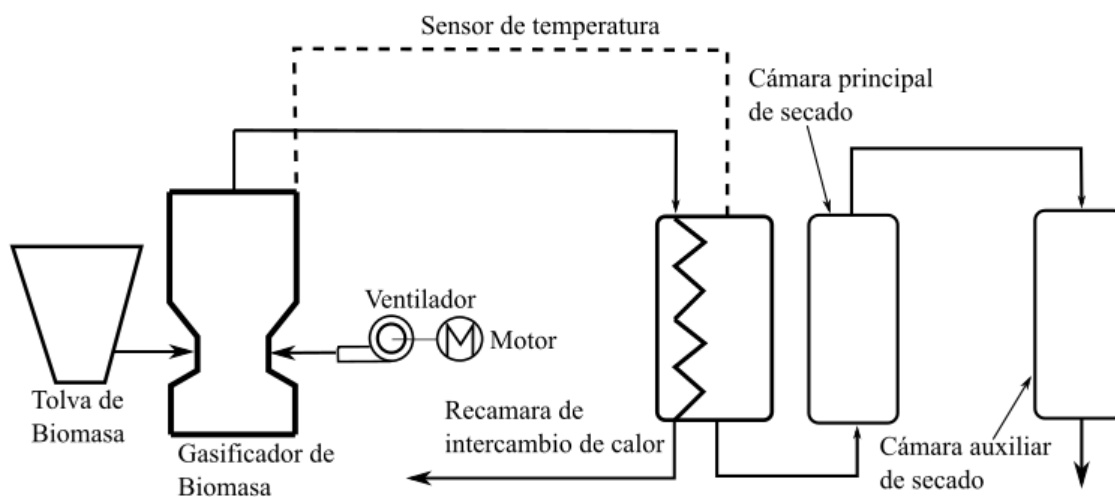


Figura 6. Esquema de generación de energía térmica con gasificador

## 2.4. Biomasa

La biomasa es toda materia orgánica de origen vegetal o animal. Las plantas transforman la energía radiante del sol en energía química a través de la fotosíntesis, y parte de esta energía queda almacenada en forma de materia orgánica (Basu, 2010). En términos energéticos, la biomasa se caracteriza por tener un bajo contenido de carbono, un elevado contenido de oxígeno y compuestos volátiles, que son los que concentran una gran parte del poder calorífico de la biomasa, que depende mucho del tipo de biomasa considerada y de su humedad (RENOVETEC, 2013). Según Casa y Barrio (2017) la biomasa puede provenir de residuos forestales, agrícolas leñosos, herbáceos, industrias agrícolas, cultivos energéticos o biomasa residual. Sin embargo, de la vasta cantidad de biomasa, solo 5% puede destinarse para la producción de energía, aun así es una cuantía enorme (Basu, 2010).

### Características físicas y químicas de la biomasa

Determinan el tipo de combustible o subproductos energéticos que se generan. Todos los materiales de la biomasa se dividen en tres partes; orgánica, inorgánica y agua. En la combustión se quema sólo lo orgánico, mientras lo inorgánico se transforma en ceniza o desperdicio sólido (Herguedas et al., 2012).

- **Humedad:** afecta la cantidad y calidad de la biomasa, así como al proceso,
- **Tamaño y forma:** la biomasa es muy diversa en formas y tamaños (polvo o pellets).
- **Densidad real y aparente:** varía considerablemente según la tipología de la biomasa.
- **Composición química:** Hay que efectuar un análisis elemental: C, H, N, S, O, Cl y cenizas. La biomasa presenta valores más bajos de S, N y cenizas que de carbón.
- **Poder calorífico:** cantidad de calor liberado en la combustión por kg de biomasa.
- **Contenido en cenizas:** Interesa para usos de combustión que sea inferior al 10%

- Temperatura de fusión de cenizas: Interesa que sea elevado

## 2.5. Gasificación de la biomasa

La gasificación es un proceso químico que transforma los materiales carbonosos como la biomasa, en gases combustibles útiles o materia prima química. Este proceso tiene lugar en ambientes reductores (pobres en oxígeno), mediante el cual se obtiene una corriente gaseosa y un residuo sólido, de elevado valor energético y con propiedades combustibles. Un gasificador permite obtener los productos deseados, y el proceso que debe ocurrir allí puede resumirse en los siguientes fenómenos (Basu, 2010):

**Secado:** consiste en reducir la mayor cantidad de humedad posible, para evitar que se desperdicie energía evaporando esta humedad en la gasificación. El calor que genera el hogar asciende hasta la zona de secado elevando la temperatura de la biomasa desde la temperatura ambiente hasta aproximadamente 150°C.

**Descomposición térmica o pirolisis:** en esta etapa las cadenas largas de hidrocarburos se reducen en otras más pequeñas. Uno de los productos adicionales que se obtienen con la gasificación son los alquitranes, estos son líquidos muy viscosos e involucran algunos inconvenientes en el proceso.

**Combustión parcial:** esta etapa es denominada el corazón del reactor, ya que en este punto ocurre la oxidación total como resultado de la adición de un agente gasificante. Con este paso se busca que el proceso sea autógeno, debido a que aporta el calor necesario que requiere la reacción de gasificación

**Craqueo de gases, vapores y alquitranes:** en este paso se busca fragmentar las moléculas de los gases, vapores y alquitranes para producir compuestos más simples.

**Reacciones de gasificación:** en esta etapa ocurren las reacciones endotérmicas de oxidación parcial, donde finalmente se obtienen los gases combustibles del producto.

El producto fundamental de la gasificación es un gas pobre y es una mezcla de  $\text{CO}_x$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2$  y  $(\text{C}_2+\text{C}_3)$ . La composición mencionada es sensible al tipo de reactor, adicionando impurezas como  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , material particulado, metales y alquitranes. Siempre se busca eliminar estas impurezas, ya que tienden a condensarse y obstruir los sistemas de tuberías y generar fallos en los equipos aguas abajo del gasificador. El valor energético de los gases depende de múltiples parámetros como son: modelo del reactor, tipo de biomasa, temperaturas y presiones de operación y agente oxidante (Arteaga-pérez & Casas-ledón, 2015).

### **El gasificador de Biomasa**

Según AGVE (2017), un gasificador es un equipo que propicia un proceso termoquímico en el que la biomasa es transformada en un gas combustible, cuyo producto final depende de factores como: la presentación y la composición de la biomasa, la tecnología utilizada para gasificar, el agente gasificante y la relación agente gasificante/biomasa, que puede ser vapor de agua, oxígeno, aire o una mezcla de los anteriores, obteniendo un gas de menor poder calorífico cuando se utiliza aire. El gas combustible generado puede ser aprovechado de diversas maneras: a través de procesos de combustión para producir electricidad y/o energía térmica o como gas de síntesis transformándose en productos de valor añadido.

### **2.6. Tipos de gasificadores**

El gasificador es el equipo principal en el proceso de gasificación, su objetivo es proporcionar un flujo de gases adecuado y de composición específica para las aplicaciones que tengan lugar. Los gasificadores se clasifican según la forma en que tiene contacto la biomasa con el agente

oxidante. La Figura 7 muestra el esquema de los tipos de gasificadores más comunes, luego se da una breve descripción de cada uno (Arteaga-pérez & Casas-ledón, 2015).

*Gasificador de corriente ascendente o de tiro directo:* Es el más antiguo y sencillo. La toma de aire se encuentra en el fondo y los gases salen por arriba. En el fondo tienen lugar las reacciones de combustión, más arriba ocurren las reacciones de reducción en el gasificador.

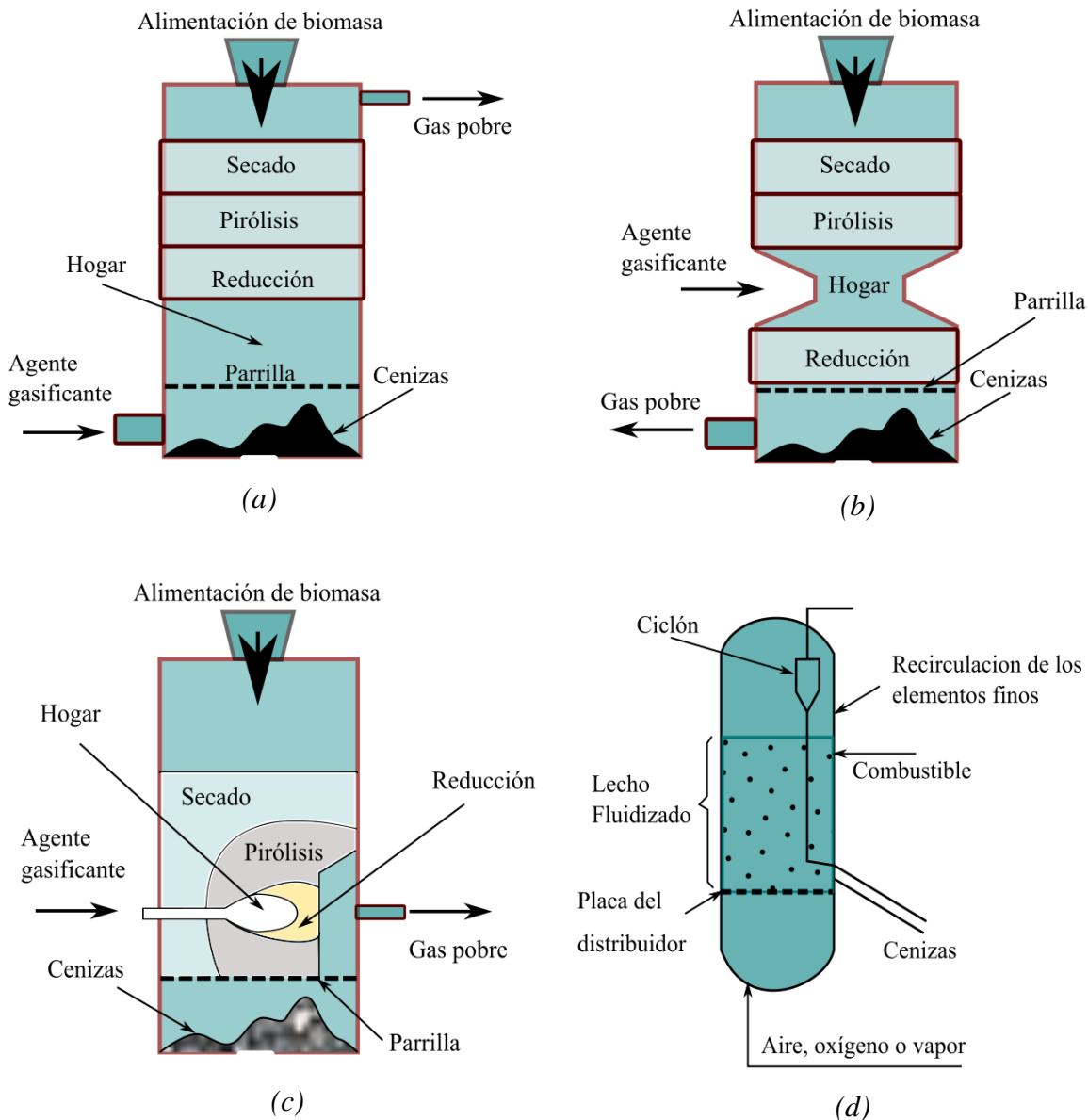


Figura 7. Gasificadores de biomasa: (a) de tiro directo, (b) de tiro invertido, (c) de tiro transversal, (d) de lecho fluidizado. fao.org

En la parte superior se da el calentamiento y la pirolisis de la carga, como resultado de la transferencia de calor, por convección forzada y radiación, de la zona inferior. Los productos alquitranes y volátiles producidos son transportados por la corriente de gas, y se remueven las cenizas del fondo. Además, funciona con varios tipos de carga.

*Gasificador de corriente descendente o de tiro invertido:* Soluciona el problema de arrastre del alquitrán con la corriente de gas, sin embargo, es menos eficiente que el de tiro directo. Aquí el aire de primera gasificación se introduce en la zona de oxidación del gasificador o por encima de esta. El gas pobre sale por el fondo de manera que el combustible y el gas se mueven en la misma dirección. Un inconveniente es que no funcionan con algunos combustibles blandos y de baja densidad, por sus problemas de circulación y caída excesiva de presión, además el combustible sólido se debe utilizar en briquetas.

*Gasificador de tiro transversal:* Hacen parte de una adaptación para el empleo de carbón vegetal, que protege el gasificador contra temperaturas elevadas, propias de la combustión del carbón vegetal (1500°C). Un inconveniente es su capacidad mínima de transformación del alquitrán y la necesidad consiguiente de emplear carbón vegetal de alta calidad. Debido a la incertidumbre de la calidad del carbón, cierto número de gasificadores de carbón vegetal emplean el sistema de corriente descendente para mantener al menos una capacidad mínima de cracking del alquitrán.

*Gasificador de lecho fluidizado:* El funcionamiento de los gasificadores de tiro directo y de tiro invertido se ve afectado por las propiedades morfológicas, físicas y químicas del combustible. Los problemas que se encuentran corrientemente son: la falta de tiro en el depósito, la formación de escoria y la excesiva caída de presión en el gasificador. El gasificador de lecho fluidizado no presenta estos problemas, además es flexible con el material de alimentación ya

que, debido a que es más fácil controlar la temperatura, esta puede mantenerse por debajo del punto de fusión de las cenizas. Algunos tipos de biomasa pueden producirse problemas en la alimentación, inestabilidad del lecho y entrada de cenizas volátiles en los conductos.

## **2.7. Energía solar**

La energía solar es aquella que llega a la Tierra en forma de radiación electromagnética (luz, calor y rayos ultravioleta principalmente) procedente del Sol, donde ha sido generada por un proceso de fusión nuclear. El aprovechamiento de la energía solar se puede realizar con un *colector* de dos formas: por conversión térmica de alta temperatura (sistema fototérmico) y por conversión fotovoltaica (sistema fotovoltaico).

Para aprovechar la energía solar se deben elaborar las siguientes tres etapas:

- La geometría del movimiento del sol.
- La cuantificación de la intensidad de la radiación que impacta al colector.
- Análisis del colector para detallar cuanto de la energía es útil.

### **2.7.1. Geometría solar**

La geometría solar hace referencia a la trayectoria relativa del sol vista desde la tierra, y cómo inciden los rayos del sol sobre un colector ubicado en su superficie, requiere de algunos conceptos presentados en la Figura 8 (Duffie et al., 1985). Donde N, S, E y W, representan los puntos cardinales del sitio,  $n$  es el vector normal a la superficie. Además  $\beta$ ,  $\alpha_s$ ,  $\theta$  y  $\gamma_s$  son los ángulos de inclinación de la superficie respecto a un plano horizontal, de elevación solar, de cenit (formado entre los rayos solares y  $n$ ), y azimut del sol (proyección sobre el suelo de los rayos solares y el Sur), respectivamente.

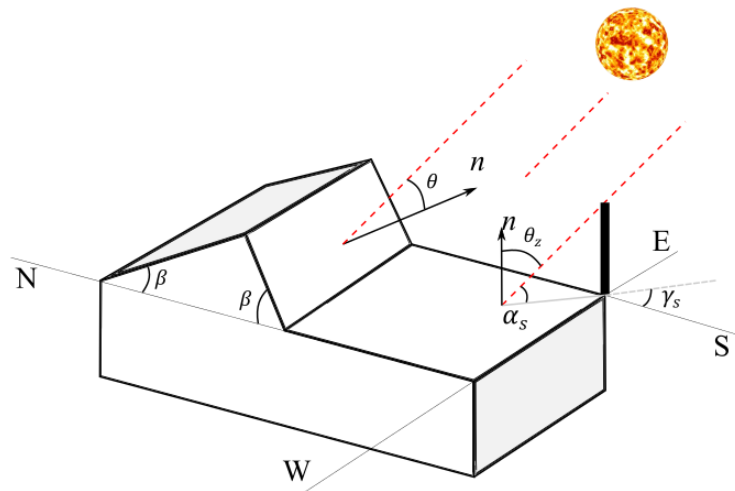


Figura 8. Incidencia de los rayos solares sobre distintas superficies

Se puede determinar la posición del sol en cualquier instante de tiempo, relativo a una *superficie horizontal*, conociendo el ángulo de cenit  $\theta$  y el ángulo de azimut del sol  $\gamma_s$ , dados por las Ecuaciones (1) y (2) (Duffie et al., 1985):

$$\cos \theta = \cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \phi \sin \delta \quad (1)$$

$$\sin \gamma_s = \cos \delta \sin \omega / \cos \alpha_s \quad (2)$$

Donde  $\phi$  es la latitud del sitio,  $\delta$  es la declinación del sol, y  $\omega$  es la hora solar. Para una *superficie inclinada* un ángulo  $\beta$  mirando al sur, se analiza una superficie paralela ubicada en una latitud  $\phi'$  (Figura 9). Así, con las Ecuaciones (1) y (2) se calcula  $\theta'_z$ , que es igual a  $\theta$ .

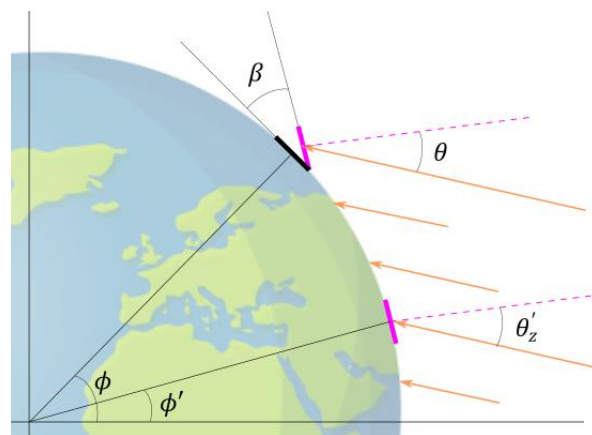


Figura 9. Posición relativa del sol para una superficie inclinada al sur.

### 2.7.2. Cuantificación de la energía solar

Como afirma Harper (2013), el sol es la estrella más cercana a la tierra y es la fuente de toda la energía que hay en ella. La energía solar que llega a la tierra se da a un índice conocido como **constante solar**  $I_{sc}$ , de valor

$$I_{sc} = 1368 \text{ W/m}^2 \quad (3)$$

No toda esta energía alcanza la superficie de la tierra debido a la influencia de la atmosfera que absorbe y refleja una parte, cayendo a cerca de  $1000 \text{ W/m}^2$ . La radiación emitida por el sol incide sobre una superficie en la tierra de tres maneras diferentes: como radiación directa, difusa o reflejada, como muestra la Figura 10.

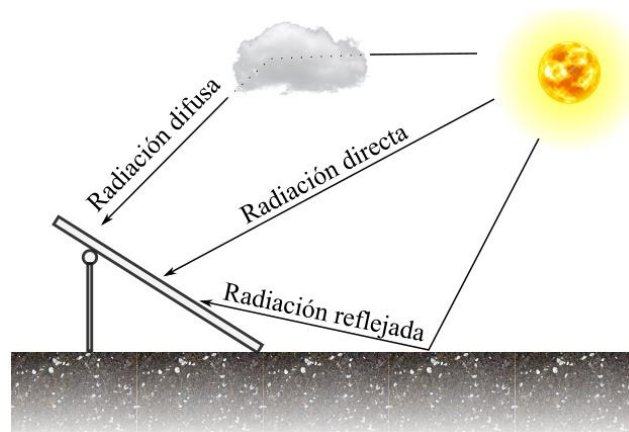


Figura 10. Componentes de la radiación solar terrestre sobre una superficie de captación.

Estos tres fenómenos de radiación contribuyen en la producción de energía eléctrica en los paneles de una manera proporcional a la cantidad que incide. Con aparatos de medición de radiación solar como un **piranómetro** se puede cuantificar la cantidad de radiación solar que incide sobre una superficie.

#### **Intensidad efectiva de los rayos solares sobre una superficie**

Como se ha dicho, la influencia de la atmósfera sobre los rayos que inciden sobre la tierra es elevada, por lo que es conveniente que los desarrollos se manejen en términos de energía

efectiva. La Figura 11 muestra las relaciones entre los rayos que llegan desde fuera de la tierra  $I_o$  y los que atraviesan la atmosfera e impactan una superficie de captación ubicada en una latitud  $\phi$  ( $I_b$ ) (Duffie et al., 1985).

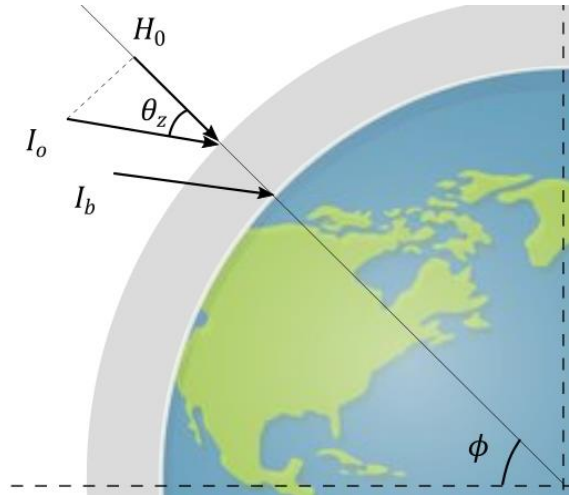


Figura 11. Incidencia de los rayos solares a través de la atmósfera.

La Ecuación (4) cuantifica la intensidad de rayo extraterrestre  $I_o$

$$I_o = I_{sc} \left( 1 + 0,034 \cos \frac{360 n}{365} \right) \quad (4)$$

La radiación total  $H$  que incide sobre la superficie de captación consta de radiación de rayo  $H_b$  y radiación difusa  $H_d$  ( $H = H_b + H_d$ ), ambas varían con la inclinación de la superficie. La información típica de la radiación solar de un sitio, medida con piranómetros y pirheliómetros, se genera sólo para una superficie horizontal, y los valores efectivos para otras inclinaciones se derivan. El valor promedio de radiación extraterrestre efectiva  $\bar{H}_0$ , sobre una base mensual, se calcula con las Ecuaciones (5) y (6), donde  $\omega_{ss}$  es la hora del amanecer a mitad de cada mes.

$$\bar{H}_0 = \frac{24}{\pi} I_o \left( \cos \delta \cos \phi \sin \omega_{ss} + \frac{\pi \omega_{ss}}{180} \sin \delta \sin \phi \right) \quad (5)$$

$$\cos(\omega_{ss}) = -\tan \phi \tan \delta \quad (6)$$

### Radiación incidente sobre una superficie inclinada $q_{s,\beta}$

Para aprovechar al máximo la radiación, los paneles se inclinan en un ángulo  $\beta$ . En una superficie inclinada, la radiación reflejada por los alrededores se tiene en cuenta y depende de la reflectividad del piso  $\rho_{piso}$  de valor promedio 0,38. La radiación total  $q_{s,\beta}$  sobre la superficie, para un periodo de tiempo mensual, se cuantifica con las Ecuaciones (7) y (8), donde  $\omega'_{ss}$  se calcula en  $\phi'$ ,  $\bar{H}$  y  $\bar{H}_d$  son la radiación total y difusa promedio en cada mes, aproximada como  $\bar{H}_d = \bar{H}(1 - 1,13 K_T)$ ; siendo  $K_T = \bar{H}/\bar{H}_o$  el índice de claridad de la atmósfera.

$$\bar{q}_{s,\beta} \cong (\bar{H} - \bar{H}_d)\bar{R}_b + \bar{H}_d \cos^2 \frac{\beta}{2} + \bar{H}\rho_{piso} \sin^2 \frac{\beta}{2} \quad (7)$$

$$\bar{R}_b = \frac{\cos(\phi - \beta) \cos \delta \sin \omega'_{ss} + \frac{\omega'_{ss}\pi}{180} \sin \delta \sin(\phi - \beta)}{\cos \phi \cos \delta \sin \omega_{ss} + \frac{\omega_{ss}\pi}{180} \sin \delta \sin \phi} \quad (8)$$

### 2.8.Instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red

Las instalaciones fotovoltaicas FV pueden ser aisladas o conectadas a la red. Una instalación fotovoltaica aislada almacena en baterías la energía que capta un generador fotovoltaico o panel solar, luego la energía se descarga de las baterías para su consumo. Una Instalación Fotovoltaica Conectada a la Red (IFCR) no almacena la energía, sino que la vierte a la red eléctrica local cuando no hay consumo. La Figura 12 muestra una IFCR con sus componentes básicos.

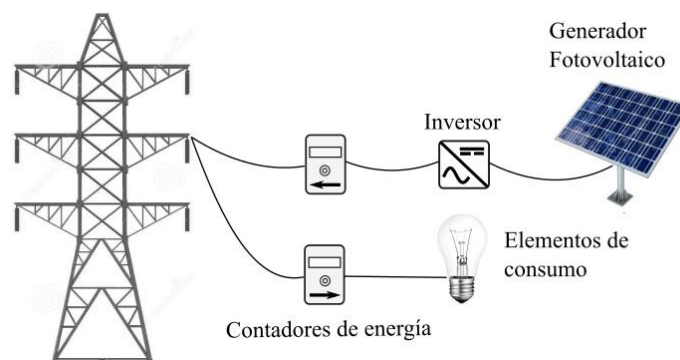


Figura 12. Elementos básicos de un sistema fotovoltaico conectado a la red.

### 2.8.1. Características básicas de los módulos fotovoltaicos

El elemento principal de cualquier instalación FV es el generador o célula solar, que genera una corriente eléctrica cuando sobre él incide la luz del sol, mediante el principio del Efecto fotoeléctrico, que se basa en la respuesta eléctrica de algunos materiales semiconductores cuando están expuestos a la luz. Una célula solar se comporta como un diodo: la parte expuesta a la radiación solar es la N, y la parte situada en la zona de oscuridad es la P, metalizado por completo (Figura 13) (Diaz & Carmona, 2010).

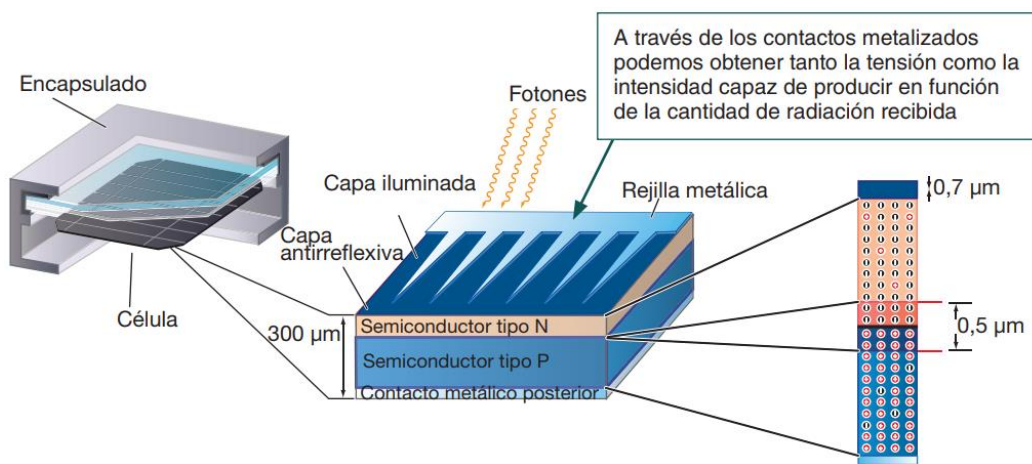


Figura 13. Estructura de la célula solar. Diaz y Carmona

Dos parámetros importantes se definen para la célula solar: 1) la máxima tensión de la célula solar (ausencia de carga), conocida como **Tensión de circuito abierto** ( $V_{oc}$ ) y 2) la corriente máxima que puede circular por la célula (terminales en corto circuito), o **Corriente de corto circuito** ( $I_{cc}$ ). Una vez se conecte una carga a la célula solar, los valores de tensión y corriente varían. Los valores máximos de tensión y corriente ( $V_m$  e  $I_m$ ) generan también un valor máximo de potencia, Ecuación (9). Esto permite definir un parámetro importante de la célula solar, el factor de forma (FF), calculado con la Ecuación 10. Los valores típicos de FF son 0,7 o 0,8.

$$P_m = V_m I_m \quad (9)$$

$$FF = \frac{V_m I_m}{V_{oc} I_{cc}} \quad (10)$$

Un panel solar está conformado por un conjunto de células solares conectadas eléctricamente, encapsuladas, y montadas sobre una estructura de soporte. Su salida es una tensión continua diseñada para valores de tensión concretos (6V, 12V, 24V, ...). La Figura 14 muestra la construcción de un panel solar y describe brevemente sus partes.

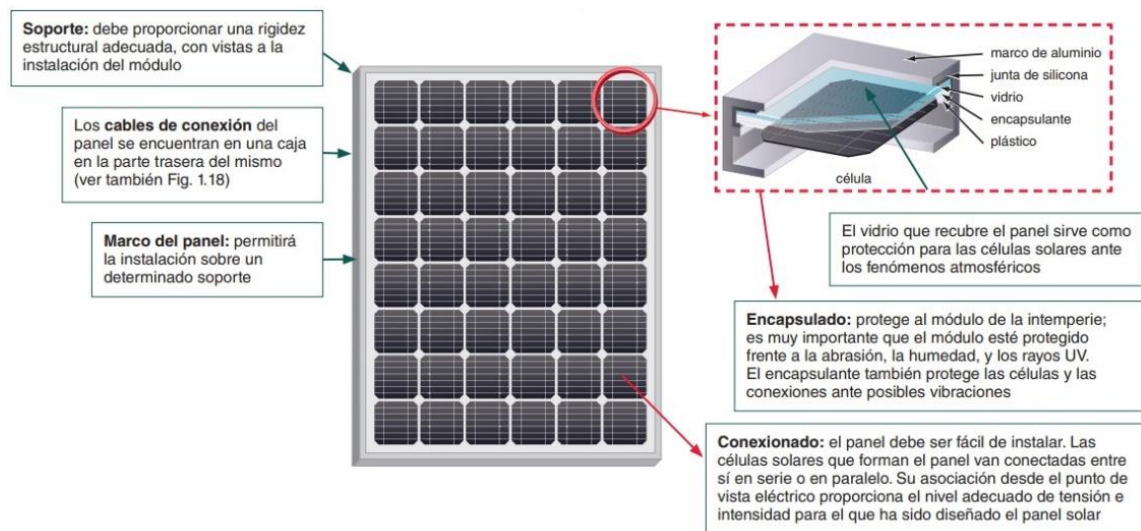


Figura 14. Conformación de un panel solar y sus características principales.

Los tipos de paneles solares se clasifican según la tecnología de fabricación de las células, que fundamentalmente pueden ser de silicio monocristalino, policristalino o amorfo (Tabla 1).

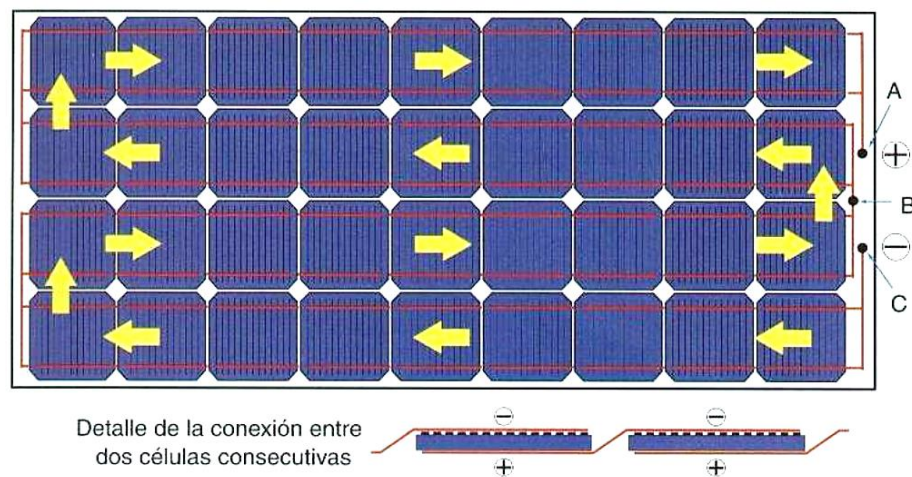
Tabla 1. Diferencias entre los módulos solares según su fabricación.

Células	Silicio	Rendimiento laboratorio	Rendimiento directo	Características	Fabricación
	Monocristalino	24 %	15 - 18 %	Son típicos los azules homogéneos y la conexión de las células individuales entre sí (Czochralski).	Se obtiene de silicio puro fundido y dopado con boro.
	Policristalino	19 - 20 %	12 - 14 %	La superficie está estructurada en cristales y contiene distintos tonos azules.	Igual que el del monocristalino, pero se disminuye el número de fases de cristalización.
	Amorfo	16 %	< 10 %	Tiene un color homogéneo (marrón), pero no existe conexión visible entre las células.	Tiene la ventaja de depositarse en forma de lámina delgada y sobre un sustrato como vidrio o plástico.

nota: Adaptado de Diaz & Carmona, 2010

### Potencia de la célula solar

La potencia que genera una célula solar es muy baja (cerca de 1 o 2 W), por eso se construyen los paneles solares y obtener una potencia colectiva mucho mayor. La disposición de las células en el panel puede ser en serie o en paralelo. La conexión en serie aumenta la tensión final, mientras que en paralelo aumenta la intensidad. Los elementos conectados en serie tienen la misma corriente, mientras que en paralelo tienen la misma tensión. El conexionado de las células se realiza con cintas metálicas soldadas o incrustadas sobre la rejilla de conexión eléctrica de la cara frontal de cada célula. La Figura 15 muestra la conexión de las células en un arreglo en serie y el sentido de circulación de la corriente (Castejón & Santamaría, 2010).



*Figura 15.* Conexión de las células en un módulo fotovoltaicos de silicio monocristalino.  
Castejón y Santamaría

### Parámetros principales y curvas características

Los parámetros mencionados de corriente de corto circuito  $I_{cc}$ , tensión de circuito abierto  $V_{oc}$  así como la potencia máxima  $P_m = I_m V_m$  se pueden representar en una grafica de Intensidad vs tensión como muestra la Figura 16. La curva verde representa la relación de corriente y tensión, mientras la roja es el producto de estas dos cantidades, la potencia.

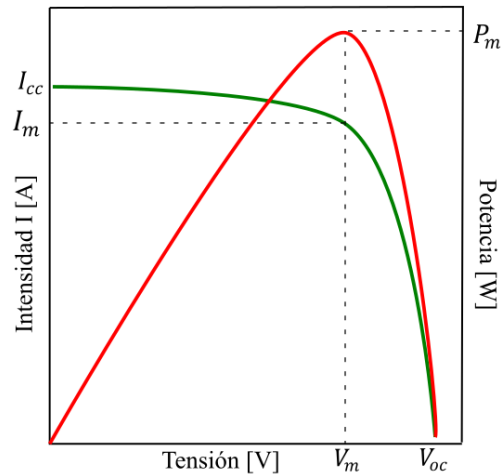


Figura 16. Curvas de intensidad y potencia en un panel solar.

Estas curvas son proporcionadas por los fabricantes para cada panel en particular y varían según la intensidad de radiación y la temperatura del panel. El efecto de la temperatura en la potencia del panel se considera con la Ec. 11.

$$f_T = 1 - 0,008(T_p - 25) \quad (11)$$

Además, el fabricante da una descripción del aspecto físico del panel: medidas, peso, materiales, etc., para facilitar la elección de los soportes de sujeción.

### 2.8.2. Inversores

El inversor se encarga de transformar la corriente continua que entregan los paneles, en corriente alterna igual a la red eléctrica (120V AC), además, modula la onda de salida y la tensión para hacerla compatible con la red. Según Diaz y Carmona, los parámetros asociados a los inversores son:

*Potencia:* potencia máxima que podrá suministrar a la red en condiciones óptimas. En el mercado los hay desde 50 W para uso doméstico, hasta 400 W para pequeños campos fotovoltaicos; algunos con la posibilidad de conexión en serie para aumentar la potencia.

*Fases:* Normalmente, los inversores cuya potencia es menor a 5 kW son monofásicos.

Los mayores de 15 kW suelen ser trifásicos.

*Rendimiento energético:* En el mercado actual, el rendimiento de los inversores es de alrededor de 90%, aumentado a medida que se acerca a su potencia nominal. Además, se debe hacer coincidir la potencia pico del campo fotovoltaico y la potencia nominal del inversor.

Los inversores cuentan con protecciones mínimas que optimizan la operación y aseguran la integridad de los equipos y las personas. Algunos inversores facilitan su seguimiento mediante monitoreo remoto. Si en la instalación se incluyen algunos sensores, se pueden obtener datos de radiación, generación solar, energía transformada a corriente alterna, eficiencia, etc.

### Selección de un inversor

La Figura 17 muestra los datos de un modelo comercial con los parámetros que influyen en la selección del inversor apropiado para la instalación. Las características de la salida del inversor están referidas a la corriente alterna.

Model SI	612 624 648	812 824	1212 1224 1248	1624	2324 2348	3324	3548
Input voltage (Unom) [V]	12/24/48	12/24	12/24/48	24	24V/48	24	48
Nominal power [W]	600	800	1200	1600	2300	3300	3500
« Standby » current [mA]	25/21/10	25/21	25/21/12	21	25/17	25	30
Power « ON » no load [W]	2.6	2.8	4.8	5.8	9	13	17
Power « ON » no load [W] TWINPOWER system	-----	-----	< 0.5	< 0.5	< 0.6	< 0.7	< 0.8
Maximum efficiency [%]	91	92	93 - 95	93 - 95	95	95	95
Length L x 124 (H) x 215 (W) [mm]	276	276	391	391	591	636	791
Weight [kg]	6.9	10.4	13.2	15.2	27	30	38

**Tensión de entrada:** debe coincidir con la tensión nominal de las baterías

**Potencia nominal:** es la potencia que es capaz de entregar el inversor a la instalación. Siempre será mayor que la que hayamos calculado como consumo de los equipos que van a funcionar en alterna

**Rendimiento máximo:** importante, porque nos indicará la potencia real entregada por el conversor, que siempre es menor que la potencia nominal del mismo. Es un factor a tener en cuenta cuando hagamos el dimensionado de la instalación

**Potencia en vacío,** cuando no hay carga conectada

**Corriente en reposo**

Figura 17. Análisis de una hoja de características de un inversor. Diaz y Carmona

Como se ve, los fabricantes detallan las características de la onda de salida. Generalmente, se busca que la señal de salida sea de naturaleza sinusoidal, aunque también pueden ser de onda cuadrada, no aptas para instalaciones conectadas a la red.

## **2.9. Antecedentes de investigación**

### **Secado mecánico del café**

Entidades locales como Cenicafé en su proyecto sobre la calidad del café (Álvarez et al., 2016), estudia la posición geográfica de las regiones productoras de grandes cantidades de café. Intentando influenciar la diferenciación y el desarrollo de programas de cafés especiales de alta calidad, para eso se debe determinar los rangos de calidad y que beneficios atrae, para al final lograr determinar la calidad del grano a secar y establecer un prototipo para mejoramiento de su calidad en todo el territorio colombiano. Por otra parte, Juliana Henao (Arismendy, 2015) en su trabajo de grado presentado a la Universidad Nacional, trata el impacto de los sistemas de secado en las propiedades físicas y organolépticas del café. Rebolledo y Vento (Por et al., n.d.) por su parte combaten la baja calidad en el producto al venderse y exportar. Se inicia un proceso de mejora con ayuda de la identificación y corrección de las malas prácticas de beneficio que posee el municipio de la unión. El proyecto logra una disminución de costos y conservación de las características específicas para una buena exportación.

Jordi Besora (Danilo Batiz Flores & Besora Magem, n.d.) en su informe técnico para la construcción de un secador solar de café en Perú, se centra en la búsqueda de una opción para lograr el secado del café, mediante el uso de un secador solar. Estudiando los diferentes sistemas de secado e identificando aspectos ambientales, lograron la construcción de un secador de tipo invernadero. En Venezuela, Méndez et al. (Yender Méndez, Yohandrys Yanes, Juan García, 2014), presentaron un diseño y construcción de un prototipo de secadora de café, en una región

donde los cafeteros solicitaban el desarrollo de métodos de secado más eficaces. Logrando de esta manera el ahorro de energía, desarrollo social por parte de los agricultores, intensificar la energía útil gracias que se cumplió con el objetivo de construir el secador de café haciendo provecho de la energía solar. En Brasil, Silva y Machado (Silva et al., n.d.) se basaron en el diseño y estudio de un prototipo de secadora y usando el agua como fluido calentador de aires, lograron un gran ahorro en cuanto a la energía y un aumento de calidad en el producto, dejando establecido nuevos métodos de secado, usando diferentes tipos de materia prima.

### **3. Metodología**

#### **3.1. Análisis de alternativas**

El sistema que se pretende implementar consta de una serie de paneles solares y un gasificador que usa cascarilla de café como biomasa. Las alternativas que se presentan para el análisis difieren en el tipo de gasificador y biomasa a utilizar, de igual manera para los paneles solares se tiene en cuenta la estructura cristalina que lo conforma y la manera en que se conectan.

Para el análisis de la matriz, se dispone de una calificación de 1 a 5 para evaluar el nivel de compatibilidad de cada propuesta frente a una característica específica. Una vez se construye la matriz para todas las características que se consideran necesarias, se realiza una suma ponderada e individual que permite decidir cuál es la opción que mejor se ajusta a las necesidades globales.

### 3.1.1. Análisis de alternativas para el gasificador

Tabla 2. *Matriz QFD para gasificador de biomasa.*

	Costo (30%)	Instalación (15%)	Eficiencia (25%)	Tamaño (20%)	Mantenimiento (10%)	Total
De Corriente Ascendente o de Tiro Directo	4	2	5	5	2	<b>3,95</b>
De Corriente Descendente o de Tiro Invertido	4	5	4	4	5	<b>4,25</b>
De Tiro Transversal	4	4	3	4	5	<b>3,85</b>
De Lecho Fluidizado	4	3	2	3	4	<b>3,15</b>

La Tabla 2 presenta los valores relativos asignados a las alternativas frente a las cinco características presentadas. La inspección de los resultados presentados pone de manifiesto que el gasificador de corriente descendente es más apropiado para la aplicación en cuestión. Se advierte una ventaja adicional de este gasificador, que consiste en la facilidad de acople de la salida de los gases con el circuito de distribución de calor en el silo actual, ya que la toma de gases en el silo se hace por la parte baja, como se verá más adelante, facilitando la conexión con el gasificador de corriente descendente.

### 3.1.2. Análisis de las alternativas para la biomasa

Para calentar el aire de secado se puede utilizar una amplia variedad de biomasa disponible en la finca donde opera el silo, como puede ser residuos forestales, leñosos, herbáceos o agrícolas, como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. *Matriz QFD para selección de biomasa.*

	Adquisición (30%)	Poder Calorífico (20%)	Combustión (20%)	Tiempo de Secado (15%)	Cantidad Disponible (15%)	Total
Residuos Forestales	4	4	4	3	4	<b>3,85</b>
Residuos Leñosos	5	5	4	4	5	<b>4,65</b>
Residuos Herbáceos	4	4	3	3	4	<b>3,65</b>
Residuos Agrícolas	5	5	5	4	5	<b>4,85</b>

Con un puntaje de 4,85 los residuos agrícolas se posicionan como la mejor opción de biomasa a utilizar, entre ellos tenemos los residuos de café que constituyen un gran porcentaje en cantidad, debido a que la finca es productora de café y al momento de iniciar la cosecha se desea un ciclo con el menor porcentaje de residuos y buscando su mejor aprovechamiento.

Tabla 4. *Poder calorífico de combustibles utilizados en el secado mecánico del café.*

Combustible	Poder calorífico	
	kJ/kg	kJ/m <sup>3</sup>
Cascarilla del café	17.936	
Tusa de maíz	20% Humedad	15.195
	30% Humedad	13.348
Carbón vegetal	27.450	
Biogás		17.086
Leña – 20% de humedad	15.412	
Hulla (antracita)	33.440	

nota: Adaptado de Oliveros Tascon, 2009

En el proceso de secado en silos, se usan combustibles como carbón mineral y la cascarilla o cisco del café, entre otros residuos de la finca. Según Cenicafé (Oliveros Tascon, 2009), la cascarilla del café y la leña son combustibles importantes energéticamente para el secado, como muestra la Tabla 4. Basándose en esta información y los demás criterios considerados en la matriz QFD, la biomasa a utilizar será la cascarilla del café.

### 3.1.3. Análisis de alternativas para el sistema fotovoltaico

Como ya se ha dicho, los sistemas fotovoltaicos conectados a la red presentan mejores ahorros energéticos y económicos frente a los sistemas aislados, sin mencionar que los sistemas conectados a la red son más simples y fáciles de instalar. Es por esta razón que el presente proyecto enfoca el análisis en estos sistemas, y busca dimensionar uno con la mayor eficiencia posible. Así, a continuación, se analiza la mejor opción para seleccionar los paneles solares y el inversor, mediante la Tabla 5.

Tabla 5. Matriz QFD para la estructura de los paneles solares

	Costo (35%)	Instalación (15%)	Eficiencia (10%)	Tamaño (20%)	Mantenimiento (20%)	Total
Monocristalinos	3	5	4	4	4	3,8
Policristalinos	4	5	3	3	4	3.85
Amorfos	5	5	1	3	3	3.8

Según la verificación de los resultados obtenidos con la matriz aplicada, se persuade que la estructura monocristalina para los sistemas fotovoltaicos en cuestión es la más indicada, manifestando una gran diferencia en un factor importante como lo es la eficiencia.

### **3.2. Necesidades energéticas a abastecer por el gasificador y paneles solares.**

La energía que demanda el silo es, por una parte, de carácter térmico para calentar el silo y, por otro lado, de naturaleza eléctrica para mover el ventilador que impulsa los gases calientes. Para conocer la energía térmica que demanda el café, se hace un análisis térmico en términos del tiempo esperado de secado del café; a partir de ahí se puede determinar el flujo másico de gases necesario y su temperatura. Para las necesidades energéticas se consultan los consumos facturados por la empresa de energía.

#### **3.2.1. Necesidades de carácter térmico**

##### **Gasto en Petrodiésel**

Uno de los gastos más importantes y significativos del proceso de secado de café es la compra del petrodiésel, usado para el funcionamiento del silo actual. Debido a que durante el proceso de secado no se archivaron las facturas de consumo de petrodiésel, se opta por un estimativo por parte del propietario de la finca, que informa sobre la cantidad de galones de petrodiésel necesarios para secar el café en términos de una unidad comercial denominada *carga* que es equivalente a 125 kg. Según el propietario, para secar 70 cargas de café pergamino seco fue necesario quemar 218 galones de petrodiésel. El Apéndice C muestra una constancia.

En los secadores mecánicos para secar café, la humedad final del grano puede no ser uniforme como se espera, si el caudal de aire de secado no es el adecuado. Los granos de las capas más externas tienden a presentar valores de humedad más bajas (6 a 7%) debido a que reciben el aire

más caliente y seco. Por el contrario, los granos de las capas internas estarán más húmedos (superior a 40%) y menos calientes (Roa-Mejía et al., 2000).

En Colombia las normas vigentes para la comercialización exigen que el contenido de humedad del café pergamino seco tenga valores entre el 10 a 12%. Si el caudal es bajo, los granos tardarán en secarse, propiciando desuniformidad en la humedad. Si el caudal es elevado, los gastos energéticos para generarlo también serán elevados; esto influye de manera muy negativa en el costo de secado. Cenicafé determinó que para el secado de café pergamino en capa estática se recomienda un caudal de  $25 \text{ m}^3/\text{min}$  por  $\text{m}^3$  de café a secar (Roa-Mejía et al., 2000). El silo actual maneja una masa de café con una altura de 40 cm, con un área base de  $2,51 \text{ m} \times 1,63 \text{ m} \approx 4,1 \text{ m}^2$ . Así, el caudal de aire necesario será de  $\dot{V} = 41 \text{ m}^3/\text{min}$ . Adicionalmente, Cenicafé indica que el aire de secado debe estar a una temperatura de  $50^\circ\text{C}$ . La Figura 18 muestra un esquema del intercambiador de calor con los requerimientos mencionados.

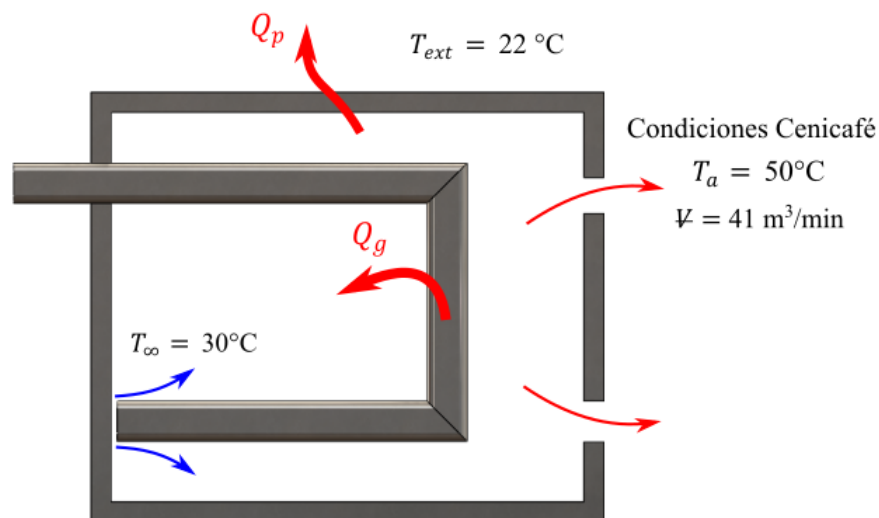


Figura 18. Esquema de pérdidas

Un análisis energético indica que el calor de los gases  $Q_g$  debe ser suficiente para calentar el aire a las condiciones de Cenicafé y compensar las pérdidas de calor, es decir,  $Q_g = Q_a + Q_p$ .

### Determinación del calor transferido al aire $Q_a$ :

El caudal de aire que se determinó para secar la masa de café es de  $\dot{V} = 41 \text{ m}^3/\text{min}$ , que se considera como una mezcla de gases ideales y vapor de agua. El proceso será un calentamiento sensible, es decir que el aire se calienta manteniendo la relación de humedad constante. La Figura 19 muestra el camino del proceso en la carta psicrométrica (Wark & Richards, 2000).

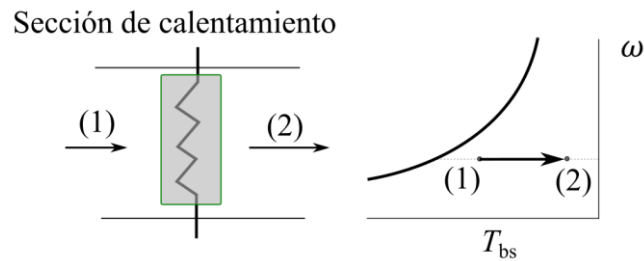


Figura 19. Calentamiento sensible del aire.

El caudal masico de aire seco se determina con la ecuación de estado (Ecuación 12), donde  $P_a$  es la presión parcial del aire seco, considerando la mezcla a presión atmosférica estándar.

$$\dot{m}_a = \frac{P_a \dot{V}}{R_a T_1} \quad (12)$$

La energía necesaria para calentar el aire atmosférico desde una temperatura de  $20^\circ\text{C}$  hasta  $50^\circ\text{C}$  resulta del análisis energético de la Ecuación 13.

$$\dot{Q}_a = \dot{m}_a [c_{pa}(T_2 - T_1) + \omega(h_{g2} - h_{g1})] \quad (13)$$

Donde  $\omega$  es la relación de humedad del aire,  $c_{pa}$  su calor específico y  $h_{g1}$ ,  $h_{g2}$  las entalpías de saturación del agua a la temperatura de bulbo seco a la entrada y salida, respectivamente. La relación de humedad se obtiene de la humedad específica  $\phi$ , que para la ubicación del proyecto  $\phi = 80\%$  (IDEAM, 2018). Realizando las operaciones indicadas, el valor de energía que se debe transferir al aire es:

$$Q_a = 24,8 \text{ kW}$$

**Determinación del calor de pérdidas  $Q_p$ :** Las pérdidas de calor en el intercambiador se generan por convección natural desde las paredes del silo, que se encuentran a  $40^\circ\text{C}$ , hacia el aire ambiente que se considera a  $20^\circ\text{C}$  mediciones. El aire ambiente afuera del silo se considera a  $20^\circ\text{C}$ . Tomando el coeficiente de transferencia de calor por convección natural como  $h = 20 \text{ W/m}^2\text{K}$ , el calor de pérdidas se determina como sigue:

$$\dot{q}_p = h (T_{sup} - T_\infty) = 20 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \times (40 - 20)\text{K} \quad \rightarrow \quad \dot{q}_p = 400 \text{ W/m}^2 \quad (14)$$

Para el calor total de pérdidas se multiplica este valor por el área de pérdidas, que se considera como el área aproximada bajo el esquema tridimensional desarrollado en SolidWorks y presentado en la Figura 3. De este modelo se considera el área de pérdidas como el área de las paredes externas y la parte superior, que según el software esta área es:

$$A_p = 48 \text{ m}^2 \quad (15)$$

Con este valor de área se calcula la razón de pérdida de calor en el intercambiador a través de las paredes del silo:

$$Q_p = \dot{q}_p \times A_p = 400 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \times 48 \text{ m}^2 \quad \rightarrow \quad Q_p \approx 19,2 \text{ kW} \quad (16)$$

Este calor de pérdidas calculado se puede verificar comparando el uso de combustible  $m_f$  y su poder calorífico con el calor generado por pérdidas ( $Q_p$ ) y el calor trasferido al aire ( $Q_a$ ).

$$m_f \times PCI_f = Q_a + Q_p \quad (18)$$

$$Q_p = 34,14 \text{ Kw}$$

Para visualizar el procedimiento revisar el Apéndice D, donde se determinan ciertas variables a considerar en el proceso.

Entonces, la cantidad total de energía que debe aportar la biomasa para secar el aire a las condiciones indicadas es:

$$Q_g = Q_a + Q_p \approx 42,9 \text{ kW} \quad (19)$$

**Cálculo de la cantidad de biomasa necesaria:** El calor que transfieren los gases  $Q_g$  es proporcionado por el gas de síntesis producto de la gasificación de la cascarilla de café. Abaunza & García, (2019) realizaron pruebas de caracterización del gas producido por la gasificación de cascarilla de café, utilizando el método de cromatografía de gases, y determinaron la composición química del gas producido para temperaturas de gasificación de 700 y 800°C, lo que denominaron pruebas T700 y T800, respectivamente. La Figura 20 resume la composición hallada para una temperatura de 800°C.

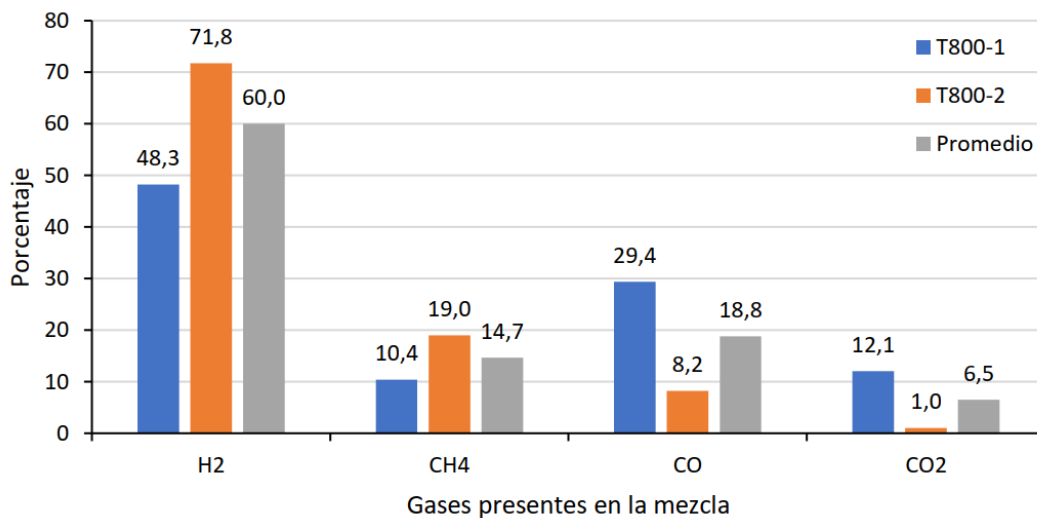


Figura 20. *Porcentaje de gases presentes en la mezcla*

El poder calorífico del gas producto depende del agente gasificante, el método de operación, la biomasa y las condiciones de operación del proceso. Se determino el poder calorífico por unidad de volumen para las pruebas T700 y T800 dando como resultado un promedio de 16,82 y 15,02 [MJ/m<sup>3</sup>]. Usando el menor valor, la cantidad de gas que se debe quemar es

$$\dot{m}_{gas} = \frac{\dot{Q}_g}{PCS} = \frac{42,9 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} \times 60 \frac{\text{s}}{\text{min}}}{16820 \text{ kJ/m}^3} = 0,153 \text{ m}^3/\text{min}$$

Además, determinaron la relación de volumen de gas generado por unidad de masa de cisco quemado en  $0,2320 \text{ m}^3/\text{kg}$ . Con esta consideración, la cantidad de cisco que se debe quemar corresponde a

$$m_{\text{cisco}} = 659,5 \text{ g/min}$$

Es posible analizar esta razón de quema de cisco para la gasificación comparada con la razón necesaria si se hace su quema directa, omitiendo la gasificación. Según estudios de Cenicafé, el poder calorífico de la cascarilla de café tiene un valor de  $17.936 \text{ kJ/kg}$ . Por lo tanto, haciendo la quema directa de la cascarilla, la cantidad que se debe quemar corresponde a:

$$\dot{m}_c = \frac{\dot{Q}_g}{PCS} = \frac{42,9 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} \times 60 \frac{\text{s}}{\text{min}}}{17936 \text{ kJ/kg}} \approx 0,143 \text{ kg/min} \quad (17)$$

$$\dot{m}_c = 143,5 \text{ g/min}$$

### **Consumo anual de cascarilla de café**

Como se dijo, la producción anual de 70 cargas requiere 218 galones de combustible. Además, se introduce el concepto de *silado* que se refiere al secado de cuatro cargas de café. Un silado puede tardar entre 6 y 9 horas, dependiendo del tiempo que el café ha permanecido expuesto al sol. Como se determinó, se requiere quemar  $659,5 \text{ g/min}$  de cisco, es decir que para las 7 horas en promedio de silo (o las 4 cargas que seca en ese tiempo) se deben quemar  $277,2 \text{ kg}$  de cisco. Para la producción completa de 70 cargas, la cantidad de cisco a quemar corresponde a  $2079 \text{ kg}$ , que representa la cantidad necesaria anual de cisco.

### **3.2.2. Estudio de la necesidad de un secador de Biomasa**

Del proceso descrito para el secado del café, se obtienen tres residuos de cáscara con diferentes niveles de humedad, estos se conocen como cascarilla, pasilla y relave; Parte de estos residuos se puede utilizar en el gasificador siempre que su contenido de humedad no sea tan alto. La finca puede llegar a producir  $40 \text{ kg}$  de cisco, sin embargo, se necesitan  $2079 \text{ kg}$  para avastecer la energía

que demanda el secado en un año. Si el precio comercial de la cascarilla de café es de \$130/kg (Yender Méndez, et.al 2016) resulta conveniente comprar toda la cascarilla y por lo tanto no será necesario un secador de biomasa para secar la poca cantidad de biomasa que produce la finca.

### 3.2.3. Necesidades de carácter eléctrico

En las zonas rurales del departamento de Santander el suministro de energía lo distribuye la electrificadora de Santander ESSA, que por medio de un contador registra el consumo global de la finca. Este consumo se factura mensualmente, donde el recibo muestra el histórico de consumo de algunos meses anteriores. Estas facturas de energía definen las necesidades de energía eléctrica que deben ser cubiertas por el sistema fotovoltaico. La Figura 21 presenta un histórico anual. El Apéndice B presenta algunos de los recibos que proporciona la electrificadora.

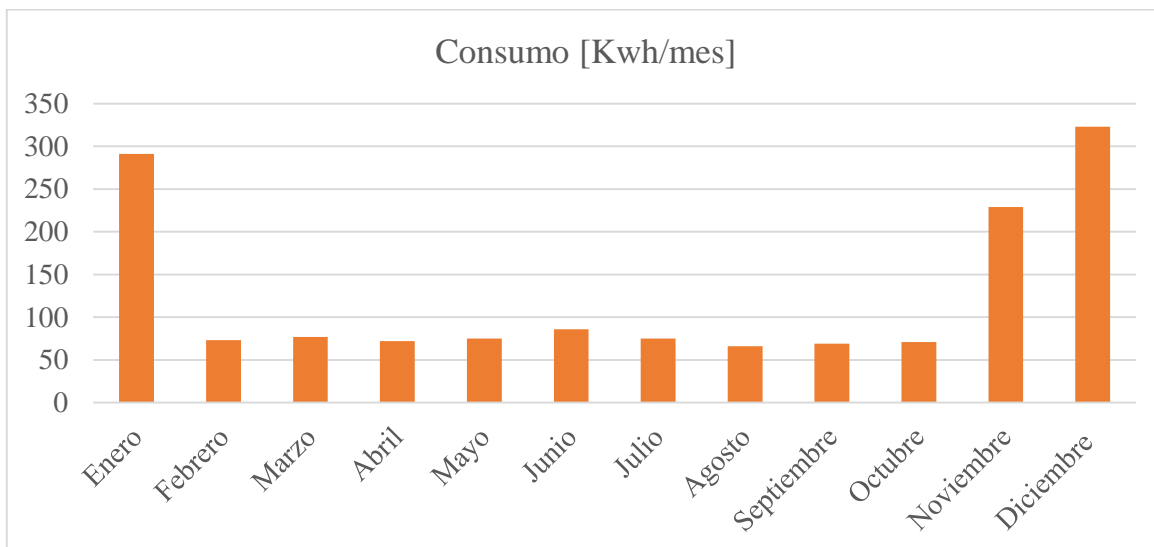


Figura 21. Consumo de energía eléctrica a lo largo del año.

En el Apéndice B se muestra la fotografía de las facturas en los meses de mayor consumo, meses en los que el silo y demás equipos están operando. Para los cálculos se usa un valor medio de consumo mensual de 125,5 kWh/mes que compensa el mayor consumo de noviembre,

diciembre y enero por el bajo consumo de los demás meses. Así, se establece el consumo diario de Kwh

$$\text{Cdia} = 4,18 \text{ kWh/día}$$

### Recurso solar en Colombia

Entidades como el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, recopilan información captada por estaciones meteorológicas que miden los valores de radiación y quedan consignados en bases de datos y cartas de radiación solar, como la que se muestra en la Figura 22 para la zona norte del territorio colombiano.

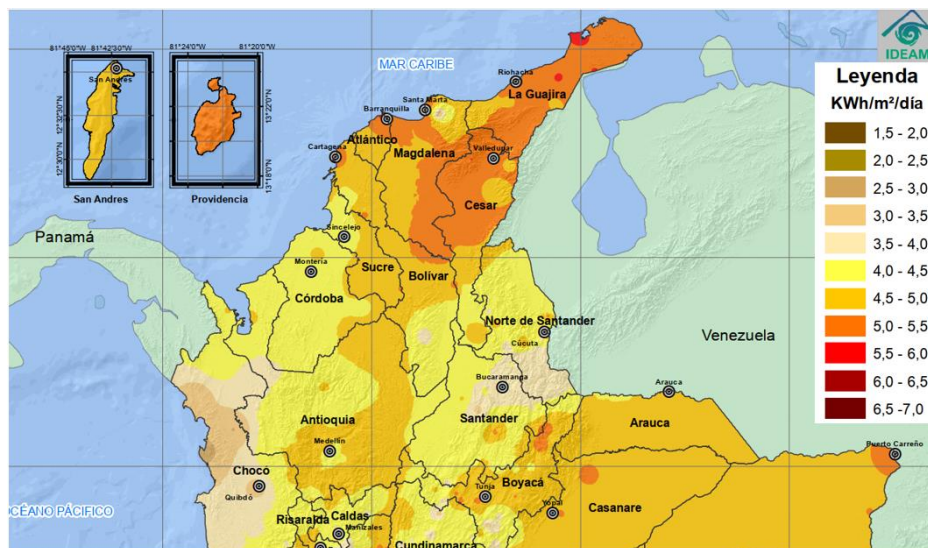


Figura 22. Irradiación global horizontal medio diario anual. IDEAM (2014)

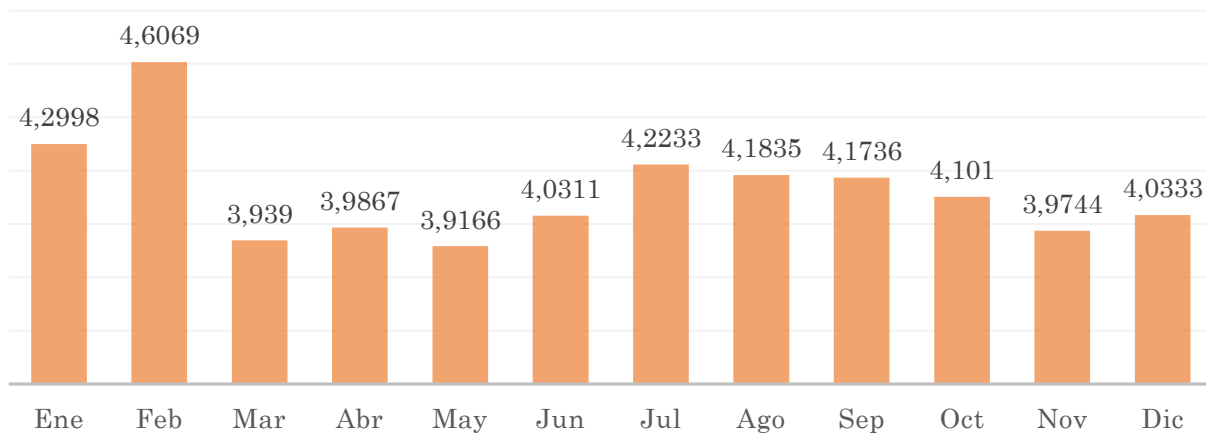
Para el departamento de Santander, el IDEAM cuenta con cuatro estaciones meteorológicas, como se muestra en la Figura. De Oeste a Este se cuenta con las estaciones de Barrancabermeja, San Vicente de Chucurí, Pinchote y Mogotes. Según el mapa mostrado en la Figura 23, las estaciones de Pinchote y Mogotes son las más cercanas a la Finca Villa Rossi marcada con la estrella dorada. Se toma la estación de mogotes para los cálculos.



*Figura 23.* Mapa de Santander con las cuatro estaciones meteorológicas del IDEAM.

Los datos proporcionados por el IDEAM para los valores promedios de radiación global horizontal en Mogotes se presentan en la Figura 24.

#### Radiación promedio mensual kWh/m<sup>2</sup>-día



*Figura 24.* Radiación promedio mensual en Mogotes. Fuente: IDEAM

#### Espacio disponible y orientación de los paneles solares

Con ayuda de una fotografía satelital de Google, se conoce la orientación de la finca con respecto al sur, como se muestra en la Figura 25, es decir, 30°.



Figura 25. Orientación espacial de la Finca

Un modelo tridimensional realizado en Trimble® Sketchup® (ver Figura 26), permite visualizar una distribución aproximada del techo con sus respectivas dimensiones para determinar el ángulo de inclinación  $\beta$ , que resulta ser  $\beta = 23^\circ$ .

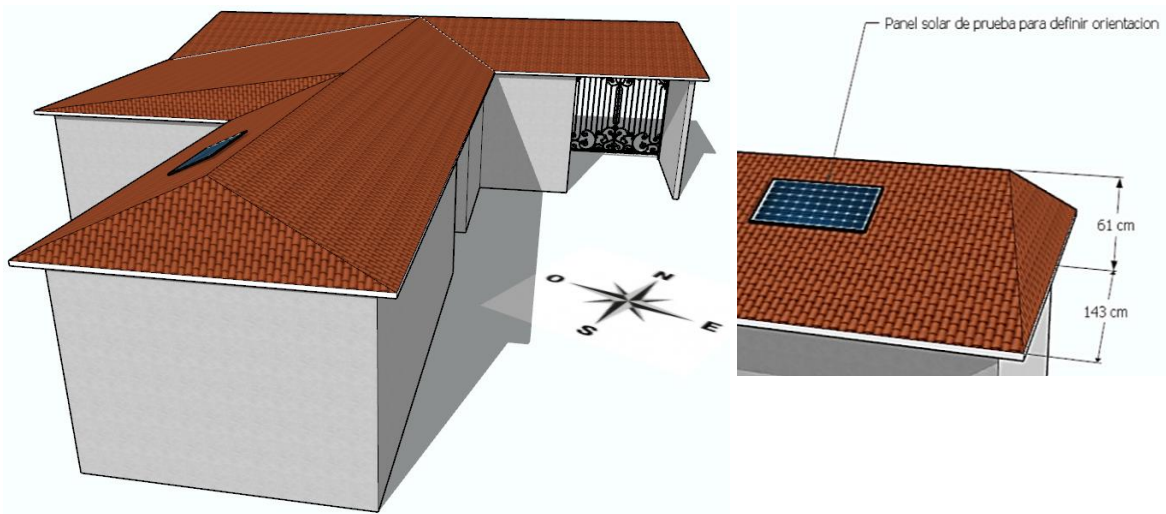


Figura 26. Orientación geográfica y espacio disponible del techo de la finca

Según el procedimiento descrito para el cálculo de la radiación global horizontal para una superficie inclina  $\beta$  grados: Ecuación (7), la Tabla 6 presenta los resultados mensuales

Tabla 6. Valores de radiación promedio mensuales para una superficie inclinada.

1..12	n	$\delta$	Hprh	Hopr	kT	Hdpr	Rbpr	$q_{s,\beta}$
Run 1	15	-21.27	4,300	9,208	0.467	2,031	1.239	4,826
Run 2	46	-13.29	4,607	9,843	0.468	2,170	1.127	4,900
Run 3	74	-2.819	3,939	10,353	0.3805	2,246	1.002	3,912
Run 4	105	9.415	3,987	10,486	0.3802	2,274	0.8713	3,736
Run 5	135	18.79	3,917	10,251	0.3821	2,226	0.7754	3,508
Run 6	166	23.31	4,031	10,022	0.4022	2,199	0.7287	3,507
Run 7	196	21.52	4,223	10,076	0.4191	2,223	0.7473	3,693
Run 8	227	13.78	4,184	10,310	0.4058	2,265	0.8265	3,824
Run 9	258	2.217	4,174	10,344	0.4035	2,271	0.9466	4,045
Run 10	288	-9.599	4,101	9,957	0.4119	2,192	1.081	4,230
Run 11	319	-19.15	3,974	9,336	0.4257	2,062	1.207	4,348
<b>Run 12</b>	349	-23.34	4,033	8,991	0.4485	1,989	1.271	4,569

Para los cálculos se toma el mínimo valor de  $q_{s\beta} = 3,507 \text{ kWh/m}^2\text{-día}$ , para así asegurar un nivel mínimo de abastecimiento de energía eléctrica.

### Determinación del número de paneles conectados a la red

Debido a que el panel tiene un comportamiento lineal con la irradiación los paneles se seleccionan de acuerdo con la energía producida en unidad de tiempo; esta selección requiere estimar la energía diaria requerida por la instalación Ecuación (18). Donde  $ES$ ,  $N_t$ ,  $HPS$ ,  $P_p$ ,  $F_f$  y  $F_T$  corresponden a la energía suministrada, el número total de paneles, las horas pico solar, la potencia pico, el factor de forma y el factor de temperatura, respectivamente. Las horas solar pico son equivalentes a la radiación total mensual  $q_{s,\beta}$  expresada en  $\text{kWh/m}^2\text{-día}$ . De esta forma se calcula el número total de paneles  $N_t$  que requiere la instalación.

$$ES = N_t * HPS * P_p * F_f * F_T \quad (18)$$

## 4. Resultados

### 4.1. Análisis económico

#### 4.1.1. Análisis de costos de construcción, instalación, y puesta en funcionamiento del nuevo sistema.

En este punto ya se cuenta con la información necesaria para seleccionar todos los equipos y obtener cotizaciones de diferentes empresas, que pueden ofrecer los servicios de suministro, instalación, puesta en marcha y mantenimiento estos equipos.

Del gasificador, se cuenta con información sobre la temperatura y caudal del aire de secado, que implícitamente define la cantidad de cascarilla de café a quemar, así como cuánto de esta biomasa se produce en la finca y la cantidad que se debe comprar, que será una proporción mayor debido a su bajo precio. El análisis de estas condiciones se desarrolló considerando un gasificador down-draft, entonces se selecciona el gasificador comercial idóneo con este diseño. Adicionalmente, se busca que el equipo venga completo, es decir, con accesorios de conexión, tolva de almacenamiento y accesorios de conexión, con el fin de conseguir la mejor compatibilidad; de ser posible, el servicio de instalación del equipo deberá estar incluido.

Por parte del sistema fotovoltaico conectado a red se tienen las condiciones de operación en términos de disponibilidad solar y las necesidades energéticas. Así, se estima el precio de adquisición del sistema de paneles, inversor y cableado. Este sistema debe ser instalado y supervisado por un profesional técnico y su mantenimiento debe hacerse periódicamente, de manera que esto representa un costo adicional.

### **Sistema de gasificación de Biomasa**

El interés se centra en empresas confiables, responsables y comprometidas con el desarrollo de las energías renovables, para la adquisición del gasificador de biomasa. Aun cuando son pocas las empresas que ofrecen gasificadores comerciales para pequeñas aplicaciones, se hicieron las cotizaciones con dos empresas del sector. Según su página web, FIMAR es una empresa santandereana con más de 50 años de experiencia en la industria cafetera y de cacao.

ORÍGENES S.A.S. por su parte se especializa en la comercialización y exportación de café y equipos de producción.

#### **Propuesta de la empresa FIMAR:**

Esta empresa ofrece un gasificador con capacidad para 10 cargas, con un motorreductor de 25 W, termostato para mantener constante la temperatura, estabilizador de energía CDP de entradas múltiples a 220 V y tolva de cargue de cisco. No incluye ventilador para la secadora y la alimentación de la cascarilla se hace con un tornillo sin fin. El fabricante garantiza el consumo total del cisco sin dejar residuos de cenizas sobre la parrilla. El costo de este gasificador con todos los componentes mencionados se resume en la tabla 7. El Apéndice E presenta la cotización recibida con información adicional del equipo.

Tabla 7. *Propuesta de gasificador de la empresa Fimar*

<b>Concepto</b>	<b>Valor</b>
Valor total sin IVA	\$10'708.000
Valor IVA 5%	\$535.400
<b>Valor total</b>	<b>\$11'243.400</b>

### **Propuesta de la empresa ORÍGENES S.A.S:**

Esta empresa propone una oferta de ahorro en costos de transporte e instalación, que representa un ahorro importante. En su cotización incluyen costos de adecuaciones distintas al gasificador que se deben realizar de acuerdo con la estructura y espacio disponible para su instalación. El equipo incluye un intercambiador de calor a base de biomasa como la cascarilla de café y la alimentación es con un tornillo sinfín. En su descripción se establece el precio del equipo, junto con su instalación, puesta en marcha, adecuaciones, impuestos de IVA, entre otros; los valores se presentan en la Tabla 8. De igual forma, el Apéndice F incluye esta cotización para información adicional.

*Tabla 8. Propuesta de gasificador de la empresa Orígenes*

Concepto	Valor
Equipo completo de gasificación de biomasa	\$10'900.000
Instalación, adecuación y otros	\$1'350.000
Subtotal	\$10'900.000
Impuestos	\$545.000
<b>Total</b>	<b>\$11'445.000</b>

### **Sistema fotovoltaico conectado a la red**

En el campo de la generación fotovoltaica son muchas las empresas que ofrecen sus servicios. En Colombia donde la generación fotovoltaica es una tecnología en crecimiento, la adquisición de los paneles y demás componentes del sistema fotovoltaico es cada vez más sencilla, debido a que la demanda de estos equipos es elevada, y surgen compañías comprometidas que entran al mercado de las energías renovables. AMBIENTE SOLUCIONES ®, SOLARTEX Y

GREENENERGY, son reconocidas empresas que operan en el país y que ofrecen sus servicios de generación de energía fotovoltaica, y de las cuales se obtienen las siguientes cotizaciones:

**Propuesta de la empresa Ambiente Soluciones:**

Esta empresa nos propone la venta de un kit completo conformado por 4 paneles policristalinos, un micro inversor, y el cableado adecuado. Esta cotización no incluye gastos de instalación y transporte, debido a que estos servicios requieren de conocimiento detallado del lugar de instalación. Este kit viene como una unidad lista para conectar a la red, con capacidad de 4180 hasta 6280W. Los tiempos de entrega y métodos de pago son a convenir. El precio de este kit y su cotización se presentan en la Tabla 9 y el Apéndice G respectivamente.

Tabla 9. *Propuesta de sistema fotovoltaico de la empresa Ambiente Soluciones.*

Concepto	Cantidad	Valor
Paneles solares policristalinos	4	<b>\$4'588.235</b>
Microinversor 900 W	1	
Cableado solar	1	

**Propuesta de la empresa SOLARTEX:**

Para generar esta cotización se usan los productos y precios que la empresa ofrece en su página web. Se seleccionan paneles solares de 340W para un total de 6 paneles policristalinos según los cálculos descritos. Un inversor de 3kW grid tie, un medidor de energía monofásico y el respectivo cableado, para su instalación. Con un tiempo de entrega y sistema de pago a convenir. El precio final se visualiza en la tabla 10 y su Apéndice H.

Tabla 10. Propuesta de sistema fotovoltaico de la empresa Solartex

Concepto	Cantidad	Valor
Paneles solares policristalinos 340W	6	<b>\$6'073.600</b>
Inversor 3 Kw	1	
Medidor de energía	1	
Cableado solar	1	

#### Propuesta de la empresa Green Energy:

Esta empresa siendo la competencia directa de Solartex nos dispone de los paneles de máxima potencia disponibles, usando 5 siendo estos de 340W, un inversor de 3Kw con conexión a la red, un medidor de energía monofásico, y el cableado de conexiones, la diferencia la marca son los precios, proponiendo unos costos adquisitivos más bajos. El precio se identifica en la Tabla 11 y su Apéndice I.

Tabla 11. Propuesta de sistema fotovoltaico de la empresa Green Energy

Concepto	Cantidad	Valor
Paneles solares policristalinos 340W	5	<b>\$5'026.282</b>
Inversor 3 Kw Grid Tie	1	
Medidor de energía Monofásico	1	
Cableado solar	1	

#### 4.1.2. Determinar la cantidad de dinero que se puede ahorrar al implementar este sistema alternativo, así como su tiempo de amortización;

En esta parte del proyecto lo largo de la cosecha que se efectuará en el mes de noviembre y culminando a finales del mes de enero se requiere hacer una comparación de costos, se debe establecer un gasto mensual de la energía eléctrica, para esto se puede hacer registro de los recibos de luz proporcionados por la empresa de energía ESSA y hacer un cálculo promedio de

este gasto. El ahorro resulta de la comparación entre la energía que generan los paneles y la consumida por la finca.

Por otra parte, se debe llevar registro de los galones de petrodiesel utilizados, junto con la variación del precio de este combustible a nivel internacional, para así poder comparar los costos de ambos sistemas.

Con los principios básicos de ingeniería económica, se puede llevar a cabo el cálculo del tiempo de amortización, que se basa en el tiempo gastaremos en recuperar la inversión hecha para la compra, dimensionamiento y puesta en marcha del nuevo silo de café; Los precios se presentan en la Tabla 12.

Tabla 12. *Consumos anuales y precios*

Combustible	Consumo anual	Precio combustible	Costo anual
ACPM	218 gal	\$9170/gal	\$2'000.000
Cascarilla de café	2079 kg	\$130/kg	\$270.270

El horizonte del proyecto se establece a 5 años. El impuesto a la renta para el año 2020 tiene un valor de 32% (Becerra, 2019) y una inflación proyectada para 2020 de 3.8% (Leal, 2020). La tasa mínima aceptable de rendimiento TMAR se determina con la Ecuación (Blank & Tarquin, 2011).

$$TMAR = \text{Tasa inflacion} + \text{Riesgo de inversion} \quad (26)$$

En este caso el riesgo de inversión es bajo pues la demanda del producto es constante y no hay competencia fuerte de otros productores. Se toma así un riesgo de inversión de 4 %.

$$TMAR = 3.8 + 4.2 \quad \rightarrow \quad TMAR = 8 \quad (27)$$

### Análisis de activos de adquisición

Los únicos activos que requieren de inversión son los equipos de gasificación y sistema fotovoltaico, ya que el proyecto pretende implementar estos sistemas sobre la infraestructura actual. El análisis económico se realizará teniendo en cuenta la inversión inicial total presentada en la Tabla 13. La depreciación de los equipos del nuevo silo se toma del 15% anual.

Tabla 13. *Costo de adquisición*

Sistema alternativo de energía	Precio del sistema	Precio total
Sistema de gasificación	\$11'243.400	\$16'269.682
Sistema fotovoltaico	\$5'026.282	

### Análisis de ventas

Sumando todos los consumos de energía mensuales, el consumo anual es de 1507 kWh. La cantidad de energía promedio que generan los paneles en cada mes es.

$$ES_{mes} = N_p \times HSP \times Pp \times FF \times FT \quad (23)$$

Sumando estos valores mensuales, la generación anual de energía por parte de los paneles es de 1776,2 kWh. Si el precio de la energía es de \$530/kWh en la finca, los paneles ahorran:

$$Energia = \$941.386 \text{ COP}$$

Además, se tiene en cuenta la inflación anual de la energía con un valor del 1,03% según las tarifas eléctricas de inflación expuestas por el Banco de la República. Así el costo total en ahorro de energía será la suma del combustible ahorrado y la energía, como se ve en la Tabla 14.

Tabla 14. Ahorro anual en combustible y energía eléctrica.

Concepto	Valor	Total
Ahorro en combustible	\$2'000.000	\$2'941.386
Ahorro en energía	\$941.386	

### Análisis de crédito de inversión

Se opta por tomar un crédito de libre inversión con el banco Colpatria por un valor de 16'200.000 con una tasa de interés del 12,28% a un periodo de 5 años con tasa de interés nominal mensual de 0,97%. Los criterios determinan un valor presente neto y una tasa interna de retorno, ver Apéndice J. Confirmando así la viabilidad del proyecto. Con estos datos financieros, el flujo de caja se presenta en la tabla 15.

$$VPN = \$1'140.365 \quad TIR = 14,58\%$$

Tabla 15. Flujo de Caja

Periodos	0	1	2	3	4	5
Flujo de Inversión	16'269.682	0	0	0	0	13'829.230
Flujo de Producción	0	574.679	846.440	1'146.006	1'476.622	1'841.931
Préstamo Bancario	16'200.000	0	0	0	0	0
Amortización Crédito	0	2'535.892	2'847.299	3'196.948	3'589.533	4'030.328
Flujo Neto de Caja	69.682	1'961.213	2'000.859	2'050.942	2'112.911	11'640.833

Según (Blank & Tarquin, 2011) la viabilidad de un proyecto económico se evalúa dependiendo unos criterios básicos, teniendo en cuenta la relación que debe haber con la tasa

mínima admitida de retorno, el valor presente neto y la tasa interna de retorno; se establece que el valor presente neto debe ser positivo, y la tasa interna de retorno debe ser superior a la tasa mínima admitida de retorno, los valores obtenidos se pueden observar en la Tabla 16.

Tabla 16. *Criterios Financieros*

HORIZONTE	IMPUESTO RENTA	TMAR	CRÉDITO
5	32%	8%	16'200.000
VPN	TIR		
1'140.365	14,58%		

## 5. Conclusiones

Se determinó que, para una proyección de inversión a 5 años con un financiamiento total a crédito de libre inversión y una TEA de 12,28%, la tasa de interna de retorno es de 14,58% y un VPN de \$1'140.365. El criterio de viabilidad del proyecto exige que el VPN tenga un valor positivo y que la TIR sea mayor a la TMAR (8%), por lo tanto, se consolida la viabilidad económica y tecnológica del proyecto.

Con relación a las necesidades energéticas se determinó un consumo térmico de 42,9 kW para un caudal de aire de secado de 41m<sup>3</sup>/min y un consumo eléctrico anual de 1507 kWh. Debido a que el dimensionamiento del sistema fotovoltaico requiere de un número entero de paneles, la producción de energía eléctrica será superior.

El dimensionamiento de los elementos del nuevo silo dio como resultado un gasificador down-draft alimentado con cascarilla de café con una capacidad máxima de 1250 kg de silado; y un sistema fotovoltaico conformado por 5 paneles de 340Wp que no superan el área disponible para su instalación, junto con un inversor de 3kWp. Se decidió comprar la totalidad del cisco necesario debido a su baja producción en la finca.

Según las cotizaciones realizadas el costo total del sistema de gasificación tiene un valor de \$11'243.400 incluidas todas sus adecuaciones, y para el sistema fotovoltaico se obtuvo un precio de \$5'026.282 para la mejor propuesta económica. Se obtiene así un valor global neto de los nuevos equipos correspondiente a \$16'269.682.

Los cálculos desarrollados concluyeron que el ahorro en petrodiesel cada año es de \$2'000.000 y \$941.386 en energía eléctrica. Con este ahorro económico y los criterios financieros establecidos, la inversión se recupera en un tiempo de cinco años.

Para el calentamiento sensible del aire, se tuvo en cuenta el aporte energético que requiere el calentamiento del vapor de agua presente en el aire. Sin embargo, como muestra el Apéndice K la energía necesaria para calentar el aire desde 20 hasta 50°C varía desde 24,75 kW para el aire seco ( $\phi = 0$ ) hasta 24,81 kW para un aire completamente saturado ( $\phi = 100\%$ ). La diferencia es de apenas 60W por lo que a temperaturas altas el calentamiento de la humedad del aire se desprecia.

Una alternativa diferente a la gasificación es el uso de una caldera de biomasa. El análisis se presenta en el apartado 4.2.1. usando la Ecuación 17 y se encontró que se requiere un consumo de 143,5 g/min haciendo la combustión directa frente a los 659,5 g/min necesarios para generar la corriente de gases en la gasificación, aunque las emisiones que produce la quema directa de la cascarilla son elevadas.

**Referencias Bibliográficas**

- Abaunza, A., & García, K. (2019). *MODELAMIENTO MATEMÁTICO DE UN GASIFICADOR DE CISCO DE CAFÉ DE LECHO FIJO DOWNDRAFT* [Universidad Industrial de Santander]. <https://doi.org/10.377/0033-2909.I26.1.78>
- AGVE BIOMASA. (2017). *Qué es un gasificador de biomasa?* Gasificador de Biomasa.
- Álvarez, I., Alexander Ardila Calderón, J., Stella Girón Ospina, O., Julio Ramírez Quimbayo, C., Enrique Baute Balcázar, J., María Sánchez Arciniegas, P., Danilo Santamaría Burgos, M., & Fabián Montoya, D. (2016). *DIAGNÓSTICO DE LA CALIDAD DEL CAFÉ SEGÚN ALTITUD, SUELOS Y BENEFICIO EN VARIAS REGIONES DE COLOMBIA*. In *Cenicafé* (Vol. 67, Issue 2).
- Ariswendy, J. H. (2015). *Evaluación del proceso de secado del café y su relación con las propiedades físicas, composición química y calidad en taza*.
- Arteaga-pérez, L. E., & Casas-ledón, Y. (2015). Gasificación de biomasa para la producción sostenible de energía. Revisión de las tecnologías y barreras para su aplicación. *Afinidad*, 72(570), 138–145.
- Basu, P. (2010). Biomass Gasification and Pyrolysis. In *Biomass Gasification and Pyrolysis*. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-20099-7>
- Becerra, L. (2019). *Así quedaron los impuestos en 2020 con la reforma tributaria aprobada por el Congreso*. <https://www.larepublica.co/economia/asi-quedaron-los-impuestos-en-2020-con-la-reforma-tributaria-2946739>
- Blank, L., & Tarquin, A. (2011). *Ingeniería Económica*. McGraw-Hill.
- Casa, M., & Barrio, M. (2017). *Instalaciones solares fotovoltaicas*.
- Castejón, A., & Santamaría, G. (2010). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. Editex.
- Danilo Batiz Flores, C., & Besora Magem, J. (n.d.). *Autor: Jordi Besora Magem SECADOR*

*SOLAR Y TRAMPA DE POLEN INFORME TÉCNICO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UNA TRAMPA CAZAPOLEN Y UN SECADOR SOLAR DE POLEN.*

Diaz, T., & Carmona, G. (2010). *INSTALACIONES SOLARES FOTOVOLTAICAS* (1st ed., Vol. 1). McGraw-Hill.

Duffie, J. A., Beckman, W. A., & McGowan, J. (1985). Solar Engineering of Thermal Processes. In *American Journal of Physics* (Vol. 53, Issue 4). <https://doi.org/10.1119/1.14178>

Herguedas, A., Taranco, C., Rodríguez, E., & Paniagua, prado. (2012). Biomasa, Biocombustibles Y Sostenibilidad. *Transbioma*, 13(2), 105–109.

IDEAM. (2018). *Atlas Interactivo - Climatológico*. Ideam.

<http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasClimatologico.html>

Infocafe. (n.d.). *Principales productores de café del mundo*. Retrieved January 23, 2020, from <https://www.infocafe.es/cafe/principales-productores-cafe.php>

Leal, A. (2020). *Estas son las cifras macroeconómicas con las que se empiezan a hacer cuentas para el nuevo año*. <https://www.larepublica.co/economia/estas-son-las-cifras-macroeconomicas-del-pais-con-las-que-empieza-el-2020-2948430>

Oliveros Tascon, C. E. (2009). Aprovechamiento eficiente de la energía en el secado mecánico del café. *Programa de Investigacion Cientifica*, 14, 2.

<http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/370/1/avt0380.pdf>

Por, P., Darío Rebolledo Eraso Luis Alberto Vento Betancourt Director, I., & Patricia Caro, M. (n.d.). *PROPUESTA DE AGROINDUSTRIALIZACIÓN DEL PROCESO DE BENEFICIO DEL CAFÉ EN EL MUNICIPIO DE LA UNION (NARIÑO) DE ACUERDO A LAS CARACTERISTICAS DE CALIDAD ESPERADAS POR EL CLIENTE A NIVEL INTERNACIONAL TRABAJO DE GRADO.*

RENOVETEC. (2013). *Tipos de Biomasa - Plantas de Biomasa*.

<http://www.plantasdebiomasa.net/que-es-la-biomasa.html>

Roa-Mejía, G., Oliveros-Tascón, C. E., Parra-Coronado, A., & Ramírez, C. A. (2000). El secado mecánico del café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 8 p.

Silva, J. S., Pinto, ;, Machado, ;, & Melo, E. (n.d.). *PROJETO, CONSTRUÇÃO E AVALIAÇÃO DE UM SECADOR DE FLUXOS (CONCORRENTES/CONTRACORRENTES) PARA SECAGEM DE CAFÉ*.

Wark, K., & Richards, D. (2000). *TERMODINÁMICA*. McGraw-Hill.

Yender Méndez, Yohandrys Yanes, Juan García, J. R. (2014). *Diseño y construcción de una secadora de café en el sector ahoga mula, estado portuguesa*. Universidad Nacional Experimental Politecnica de la Fuerza Armada.

## Apéndices

Apéndice A. Fotografías de los componentes del silo actual.



Tanque de almacenamiento del combustible



Izq. Quemador industrial. Der. Válvula de paso y filtro



Ventilador industrial y placa del motor.




Boca del serpentín y Cámara principal de secado



*Cámara auxiliar y ducto obstruido con ladrillos.*

Apéndice B. Factura de consumo de energía eléctrica.



**Grupo-epm**

Nit: 890.201.230-1  
Carrera 19 No.24-56 Bucaramanga, Santander, Colombia  
Corredor: 57(7) 833 9767 Fax: 57(7) 642 3236  
web site: http://www.essa.com.co  
**Línea gratuita: 018000 971903**  
AUTOPRETENEDORES RESOLUCIÓN 0547 DE 25-01-2002.  
RESOLUCIÓN No. 7029/05NOV DE 1996.

**Mauricio Montoya Bozzi**  
GERENTE GENERAL ELECTRICIDAD DE SANTANDER S.A. E.S.P.

**Valor a pagar: \$155,719**  
Pago oportuno hasta: JAN/20/2020  
Suspension desde: JAN/21/2020

**Periodo facturado**  
Desde: DEC/07/2019  
Hasta: JAN/06/2020  
Días facturados: 31  
Fecha ultimo pago: JAN/09/2020  
Valor del ultimo pago: \$155,719

**Factura de venta No. 163843549**  
Expedición: JAN/31/2020  
Numero para pago electrónico: **441983**

**Numero de cuenta 441983-9**

**Cliete: Rios Ayala Heliodoro**  
Nit/c.c: VDA PTE TIERRA  
No Definido  
San Gil, Santander

**Localizacion del predio**  
Dir. Postal:  
Municipio Postal:

**Consumo: 291 Kwh/mes**  
Consumo cobrado por Lectura Tomada

Tipo	Lectura Actual	Lectura Anterior	Consumo
A5	53925.0	53634.0	291

**Evolucion de Consumo (Kwh/mes)**

MES-6	MES-5	MES-4	MES-3	MES-2	MES-1	ACTUAL	PROMEDIO
						291	139

**Calidad del Servicio**  
Cód Transformador | Grupo Calidad | Duración | Valor Compensado

Consumo Mensual Promedio Trimestre (Kwh):  
Cto:

**Informacion tecnica del servicio**

Ciclo: 462 Fens Rur Urb San Joaquin  
Ruta: 462 - 4690160700  
Clase de Usuario: 1RESIDENCIAL  
Estrato/Nivel: 4 / 1  
Tarifa: 1 Genérica  
Subestacion: 79 San Gil  
Circuit: 75007 Mogotes-Onzaga  
Transformador: 0469082  
Nivel de Tension: 1 Nivel 1 < 1 Kv  
Codigo Cu: 22 Prop Essa

**Datos del medidor**

Numero: 8409887  
Marca: ISK  
Factor: 1  
Cifras: 5 - 0  
Tipo: A5  
% Consumo AC:

**Informacion FOES**

Consumo base FOES  
Vir Kwh FOES  
Numero factura base

**Liquidacion empresa de aseo**

Concepto	Valor Mes	Saldo
VBA		
TRBL		
TRLU		
TRRA		
TRA		
TAFNA		
TRNA		

**Ultimos cobros**

**Estado de Financiaciones**

Concepto	Deuda Inicial	Cuota	Saldo	Cuotas Pendientes

**Liquidacion servicio de energia electrica**

Concepto	Valor Mes	Saldo
Consumo Activa	\$154,279	
Subretasa Art.313 L11955/19	\$1,164	
Retr. Sobret. Art313 L11955	\$276	

**Informacion para Usted**

Meta kWh: Consumo mes kWh, Exceso kWh:  
SI NO PAGA ESTA FACTURA SE SUSPENDERA EN LA FECHA INDICADA  
A partir de octubre los colombianos de estrato 4,5,6 sector comercial e industrial pagaran

**Liquidacion de otros conceptos**


Concepto	Valor Mes	Saldo	Facturado
Total otros conceptos:			

La presente factura presta mérito ejecutivo de conformidad al Art 130 ley 142/94

**Desprendible de pago numero de cuenta 441983-9**  
Este es el valor que usted paga por el servicio de energía y otros conceptos.

**Valor a pagar: \$155,719**      **Pago oportuno hasta: JAN/20/2020**

Si cancela despues de la fecha de pago oportuno, se cobraran intereses de mora de **0.50 % M.V**




(415)7707266014651(8020)200044198397(3900)000000155719(96)20200120

**Numero de cuenta 441983-9**  
Factura de Venta No. 163843549      Atrasos: 0

**Valor Total: \$155,719**  
Este es el valor que usted paga por: Servicio de energía, impuesto de al

Pago Oportuno Hasta: JAN/20/2020      Tipo de pago: 1



(415)7707266014651(8020)010044198397(3900)000000155719(96)20200120


Numero de referencia de pago/Numero para pago electrónico: **441983**

**Cliete: Rios Ayala Heliodoro**  
Nit/c.c: VDA PTE TIERRA  
Telefono:


**Impuesto de alumbrado publico**  
Este es el valor que usted paga por el impuesto de alumbrado publico conforme al acuerdo municipal No. Acuerdo No.031 de 2008 Actualizado en Dic de 2014 del municipio de San Gil. Si tiene inquietudes o sugerencias sobre la liquidacion de su impuesto de alumbrado publico, comuniquese con la alcaldia de su municipio a la linea 7243385. Contrato condiciones uniformes, clausula 25.  
Base Gravable: \$154,279      Tarifa impuesto alumbrado publico (IAP): 0 %  
Concepto      Valor Mes      Saldo

**Total impuesto AP: \$**

La mora en el pago del impuesto acarrea intereses liquidados conforme al artículo 635 del Estatuto Tributario Nacional y el proceso de cobro coactivo. Contra la presente liquidacion procede el recurso de reconsideracion, art. 720 E.T.N. El valor determinado en esta liquidacion, debe ser cancelado en los bancos y puntos señalados para el pago del servicio de energía eléctrica.



Entidad recaudadora



Entidad recaudadora

## Apéndice C. Datos de Producción anual y consumo de combustible.

DANIEL ENRIQUE RIOS DURAN  
ALIRIO ALFONSO PERALTA HERNANDEZ.  
Bucaramanga.  
E. S. M.

Comedidamente rindo comunicación sobre la inquietud presentada telefónicamente.

El proceso de secado del café en la finca **VILLA ROSSI** ubicada en la vereda **PUENTE TIERRA** del municipio de San Gil, es a través de **PATIO** en parte y de **SILO** en la segunda parte, donde el combustible empleado para el **SILO** es A.C.P.M.

Informo que el café es llevado al **SILO** generalmente con dos días de **PATIO**, para ahorrar combustible y energía eléctrica.

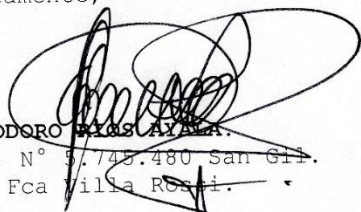
El **SILO** posee **TERMOSTATO** fijo en 50 grados centígrados, las cuatro cargas de café procesadas en cada **SILADO** salen en estado físico **SECO**, con seis a siete horas de procesamiento en **SILO**, dependiendo de los días de **PATIO** y de la irradiación solar.

Al momento se han secado 70 cargas de café pergamino, consumiendo 218 galones de **ACPM** corriente, a razón de \$9.170,00 galón, es decir, la suma de **DOS MILLONES DE PESOS MCTE** (\$2.000.000).

Para la adquisición y movilidad del combustible empleo una caneca plástica donde sólo se vierten \$400.000 de A.C.P.M., las cinco veces utilizada para bajar y subir el producto, ha tenido un costo de **SETENTA Y CINCO MIL PESOS MCTE** (\$75.000), a razón de **QUINCE MIL PESOS MCTE** \$15.000 cada viaje.

Considero haber satisfecho la inquietud solicitada.

Atentamente,



HELIODORO PÉREZ AYALA.  
C. C. N° 9.748.480 San Gil.  
Prop Fca Villa Rossi.

## Apéndice D. Determinación del Calor de Pérdidas.

**"DETERMINACIÓN DE PÉRDIDAS DE CALOR"****"Modelo de transferencia de calor por conveccion natural"**

$$Qp1=Ap*h*(Tamb-Tp)$$

$$Ap=48 \quad [m^2] \quad \text{"Área de pérdidas del silo"}$$

$$h=20 \quad [W/m^2K] \quad \text{"Coef. transferencia de calor por convección"}$$

$$Tamb=40 \quad [^{\circ}C]$$

$$Tp=20 \quad [^{\circ}C]$$

**"Modelo de consumo de combustible"**

$$Qp2=EC-Qa$$

$$EC=MC*PCC \quad \text{"Energía que aporta el ACPM"}$$

$$MC=denC*volC \quad \text{"Flujo masico de ACPM"}$$

$$denC=880 \quad [Kg/m^3] \quad \text{"Densidad del ACPM"}$$

$$VolC=Consumo*cargaS/hCarga*convert(gal, m3) \quad \text{"Volumen de ACPM en m3/s"}$$

$$Consumo=218/70 \quad \text{"Consumo de combustible en GAL/carga"}$$

$$cargaS=4 \quad \text{"Cargas por silado"}$$

$$hCarga=8*3600 \quad \text{"Horas que demora el silado"}$$

$$PCC=42700 \quad [kJ/Kg]$$

$$Qa=27.3 \quad [Kw]$$

**Unit Settings: SI C kPa kJ mass deg**

$$Ap = 48 \quad [m^2]$$

$$cargaS = 4$$

$$Consumo = 3.114$$

$$denC = 880 \quad [kg/m^3]$$

$$EC = 61.52 \quad [kJ/kg]$$

$$h = 20 \quad [W/m^2K]$$

$$hCarga = 28,800$$

$$MC = 0.001441 \quad [kg/m^3]$$

$$PCC = 42,700 \quad [kJ/kg]$$

$$Qa = 27.3 \quad [kW]$$

$$Qp1 = 19,200$$

$$Qp2 = 34.22 \quad [kW]$$

$$Tamb = 40 \quad [^{\circ}C]$$

$$Tp = 20 \quad [^{\circ}C]$$

$$volC = 0.000001637 \quad [m^3/gal]$$

## Apéndice E. Cotización del gasificador ofrecido por la empresa Fimar.



COT No. 114

San Gil, enero 7 de 2020

Señor  
Daniel Ríos  
Cel. 320 272 1224  
[danielriosd@hotmail.com](mailto:danielriosd@hotmail.com)  
F. Villa Rossi  
V. Puente Tierra  
San Gil- Santander

**ASUNTO: COTIZACIÓN BENEFICIO SECO**

Cordial saludo, en atención a su amable solicitud de cotización presentamos la siguiente oferta:

**ITEM 1: SISTEMA DE SECADO- CONVERTIDOR**

**SECADORA PARA PRODUCTOS AGRICOLAS CON INTERCAMBIADOR DE CALOR No. 2 DOBLE CAMARA CON FILTRO PARA TRABAJAR CON CISCO, LEÑA O CARBÓN COQUE**, para secadoras de 10 cargas o de 1250 kg café seco, con motor reductor de 25 vatios, termostato para mantener constante la temperatura, estabilizador de energía CDP de entradas múltiples a 220 voltios, tolva de cargue del cisco. No incluye ventilador para secadora.

El convertidor vertical marca FIMAR permite economizar costos en el proceso de secado del café, su combustión es realizada con cascarilla de café (cisco), transportada por un tornillo alimentador; por otra parte el ventilador traslada el aire caliente a la respectiva secadora o Guardiola realizando así un proceso de secado uniforme del grano. El equipo tiene un sistema de alimentación automático para el cisco con tolva. El convertidor vertical permite usar otros combustibles: como gas.

El Cisco de café se consume en su totalidad, realiza una combustión completa quedando residuos (ceniza) del 11%, en el hogar nos garantiza que sobre la parrilla no quedan residuos de ningún tipo saliendo por la chimenea solamente CO<sub>2</sub>.



Valor más IVA.....\$ 9.408.000  
Valor flete y montaje con adaptaciones del ventilador.....\$ 1.300.000

Valor total sin IVA.....\$ 10.708.000  
Valor IVA 5%.....\$ 535.400  
Valor total .....\$ 11.243.400

- Energía a 220 v.
- Precio puesto en la finca.
- **TIEMPO DE ENTREGA:** 60 días hábiles.
- **GARANTÍAS:**
- Garantía de 3 años sobre desperfectos de fabricación. Motores eléctricos 1 año.
- **VALIDEZ DE LA OFERTA:** 60 días.
- **FORMA DE PAGO:** 50% anticipo y saldo para la entrega.

Agradecemos el interés mostrado en nuestros equipos y quedamos a la espera de verlos favorecidos con nuestra oferta.

Cordialmente,

LAURA RUEDA MEJIA  
Gerente Comercial  
LRM

## Apéndice F. Cotización Gasificador Orígenes



San Gil, 20 de enero de 2020

Daniel Enrique Ríos Duran  
 Celular 320 272 1224  
 Finca Villa Rossi. Vda Puente Tierra  
[danielriosd@hotmail.com](mailto:danielriosd@hotmail.com)  
 San Gil, Santander, Colombia.

Estimado/a Daniel:

Ha solicitado información sobre los precios de nuestra compañía. A continuación, aparece nuestro presupuesto:

Detalle	Precio
<b>Descripción:</b> Unidad de Calor a Biomasa para secadora de Café con capacidad de secado de 1.250 kg cps. <b>Especificaciones:</b> Intercambiador indirecto de Calor a base de biomasa (Cascarilla de Café, leña o carbón), alimentador de cascarilla por tornillo sinfin, tolva de alimento, con tablero de control eléctrico, motor de 25 vatios, y controlador automático de temperatura.	\$ 10'900.000
Instalación, adecuación y otros	\$ 1'350.000
<b>Subtotal</b>	<b>\$ 10'900.000</b>
<b>Impuestos</b>	<b>\$ 545.000</b>
<b>Total</b>	<b>\$ 11'445.000</b>
<b>Fecha de entrega</b>	Sin especificar.

Debido a que no hemos tenido el placer de hacer negocios con ustedes con anterioridad, les proponemos esta oferta especial para expresarles nuestro deseo de comenzar a entablar relaciones. Si confirma este pedido antes de 60 días a partir de la fecha de esta carta, y la entrega será completamente gratuita.

Gracias por darnos la oportunidad de ofrecerles este presupuesto. Llevamos en este negocio desde 2006 y tenemos muy buena reputación por la calidad de nuestros productos. Deseamos mostrarles que merece la pena.

Atentamente,

  
 Ing. Ariel Maurissio Ariza Carvajal.  
 Gerente de Producción & Desarrollo.



Correa 11 No. 8 - 31  
 San Gil, Santander

+57 (317) 588 47 28  
 (7) 724 81 25

[www.origenesantander.com](http://www.origenesantander.com)  
[gerencia@origenesantander.com](mailto:gerencia@origenesantander.com)

## Apéndice G. Cotización Solar Ambiente Soluciones



**Cotización**  
 Num : 00015135  
 Fecha : 22/01/2020  
 Fecha fin validez : 06/02/2020

**Ambiente Soluciones SAS**  
 NIT 900445030 - 6  
 Calle 50 # 68-105 (calle Colombia con la 70, sector  
 estadio)  
 0500100 Medellín





Teléfono: 448 03 98  
 Email: info@ambientesoluciones.com  
 Web: www.ambientesoluciones.com

**Daniel Enrique Ríos**  
 Daniel Enrique Ríos  
 Tel: 3202721224  
 Email: danieriosd@hotmail.com  
 no suministra





Valores visualizados en Peso Colombiano

Descripción	Precio	Cant.	Total
<b>KIT INTERCONECTADO A RED #2 (Desde 4180 w hacia 6280 w)</b>  El Sistema Interconectado o Conexión On Grid consiste en la producción de energía eléctrica a partir de Paneles Solares Fotovoltaicos los que a diferencia del sistema Off Grid si van conectados a una red pública, es decir, a una red de cualquier compañía eléctrica local.  En este sistema la energía para potenciar cualquier dispositivo electrónico proviene simultáneamente del sistema solar como de la red eléctrica. Son ideales para instalaciones de ciudad, uso industrial o particular, centros comerciales, hospitales, instituciones educativas y cualquier otra edificación con un alto consumo diario.  <u>Descripción:</u>  - Paneles Solares Policristalinos (4 Unidades) - Micro Inversor 900 W - Cableado Solar	4 588 235	1	4 588 235

## Apéndice H. Cotización Solar Solartex.

SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA FV EMPRESA SOLARTEX										
<b>PANELES SOLARES</b>			<b>FF</b>	<b>FT</b>	<b>ES</b>	<b>HPS</b>				
	<b>MODELO:</b>	STC 340W	0,78	0,88	4,18	3,507				
	<b>Pp:</b>	0,34	<b>5,13</b>							
	<b>Vmp:</b>	37,5								
	<b>Imp:</b>	9,07								
	<b>Voc:</b>	46,1								
	<b>Icc:</b>	9,5								
	<b>Tp</b>	40								
	<b>\$Unitario</b>	479000					<b>Total</b>	<b>2874000</b>		
			<a href="https://www.solartex.coltienda.com/producto/panel-solar-340-watts-polycristalino-americolor/">https://www.solartex.coltienda.com/producto/panel-solar-340-watts-polycristalino-americolor/</a>							
<b>INVERSORES FOTOVOLTAICOS</b>			<b>MECHANICAL CHARACTERISTICS</b>							
	Max Pin [w]	3150	Cell type				Polycrystalline 156x156mm (6x6inches)			
	Max lin [A]	13	Number of cells				72 (6x12)			
	Max Pout [w]	3000	Module dimensions				1956x962x50mm (77.01x39.06x1.97inches)			
	\$UNITARIO	2920000	Weight				23kg (50.7lbs)			
	<b>Total</b>	<b>2920000</b>	Front cover				3.2mm (0.13inches) tempered glass with AR coating			
			Frame				Anodized aluminum alloy			
			Junction box				IP67, 3 diodes			
			Cable				4mm <sup>2</sup> (0.006inches <sup>2</sup> ), 1000mm (39.37inches)			
			Connector				MC4 or MC4 compatible			
<b>MEDIDORES DE ENERGIA</b>			<b>Total</b>				<b>6073600</b>			
	<b>TIPO</b>	MONOFASICO								
	<b>TENSION</b>	120 V								
	<b>FRECUENCIA</b>	60 Hz								
	<b>\$UNITARIO</b>	269600								
	<b>Total</b>	<b>269600</b>								
			<a href="https://www.solartex.coltienda.com/producto/medidor-bidireccional-monofasico-120v-60hz-castron/">https://www.solartex.coltienda.com/producto/medidor-bidireccional-monofasico-120v-60hz-castron/</a>							
<b>CONDUCTORES Y ACCESORIOS 4mm<sup>2</sup></b>			<b>Total</b>				<b>6073600</b>			
	<b>\$UNITARIO</b>	10000								
	<b>Total</b>	<b>10000</b>								
	Cable 4mm <sup>2</sup> (0.006 inch <sup>2</sup> ), 1000 mm (39.37 inch)									

## Apéndice I. Cotización Solar GreenEnergy

SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA FV GREENENERGY														
PANELES SOLARES			FF	FT	ES	HPS								
	<b>MODELO:</b>	Amerisolar-6P-340W	0,80	0,88	4,18	3,507								
	<b>Pp:</b>	0,34	<b>5,00</b>											
	<b>Vmp:</b>	37,3												
	<b>Imp:</b>	9,07												
	<b>Voc:</b>	45,9												
	<b>Icc:</b>	9,26												
	<b>Tp</b>	40												
	<b>\$Unitario</b>	440640					<b>Total</b>		<b>2203200</b>					
			<a href="https://www.greenenergy-latinamerica.com/tienda/terceros/panel-solar-fotovoltaico-ar-340w/">https://www.greenenergy-latinamerica.com/tienda/terceros/panel-solar-fotovoltaico-ar-340w/</a>											
INVERSORES FOTOVOLTAICOS			Características mecánicas											
	Max Pin [w]	3150	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipo silicio policristalino</li> <li>• Tipo de terminal de salida Conector multicontacto tipo 4</li> <li>• Cable de salida Calibre de cable 12 AWG</li> <li>• Cable de salida Cable Tipo PV Cable</li> <li>• Longitud del cable del cable de salida 1.000 mm (39,4 in)</li> <li>• Frame Color Clear</li> <li>• Color de hoja posterior blanco</li> <li>• Longitud 1956mm (77in)</li> <li>• Ancho 992 mm (39,1 in)</li> <li>• Profundidad 50 mm (2 pulgadas)</li> <li>• Peso 23 kg (50,7 lb)</li> <li>• Método de instalación montado en bastidor</li> </ul>											
	Max Iin [A]	13												
	Max Pout [w]	3000												
	\$UNITARIO	2719286												
	<b>Total</b>	<b>2719286</b>												
<a href="https://www.greenenergy-latinamerica.com/tienda/producto/gensol-ar-v-3kw/">https://www.greenenergy-latinamerica.com/tienda/producto/gensol-ar-v-3kw/</a>														
MEDIDORES DE ENERGIA							<b>Total</b>							
	TIPO	MONOFASICO									<b>5026282</b>			
	TENSION	120 V												
	FRECUENCIA	60 Hz												
	\$UNITARIO	99140												
	<b>Total</b>	<b>99140</b>												
<a href="https://www.greenenergy-latinamerica.com/tienda/producto/gs-lb-medidor-monofasico-gs-lm011/">https://www.greenenergy-latinamerica.com/tienda/producto/gs-lb-medidor-monofasico-gs-lm011/</a>														
CONDUCTORES Y ACCESORIOS 4mm <sup>2</sup>			<b>Total</b>											
	\$UNITARIO	4656					<b>5026282</b>							
	<b>Total</b>	<b>4656</b>												
	Cable 4mm <sup>2</sup> (0.006 inch <sup>2</sup> ), 1000 mm (39.37 inch)													

Apéndice J. Plan Amortización Banco Colpatría.

11/1/2020

Simulador de Crédito de Libre Inversión - Banco Scotiabank Colpatría

# Simulador de Crédito de Libre Inversión - Banco Scotiabank Colpatría

**Simula la cuota de tu crédito de libre inversión**

Hasta 90 Millones  
Sin ir al banco

¡Lo quiero!

Actualizado: 2019-12-05

11 de enero 2020

Valor Cuota \$357,419.89

Tasa de interes nominal mensual: 0.97%

Valor: \$16,200,000.00

Plazo: 60 Meses

Apéndice K. Cálculo del Calentamiento Sensible del aire.

"CALENTAMIENTO SENSIBLE DEL AIRE DESDE 20 HASTA 50°C"

$$Q = m_a \cdot (h_2 - h_1) / 60$$

"Flujo masico de aire"

$$m_a = (p_a \cdot V) / (R_a \cdot (T_1 + 273))$$

$$p_a = p - p_{v1}$$

$$p_{v1} = \phi \cdot p_{g1}$$

$$p_{g1} = p_{\text{sat}}(\text{water}, T=T_1) \cdot \text{convert}(\text{kpa}, \text{bar})$$

$$V = 41 \text{ "m}^3/\text{min"}$$

$$\phi = 0.8$$

$$T_1 = 20$$

$$T_2 = 50$$

$$p = 1.01 \text{ "Enfriamiento a presion constante, bar"}$$

$$R_a = 0.08314 / 28.97 \text{ "bar} \cdot \text{m}^3 / \text{mol} \cdot \text{K"}$$

"Cálculo de la relacion de humedad"

$$w = 0.622 \cdot p_{v1} / p_a$$

"Cálculo de las entalpías"

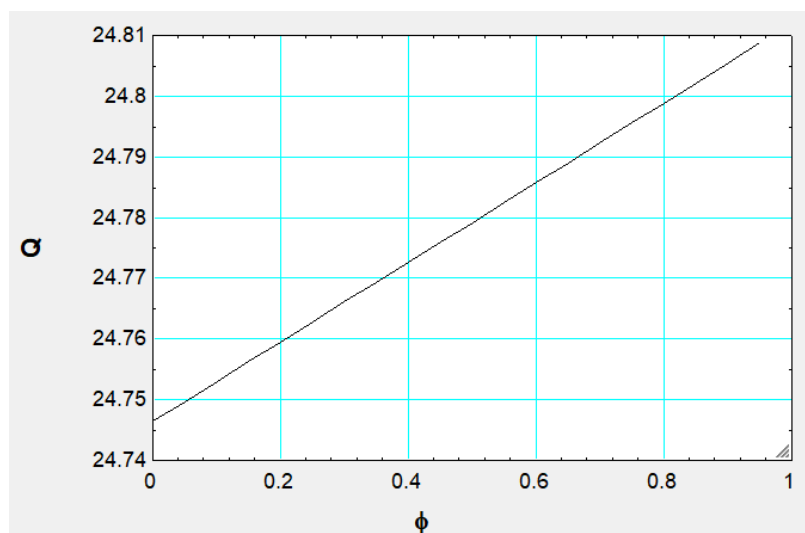
$$h_1 = c_{p1} \cdot T_1 + w \cdot h_{g1}$$

$$h_2 = c_{p1} \cdot T_2 + w \cdot h_{g2}$$

$$c_{p1} = 1.005$$

$$h_{g1} = \text{enthalpy}(\text{water}, T=T_1, x=1)$$

$$h_{g2} = \text{enthalpy}(\text{water}, T=T_2, x=1)$$



Apéndice L. Producción de energía anual generado por sistema fotovoltaico.

El promedio mensual de energía que generan los paneles se determina con la Ecuación 23 usando HPS para cada mes; el acumulado mensual se consigue multiplicando el promedio de generación mensual por los días de cada mes.

Mes	HSP [kWh/m <sup>2</sup> dia]	Energía promedio diaria mensual [kWh/mes]	Energía cada mes [kWh]
Ene	4.30	5.15	154.38
Feb	4.61	5.51	165.41
Mar	3.94	4.71	141.43
Abr	3.99	4.77	143.14
May	3.92	4.69	140.62
Jun	4.03	4.82	144.73
Jul	4.22	5.05	151.63
Ago	4.18	5.01	150.20
Sep	4.17	4.99	149.85
Oct	4.10	4.91	147.24
Nov	3.97	4.76	142.70
Dic	4.03	4.83	144.80
<b>TOTAL ANUAL</b>			<b>1776.12</b>