

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

AUDITORÍA ENERGÉTICA DE SECADORA DE CAFÉ UBICADA EN LA FINCA LA PALMA

JORGE HERNAN MARTINEZ ISAZA
MICHAEL MIRANDA GOMEZ

INGENIERIA ELECTROMECHANICA

Director del trabajo de grado
Luis Fernando Cardona Sepúlveda

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

2019

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RESUMEN

La finca LA PALMA ubicada a 17 kilómetros desde la ciudad de Medellín, vía Medellín-San Félix, tiene en sus predios una cosecha de unos 30.000 palos de café aproximadamente, donde se fabrica el mundialmente famoso café CAFELIX, propiedad de Don Guillermo Correa. Esta finca tiene un proceso de beneficio de café, en el cual se realizan todos los procesos para que se disfrute finalmente de un excelente sabor que es lo que hace tan famoso a este café. Dentro del proceso del beneficio del café se encuentra la secadora de café, la cual se trabaja con carbón o con madera reciclada del mismo palo del café para su combustión. En este trabajo se realizó una auditoria energética a la secadora de café, tomando como base para el estudio por el método gravimet de Cenicafé. Se tomaron datos cada 30 minutos por un lapso de 6 horas, lo que permitió calcular la pérdida de humedad en una muestra de café debidamente pesada. Con la ayuda de la primera ley de la termodinámica se logra determinar la eficiencia de la secadora de café, la cual es aproximadamente el 10%. Al final se hacen recomendaciones sobre el uso de combustibles en la secadora, desde un punto de vista económico y ambiental.

Palabras clave: Auditoria energética, secadora de café, balance de energía, eficiencia energética

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RECONOCIMIENTOS

En este trabajo se quiere dar un reconocimiento especial por la colaboración a las personas que con su ayuda lograron que se llevara a cabo este proyecto.

Primero se da un reconocimiento a don Guillermo Correa quien es la persona que nos facilitó muy amablemente su hogar Finca La Palma donde se ubica la secadora de café a la que se le realizó la auditoria energética.

Se da un especial reconocimiento a Luis Fernando Cardona docente del Instituto Tecnológico Metropolitano Institución Universitaria, quien fue la persona que nos asesoró en el proyecto de grado, quien nos guio en el desarrollo del proyecto. Además, por estar siempre dispuesto para apoyarnos en el desarrollo del proyecto, su compromiso y dedicación. Además, por su constante motivación entrega.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	5
1.1	Objetivos	6
1.2	Organización del trabajo	6
2.	MARCO TEÓRICO	7
2.1	Estudios previos	7
2.2	Cultivos de Café en Colombia.....	12
2.3	Beneficio del café	15
2.4	Descripción y ficha técnica de la secadora a evaluar	20
2.5	Carbón y madera de café	36
2.6	Auditoria energética.....	41
3.	METODOLOGÍA.....	44
3.1	Equipos de medida utilizados y metodología general	44
3.2	Toma de datos.....	45
3.3	Contenido de humedad.....	49
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	50
4.1	Calor de la carga (método Gravimet).....	51
4.2	Calor del combustible.....	52
4.3	Potencia eléctrica	53
4.4	Eficiencia de la secadora	55
4.5	Balance de energía	56
4.6	Pérdida por paredes.....	56
4.7	Calor de la carga (Estimación por primera ley termodinámica).....	57
4.8	Impacto ambiental	58
4.8	Costo económico de los combustibles usados.....	60
5.	CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO	61
	REFERENCIAS	64

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

1. INTRODUCCIÓN

En la finca “La palma”, ubicada a 17 kilómetros aproximadamente de la vía Medellín- san Félix y a un kilómetro aproximadamente de borde de carretera, dentro del proceso del beneficio de café se utiliza una secadora de café la cual emplea dos tipos de combustibles: carbón y madera reciclada de los mismos palos de café. A esta secadora se le realiza una auditoria energética para conocer su eficiencia y determinar el impacto económico y ambiental que tiene uno u otro combustible en el proceso de secado.

En nuestro país el café es un producto que muestra una parte importante del comercio a nivel mundial, ya que es reconocido en todo el mundo por su excelente calidad, sabor y aroma. En este estudio se tuvo en cuenta a la hora de escoger el lugar un requisito valioso el cual fue realizarlo en un lugar reconocido y de fácil acceso, siendo la finca La Palma el lugar ideal para realizarlo, ya que se encuentra cerca de la ciudad de Medellín y el café producido en esta finca tiene un reconocimiento mundial, por su excelente calidad, sabor y aroma. Además, que a la hora de realizar el estudio se contaba con una buena cosecha de café, lo que permitió realizar un análisis más veraz. Al realizar esta auditoria se llega a un resultado que puede ser traducido en que tanta energía se aprovecha en el proceso de secado del café y que tanto dinero se puede llegar a perder en este mismo proceso.

Además, se evalúa el impacto ambiental que produce el sistema ya que es muy importante tener en cuenta las emisiones contaminantes que produce el combustible usado en este proceso. Sabiendo que las emisiones de carbón son muy contaminantes, se ve importante evaluar además el impacto de los combustibles con que se contaban la hora de realizar la auditoria energética y así dar un referente de que si su impacto es menor a la de carbón. Nuestra labor como ingenieros es además de buscar soluciones a problemas, también va en el cuidado del medio ambiente, buscando realizar procesos más eficientes y menos contaminantes.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

1.1 Objetivos

1.1.1 General

Elaborar una auditoria energética de una secadora de café para indicar cuál es la eficiencia actual, cuál es el impacto ambiental de utilizar carbón o leña y proponer cambios para mejorar la eficiencia del proceso de secado.

1.1.2 Específicos

- Identificar y realizar mediciones de variables que caractericen la secadora de café, tales como temperaturas y caudal.
- Realizar balance de energía para determinar eficiencia de primera ley del sistema de secado.
- Evaluar el impacto ambiental y los costos económicos que genera la quema de carbón y la madera reciclada.

1.2 Organización del trabajo

En el capítulo 1 se define la introducción donde se da a conocer el problema a resolver con el proyecto. En el capítulo 2 se define el marco teórico donde se plasma toda la parte teórica donde tiene bases sólidas la investigación. En el capítulo 3 se define la metodología donde se plasma como se realizó paso a paso la auditoria energética. En el capítulo 4 se define los resultados y discusión donde se plasman los resultados obtenidos en la auditoria energética, como la eficiencia de la secadora de café. En el capítulo 5 se definen las conclusiones obtenidas en el trabajo de grado.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Estudios previos

Para tener bases de donde iniciar este proyecto se hace uso de las bases bibliográficas científicas ofrecidas en el campus, en estas bases se realizan búsquedas de artículos científicos basados en estudios realizados previamente en diferentes partes del mundo acerca de procesos de medición y comprobación de eficiencia energética e impacto ambiental de secadoras de café dentro del proceso del beneficio del café. Estos serán parte fundamental ya que contra los resultados ya obtenidos se cotejarán nuestros resultados dando así una validez y credibilidad a este proyecto.

A continuación, se presentan estos artículos haciendo referencia a distintos estudios realizados, no solo a secadoras de café, sino también a tostadoras de café las cuales hacen parte del ciclo del beneficio del café. Además, se hace referencia al estudio del secado del orégano siendo este último de gran ayuda ya que la maquina usada es similar a la usada en nuestro proyecto.

- En el área de secado de café se encontraron estudios realizados en equipos de secado mecánico tipo silo a escala 1:5, en los cuales se tiene como ventajas un menor requerimiento de espacio para secar, desarmable, reduce mano de obra, disminuye tiempo de secado y se conserva la calidad en el producto. En este estudio se obtuvieron datos de humedad inicial, humedad final, temperatura promedio del aire de secado, y tiempo de secado. (Cuellar Henao, Perdomo Centeno, & Cuellar Pérez, 2018). Dichos datos sirven como referencia y punto de partida para nuestro estudio ya que estos datos son los mismos que se abordaran en nuestro trabajo.

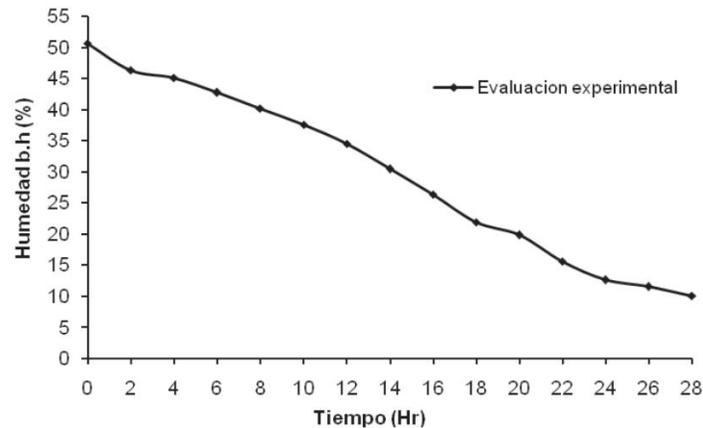


Figura 1. Comportamiento de la humedad durante el proceso de secado (Cuellar Henao, Perdomo Centeno, & Cuellar Pérez, 2018).

- Dentro del área del secado del café, la cantidad de humedad durante el proceso de secado es importante ya que con esta medida se puede llegar a determinar la eficiencia de la máquina de secado. En un estudio realizado en la Universidad Nacional de Colombia, se determinó el contenido de humedad del café durante el secado en silo tipo Cenicafé, basado en la pérdida de masa de una muestra colocada en un cilindro. (Oliveros Tascón, López Valencia, Buitrago, & Moreno Cárdenas, 2010). El método utilizado en este trabajo nos sirve para determinar la cantidad de humedad en el café, además nos sirve como una base para comparar los datos obtenidos en nuestro estudio con los ya obtenidos en dicho estudio.

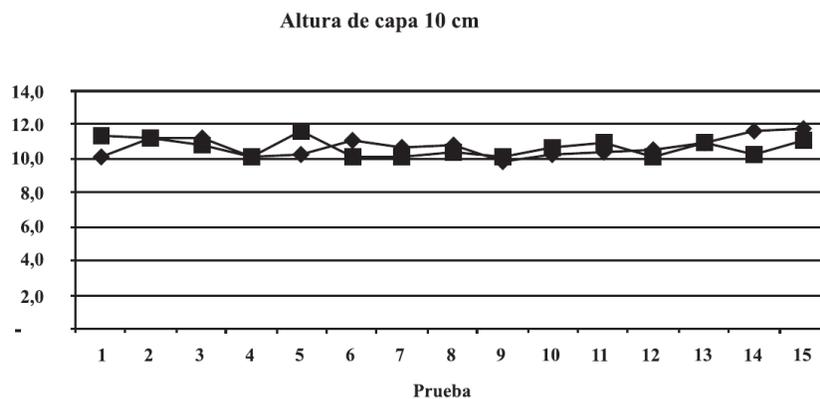


Figura 2. Contenidos de humedad del café seco, reales (con el método de la estufa) y observados (con el método Gravimet – SM), para alturas de capa de 10,20, 30 y 40 cm. (Oliveros Tascón, López Valencia, Buitrago, & Moreno Cárdenas, 2010).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Varios autores han reportado resultados de estudios relacionados con la eficiencia del proceso de secado de café. Por ejemplo, en un estudio realizado en Italia en el año de 2012 por la universidad de Módena, se reportó un modelo numérico del proceso del tostado del café. Con este modelo pretendían simular el comportamiento de todos los componentes del tostado del café, incluido el proceso de secado. Esto se logró controlando variables tales como, presión, temperatura y flujo de masa en las secciones principales del sistema y consumo de combustible, teniendo como base información experimental de un laboratorio de tostado para comparar los resultados (Bottazzi, Farina, Milani, & Montorsi, 2012). Este tipo de estudio se toma como un referente para un posible análisis numérico a realizar a nuestro trabajo.

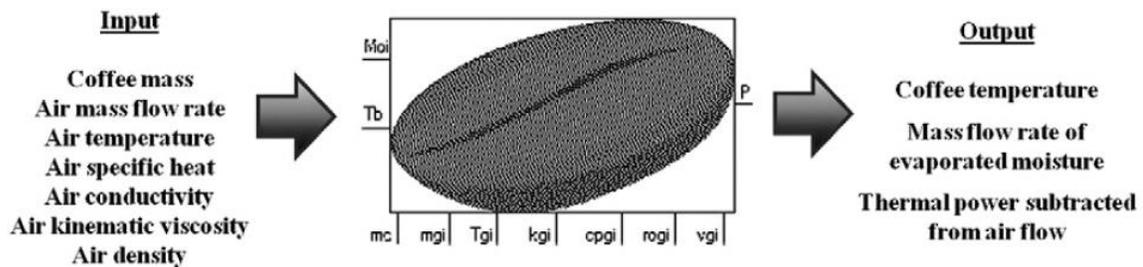


Figura 3. Números de entrada y salida del modelo. (Bottazzi, Farina, Milani, & Montorsi, 2012).

- Otro estudio realizado también en Italia propuso la introducción la recuperación del calor generado en el proceso de tostado de café, en caso de sustituir de una vieja planta de alimentos. Con el estudio que realizaron lograron encontrar que el calor que recolectaban lo podían utilizar para acondicionar la temperatura en el edificio. (De Monte, Padoano, & Pozzetto, 2003). El estudio realizado en este artículo es aplicable al proceso de secado de café que se propone analizar en este trabajo ya que se puede sugerir la recirculación de aire a la salida de la máquina secadora de café.

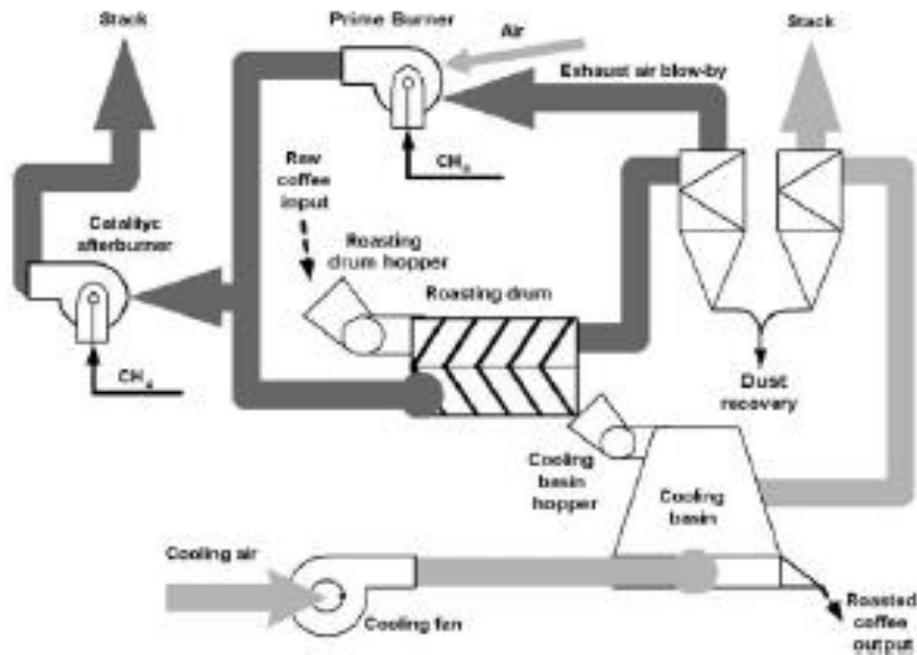


Figura 4. Esquemático de la nueva máquina tostadora. (De Monte, Padoano, & Pozzetto, 2003).

- En un estudio realizado en el año 2014 en el ITM, se evaluaron dos aspectos: el primero era el diseño, implementación y validación de un secador mecánico de orégano utilizando gas propano como combustible y el segundo era el costo del proceso de deshidratación teniendo en cuenta el consumo de energía eléctrica del ventilador y el costo del consumo de gas propano por el intercambiador de calor. (Velasquez Santos & Acevedo Alvarez, 2014). Los datos en este estudio nos servirán como referencia para abordar los datos obtenidos en el estudio a realizar en la secadora de café, ya que la maquina utilizada en el artículo es muy similar a la de nuestro estudio.

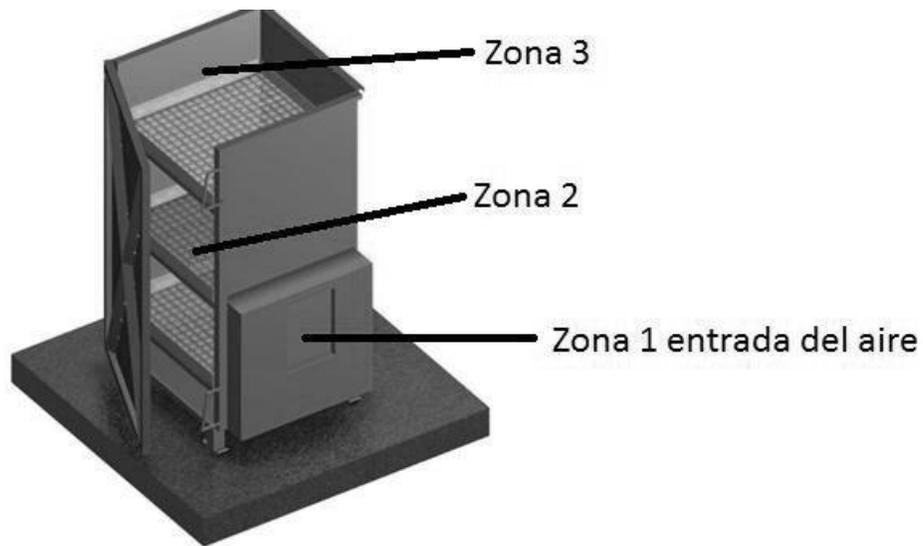


Figura 5. Secciones de la cámara de secado. (Velasquez Santos & Acevedo Alvarez, 2014).



Figura 6. Esquema de conjunto secador de orégano. (Velasquez Santos & Acevedo Alvarez, 2014).

2.2 Cultivos de Café en Colombia

La zona cafetera en Colombia se encuentra sobre las dos vertientes de las tres grandes cordilleras del país, llegando a abarcar 564 municipios en 16 departamentos y 16 municipios de los antiguos territorios nacionales (Casanare, Meta y Caquetá). Esto conlleva a que Colombia tenga cerca de 2 millones de personas que viven de la caficultura. Según estudios realizados se tiene que existen más de 518 mil caficultores y cerca del 94% tienen menos de 5 hectáreas en café. El cultivo de café representa el 24% del área total de ésta, un 32% está en bosque y montaña, el 33% en pastos y el 11% se reparte en explotaciones de otros renglones productivos (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2018).

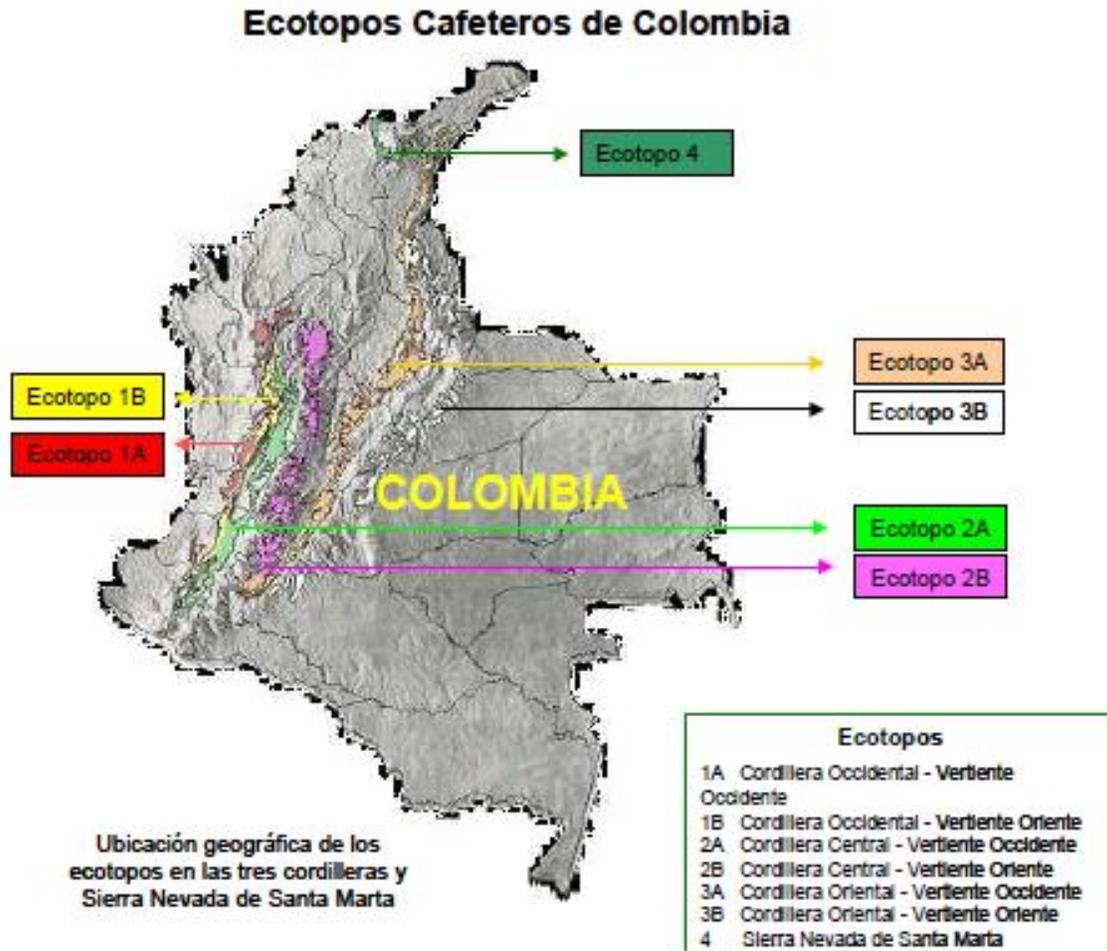


Figura 7. Ecotopos Cafeteros de Colombia. (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2018).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.2.1 Compartimientos ambientales

Si se quiere tener éxito en el cultivo de café se deben tener en cuenta los siguientes compartimientos ambientales:

- **Suelo:** Dentro de los factores fundamentales en una empresa cafetera esta la calidad del suelo donde se siembra el cultivo, ya que de ella depende la rapidez de crecimiento y desarrollo de los árboles, la iniciación de la producción, la cantidad y calidad de esta, la resistencia al ataque de plagas y enfermedades y la duración de su vida productiva. (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2018).
- **Agua:** En cafetales a libre exposición y bajo diferentes sombríos, la mayor parte de la lluvia que ingresa al sistema, es interceptada por el dosel (56%) y solamente un 44% de la lluvia llega a la superficie. De éste 38% se infiltra en el perfil del suelo y un 6% es agua de escorrentía. La dinámica del agua en el suelo depende de la cobertura vegetal, la textura y el contenido de materia orgánica. El sombrío tiene un efecto positivo sobre la conservación del agua, especialmente en períodos con deficiencia de lluvia. (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2018).
- **Aire:** Existen algunos componentes del clima como la humedad del aire y los vientos que pueden limitar el cultivo del cafeto. En el primer caso, la humedad relativa media anual se encuentra entre el 70 y el 85%. Este elemento presenta variaciones entre el día y la noche, bajando en las horas de la tarde hasta un 35% para subir en la noche alrededor del 100%. (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2018).
- **Flora:** Existen materiales de las mismas regiones cafeteras, usados en la construcción del germinador, el almácigo y el trazado del cultivo. Así mismo, en el manejo de arvenses se seleccionan coberturas adaptadas a cada localidad o se pueden establecer en las calles del cultivo. También se utiliza la flora cuando se establece el sombrío transitorio o permanente. (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2018).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- **Fauna:** Se considera que la adición de materia orgánica en las etapas de instalación y establecimiento del cultivo son fuentes de micro fauna y micro flora, importantes en las propiedades biológicas del suelo; estas a su vez, se consideran responsables de buena parte de la fertilidad natural del suelo. (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2018).

2.2.2 El clima y su importancia en la producción de café

Latitud y altitud: La zona cafetera colombiana se encuentra localizada en las laderas de las cordilleras que atraviesan el país de sur a norte. De acuerdo con la latitud está ubicada sobre el trópico de cáncer y cubre desde 1° a 10° de latitud norte, en una franja altitudinal comprendida entre los 1.000 y 2.000 metros sobre el nivel del mar. Estos límites de altura son amplios, debido a la influencia que tiene la latitud sobre la altura conveniente para sembrar café. (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2018).

Zona cafetera colombiana Latitud y altitud para café al sol		
Zona	Latitud	Altitud m.s.n.m.
Norte	7 - 10°	1.000 – 1.400
Centro	3 - 7°	1.200 – 1.650
Sur	1 – 3°	1.300 – 1.700

Figura 8. Latitud y altitud zona cafetera. (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2018).

Temperatura: La zona cafetera colombiana presenta una temperatura media muy uniforme a través del año para una misma región. Tiene una temperatura media que varía entre los 18°C y los 22.5°C. Regiones con temperatura por fuera de estos límites se consideran como marginales (se identifican como zona marginal alta y zona marginal baja) para el cultivo de café. Las diferencias entre las

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

temperaturas media y máxima pueden ser hasta de 15°C. (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2018).

Precipitación: La tendencia general en la zona es la de presentar dos períodos secos y dos lluviosos en el año (distribución bimodal). Los meses de mayor lluvia están determinados por el movimiento de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), la cual condiciona tiempo con alta nubosidad y gran cantidad de lluvia. En general se presenta para la región norte un período seco muy definido entre los meses de diciembre a abril. En la región central ocurren dos períodos secos en los meses de enero - febrero y julio - agosto. En la región sur ocurre un período seco continuo entre junio y septiembre. Aunque la zona cafetera presenta altos valores de precipitación anual, hay regiones con limitaciones de agua en algunas épocas, debido a la inadecuada distribución de las lluvias o por existir condiciones de alta evaporación. (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2018).

2.3 Beneficio del café

Dentro del proceso que se realiza al grano se encuentra el más importante que se conoce como benéfico del café, el cual consiste en una serie de pasos por cuales pasa el grano para que este tenga una óptima condición para su consumo. Entre sus principales pasos está el cultivo y la selección de este.

Se utilizan dos métodos de recolección del grano, una se basa en la recolección selectiva y el otro consiste en agitar la planta y recoger todos los frutos. Las semillas en el primer proceso suelen beneficiarse, si hay agua, por el llamado método húmedo o ablandamiento en agua, eliminación mecánica de la pulpa, fermentación en grandes depósitos, nuevo lavado y secado al aire o en cilindros giratorios calientes. El método seco, que suele reservarse para las semillas recolectadas de la segunda forma, se reduce a secar el grano y eliminar las envolturas externas. El producto final es siempre el llamado café verde, que se selecciona a mano o a máquina para eliminar las semillas defectuosas y la materia extraña, y se clasifica en función del tamaño. (cooperacion Alemana al desarrollo-GIZ, 2103).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

A continuación, se hace una explicación más detallada del proceso de transformación del café haciendo énfasis en cada uno de sus procesos.

- **Extracción de semillas**

- I. Vía seca (A este café se le llama cereza)

- Se recolectan las cerezas rojas o amarillas (maduras) dejando el pezón adherido a la rama.
- La cosecha no debe durar más de 2 semanas, para evitar que la semilla se seque en el árbol.

- II. Vía húmeda (A este café se llama lavado o fermentado)

- Se recolectan las cerezas.
- Se remojan para quitarles las capas y luego se lavan los granos. (cooperacion Alemana al desarrollo-GIZ, 2103).

- **Recepción en el beneficiadero**

Se recibe y procesa el café el mismo día en el que se ha recolectado previo lavado. Se pesa el café al momento de recibirlo y procurar no dejar expuesto al sol. (cooperacion Alemana al desarrollo-GIZ, 2103).

- **Despulpado**

Este proceso debe realizarse antes de las 6 horas de la recolección ya que este tiempo podría afectar el producto y producir una fermentación posterior. Se debe construir un tanque para almacenamiento de agua de suficiente volumen. La máquina despulpadora tiene que estar de acuerdo a la cantidad de horas diarias que se utilice. Se debe limpiar, calibrar las cuchillas alimentadoras, revisar la tolva y el cilindro de la despulpadora y por último revisar el sistema de movimiento ya sea manual o eléctrico. Asegurarse que no haya ninguna impureza tales como: maderas, metales, residuos vegetales, etc. Alimentar con suficiente agua a la despulpadora y enseguida dejar pasar las cerezas. Recoger la pulpa, secarla al sol y utilizarla como fertilizante. Recoger las aguas del despulpado y juntarlas con las aguas del lavado a fin de someterlas a tratamiento y evitar la contaminación ambiental. (cooperacion Alemana al desarrollo-GIZ, 2103).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- **Zarandeo**

Escoger una zaranda (tamizador) que tenga un tamaño en relación con el tamaño de la despulpadora, se puede usar una zaranda manual o eléctrica, para separar los granos que no se han despulpado. (cooperacion Alemana al desarrollo-GIZ, 2103).

- **Fermentación**

Se coloca el café despulpado en el tanque de fermentación. Luego se deja fermentar de 12 a 20 horas, hasta que la textura este rugosa. La fermentación se va a acelerar cuando se añada al fermentador miel proveniente de una fermentación anterior. Es conveniente evitar que el café se sobrefermente, o no se fermente suficiente, porque va a perder calidad. (cooperacion Alemana al desarrollo-GIZ, 2103).

- **Lavado**

Se puede realizar en el fermentador o en el canal clasificador:

- En el fermentador: El producto fermentado se lava de inmediato en el fermentador, si esto no se hace se guarda el producto durante el menor tiempo sumergido en agua limpia. El café se tiene que lavar 2 o 3 veces. Las aguas del lavado se recogen y se juntan con las aguas del despulpado y se envía a una piscina para que se oxigene y purifica antes de desecharla.
- En el canal clasificador: Esta actividad se realiza sólo si se quiere obtener varios tipos de café. El canal tiene tres secciones separas por compuertas. En la primera sección se realiza el lavado. Se añade la cantidad de agua suficiente y se mueve el café con una paleta de madera. La espuma e impurezas van a pasar al tercer compartimiento para ser desechadas. (cooperacion Alemana al desarrollo-GIZ, 2103).

- **Clasificación**

Esta actividad tiene por meta obtener café de dos calidades a más. La selección se va a hacer a través del canal clasificador, constituido por 3 secciones separadas por 2 compuertas. Si el lavado se hizo en el tanque de fermentación, el café se envía con abundante agua. Luego de hacer el lavado respectivo los compartimientos van a ir tamizando el casé haciéndolo de diferentes calidades. (cooperacion Alemana al desarrollo-GIZ, 2103).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- **Secado**

Si bien se puede hacer con una secadora artificial, también se utilizan otras técnicas. Se extiende el café en un tendal formando una capa de hasta 4 cm de alto y se voltea cuidadosamente 3 veces al día. El café va a ir obteniendo un color verde oliva (dentro de 4 o 5 días). Es recomendable cubrir el café con plástico durante las noches. Ya listo se separa el café cristalizado (ocurre cuando hay sobrecalentamiento en el secado, este se usa para elaborar café soluble) (cooperacion Alemana al desarrollo-GIZ, 2103).

- **Almacenamiento**

Se ensaca el café en costales limpios, y se pesa cada costal registrando el peso total entregado por productor. Se almacena temporalmente en lugares secos y bien ventilados sobre tarimas de madera. Se tiene que determinar cuál fue la pérdida o ganancia de peso. (cooperacion Alemana al desarrollo-GIZ, 2103).

- **Comercialización Asociativa**

Esta opción permite agruparse para adquirir poder de negociación, así como, conocer y manejar las normas técnicas. (cooperacion Alemana al desarrollo-GIZ, 2103).

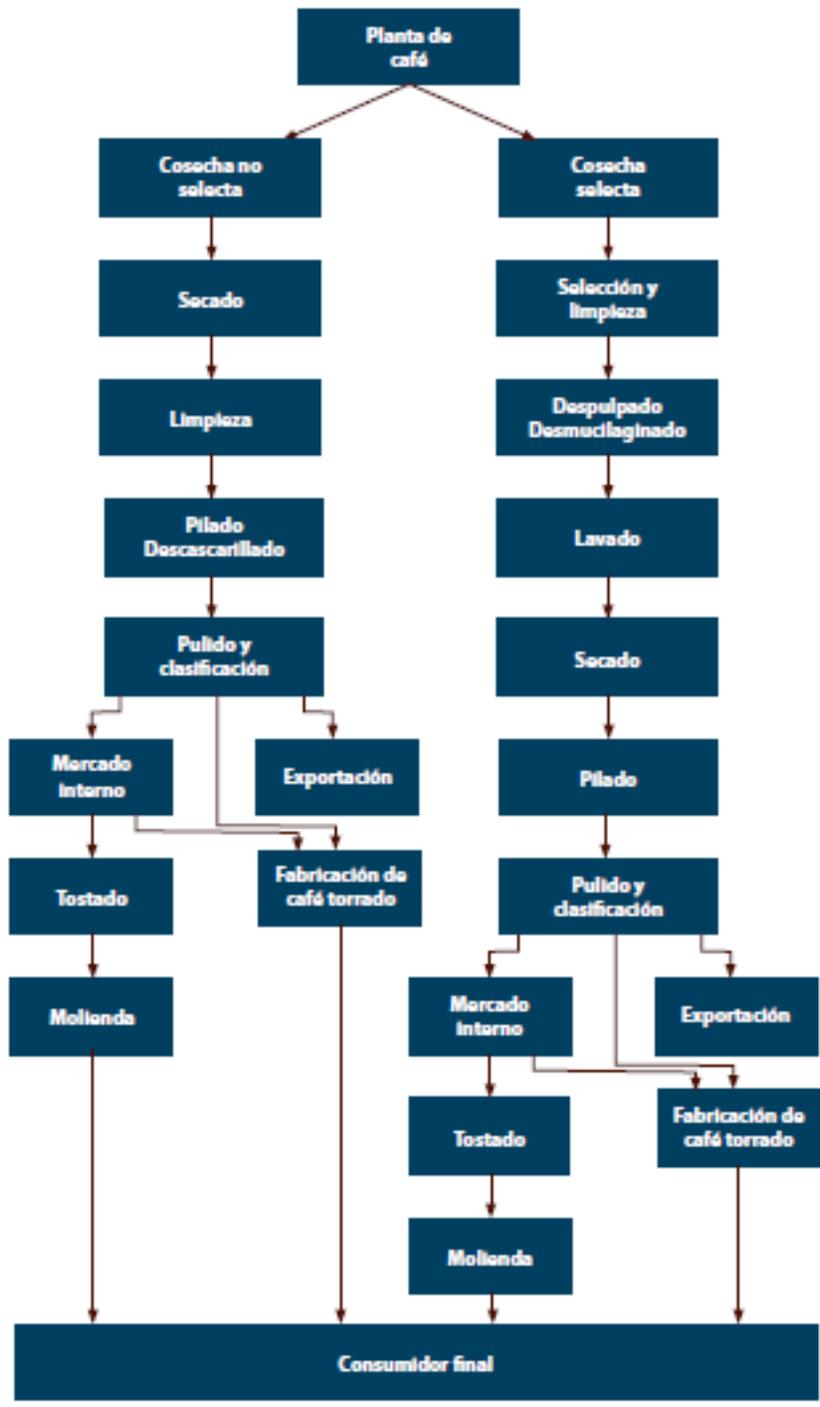


Figura 9. Flujograma del proceso de transformación del café. (cooperación Alemana al desarrollo-GIZ, 2103).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.4 Descripción y ficha técnica de la secadora a evaluar

La secadora a evaluar en este proyecto es una secadora un poco vieja puesto que se fabricó aproximadamente hace más de 10 años, en esta secadora se realiza secado de café de 21 arrobas de café divididas en 3 capas, cada una con una capacidad de 7 arrobas. Dependiendo de las necesidades de secado esta puede trabajar 6 horas a 18 horas. Inicialmente esta secadora estaba acondicionada para trabajar con gas propano, pero el dueño Guillermo Correa tomo la decisión de adaptarla para que trabajara con carbón o leña que se reutiliza del mismo palo de café.

Características técnicas

Estas características técnicas son tomadas directamente de la página web del constructor de la maquina J.M Estrada S.A. FERRERIA AMAGA.

- Secadora de alimentación por gravedad a carbón o cascarilla o gas propano.
- Cuentan con tres mallas y un sistema de flujo de calor homogéneo sin contaminantes.
- Modelo 15@
- Capacidad 21 Kg horas 187,5
- Potencia requerida HP: ½
- Número de mallas:3

Materiales

- Lamina.
- Pintura electroestática a base de uretano.
- Sellos en espuma de caucho de alta densidad y resistencia al calor.
- Sistema doble cierre, por medio de manijas de presión. (JM: ESTRADA S.A., 2017).



Figura 10. Secadora 20@. (JM: ESTRADA S.A., 2017).

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE SECADORAS A GAS									
Modelo	5@	7½@	10@	12@	15@	20@	25@	30@	50@
Capacidad kg/21 horas	62,5	99	125	150	187,5	250	312,5	375	625
Potencia requerida hp	1/3	1/3	1/3	½	½	1	1	2	3
Número de mallas	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Figura 11. Características técnicas de secadoras a gas. (JM. ESTRADA S.A).



Figura 12. Foto real de la secadora a evaluar.

- Esta es parte interna de la secadora donde se encuentran las mallas donde se ubica el café para su secado.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Figura 13. Foto real del funcionamiento de la secadora a evaluar.

- Para el caso de esta secadora, esta trabaja con el caso A de la imagen anterior, con la guillotina izquierda arriba y la guillotina derecha abajo, secado de abajo hacia arriba, lo cual permite un flujo de aire parejo por las tres mallas. Esta es la forma de secado que utiliza Guillermo Correa dueño de la finca.



Figura 14. Foto real del quemador.

- Este el quemador que se usa para generar el calor necesario para ser usado en la secadora, este se adaptó para poder trabajarla ya sea con madera de café o pino y carbón, ya que inicialmente estaba con quemador a gas natural.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Figura 15. Foto real del interior del quemador.

- Esta parte del quemador tiene aletas pegadas internamente a la zona anular por donde entra el aire limpio a la secadora, lo que aumenta la transferencia de calor desde los gases de combustión al aire limpio, para obtener una mejor eficiencia en el quemador.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

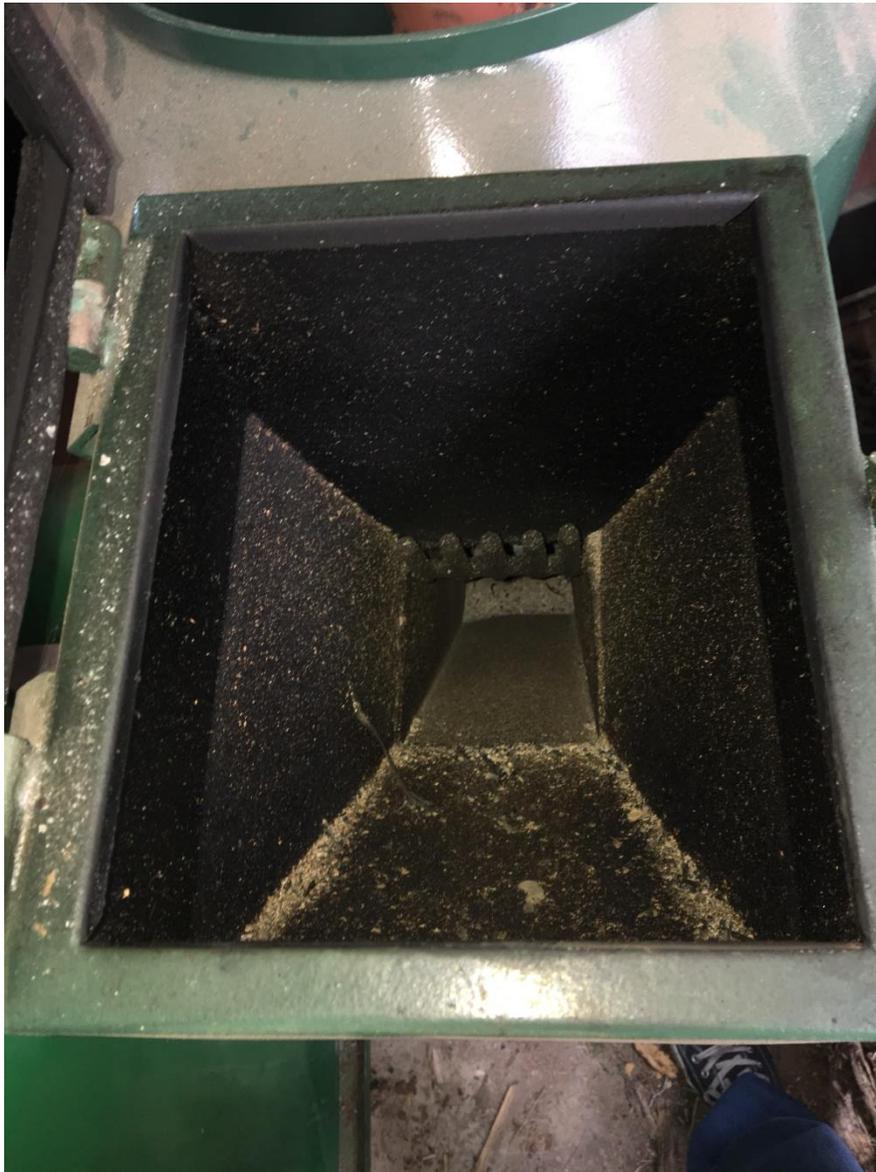


Figura 16. Foto real del interior de la tolva del quemador.

- Esta tolva era utilizada para depositar los pedazos de carbón y estos puedan llegar al quemador. Esta tolva ya no es utilizada para depositar carbón por decisión de Guillermo Correa dueño de la finca.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Figura 17. Foto real parte de carga del carbón o madrea al quemador parte inferior.

- En esta parte del quemador se inicia la llama utilizando una hoja de periódico vieja, al tener llama se le agregan pedazos pequeños de madera del palo de café para generar una buena combustión.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Figura 18. Foto real de parte de carga del carbón y madera del quemador parte superior.

- En esta parte ya una vez iniciada la combustión se procede a introducir troncos medianos del mismo palo de café para que produzca la temperatura adecuada para el secado.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Figura 19. Foto real avivador del quemador.

- Este avivador es utilizado para que una vez iniciada la combustión este ingrese aire para una óptima combustión dentro del quemador y poder elevar la temperatura a una temperatura óptima de secado que es de alrededor de 50°C.



Figura 20. Foto real del termostato utilizado en la secadora.

- Este el termostato utilizado para regular la temperatura del aire que proviene del quemador.



Figura 21. Foto real del termómetro en la secadora.

- Este es el termómetro con el viene la secadora el cual permite una lectura de la temperatura de salida del aire que viene del quemador. La temperatura óptima de secado para esta secadora es de 50°C aproximadamente.



Figura 22. Foto real moto ventilador de la secadora.

- Este es el motor ventilador utilizado para extraer el aire caliente del quemador y llevarlo al interior de la secadora.



Figura 23. Foto real de la leña utilizada para la combustión en el quemador.

- Esta leña es reciclada de la misma producción del café en la finca la Palma.



Figura 24. Foto real del carbón utilizado en el quemador.

- Este es el carbón usado por Guillermo Correa en el quemador de la secadora, fue comprado en una mina en Amaga Antioquia. Este carbón genera demasiado humo lo cual contamina el aire.

	<p>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Figura 25. Foto real del humo generado por el carbón usado en el quemador.

- Esta imagen corresponde al humo generado por el carbón utilizado en el quemador. Esto demuestra que este carbón es de mala calidad por la calidad y cantidad de humo que genera al hacer combustión.



Figura 26. Foto real del cultivo de café en la finca la palma.

- Este el árbol de café sembrado por Guillermo Correa.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Figura 27. Foto real de la finca la Palma.

- En esta foto se aprecia parte del predio de la finca de Guillermo Correa la cual tiene un área de 14 hectáreas, divididas en 5 hectáreas en las cuales tiene aproximadamente 25.000 árboles sembrados de café propios de Guillermo Correa. Otras 2 hectáreas también sembradas con 5.000 árboles de café, estos 5.000 pertenecen a la familia de Guillermo Correa.

2.5 Carbón y madera de café

- **Propiedades del carbón**

El carbón es un sólido oscuro, estratificado y combustible, resultando de la acumulación y enterramiento de materia vegetal desde las primitivas eras geológicas. Estos depósitos se convierten en carbón a través de unos cambios biológicos iniciales y posteriores efectos mecánicos de presión y temperatura en el seno de los sedimentos. El carbón se caracteriza por ser el

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

combustible fósil del que existe mayor cantidad de recursos, cifrándose en un 75% del total de las reservas estimadas. Así mismo cabe destacarse su amplia distribución geográfica, conociéndose yacimientos explotables prácticamente en todos los países. (Cortes, 2017).

Los carbones son clasificados para definir sus rendimientos en sus utilidades en determinadas áreas o aplicaciones y, por tanto, para establecer sus precios. Las dos clasificaciones más comunes son:

- **Clasificación de Seyler:** se basa en la observación de que la proporción de los elementos (carbono e hidrogeno) presente en el carbón puede ser correlacionada con las propiedades de este, tales como el poder calorífico. (ISO, 2009).
- **Clasificación A.S.T.M.:** En esta clasificación los carbones de rangos más elevados se especifican en base al carbón fijo (para volátiles $\leq 31\%$) en base seca, exenta de cenizas. Los de rangos inferiores se clasifican en función del poder calorífico en base húmeda, exenta de cenizas. Se produce un cierto solapamiento entre carbones bituminosos y subbituminosos, que se resuelve sobre la base de las propiedades aglomerantes y de desmenuzabilidad. (ASTM International, 2015).
- **Análisis Elemental**

La composición elemental de la fracción orgánica del carbón se determina en base a métodos de oxidación, descomposición y/o reducción, siendo realizados estos análisis en la actualidad mediante equipos automáticos basados fundamentalmente en la técnica del infrarrojo.

Los elementos analizados son carbono, hidrogeno, nitrógeno, azufre y oxígeno (obtenido por diferencia). Adicionalmente, se consideran los datos de humedad y contenido en cenizas del análisis inmediato, con objeto de expresar los resultados del análisis elemental en tanto por ciento en peso y base seca exenta de cenizas. Este análisis es necesario para los balances de materia y energía de la combustión, así como para realizar una aproximación del poder calorífico del carbón.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Los contenidos en carbono e hidrogeno permiten estimar el CO_2 y H_2O que se producirá en la combustión; normalmente estos dos elementos se encuentran en el carbón constituyendo hidrocarburos complejos, si bien una parte del carbono se encuentra como carbonatos inorgánicos. El nitrógeno de los carbones está confinado principalmente entre los compuestos orgánicos. En los últimos años ha adquirido gran importancia debido a su papel en la formación de óxidos de nitrógeno, no obstante , debe destacarse que no existe una correlación simple entre el nitrógeno constituyente del carbón y los óxidos de nitrógeno emitidos en los gases de combustión. (Cortes, 2017).

El contenido de azufre del carbón está relacionado con distintos problemas medioambientales y de operación en las calderas.

- El azufre se oxida a SO_2 , así un carbón con un 0,9% de azufre (22% de cenizas) provoca una concentración de SO_2 en humos (6% O_2) de aproximadamente 1875 mg/Nm^3 . Este valor se compara con los 400 mg/Nm^3 fijados como límite en la Unión Europea para nuevas centrales de más de 500MW.
- Una parte del SO_2 , normalmente menos del 2%, se convierte a SO_3 ; gran parte de este se transforma en sulfatos tras reabsorberse con los metales alcalinos de las cenizas. Estos sulfatos incrementan la tendencia al ensuciamiento y la corrosión de las superficies de transferencia de calor.
- Si se alcanzan temperaturas inferiores al punto de rocío ácido el SO_3 se combinan con el vapor de agua de los gases de combustión, generando ácido sulfúrico que provoca problemas graves de corrosión en las zonas frías de la caldera, principalmente en los conductos de gases de combustión y sistemas de tratamiento de estos. (Cortes, 2017).

El contenido en oxígeno tradicionalmente se calcula por diferencia a 100 de la suma de los porcentajes de carbono, hidrogeno, nitrógeno y azufre, aunque existen métodos para su determinación directa. Este parámetro puede ser utilizado como indicador del rango del carbón, siendo, además una medida de su grado de oxidación. (Cortes, 2017).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- **Análisis de Cenizas y Minerales**

Las cenizas del carbón están constituidas por los residuos resultantes de la descomposición de silicatos, carbonatos, sulfuros y otros minerales debido a la temperatura. Su composición química suele expresarse en óxidos, empleándose como guía para identificar los tipos de minerales presentes originalmente en el carbón, fundamentalmente, sicoaluminios:

SiO ₂ : 30 al 55%	MgO: 1 al 4%
Al ₂ O ₃ : 15al 35%	K ₂ O + Na ₂ O:1 al 4%
Fe ₂ O ₃ : 2 al 20%	SO ₃ : 1 al 3%
CaO: 2 al 15%	TiO ₂ : 0,5 al 2%

En menor porcentaje aparecen fosforo, manganeso, bario y trazas de numeroso metales como plomo, zinc, cobalto, germanio y zirconio. (Cortes, 2017).

- **Poder Calorífico**

Es uno de los principales parámetros características de todo carbón. Se define como la cantidad de calor que se libera cuando se quema la unidad de masa de un carbón en condiciones normalizadas. Este ensayo se realiza mediante una bomba calorimétrica, a través de la determinación de las diferencias de temperatura antes y después de que se produzca la combustión de la muestra. De esta forma se calcula el poder calorífico bruto a volumen constante (Poder Calorífico Superior), esto es, la energía total del carbón incluyendo el calor latente de condensación del vapor formado en el proceso. En la práctica el vapor de agua y otros compuestos (ácidos como HNO₃ y H₂SO₄) escapan directamente a la atmósfera sin condensar, la corrección del Poder Calorífico Superior debido a estas pérdidas se realiza en base a distintos factores como la humedad y los contenidos en oxígeno, hidrogeno, nitrógeno y azufre, obteniéndose el denominado Poder Calorífico Inferior (Neto). (Cortes, 2017).

- **Formas de Azufre**

El azufre se encuentra en los carbones, principalmente, en tres formas de combinación:

- Azufre sulfato: Combinado como sulfato inorgánico.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Azufre Pirítico: Es el que se encuentra como piritas (S_2Fe).
- Azufre orgánico: Es el que aparece en compuestos orgánicos.

El azufre sulfato se obtiene mediante extracción con ácido clorhídrico diluido y determinación gravimétrica del azufre en el extracto, ya que los sulfatos son solubles en este ácido a diferencia del azufre de piritas y orgánico.

Las piritas (FeS_2) son extraídas cuantitativamente con ácido nítrico diluido determinándose posteriormente por volumetría o absorción atómica el hierro en el extracto. El azufre pirítico se obtiene por diferencia entre el hierro soluble en nítrico y el soluble en clorhídrico. Finalmente, el azufre orgánico se determina por diferencia a 100 de la suma de los porcentajes de azufre sulfato y pirítico. (Cortes, 2017).

TIPO	ANALISIS ELEMNTAL			RELACION ENTRE ATOMOS		PODER CALORIFICO ⁽²⁾		VOLATILES %
	C%	H%	O%	Y=H/C	X=O/C	SUPERIOR	INFERIOR	
MADERA	50,0	6,1	43,9	1,46	0,66	4.750	4.450	80
TURBAS	59,3	5,7	35,0	1,15	0,44	5.700	5.400	67
LIGNITOS	70,0	5,5	24,5	0,94	0,26	6.750	6.450	54
HULLAS: GRASAS ³								
SEMIGRASAS ⁴	88,2	5,3	6,5	0,72	0,06	8.600	8.400	30
SECAS ⁵	92,4	4,4	3,2	0,57	0,03	8.700	8.500	17
ANTRACITAS	93,5	3,8	2,7	0,48	0,02	8.650	8.450	9
	95,5	2,5	2,0	0,31	0,02	8.400	8.300	3

Tabla 1 Características Medidas de los Combustibles de la serie LIGNO_HULLERA. (Cortes, 2017).

(1) Características relativas al combustible puro.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- (2) Poderes caloríficos relativos al combustible puro “ficticio” (solo C, H, O) en Kcal/Kg.
- (3) Asimilable a carbones ortobituminosos (Seyler) y bituminosos medios en volátiles (A.S.T.M.)
- (4) Asimilable a carbones semibituminosos (Seyler) y bituminosos bajo en volátiles (A.S.T.M.).
- (5) Asimilable a semiantracitas (Seyler y A.S.T.M.). (Cortes, 2017).

- **Madera de café**

En esta sección se dará a conocer uno de los múltiples usos que se le pueden dar al palo del café o cafeto. En nuestro trabajo el uso que se le da a este es como combustible, pero se hace importante mencionar otros usos ya que puede llegar a ser una alternativa ecológicamente sostenible el usar este cafeto para producir muebles, lo cual hace el grupo Monarca desde el 2007.

CARACTERÍSTICAS DE LA MADERA DE CAFÉ
Densidad: 0.91
Aspecto: De color claro que permite la fácil matización con tintes base agua
Alta Tensión
Alta Abrasión de pegantes y tintes, característica que la ubica entre las mejores maderas para uso en carpintería
Alta resistencia a las plagas

Figura 28. Características de la madera de café. (Revista M&M, 2018)

2.6 Auditoria energética

Esta es nuestra principal meta en este proyecto ya que es en esta donde podemos hacer uso de las capacidades adquiridas a través de los años en nuestro paso como ingenieros por el mundo de formación y aprendizaje como lo es la universidad, esta herramienta nos permite como ingenieros

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

analizar y poder tomar decisiones en procura de siempre buscar el mejoramiento de la eficiencia energética. Debido a esto se propuso hacer una auditoría energética a una máquina en particular como lo es la secadora de café, la cual hace parte de un proceso de beneficio de café en una empresa cuya marca de café es CAFELIX. En esta se ve una oportunidad para desarrollar este proceso de auditoría energética y poder determinar qué tan eficiente es esta secadora y como se puede mejorar su eficiencia. Como base principal se toma la norma ISO 50002: 2014 ya que es aplicable a todos los tipos de establecimientos, organizaciones y todas las formas de uso de la energía.

La ISO 5002: 2014 especifica los requisitos del proceso de realización de una auditoría energética en relación con la eficiencia energética. También especifica los principios de la realización de auditorías energéticas, los requisitos para los procesos comunes durante las auditorías energéticas, los resultados de las auditorías energéticas. No se ocupa de los requisitos para la selección y evaluación de la competencia de los organismos que prestan servicios de auditoría energética y no cubre la auditoría del sistema de gestión de energía de una organización, ya que se describen en la norma ISO 50003.

El propósito de esta norma Internacional es definir el conjunto mínimo de requisitos que conducen a la identificación de oportunidades para la mejora de la eficiencia energética.

Una auditoría de energía comprende un análisis detallado de la eficiencia energética de una organización, equipo, sistema/s o proceso/s. Se basa en la medición apropiada y la observación del uso de la energía, la eficiencia energética y el consumo. Se planifican y llevan a cabo como parte de la identificación y priorización de las oportunidades para mejorar la eficiencia energética, reducir el desperdicio de energía y obtener beneficios ambientales relacionados con auditorías energéticas. Productos de la auditoría incluyen información sobre el uso y el rendimiento actual y proporcionan recomendaciones clasificados de mejora en términos de eficiencia energética y los beneficios financieros.

Una auditoría energética puede apoyar una revisión de la energía y puede facilitar el seguimiento, la medición y el análisis como se describe en la norma ISO 50001, o puede ser utilizado de forma independiente.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

La norma permite diferencias en el enfoque y en términos de alcance, la cobertura y la auditoría objetiva y trata de armonizar los aspectos comunes de las auditorías energéticas con el fin de mejorar la claridad y la transparencia. (TUV Rheinland, 2015).

En la norma ISO 50002:2014 se hacen detalles indicativos de los tipos de auditoría energética en la Tabla A1, tomando como referencia los tipos 1 y 2 que son los que aplican para nuestra auditoría energética a desarrollar en la secadora de café. Nuestra auditoría aplica cada uno de los indicativos de esta tabla tanto para tipo 1 y 2.

- Aplicación típica
- Necesidad de negocio
- Recopilación de datos
- Análisis
- Evaluación de oportunidades
- Salidas. (INTERNATIONAL STANDARD ISO 50002, 2014)

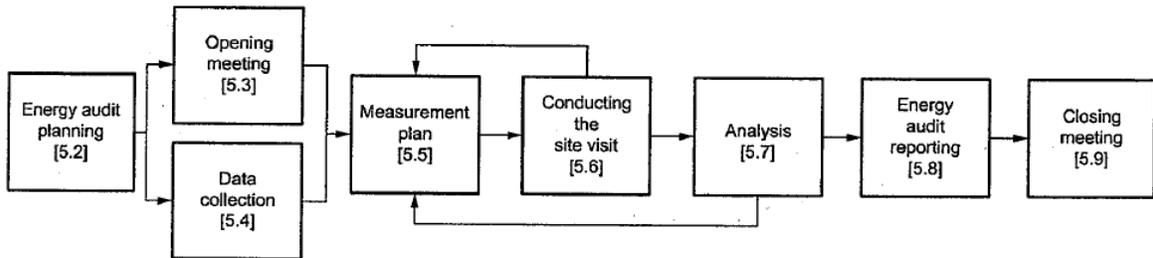


Figura 29: Diagrama de flujo del proceso de auditoría energética. (INTERNATIONAL STANDARD ISO 50002, 2014).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3. METODOLOGÍA

3.1 Equipos de medida utilizados y metodología general

En nuestra auditoría energética se hace un análisis del sistema realizando una toma de datos con instrumentos de medición adecuados los cuales fueron:

- Anemómetro FLUKE 922 AIRFLOW METER, para medir la velocidad y flujo de aire.
- Multímetro UNI- T referencia UT39C con termopar tipo K, para medir temperaturas.
- Pinza amperométrica DT266F CLAMP METER, para medir voltaje y amperaje.
- Báscula digital marca Bernalo con un máx.=30kg, min. = 200g, división= 10g para medir el peso del café.
- Báscula convencional marca Idecna, para medir el peso de los baldes de café.
- Cronometro digital, para medir el tiempo.
- Pie de rey y flexómetro, para tomar medida del grano de café y medida físicas de la máquina.

Todos los datos fueron tomados en sitio con un periodo de toma de datos de cada 30 minutos durante 6 horas, midiendo temperatura y realizando toma de datos de peso. Con estos datos se realiza un balance de energía con el combustible (Cengel & Boles, 2015) y la pérdida de masa de agua en los granos de café a evaluar. A su vez se realiza el cálculo de la eficiencia de la máquina respecto a cuanto combustible utiliza para evaporar la humedad de los granos, que tanta energía es usada realmente en secar esa humedad y cuanta energía es desperdiciada en forma de calor ya sea por paredes o por chimenea.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3.2 Toma de datos

En estudios previos realizados por cenicafé se realizaron 9 experimentos utilizando el mismo método que en este trabajo (Gravimet) y se encontró que la diferencia en la humedad después de realizados en esta clase de experimentos es de 0.9 % (Cenicafé, 2013), la cual es muy baja. Por lo tanto, se decide realizar un solo experimento en este trabajo.

Para la realización de este trabajo, la toma de datos se realizó el día 20 de mayo de 2017. Se llega a la finca de don Guillermo Correa a las 8:30 am, ubicada a 17 kilómetros desde la ciudad de Medellín a 6°19'30" Norte y 75°35'12" Oriente, a 2080 metros sobre nivel del mar y una temperatura de 18°C a la hora de iniciar el estudio, vía Medellín- San Félix. Se encuentra la secadora apagada; el café a evaluar se lava y se deja escurrir durante 30 minutos. Solo se hace el estudio con una malla completa de la secadora la cual es la superior. Esta se llena con 11 baldes completos de café tipo Castillo y se tara el balde en la báscula digital. El peso del balde fue 1080 g (vacío), luego se pesa en una báscula convencional y el peso fue de 17.900g lleno de café.



Figura 30: Foto real de bascula usada para hacer las mediciones de peso para llenar la malla de la secadora.

Se toma el peso de una canasta con café ya seco previamente, el cual es nuestro peso de referencia y al cual se espera llegar con el estudio el cual representa un 10 a 12% de humedad que es el que debe tener el grano para estar en óptimas condiciones. El peso fue 1770 gramos.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Figura 31: Foto real con la canasta con café seco de referencia.

Con el propósito de medir la humedad del café, se procede a usar una alternativa a escala del método Gravimet, en nuestro caso usado en una secadora mecánica y no una solar (Oliveros Tascón, López Valencia, Buitrago, & Moreno Cárdenas, 2010) (Oliveros Tascón, Peñuela Martínez, & Jurado Chana, 2009). Este está basado en la conservación de la materia seca durante el secado, utilizando una muestra de café sano (sin presencia de flotes, granos con pulpa adherida, granos muy brocados, frutos secos) y escurrido en nuestro caso por media hora, con el fin de tratar que su contenido de humedad inicial sea de 53% (b.h), tratando de evitar lo que otros contaminantes para la muestra como lo son los granos con pulpa adherida o la misma pulpa nos cambie la humedad del 53 %.

La muestra de control para el método fue de 2770 g netos de café. Esta se deposita en una canasta de 24 cm de ancho 30 cm de largo y 7 cm de alto, la cual se coloca sobre la capa de café en la malla superior de la secadora, dejándola a nivel de toda la capa. El peso de toda la caga de café a secar fue de 187790 g o 15.0232 arrobas. Se realizan mediciones cada treinta minutos por 6 horas, iniciando a las 10:15 am y finalizando a las 3:45 pm.



Figura 32: Foto real peso de referencia de café seco.



Figura 33: Foto real, muestra de control sobre capa de café.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3.3 Contenido de humedad

La forma con que se determinó la eficiencia de la secadora fue con la pérdida de humedad en un determinado tiempo, este método matemático se presenta a continuación, con el que determina la humedad. Se toma como referencia un estudio previo (Oliveros Tascón, López Valencia, Buitrago, & Moreno Cárdenas, 2010), donde se determina la humedad de la misma forma.

Para la determinación de humedad se utiliza la siguiente expresión:

$$Chf = \left[1 - \frac{Pi(1 - Chi)}{Pf} \right] 100\{\%\}$$

Dónde:

Pi: Masa inicial del café, g

Chi: Contenido inicial de humedad % b.h (se asume 53 % constante)

Pf: Masa inicial, g

Chf: Contenido final de humedad estimada, % b.h con el método Gravimet. (Jurado Chana, Montoya-Restrepo, Oliveros-Tascon, & Garcia-Alzate, 2009).

Para determinar la masa del agua se usa la siguiente expresión:

$$Masa\ de\ agua = \left(\frac{peso\ neto\ canastilla * contenido\ inicial\ de\ humedad}{100} \right)$$

Para determinar la total de agua se usa la siguiente expresión:

Masa total de agua

$$= \left(\frac{peso\ total\ inicial\ de\ café\ en\ la\ malla * contenido\ inicial\ de\ humedad}{100} \right)$$

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

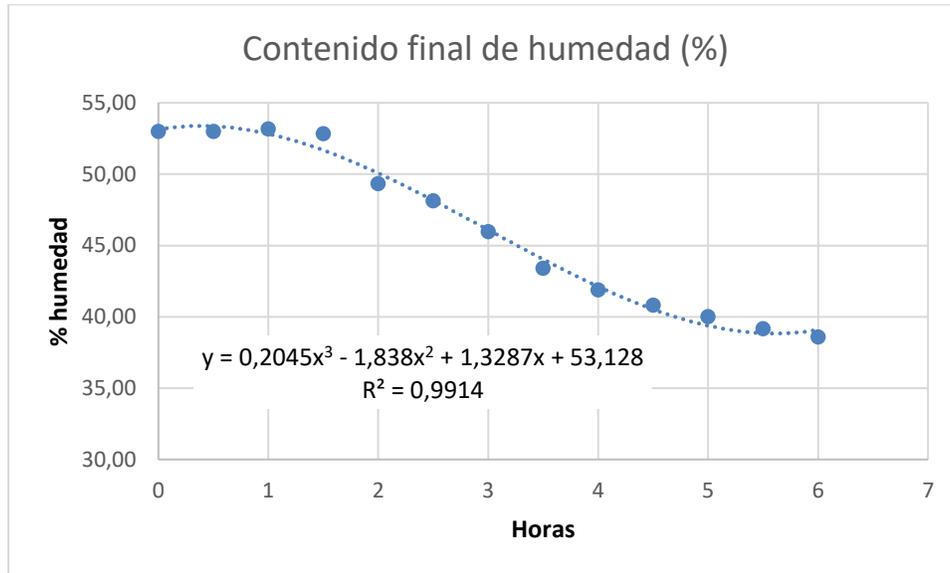
A continuación, se dan los datos de peso del balde, la malla y canastilla de control de forma más organizada.

- Peso de un balde vacío: 1080 g
- Peso de un balde lleno con café mojado: 17900 g
- Peso neto de café por balde: 16820 g
- Peso total en la malla: 187790 g
- Peso total café en la malla: 15.0232 arrobas
- Humedad inicial: 53%
- Peso canasta plástica vacía inicial: 160 g
- Peso total inicial canasta: 2930 g
- Peso inicial neto del café en canastilla: 2770 g

Los resultados se muestran a continuación en la tabla 2.

Hora	Tiempo (hr)	Peso total (g)	Peso neto (g)	Contenido final de humedad (%)	Masa agua (g)	Masa agua total (g)
9:45	0	2930	2770	53,00	1468,1	99528,7
10:15	0,5	2930	2770	53,00	1468,1	99528,7
10:45	1	2940	2780	53,17	1478,1	99846,2
11:15	1,5	2920	2760	52,83	1458,1	99208,9
11:45	2	2730	2570	49,34	1268,1	92660,1
12:15	2,5	2670	2510	48,13	1208,1	90386,1
12:45	3	2570	2410	45,98	1108,1	86344,4
13:15	3,5	2460	2300	43,40	998,1	81492,7
13:45	4	2400	2240	41,88	938,1	78645,4
14:15	4,5	2360	2200	40,82	898,1	76661,0
14:45	5	2330	2170	40,00	868,1	75124,7
15:15	5,5	2300	2140	39,16	838,1	73545,2
15:45	6	2280	2120	38,59	818,1	72467,5

Tabla 2: Análisis de datos de humedad en un periodo de seis horas.



Gráfica 1: Contenido final de Humedad (%).

4.1 Calor de la carga (método Gravimet)

Para determinar la \dot{Q} de la carga se usa la siguiente expresión

$$\dot{Q} \text{ de la carga} = \frac{\text{masa agua evaporada} * \text{Entalpia de evaporacion del agua (hfg)}}{\Delta \text{ de tiempo}} \{W\}$$

Para la determinación del \dot{Q} de la carga de la canasta de control se usa la siguiente expresión:

$$\dot{Q} \text{ de la carga de la canasta} = \frac{\text{masa total agua evaporada de la canasta} * hfg}{6 \text{ horas} * 3600 S} \{W\}$$

Para la determinación de la masa total de agua evaporada en la canasta se usa la siguiente expresión:

$$\begin{aligned} \text{masa total de agua evaporada en la canasta} &= \text{peso total neto} - \text{peso total final} \{g\} \\ \text{masa total de agua evaporada en la canasta} &= 2930 g - 2280g = 650 g \end{aligned}$$

$$\dot{Q} \text{ de la carga de la canasta} = \frac{650 g * 2270 J/g}{6 \text{ horas} * 3600s} = 68,320 W$$

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

La entalpia de evaporización del agua se toma de (CENGUEL & GAHAJAR, 2011).

$$hfg = 2270 \frac{J}{g}$$

Para determinar la determinación del \dot{Q} de la carga de la canasta se usa la siguiente expresión:

$$\dot{Q} \text{ de la carga de la malla} = \frac{\text{masa total de agua evaporada en la malla} * hfg}{6 \text{ horas} * 3600 S} \{W\}$$

Para determinar la masa total de agua evaporada en la malla se usa la siguiente expresión:

$$\begin{aligned} \text{masa total de agua evaporada en la malla} \\ = \text{masa total de agua inicial} - \text{masa total de agua final} \{g\} \end{aligned}$$

$$\text{masa total de agua evaporada en la malla} = 99528,7 - 72467,5 = 27061,25 g$$

$$\dot{Q} \text{ de la carga de la malla} = \frac{27061,25 g * 2270 \frac{J}{g}}{6 \text{ horas} * 3600 S} = 2843,94 \{W\}$$

4.2 Calor del combustible

Para hallar el \dot{Q} del combustible se tomó el peso del combustible que se utilizó que fue madera de pino y madera de café. También se usaron sus propiedades como el poder calorífico de cada madera.

- Masa del pino usado en el estudio = 10000 g
- Masa de madera usada en el estudio = 23000g
- Poder calorífico de la madera de café = $18969 \frac{J}{g}$ (Unidad de planeación minero-energética de Colombia, 2017).
- Poder calorífico de la madera = $17521,26 \frac{J}{g}$ (Unidad de planeación minero-energética de Colombia, 2017).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Para la determinación del \dot{Q} del combustible se usa la siguiente expresión:

$$\begin{aligned} \dot{Q} \text{ del combustible} &= \left(\frac{\text{masa del pino} * \text{poder calorifico pino}}{6 \text{ horas} * 3600 \text{ s}} \right) \\ &+ \left(\frac{\text{masa de la madera de cafe} * \text{poder calorifico madera de cafe}}{6 \text{ horas} * 3600 \text{ s}} \right) \{W\} \end{aligned}$$

$$\dot{Q} \text{ del combustible} = \left(\frac{10000 \text{ g} * 18969 \frac{J}{g}}{6 \text{ horas} * 3600 \text{ s}} \right) + \left(\frac{17521,26 \frac{J}{g} * 23000 \text{ g}}{6 \text{ horas} * 3600 \text{ s}} \right) = 27438,85 \text{ W}$$

4.3 Potencia eléctrica

Para el cálculo de la eficiencia es importante saber el valor de la potencia eléctrica este se calcula con medición de amperaje con una pinza amperométrica y la medida de voltaje con la misma pinza, se hace uso de la ley OHM para hacer este cálculo.

- Amperaje del motor ventilador 5,3 A
- Voltaje 215 V

Para la determinación de la *Potencia electrica* con la siguiente expresión <<Ecuación 10>>.

$$\begin{aligned} \text{Potencia electrica} &= \text{Amperaje} * \text{voltaje} \{w\} \\ \text{potencia electrica} &= 5,3 \text{ A} * 215 \text{ V} = 1139,5 \text{ W} \end{aligned}$$

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Figura34: Foto real medición de voltaje en el motor ventilador de la secadora.



Figura 35: Foto real medición de voltaje al motor ventilador de la secadora.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4.4 Eficiencia de la secadora

La medida de la eficiencia en nuestro estudio se desarrolló basada en la medida de eficiencia de la primera ley de la termodinámica. La primera ley plantea que la eficiencia está determinada por el calor de la carga sobre el calor que produce el combustible por cien.

Para determinar la eficiencia se usa la siguiente expresión:

$$Eficiencia = \frac{\dot{Q} \text{ de la carga}}{\dot{Q} \text{ del combustible}} * 100 \{ \%$$

Una vez obtenidos todos los datos se pudo hallar la eficiencia de la máquina: se tiene el calor de la carga, el calor del combustible y la potencia eléctrica. Se procede a calcular la eficiencia la cual es el objetivo principal del estudio por medio de la realización de la auditoria energética. Al calor del combustible se le suma la potencia eléctrica del ventilador para dar un dato más exacto.

Para la determinación de la eficiencia se usa la siguiente expresión:

$$Eficiencia = \frac{\dot{Q} \text{ carga}}{\dot{Q} \text{ combustible} + \text{potencia eléctrica}} * 100 \{ \%$$

$$Eficiencia = \left(\frac{2843,25 \text{ W}}{(27438,85 \text{ W} + 1139,5 \text{ W})} \right) * 100 = 9,9513 \%$$

Según estudios reportados en la literatura, este tipo de intercambiadores de calor producen un rendimiento térmico total de un 15 a un 20% aproximadamente, por lo que el resultado obtenido en este trabajo está cerca de este rango, teniendo en cuenta que el equipo utilizado en este estudio es muy viejo y ha tenido muy poco mantenimiento a lo largo de su vida útil (Ghosh & N., 2014), (de Dios, 1996). En otros estudios realizados por otros autores, se reportan resultados de eficiencia más alta, de alrededor del 30 al 40%, dependiendo si equipos de construcción artesanal o equipos construidos en Colombia (Gutiérrez Flórez & Copete López, 2009).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4.5 Balance de energía

$$\dot{E}_{entra} = \dot{E}_{sale}$$

$$\dot{Q}_{combustible} + potencia\ electrica = \dot{Q}_{carga} + \dot{Q}_{perdidas}$$

$$\dot{Q}_{perdidas} = 25735,1\ W$$

$$\dot{Q}_{perdidas} = \dot{Q}_{paredes} + \dot{Q}_{chimenea} + \dot{Q}_{otros}$$

4.6 Pérdida por paredes

Para llegar a realizar el balance de energía, se procede a hallar las pérdidas del sistema en forma de calor a través de las paredes de la secadora. Para expresar esas pérdidas se utiliza la siguiente fórmula para cada pared:

$$\dot{Q}_{pared} = \frac{(temperatura\ aire\ caliente - temperatura\ prom\ superficial\ externa)}{Resistencia\ térmica\ total}$$

$$Resistencia\ térmica\ total$$

$$= Resistencia\ por\ conducción + resistencia\ por\ convección\ interna$$

$$Resistencia\ por\ conducción = \frac{Espesor\ pared}{Conductividad\ térmica\ acero * Área\ de\ conducción}$$

$$Resistencia\ por\ convección\ interna = \frac{1}{Coeficiente\ convección * Área\ de\ convección}$$

Los datos necesarios para realizar el cálculo para cada pared se presentan en la siguiente página. Al final se suman para todas las paredes del equipo y se tiene que:

$$\dot{Q}_{paredes} = 736,30W$$

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Las pérdidas por las paredes no son significativas, por lo que no es necesario aislar la secadora para aumentar la eficiencia del equipo. Se deduce que las mayores pérdidas de calor del sistema están dadas por el calor perdido por la chimenea y por otros calores no considerados en este trabajo, por ejemplo, por combustión incompleta.

	L1 (m)	L2(m)	Área (m2)	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	Tpromedio (°C)	Rtotal (°C/W)	Qpunto por pared (W)
Pared frontal	1,62	1,03	1,6686	18	22	23	27	29	25	29	28	31	28	28	31	30	26,8	0,119879719	193,1423127
Pared derecha	1	1,62	1,62	18	24	29	29	29	31	31	30	31	30	29	32	32	28,8	0,12347611	171,3193433
Pared atrás	1,62	1,03	1,6686	18	30	32	34	30	35	35	34	34	33	31	37	35	32,2	0,119879719	148,8671646
Pared izquierda	1	1,62	1,62	18	31	37	38	32	38	39	36	37	37	32	39	38	34,8	0,12347611	123,3499272
Pared inferior	1,03	1	1,03	18	27	30	32	30	32	34	32	33	32	30	35	34	30,7	0,194205145	99,61710278
																		TOTAL	736,30

4.7 Calor de la carga (Estimación por primera ley termodinámica)

$$\dot{m} = \text{Densidad del aire} * \text{velocidad promedio del aire del ducto} * \text{area del ducto}$$

$$\text{Densidad del aire} = 1,16 \text{ kg/m}^3 \text{ (Cengel \& Boles, 2015)}$$

$$\text{Area del ducto} = \text{ancho} * \text{alto} = 0,145\text{m} * 0,22\text{m} = 0,0319\text{m}^2$$

$$\text{velocidad promedio del aire del ducto} = 3,372 \text{ m/s}$$

Nota: velocidad promedio de aire del ducto fue medida con el anemómetro.

$$\dot{m} = 1,16 \text{ kg/m}^3 * 3,372\text{m/s} * 0,0319\text{m}^2$$

$$\dot{m} = 0,1247 \text{ kg/s}$$

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

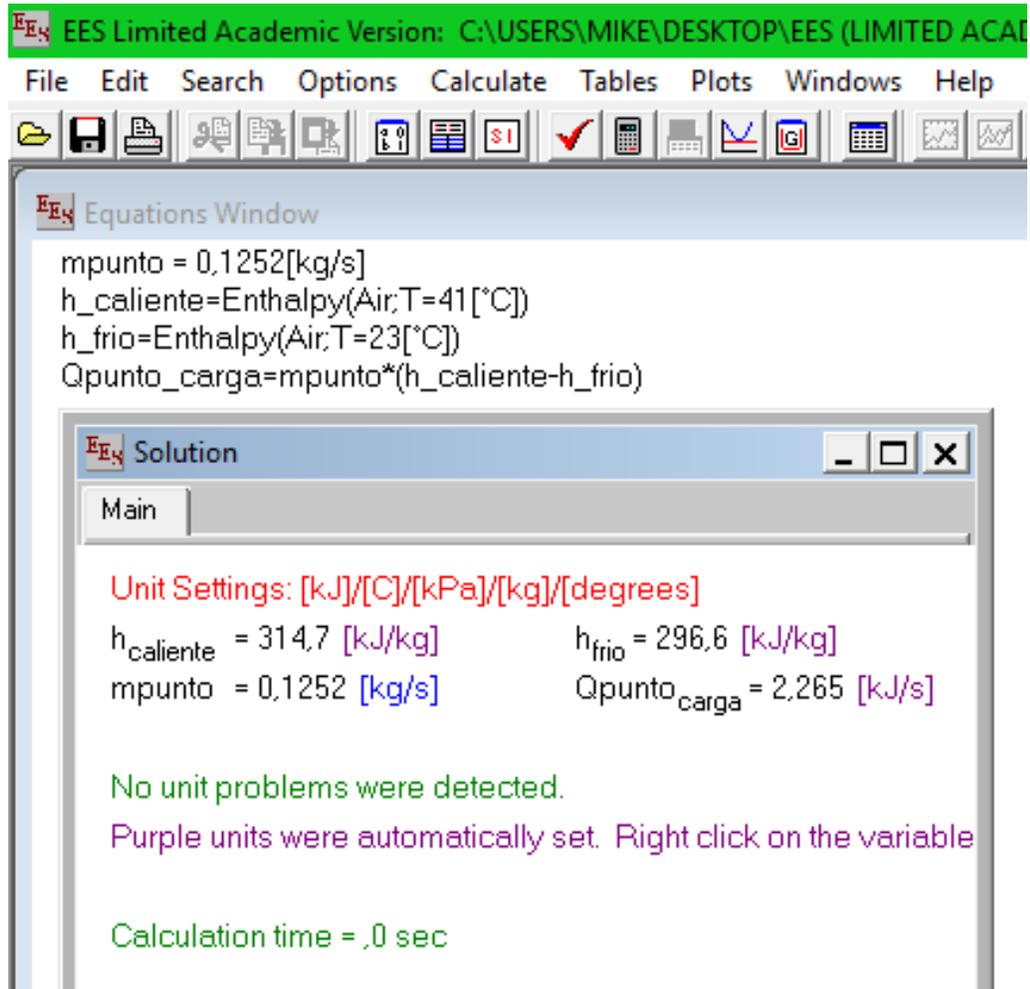


Figura 36: Calculo en EES de la carga utilizando datos reales del flujo del aire.

Se realizó un cálculo de la primera ley de la termodinámica utilizando el software EES con los datos reales obtenidos en el análisis y se comprobó que se acerca mucho a los datos obtenidos calculados con anterioridad a partir del análisis por pérdida de humedad planteado en este proyecto. Se comprobó que el café no requiere tanta energía para ser secado.

4.8 Impacto ambiental

Es de vital importancia conocer el impacto ambiental que generan los combustibles usados en la auditoría energética, y así dejar un precedente en este tipo de auditorías energéticas. Al evaluar el impacto ambiental se toman datos confiables de los factores de emisión de los combustibles en la auditoría realizada.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Carbón = 2277.449 kgCO₂/Ton. (Unidad de planeación minero-energética de Colombia, 2017).
- Pino = 2005,412 kgCO₂/Ton. (Unidad de planeación minero-energética de Colombia, 2017)
- Leña = 1521,339 kgCO₂/Ton. (Unidad de planeación minero-energética de Colombia, 2017).
- Peso de la madera de pino usada en la auditoria = 10kg.
- Peso de la madera de café = 23kg.

4.8.1 Impacto ambiental de madera de pino

*impacto ambiental = (factor emision * peso de la madera de pino usada).*

$$\left(2,0054 \frac{kg CO_2}{kg} * 10kg \text{ de madera de pino} \right) = 20 kgCO_2.$$

4.8.2 Impacto ambiental de la madera de café

*impacto ambiental = (factor emision * peso de la madera de café usada).*

$$\left(1,5213 \frac{kg CO_2}{kg} * 23 kg \text{ de madera de café} \right) = 35 kgCO_2.$$

4.7.3 Impacto ambiental del carbón

A la hora de realizar la auditoria energética no se usó carbón como combustible, pero se halló la cantidad de CO₂ arrojado al ambiente en el caso usar carbón como combustible.

- Poder calorífico del carbón = 25,74MJ/Kg. (Unidad de planeación minero-energética de Colombia, 2017).

Se puede hacer una estimación rápida de la cantidad de carbón necesaria en un escenario equivalente. Para esto se parte del poder calorífico del carbón y se estima potencia térmica que desarrolla en 6 horas de operación (asumiendo eficiencia de combustión igual a 1):

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$$\frac{24.405 \times 10^6 \text{ J/kg}}{6 \text{ h} \times 3600 \text{ s/h}} = 1129,86 \frac{W}{\text{kg carbón}}$$

Es decir, se requieren 1129,86W de potencia por cada kg de carbón a utilizar. A partir de esto se puede despejar la masa de carbón teórica requerida:

$$\text{peso del carbon} = \left(\frac{\dot{Q}_{\text{combustible}}}{\frac{1129,86W}{\text{kg}}} \right)$$

$$\text{peso del carbon} = \left(\frac{27438,85W}{1129,86W/\text{kg}} \right)$$

$$\text{peso del carbon} = 24,3 \text{ kg carbon}$$

$$\text{impacto ambiental} = \text{factor de emision del carbon} * \text{peso del carbon usado}$$

$$\text{impacto ambiental} = \left(2,2774 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{kg}} * 24\text{kg} \right)$$

$$\text{impacto ambiental} = 54,6576 \text{ kg CO}_2$$

4.8 Costo económico de los combustibles usados

Costo económico del carbón

Para costo económico del carbón se consulta vía telefónica en la empresa Carbones La Cancha S.A.S, ubicada en la vereda La Ferrería en Amaga Antioquia.

Precio a 2017 = 180 pesos/kg carbón.

$$\text{costo economico del carbon} = (\text{peso del carbon} * \text{precio del carbon}).$$

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$$\text{costo economico del carbon} = \left(\frac{24kg}{\text{carbon}} * 180\text{pesos/kg} \right)$$

$$\text{costo economico del carbon} = 4320\text{pesos}$$

A este costo se le debe sumar el de transporte desde la mina hasta la finca.

Costo económico de la madera de pino

En este caso no tiene costo alguno ya que esta madera se encuentra dentro los predios de la finca La Palma y es aprovechada como combustible.

Costo económico de la madera de café

En este caso tampoco tiene ningún costo ya que esta madera se utiliza como combustible y es el residuo de la cosecha de café.

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

- Con la realización de la auditoria energética se determina que la eficiencia de la secadora de café evaluada es demasiado baja, la cual alcanzo un 9,95%.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Con la eficiencia hallada en la secadora del 9,95% se obtiene un resultado acorde con lo que se espera encontrar, debido a las condiciones de la secadora y a los años de uso de la misma. Además, de haber sido transformada para trabajar de gas a carbón y leña.
- Se determina que no es deseable operar la secadora con carbón, debido a su costo y a su mala calidad a la hora de realizar medidas. Este emite demasiado humo negro, mientras que con el palo de café (el cual es el otro combustible con el que se cuenta a la hora de realizar las mediciones) la operación es mejor, debido que el palo de café sale del propio cultivo y es gratis.
- En el impacto ambiental se determina que, aunque la madera de pino y de café son de acceso gratuitos, es más contaminante la misma madera de café que la de pino.
- Para el impacto ambiental de los tres combustibles analizados el del carbón es el más perjudicial para el medio ambiente. Además, se debe tener en cuenta que el pino y la madera del cultivo de café son fuentes renovables de energía, mientras que el carbón de mina no lo es.

RECOMENDACIONES

- Para lograr un resultado mucho más exacto se recomienda realizar el estudio de la auditoria energética por un periodo de tiempo más largo de 18 horas y con las tres mallas de la secadora con su capacidad máxima. Se debería tomar muestras de las tres mallas y medir la pérdida de humedad en cada muestra.
- Para mejorar la eficiencia en el proceso de secado analizado se recomienda reutilizar los gases de combustión del secado como alternativa para calentar agua.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Se recomienda usar la madera de pino ya que esta es gratuita y tiene un menor impacto ambiental.

TRABAJO FUTURO

- Con esta auditoria energética aplicada al resto de equipos utilizados en el beneficio del café, se puede llegar a determinar qué tan eficiente es en realidad el beneficio del café en general, lo cual se puede transmitir en cuanto dinero realmente se está perdiendo en todo el proceso del beneficio.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

REFERENCIAS

- Bottazzi, D., Farina, S., Milani, M., & Montorsi, L. (2012). A numerical approach for the analysis of the coffee roasting process. *Journal of Food Engineering*, 243-252.
- Cengel, Y., & Boles, M. (2015). *Termodinámica*. Mexico: McGraw Hill.
- CENGUEL, Y. A., & GAHAJAR, A. J. (2011). Transferencia de Calor y Masa- Fundamentos y aplicaciones 4ta ed. En C. Ghajar, *Transferencia de Calor y Masa- Fundamentos y aplicaciones 4ta ed* (pág. 994). MEXICO: MC GRAW HILL/INTERAMERICANA EDITORES S.A DE C.V.
- Cenicafé. (2013). GRAVIMET SM Tecnología para medir la humedad del café en el secado en silos. *Avances Técnicos cenicafé*, 8.
- cooperacion Alemana al desarrollo-GIZ. (Agosto de 2103). Catalogo de maquinaria para procesamiento de café. (I. SAC, Ed.) lima, Perú.
- Cortes, V. (2017). carbon. Recuperado el 30 de 3 de 2017
- Cuellar Henao, J. D., Perdomo Centeno, L. A., & Cuellar Pérez, L. E. (2018). Diseño de un equipo para secado mecánico de café y su evaluación a partir de la construcción de un modelo a escala 1:5. *revista ingeniería y región*, 6(1), 8.
- de Dios, C. A. (1996). *Secado de granos y secadoras*. (FAO, Editor) Obtenido de <http://www.fao.org/3/x5028S/X5028S00.htm#Contents>
- De Monte, M., Padoano, E., & Pozzetto, D. (2003). Waste heat recovery in a coffee roasting plant. *Applied Thermal Engineering*, 23, 1033-1044.
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (2018). *Guía ambiental para el sector cafetero*. Obtenido de https://www.federaciondecafeteros.org/caficultores/es/servicios_para_el_cafetero/documentacion/
- Ghosh, P., & N., V. (2014). Processing and Drying of Coffee – A Review. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 12.
- Gutiérrez Flórez, J., & Copete López, H. (2009). Hacia la mejora del secado mecánico del café en Colombia. *Tecnológicas*(25), 25.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

INTERNATIONAL STANDARD ISO 50002. (01 de 07 de 2014). Energy Audits -Requirements with guidance for use PNS ISO 50002:2014. (First edition). Philippine. Recuperado el 6 de 2017

JM: ESTRADA S.A. (2017). *www.jmestrada.com*. (X. S.A.S, Productor) Recuperado el 30 de 3 de 2017, de <http://www.jmestrada.com/beneficio-humedo/secadoras/tres-mallas/manual/228-secadora-15->

Jurado Chana, J. M., Montoya-Restrepo, E. C., Oliveros-Tascon, C. E., & Garcia-Alzate, J. (2009). MÉTODO PARA MEDIR EL CONTENIDO DE HUMEDAD DEL CAFÉ PERGAMINO EN EL SECADO SOLAR DEL CAFE. *Cenicafé*, 13.

Oliveros Tascón, C. E., López Valencia, L., Buitrago, C. M., & Moreno Cárdenas, E. L. (2010). Determinación del contenido de humedad del café durante el secado en silos. *Cenicafé*, 11.

Oliveros Tascón, C. E., Peñuela Martínez, A. E., & Jurado Chana, J. M. (2009). CONTROLE LA HUMEDD DEL CAFÉ EN EL SECADO SOLAR, UTILIZANDO EL MÉTODO GRAVIMET. *Cenicafé*, 8.

Revista M&M. (2018). Madera de cafe: ingenio con aroma propio. *M&M*, 6.

TUVRheinland. (1 de 2015). *www.tuv.com*. Recuperado el 6 de 2017, de www.tuv.com/media/spain/newsletter/2015_2/enero_2015/Nueva_Norma_ISO_50002_2014.pdf

Unidad de planeación minero-energética de Colombia. (2017). *Calculadora de emisiones*. Obtenido de http://www.upme.gov.co/calculadora_emisiones/aplicacion/calculadora.html

Velasquez Santos, C. O., & Acevedo Alvarez, C. A. (2014). Procesimiento para deshidratacion de oregano utilizando gas propano como combustible. *Tecnologicas*, 17, 13-20.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

FIRMA ESTUDIANTES JORGE MARTINEZ I
MICHAEL MIRANDA GOMEZ.

FIRMA ASESOR *[Handwritten Signature]*

INFORME FINAL APROBADO

FECHA ENTREGA: 31-07-2019

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____

RECHAZADO ___ ACEPTADO ___ ACEPTADO CON MODIFICACIONES ___

ACTA NO. _____
 FECHA ENTREGA: _____

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____

ACTA NO. _____
 FECHA ENTREGA: _____