



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

UTILIZACIÓN DEL CARBÓN MINERAL TIPO COQUE EN EL SECADO MECÁNICO DEL CAFÉ

SALVADOR GIRÓN VÉLIZ

Asesorado por Ing. Adolfo Waldemar Barrios Orozco

GUATEMALA, MAYO DE 2004

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**UTILIZACIÓN DEL CARBÓN MINERAL TIPO COQUE EN EL SECADO
MECÁNICO DEL CAFÉ**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR**

SALVADOR GIRÓN VÉLIZ

**AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE:
INGENIERO MECÁNICO**

GUATEMALA, MAYO DE 2004

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA**



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL I	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Miguel Ángel Zetina Toralla
EXAMINADOR	Ing. Hugo Leonel Ramírez Ortíz
EXAMINADOR	Ing. Luis Alfredo Asturias Zuñiga
SECRETARIA	Inga. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**UTILIZACIÓN DEL CARBÓN MINERAL TIPO COQUE EN
EL SECADO MECÁNICO DEL CAFÉ**

Tema que me fuera asignado por la Coordinación de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 18 de mayo de 2001.

SALVADOR GIRÓN VÉLIZ

Guatemala 13 de abril de 2004

Ingeniero

José Arturo Estrada Martínez

Director de Escuela de Ingeniería Mecánica

Facultad de Ingeniería

Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Estrada:

Por este medio me dirijo a usted, para informarle que he asesorado el trabajo de graduación titulado: UTILIZACIÓN DEL CARBÓN MINERAL TIPO COQUE EN EL SECADO MECÁNICO DEL CAFÉ, elaborado por el estudiante Salvador Girón Véliz, el cual cumple con los objetivos que le dieron origen.

Por lo tanto me es grato aprobar y recomendar dicho trabajo, para continuar con los tramites de aprobación.

Atentamente,

Adolfo Waldemar Barrios Orozco

Ingeniero Mecánico

ASESOR

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA**



FACULTAD DE INGENIERÍA

El Coordinador del Área Complementaria de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado, **Utilización del carbón mineral tipo coque, en el secado mecánico del café**, del estudiante, Salvador Girón Véliz, recomienda su aprobación.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Coordinador de Área

Guatemala, Mayo de 2004

/behdei

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA**



FACULTAD DE INGENIERÍA

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, después de conocer el dictamen del asesor, con el visto bueno del Coordinador del Área de Complementaria, al trabajo de graduación **Utilización del carbón mineral tipo coque en el secado mecánico del café**, del estudiante Salvador Girón Véliz, procede a la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. José Arturo Estrada Martínez
DIRECTOR

Guatemala, Mayo de 2004

/behdi.

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA**



FACULTAD DE INGENIERÍA

DECANATO

Ref. DTG.332-2004

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al trabajo de graduación titulado: **UTILIZACIÓN DEL CARBÓN MINERAL TIPO COQUE EN EL SECADO MECÁNICO DEL CAFÉ**, presentado por el estudiante universitario Salvador Girón Véliz, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE

Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
DECANO

Guatemala, Mayo de 2,004

/cdes

AGRADECIMIENTOS A

Dios

Mis padres

Mi asesor

Ing. Adolfo Waldemar Barrios Orozco

La Facultad de Ingeniería

La Universidad de San Carlos de Guatemala

DEDICATORIA A

Dios

Por haberme dado sabiduría y humildad para seguir adelante y alcanzar una de mis metas más deseadas.

Mis Padres

Miguel Oswaldo Girón, Victoria Véliz de Girón, como un justo agradecimiento por todos sus esfuerzos, sacrificios y consejos.

Mi esposa

Karla Lorena Rivera Hernández, por su amor, apoyo, y motivación para seguir adelante.

Mi hijo

Axel Daniel Girón, que mi éxito sea un ejemplo a seguir.

Mis hermanos

Erwin Oswaldo † (en memoria), Ana Elizabeth † (en memoria), Clara Luz, Leonel Eduardo, Aracely, por brindarme su apoyo y compartir mi éxito.

Mi familia en general

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
GLOSARIO	VII
RESUMEN	X
OBJETIVOS	XI
INTRODUCCIÓN	XII
1. ANTECEDENTES	1
1.1 Historia del carbón	1
1.2 Diferentes tipos de carbón	6
1.2.1 Antracita	7
1.2.2 Carbones bituminosos (Hulla)	7
1.2.3 Carbones sub-bituminosos	8
1.2.4 Turba	8
1.2.5 Lignitos	8
1.3 Análisis químico del carbón	8
1.3.1 Humedad	9
1.3.2 Carbono total	10
1.3.3 Hidrógeno	10
1.3.4 Oxígeno	10
1.3.5 Nitrógeno	10
1.3.6 Azufre	11
1.3.7 Cenizas	11
1.4 Localización de yacimientos	12
1.4.1 Producción de carbón	13
1.4.2 Operaciones	14
1.4.3 Coque, refinación del petróleo y combustible nuclear	17

2.	MECANISMO DEL SECAMIENTO	19
2.1	Dinámica del secado	20
2.2	Secamiento mecánico	21
2.2.1	Horno o calorífico	22
2.2.2	Formas de transferencia de calor	23
2.3	Tipos de hornos	25
2.4	Tipos de secadoras	25
2.4.1	Verticales o de cascada	25
2.4.2	Estáticas con aire caliente	26
2.4.3	Secadoras estáticas de cuartos inclinados	27
3.	METODOLOGÍA	29
3.1	Puesta en marcha del equipo de secamiento	29
3.2	Condiciones de instalación del equipo de secamiento	30
3.2.1	Desventajas de instalación del equipo	30
3.3	Mediciones realizadas	31
3.3.1	Variables controlables	31
3.3.2	Variables no controlables	32
3.3.3	Equipo de medición utilizado	32
3.4	Alimentación y consumo de carbón	32
3.5	Resultados obtenidos	34
3.5.1	Tiempo de secado por pila	34
3.5.2	Rendimiento del café pergamino seco	34
3.5.3	Consumo de carbón	35
3.6	Comparación de costos del carbón coque versus diesel	35
3.7	Análisis de resultados	37
3.7.1	Temperatura ambiente	39
	Temperatura del aire desecante	40
3.7.3	Variación de temperaturas	36

3.8	Control de calidad	41
	CONCLUSIONES	43
	RECOMENDACIONES	45
4.	INFORME SEGUNDA EVALUACIÓN DE SECAMIENTO DE CAFÉ UTILIZANDO COMO COMBUSTIBLE PARA EL HORNO CARBÓN TIPO COQUE, REALIZADA EN EL BENEFICIO DEL SEÑOR ARTURO CHUY, SANTA ROSA DE LIMA, SANTA ROSA, 16 DE MARZO 2,001	47
4.1	Metodología	47
4.2	Consumo de carbón	48
4.3	Resultados obtenidos	49
	4.3.1 Tiempo de secado por pila	49
	4.3.2 Tiempo total de secado	49
	4.3.3 Rendimiento del café pergamino seco	50
	4.3.4 Comparación de costos del carbón coque versus combustible diesel	50
4.4	Análisis de resultados	50
4.5	Control de calidad	53
	CONCLUSIONES	55
	RECOMENDACIONES	57
	BIBLIOGRAFÍA	68
	ANÁLISIS DE CATACIÓN	66

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figuras

1	Producción mundial de carbón
2	Variación del caudal de aire desecante
3	Comportamiento variables no controlables temperatura ambiente y humedad relativa del aire
4	Variación de temperaturas
5	Variación del caudal de aire desecante
6	Comportamiento variables no controlables, temperatura ambiente y humedad relativa del aire
7	Variación de temperaturas
8	Especificaciones de horno para carbón tipo coque

TABLAS

I	Origen de los principales productos minerales
II	Clientes para cada tipo de producto
III	Coque, refinación del petróleo y combustible nuclear Fabricación de productos de hornos de coque

V	Utilizando boquilla de diesel de 2.5 galones por hora
VI	Utilizando boquilla de diesel de 3 galones por hora
VII	Carbón coque versus combustible diesel
VIII	Cuadro de evaluación de equipo de secamiento pila 1
IX	Cuadro de evaluación de equipo de secamiento pila 2
X	Cuadro de evaluación de equipo de secamiento consolidado
XI	Cuadro de evaluación de equipo de secamiento pila 1
XII	Cuadro de evaluación de equipo de secamiento pila 2
XIII	Cuadro de evaluación de equipo de secamiento consolidado
XIV	Análisis de catación
XV	Análisis de catación

GLOSARIO

- Alto horno** Alto horno, horno en forma de torre para refinar mineral, cuyo funcionamiento consiste en forzar que un chorro de aire pase por una mezcla de combustible sólido y mineral para quemar las impurezas no deseadas o convertirlas en escoria insoluble, que flota en el metal fundido y puede retirarse con facilidad. El nombre de alto horno suele restringirse a los hornos metalúrgicos que reducen el mineral metálico, y en particular al empleado para obtener arrabio a partir del mineral de hierro.
- Calor específico** Cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de una unidad de masa de una sustancia en un grado. En el Sistema Internacional de unidades, el calor específico se expresa en julios por kilogramo y kelvin; en ocasiones también se expresa en calorías por gramo y grado centígrado. El calor específico del agua es una caloría por gramo y grado centígrado, es decir, hay que suministrar una caloría a un gramo de agua para elevar su temperatura en un grado centígrado.
- Coque** Residuo duro y poroso que resulta después de la destilación destructiva del carbón. El coque se emplea como agente reductor para la fundición de hierro y como combustible; tiene un color gris negruzco y un brillo metálico. Contiene fundamentalmente carbono, alrededor

del 92%; casi el 8% restante es ceniza. El valor calorífico del coque es muy elevado.

Crisol

Recipiente utilizado en fundiciones metálicas para llevar los metales del estado sólido al líquido en hornos o para recibir el metal líquido, ya que su composición de grafito, carborundo y aglutinantes adecuados los hace resistente a elevadas temperaturas.

Hidrogenación

Reacción que implica la combinación de hidrógeno con ciertos compuestos orgánicos no saturados, especialmente con los hidrocarburos. Los compuestos orgánicos no saturados tienen como mínimo un par de átomos de carbono unidos por un doble o un triple enlace. Al tratar un compuesto no saturado con hidrógeno a la temperatura adecuada y en presencia de un catalizador, como por ejemplo níquel, platino o paladio finamente dividido, el enlace múltiple entre los átomos de carbono se rompe y a cada átomo de carbono se une un átomo de hidrógeno. Por ejemplo, al hidrogenar el eteno (C_2H_4) se obtiene etano (C_2H_6). La hidrogenación se usa también con moléculas más complicadas, obteniéndose gran variedad de productos sintéticos importantes en el laboratorio y en la industria.

Horno de cubilote

Horno de cuba destinado a la fundición de materiales metálicos. Se introduce en la parte superior el combustible y el metal en capas alternadas. El aire necesario para la combustión se insufla por medio de máquinas especiales y llega por toberas dispuestas en la parte inferior, por debajo de éstas el metal fundido se reúne en un crisol del que puede ser colado al exterior o en moldes; generalmente, los cubilotes se constituyen en mampostería de ladrillos refractarios con una envolvente cilíndrica de fundición, o mejor, de chapas de acero.

Hulla

Combustible fósil con una riqueza en carbono entre 75 y 90% y un contenido en volátiles que oscila entre 20 y 35%. Es negra, mate, y arde con dificultad con una llama amarillenta. Procede, como los otros tipos de carbones, de la acumulación de vegetales que vivieron durante el período carbonífero sometidos a grandes presiones y temperaturas por la acumulación de sedimentos posteriores y por las fuerzas tectónicas.

Metalurgia

Ciencia y tecnología de los metales, que incluye su extracción a partir de los minerales metálicos, su preparación y el estudio de las relaciones entre sus estructuras y propiedades.

Poder calorífico

Cantidad de calor liberada en la combustión completa de determinado peso de combustible. Generalmente se expresa como el número de grandes calorías desprendidas durante la combustión completa de 1 kg. De combustible. Se les determina mediante la bomba calorimétrica.

RESUMEN

El carbón tipo coque resulta de someter el carbón a altas temperaturas sin la presencia de oxígeno, es de color grisáceo y aspecto poroso y duro como la roca.

Actualmente el uso principal del carbón es como combustible. En menor proporción se utiliza como materia prima para la obtención de productos químicos, en la industria siderúrgica y en las centrales carboeléctricas.

En la búsqueda de alternativas para la sustitución de los combustibles líquidos tales como el diesel, gasolina, búnker, surge el carbón mineral tipo coque, que es un material de combustión limpia y con un excelente poder calorífico. Las nuevas tecnologías permitirán que el uso de carbón se haga cada vez más eficientemente, al mismo tiempo ambientalmente aceptable, ya que será una fuente de vital energía durante el próximo siglo.

Éste será de mucha ayuda para las empresas que estén relacionadas en ésta área y que en algún momento se verán en la necesidad de querer minimizar sus costos evidentes en el empleo del carbón mineral tipo coque, e incluso para aquellos estudiantes de cualquier especialidad de ingeniería.

Para efectos de investigación se realizaron dos pruebas de secamiento, la primera con café al 55% de humedad en el Beneficio San Jorge, Nueva Santa Rosa, Santa Rosa y la segunda con café presecado en el Beneficio del señor Arturo Chuy, Santa Rosa de Lima, Santa Rosa.

OBJETIVOS

- **GENERAL**

Realizar un estudio para evaluar el carbón mineral tipo coque, como combustible en el secado mecánico del café.

- **ESPECÍFICOS**

1. Medir la eficiencia energética, generada por el carbón mineral tipo coque, en el proceso de secado mecánico del café.
2. Investigar el consumo de carbón y evaluar la vida útil del equipo
3. Evaluar el funcionamiento del horno de fuego directo, diseñado especialmente para quemar carbón tipo coque.
4. Evaluar la calidad del producto final (café seco) y sometiéndolo a pruebas de catación.

INTRODUCCIÓN

Uno de los objetivos de la agroindustria del café, es elevar el nivel de productividad en el Proceso de Beneficiado Húmedo, por esta razón se evalúan nuevas estrategias, materiales, combustibles, etc. En la etapa de secamiento actualmente algunos beneficiadores utilizan para generar calor en los hornos, combustible líquido tipo diesel que tiene ventajas sobre otros ya que produce una combustión que nos da una temperatura constante debido a que el combustible es alimentado de manera automática y no requiere de constantes interrupciones como en los combustibles sólidos. Otra ventaja, hace algunos años, era su precio; pero actualmente es una desventaja debido a su alto costo, además que los quemadores que se utilizan para su combustión requieren un constante mantenimiento ya que cualquier desajuste en la mezcla de aire y combustible puede contaminar el aire desecante y por consecuencia el café.

En la búsqueda de una alternativa para la sustitución del diesel surge el carbón tipo coque que es un material de combustión limpia, con un porcentaje de 1.5% de materias volátiles y un excelente poder calorífico 7,000 kilocalorías por kilogramo, el carbón coque es el resultado de someter el carbón mineral a altas temperaturas sin la presencia de oxígeno, proceso que elimina gran porcentaje de materiales volátiles, es de color grisáceo, aspecto poroso y duro como la roca, al inicio su combustión es deficiente, pero cuando se logran altas temperaturas y se tiene una alimentación adecuada su combustión es pareja y provee una excelente fuente de energía, en Guatemala no existen minas de carbón mineral, el que se utiliza es importado, recientemente se implementó el uso de carbón mineral térmico de origen colombiano en la fabricación de cemento, un gran consumidor, ya que su producción requiere de grandes

cantidades lo cual asegura el suministro de pequeñas cantidades que se utilizarían en los beneficios húmedos de café.

Es necesario hacer notar que las fincas que tienen manejo de sombra y tienen una fuente de combustibles sólidos como la leña y la cascarilla de café, en la calidad y cantidad suficientes para las necesidades de secamiento, estos seguirán siendo la mejor alternativa, debido a que por de pronto compite con una gran ventaja en precio sobre el carbón mineral tipo coque.

En cuanto a la inversión inicial para utilizar carbón coque es una ventaja, el horno que se utiliza podría costar alrededor de Q. 12,000.00 comparado con Q. 35,000.00 o más que cuesta un horno convencional para quemar leña y se utiliza el mismo ventilador y equipo de secamiento existentes.

Para efectos de investigación se realizaron dos pruebas de secamiento, la primera con café al 55% de humedad en el Beneficio San Jorge, Nueva Santa Rosa, Santa Rosa y la segunda con café presecado en otro beneficio del área de Santa Rosa de Lima, departamento de Santa Rosa, las cuales se describirán a continuación.

1. ANTECEDENTES

1.1 Historia del carbón

Hace aproximadamente 300 millones de años se formó gran parte del carbón mineral que existe en nuestro planeta. Esto ocurrió en el Paleozoico superior, en el periodo llamado Carbonífero, aunque también durante los periodos Pérmico, Cretácico, Jurásico, Triásico, Pleoceno y Mioceno se formaron grandes yacimientos carboníferos.

El carbón se formó a partir de la descomposición anaeróbica de materia orgánica, principalmente plantas superiores terrestres (a diferencia del petróleo, que es de origen marino). Debido a la acción de las bacterias anaeróbicas, la materia orgánica fue ganando carbono y perdiendo oxígeno e hidrógeno; este proceso, aunado a los incrementos de presión y temperatura con el paso del tiempo, provocó cambios físicos y químicos en los restos orgánicos y los transformaron en lo que hoy conocemos como carbón.

El carbón mineral se empezó a utilizar como combustible en China hace aproximadamente 2,000 años. Posteriormente lo utilizaron los Romanos. Lo curioso del caso es que en el siglo XI un inglés "redescubrió" que el carbón podía arder; mas adelante, en el siglo XIII, los ingleses lo empezaron a explotar y lo transportaban en barco a Londres, donde lo utilizaban para producir calor. También los indios Hopi lo emplearon en lo que hoy es Arizona.

En 1670, el reverendo John Clayton informó acerca de la generación de un gas luminoso que se obtenía al calentar carbón en una retorta. Un siglo después, en 1792, William Murdock, iluminaba su casa en Cornwall, Escocia, con gas obtenido de la destilación de carbón. Sin embargo, no fue sino hasta la época de la reina Isabel I cuando este combustible empezó a utilizarse ampliamente en las ciudades inglesas, sacado de las minas de Newcastle y Cardiff. El carbón adquirió más importancia cuando Abraham Darby descubrió el proceso que permite obtener coque a partir de carbón.

Al poco tiempo el carbón, como combustible, se convertiría en uno de los principales protagonistas de la Revolución Industrial, al lado de la máquina de vapor inventada por James Watt, en 1765. El propio Watt diseñó, en 1803, un sistema de alumbrado para las calles y las casas, en el que se aprovechaba el gas producido del carbón; James Prescott Joule se dio cuenta de la relación que existía entre la máquina de vapor y el uso directo del carbón.

Entre 1860 y la primera Guerra Mundial el carbón desplazó definitivamente a la madera como combustible fundamental. A continuación, entre ambas guerras mundiales el petróleo sustituyó al carbón como principal energético y esta situación se acentuó en la posguerra. Pese a ello, en 1978, el carbón representó el 26% de la demanda de energía primaria mundial.

Hasta 1980 las reservas de carbón eran de 3,275 toneladas. Asimismo, las reservas de carbón no coquizable eran, según cifras de 1982, de 645 millones de toneladas. El carbón no coquizable (es decir, del que no se puede obtener coque) es el que se emplea para la generación de energía eléctrica, mientras que el carbón coquizable —del que se obtiene coque— es el que se

utiliza en la industria siderúrgica y metalúrgica para la fabricación de hierro y acero. El acero, por ejemplo, tiene entre 0.2 y 2% de carbono que se obtiene del coque.

El carbón mineral está compuesto de carbono, hidrógeno, nitrógeno, azufre, cenizas y otros elementos en menor cantidad (potasio, calcio, sodio, magnesio, etcétera).

La calidad del carbón se mide de acuerdo con las siguientes características: porcentaje de materia volátil, porcentaje de carbono fijo, azufre, cenizas, oxígeno, hidrógeno, humedad y, finalmente, poder calorífico. Como se utilizan diferentes clasificaciones, tendremos que mencionar, aunque sea brevemente, las más comunes.

En cuanto al porcentaje de carbono fijo, el lignito tiene entre 50 y 69%, el carbón bituminoso de 69 a 86% y la antracita de 92 a 98%. De acuerdo con el porcentaje de materia volátil, el lignito tiene entre 40 y 50%, el carbón bituminoso entre 14 y 31% y la antracita de 2 a 8 por ciento.

El término bituminoso se refiere al grado de poder calorífico que tiene el carbón.

Según esta clasificación, el carbón que posee un poder calorífico más alto (esto es, las kilocalorías por kilogramo que puede proporcionar en la combustión) es, a pesar de ser una redundancia, el carbón bituminoso, como la hulla, que tiene un bajo contenido de materia volátil (8 500 kcal/kg); después le sigue el carbón subbituminoso con un contenido medio de materia volátil (8,200 kcal/kg), luego la antracita, después el bituminoso con alto contenido de materia volátil (7,000), a continuación los carbones subbituminosos (5,500) y finalmente el lignito (3,500).

En tiempos geológicos primero se formó la turba, posteriormente el carbón café; éste se convirtió en lignito, que a su vez pasó a ser carbón subbituminoso; este último se transformó en carbón bituminoso, que incluye a la hulla (el carbón que se usa para cocinar) y finalmente en antracita, que es el carbón más antiguo. Todos éstos son los diferentes tipos de carbón.

El carbón se utiliza en la industria siderúrgica, como coque, la industria metalúrgica, los sistemas de calefacción central, la producción de gas y otros combustibles sintéticos y en las centrales carboeléctricas.

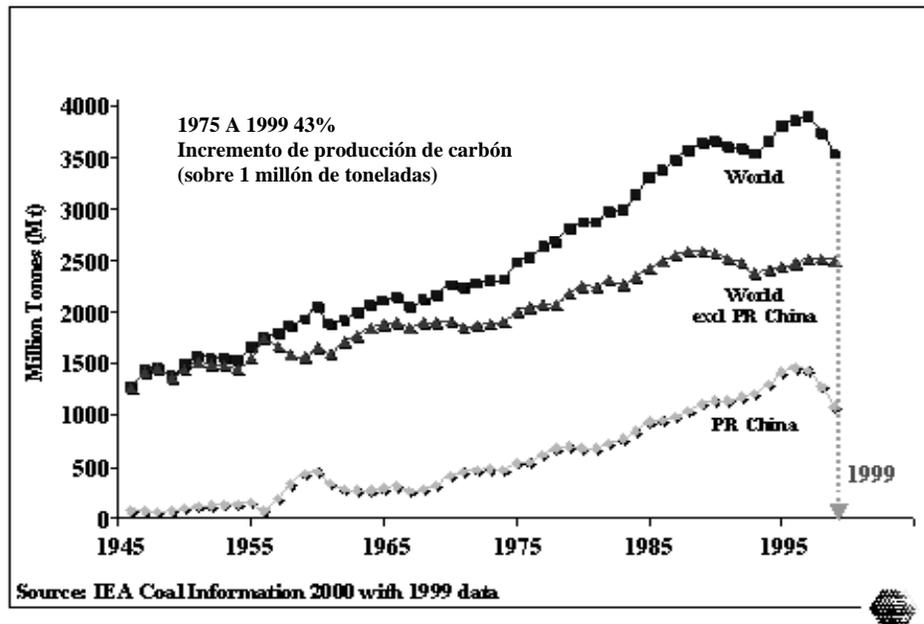
Los carbones bituminosos son coquizables, es decir que mediante un proceso de destilación se elimina la materia volátil del carbón, quedando un carbón de muy buena calidad que se denomina coque y que es de gran utilidad en la industria siderúrgica (producción de hierro y acero, este último es precisamente una aleación de hierro y carbono) y metalúrgica.

El carbón es el combustible fósil más abundante en el mundo y cuenta con la ventaja de que está ampliamente distribuido. La gran mayoría de las reservas se encuentran en el hemisferio norte, es decir, en Norteamérica, en Rusia, China, etc. aunque también existen reservas en el hemisferio sur (en menor cantidad): en Sudáfrica y Australia. Se calcula que con el ritmo actual de consumo, estas reservas aguantarán durante 250 años más, mientras que las reservas de petróleo no llegan a los 50 años, y las reservas de gas natural rondan los 70 años.

Actualmente casi el 40% de la electricidad generada mundialmente es producida por carbón. La industria mundial del hierro y el acero también depende del uso del carbón, al ser éste el principal agente reductor en la industria metalúrgica.

Las nuevas tecnologías permitirán que el uso del carbón se haga cada vez más eficientemente, al mismo tiempo que ambientalmente aceptable, ya que éste será una fuente vital de energía en el mundo entero durante el próximo siglo. Además, la diversidad y abundancia de las reservas de carbón a nivel mundial, significan que el carbón puede afrontar el desafío de contar con energía segura. Se pronostica que una vez las reservas de petróleo y gas se hayan agotado, habrá todavía muchas reservas de carbón ampliamente disponibles para satisfacer las necesidades de energía en el mundo.

Figura 1. Producción mundial de carbón



1.2 Diferentes tipos de carbón

Las temperaturas y las presiones en las que se haya formado el carbón influyen mucho en su formación; cuanto más altas son las presiones y temperaturas, mayor es el rango y el carbón que se forma es más rico en carbono y tiene un mayor **poder calorífico**. Los distintos tipos de carbón que se distinguen son:

1.2.1 Antracita

Es el mejor de los carbones, muy poco contaminante y de alto poder calorífico. Es un carbón muy duro que posee un color negro lustroso brillante. No se coquifica, tiene un elevado porcentaje de carbono y menos del 8% de materias volátiles. Cuesta mucho de hacer arder, a menos que la temperatura del hogar sea elevada y requiere un tiro intenso. La antracita arde sin llama o con llamas muy cortas y azuladas. Este carbón está muy indicado cuando es esencial una combustión sin humo.

1.2.2 Carbones bituminosos (hulla)

La hulla es muy rica en carbono y tiene un alto poder calorífico, por lo que es muy usada en las plantas de producción de energía. Posee un elevado porcentaje de materias volátiles - puede alcanzar porcentajes de hasta un 45% y arde con llamas largas amarillas y humeantes. Su porcentaje de materias volátiles, humedad, cenizas y azufre varía considerablemente.

Los carbones bituminosos pueden ser coquificables y fritables; estos últimos no se hinchan ni se sueldan formando una sola masa al calentarlos, como acontece con los primeros.

1.2.3 Carbones sub-bituminosos

Se conocen algunas veces con el nombre de lignitos negros. Son carbones bituminosos de baja calidad que han perdido la estructura leñosa de los lignitos. Los carbones sub-bituminosos se desintegran cuando se exponen al aire, y requieren mucha vigilancia mientras están almacenados. Su porcentaje de materias volátiles varía desde 35 hasta el 45% y su contenido de humedad oscila entre 17 y 20%.

1.2.4 Turba

La turba es un combustible muy mediocre, empleado en algunos países como medio de calefacción doméstica. En estado natural está impregnada de agua, debido a lo cual ha de secarse siempre antes de su empleo.

1.2.5 Lignitos

Los lignitos constituyen el estado de transición entre la turba y el carbón. Es el carbón de peor calidad, y tiene un contenido de carbono mayor.

1.3 Análisis químico del carbón

Debido a que el carbón en su estado natural no es ni una sustancia pura ni tiene composición uniforme, no se le puede adjudicar una fórmula química definida. Por este motivo si se necesita conocer su composición hay que analizarlo químicamente. El análisis químico y la potencia calorífica de un carbón puede expresarse de dos maneras distintas:

- Sobre el carbón tal como se recibe o quema.
- Sobre el carbón seco o exento de humedad.
- El análisis químico da los resultados en porcentajes en peso bajo los elementos siguientes:

1.3.1 Humedad

La humedad de los carbones se halla presente como (1) humedad superficial procedente de la atmósfera y de las operaciones de lavado; y (2) humedad inherente, la cual se halla ligada químicamente con la estructura del carbón.

La humedad superficial se determina desecando una muestra a 32°C hasta que la pérdida de peso no exceda del 0,1% por hora. Este secado preliminar se hace principalmente para poner la muestra en equilibrio con el aire, con el fin de que no se produzca ninguna pérdida de humedad en los ensayos posteriores.

La humedad inherente se determina con una muestra pulverizada finamente del carbón secado al aire y anotando la pérdida de peso después de haber permanecido durante una hora en una estufa a 105°C. La humedad total es la suma de las humedades superficial e inherente.

1.3.2 Carbono total

El carbono total es la suma del carbono fijo y del contenido en las materias volátiles. El carbono fijo, o carbono sin combinar, es el que no destila cuando se le calienta, y constituye el carbono del coque. Las materias volátiles, C_xH_y , se liberan al calentar el carbón - los valores x e y varían considerablemente.

1.3.3 Hidrógeno

El hidrógeno puede existir como constituyente de las materias volátiles y de la humedad inherente. El análisis químico descompone el agua no evaporada en hidrógeno y oxígeno.

1.3.4 Oxígeno

Todo el oxígeno contenido en un carbón se supone que se halla combinado con hidrógeno en forma de agua; como consecuencia la descomposición del vapor de agua da el contenido de oxígeno.

1.3.5 Nitrógeno

Casi todos los carbones contienen una pequeña cantidad de nitrógeno. Al ser inerte este elemento no produce ningún efecto perjudicial, a excepción de que hay que manipular su peso en el tonelaje del combustible comprado y que absorbe energía cuando pasa a través de un motor u hogar.

1.3.6 Azufre

La mayoría de los carbones tienen algo de azufre, el cual únicamente puede ser determinado por análisis químico.

1.3.7 Cenizas

El residuo que queda después de haber quemado la muestra a 1,100 °C hasta que no haya pérdida de peso se denomina ceniza.

El análisis químico del carbón es necesario para poder efectuar los cálculos referentes a la combustión.

Todos los tipos de carbón tienen alguna utilidad. La turba se utiliza desde hace siglos como combustible para fuegos abiertos, y más recientemente se han fabricado briquetas de turba y lignito para quemarlas en hornos.

La siderurgia emplea carbón metalúrgico o coque, un combustible destilado que es casi carbono puro.

El proceso de producción de coque proporciona muchos productos químicos secundarios, como el alquitrán de hulla, que se emplean para fabricar otros productos. Las tecnologías limpias de carbón son una nueva generación de procesos avanzados para su utilización, algunas pueden ser desde un punto de vista comercial, viables a principios del siglo XXI. En general, estas

tecnologías son más limpias y eficientes y menos costosas que los procesos convencionales. Hay muchas tecnologías limpias, pero la mayoría alteran la estructura básica del carbón antes de la combustión, durante la misma o después de ella. Con ello reducen las emisiones de impurezas como azufre y óxido de nitrógeno y aumentan la eficiencia de la producción energética.

1.4 Localización de yacimientos

El carbón se encuentra en casi todas las regiones del mundo, pero en la actualidad los únicos depósitos de importancia comercial están en Europa, Asia, Australia y América del Norte. En Gran Bretaña, que fue el líder mundial en producción de carbón hasta el siglo XX, existen yacimientos en el sur de Escocia, Inglaterra y Gales. En Europa occidental hay importantes depósitos de carbón en toda la región francesa de Alsacia, en Bélgica y en los valles alemanes del Sarre y el Ruhr. En la región Centroeuropea hay yacimientos en Polonia, la República Checa y Hungría. El yacimiento de carbón más extenso y valioso de la ex Unión Soviética es el situado en la Cuenca de Donets, entre los ríos Dniéper y Don; también se han explotado grandes depósitos de la cuenca carbonera de Kuznetsk, en Siberia occidental.

Los yacimientos carboníferos del noroeste de China, que están entre los mayores del mundo, fueron poco explotados hasta el siglo XX.

Las estimaciones de las reservas mundiales de carbón son muy variadas. Según el Consejo Mundial de la Energía, las reservas recuperables de antracita, carbón bituminoso y subbituminoso ascendían a finales de la década de 1980 a más de 1,2 billones de toneladas. De ese carbón

recuperable, China tenía alrededor del 43%, Estados Unidos el 17%, la Unión Soviética el 12%, Sudáfrica el 5% y Australia el 4%.

1.4.1 Producción de carbón

La producción mundial del carbón en 1994 refleja la crisis de la minería en la Unión Europea (la producción bajó un 17,4%) y en Rusia (decajó en un 6,2%). En cambio se produjo un dinamismo en la industria carbonífera de Estados Unidos, China, India, Colombia y Australia entre otros países. La producción total en el mundo ese año fue 2.158,3 millones de toneladas, de las cuales China produjo un 27,4%, Estados Unidos un 5,5% y la República de Sudáfrica un 4,8%.

En la década de 1980, sin embargo, las naciones industrializadas volvieron a interesarse por la gasificación y por nuevas tecnologías limpias de carbón. Las tecnologías limpias de carbón son una nueva generación de procesos avanzados para su utilización; algunas pueden ser, desde un punto de vista comercial, viables en los próximos años.

En general, estas tecnologías son más limpias y eficientes y menos costosas que los procesos convencionales. La mayoría alteran la estructura básica del carbón antes de la combustión, durante la misma o después de ella. Con ello reducen las emisiones de impurezas como azufre y óxido de nitrógeno y aumentan la eficiencia de la producción energética.

En la década de 1980, algunos gobiernos emprendieron programas de colaboración con la industria privada para fomentar el desarrollo de las tecnologías limpias de carbón más prometedoras, como los métodos mejorados para limpiar el carbón, la combustión en lecho fluido, la inyección de sorbetes de horno la desulfuración avanzada de gases de combustión.

El carbón se encuentra en casi todas las regiones del mundo, pero en la actualidad los únicos depósitos de importancia comercial están en Europa, Asia Australia, Sudáfrica y América del Norte.

Cuando los expertos realizan estimaciones sobre la cantidad de carbón en el mundo, distinguen entre reservas y recursos. Se consideran reservas los depósitos de carbón que pueden ser explotados con la tecnología existente, es decir, con los métodos y equipos actuales. Los recursos son una estimación de todos los depósitos de carbón existentes en el mundo, independientemente de que sean o no accesibles desde el punto de vista comercial.

Este será de mucha ayuda para las empresas que estén relacionadas en ésta área y que en algún momento se verán en la necesidad de querer minimizar sus costos evidentes en el empleo del carbón mineral tipo Coque, e incluso para aquellos estudiantes de cualquier especialidad de Ingeniería.

1.4.2 Operaciones

Los combustibles sólidos son importados de proveedores extranjeros, y también suministrados por refinerías nacionales.

El carbón y el coque son molidos, clasificados y depositados en almacenes antes de entregar a los clientes, utilizando una red de transporte bien establecida. En algunos casos, la compañía organiza la entrega de la mercancía en barco, directamente al cliente, en un puerto especificado, y luego supervisa el proceso de desembarque.

Tabla I. Origen de los principales productos minerales

PRODUCTO	SUMINISTRADO
Coque de petróleo	EEUU, España, Venezuela
Antracita	Alemania, Rusia, Africa del Sur, Escocia, Vietnam
Hulla	Polonia, Colombia, Venezuela, Francia
Hulla térmica	Africa del Sur, Colombia, Polonia, Venezuela, Australia
Coque metalúrgico y fundición	Portugal, Francia, China y Polonia

Tabla II. Clientes para cada tipo de producto

PRODUCTO	SUMINISTRADO
Coque de petróleo	Cementeras, industrias químicas, fábricas de calcio, fábricas de cerámicas, ferroaleaciones, acererías, centrales térmicas, minoristas.
Antracita	Ferroaleaciones, industria de aluminio, minoristas.
Hulla	Ferroaleaciones, minoristas.
Hulla térmica	Cementeras, servicios públicos
Coque metalúrgico y fundición	Acererías, industrias químicas.

Tabla III. Coque, refinación del petróleo y combustible nuclear

<p>Fabricación de productos de hornos de Coque</p>	<p>Incluye</p> <ul style="list-style-type: none"> • El funcionamiento de coquerías principalmente para producir coque y semicoque a partir del carbón de piedra y lignito y para producir carbón de retorta y productos residuales, como alquitrán de hulla, gas de hulla y brea. • La aglomeración de coque. • Los hornos de coque para la producción de combustibles sólidos. • La fabricación de productos de hornos coque • La destilación de alquitrán de hulla • La producción de gas industrial y otros gases manufacturados, como gas de agua y gas pobre.
<p>Fabricación de combustible nuclear</p>	<p>Incluye</p> <ul style="list-style-type: none"> • Extracción de metal de uranio. • Fabricación de aleaciones, dispersiones y mezclas de uranio natural y sus compuestos. • Fabricación de uranio enriquecido y sus compuestos, dispersiones y mezclas de estos compuestos. • Fabricación de plutonio y sus compuestos, aleaciones, dispersiones y mezclas de estos compuestos. • Fabricación de uranio-235 empobrecido y sus compuestos, aleaciones, dispersiones y mezclas de estos compuestos.

	<ul style="list-style-type: none"> • El procesamiento de torio y sus compuestos, aleaciones, dispersiones y mezclas de estos compuestos • Fabricación de otros elementos, isótopos y compuestos radiactivos. • Fabricación de combustibles nucleares no irradiados –cartuchos- para su utilización en reactores nucleares. • Enriquecimiento de minerales de uranio y torio.
--	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

1.4.3 Carbón

Actualmente el uso principal del carbón es como combustible. En menor proporción se utiliza como materia prima para la obtención de productos químicos

Del carbón se pueden obtener productos químicos de cuatro formas:

1. A partir del destilado de alquitrán de hulla que se obtiene al convertir el carbón coque.
2. Convirtiendo coque a gas de agua (síntesis), de la cual pueden obtenerse hidrocarburos de Fischer y Tropsch y Metano.
3. Por hidrogenación del carbón para obtener metano o sustancias similares de petróleo.
4. Por conversión del carbón a acetileno vía carburo de calcio.

2. MECANISMO DEL SECAMIENTO DEL CAFÉ

En el secamiento de cualquier material es decisiva la composición, forma y estructura del sólido del cual se pretende eliminar la humedad. En el caso del café, hay que tomar en cuenta que después de eliminar el agua superficial durante el escurrido, se inicia una etapa en la cual el agua debe emigrar del interior del grano a la superficie del mismo. Deberá, asimismo, atravesar la película plateada para caer entonces en una cámara de aire, tanto más grande, cuanto más avanzado está el proceso de secamiento. Luego, el agua deberá atravesar en forma de vapor la cubierta o pergamino, antes de que la corriente de aire pueda arrastrarla.

El mecanismo del secamiento del café es más complicado que el de cualquier otro grano, no sólo por las razones anteriormente expuestas, sino también por el efecto que las condiciones de operación puedan causar en el aspecto y particularmente en la bebida. En el secamiento de cualquier material inicialmente muy húmedo y suponiendo que se seca en un aire con propiedades secadoras que se mantienen constantes (humedad relativa y temperatura) ocurre primero una etapa en la cual la velocidad de desecación es independiente del contenido de humedad del material y el agua de la superficie se evapora como si estuviera libre. A esto se le llama período de evaporación constante; sigue la desecación hasta un punto en el cual la velocidad hasta un punto en el cual la velocidad empieza a disminuir, en este punto está la llamada humedad crítica. Se inicia, entonces, el período de velocidad decreciente y al terminar el material alcanza un valor mínimo en su humedad, que se llama humedad de equilibrio o higroscópica.

Por otra parte, el volumen inicial de una partida se reduce alrededor del 10%, cuando está seca. Aunque la cápsula de pergamino casi no se modifica, salvo las conocidas grietas en el café de altura, el grano de café en oro se encoge para dar origen a la bolsa de aire antes mencionada.

2.1 Dinámica del secado del café

El ingeniero Fernando Caldas define la dinámica del secado de la siguiente forma: El secado es un proceso de separación entre un líquido y el sustrato seco que lo contiene, y como tal su dinámica se constituye en un complejo proceso de transferencia de masa (agua) y calor dentro del grano, donde las características y velocidad del secado son determinadas por las propiedades del café, el estado del agua, la cantidad de energía aplicada y la forma o el método a través del cual se produce el calor en el producto.

Inicialmente, cuando el calor es aplicado al material, toda la energía disponible es utilizada para evaporar el agua superficial. Esto provoca un flujo de humedad desde el interior hasta el exterior del producto, donde se encuentra una fina capa de aire y vapor de agua que recubre el grano. Dentro del grano de café hay una compleja estructura de espacios vacíos interconectados llamados microcapilares. Una vez que parte del agua ha sido evacuada surgen bolsas de aire dentro de los capilares, lo cual dificulta el paso del líquido que aún se encuentra en el interior, forzándolo a avanzar entre las bolsas de aire y las paredes de los tubos de la red, lo cual reduce aún más el flujo de agua hacia el exterior, que finalmente es transportada como vapor.

La conductividad térmica del grano, que es una medida de su capacidad de transferencia de calor, se reduce al ir avanzando el secado, disminuir el contenido de agua en el material y al aumentar la proporción de aire en los espacios vacíos. Esto torna más difícil la conducción del calor, que es lo que activa el mecanismo de migración del agua hacia la superficie del grano.

En el grano de café la dificultad en el transporte de agua y calor es agravada por la cámara de aire externa que existe entre la superficie del pergamino y la semilla. Esta cámara funciona como un excelente aislante térmico, lo cual tiene un efecto significativo en la mayor duración de las etapas finales del secado del café.

2.2 Secamiento mecánico

Existen condiciones en algunas regiones cafetaleras del país en donde la práctica del secamiento en patios no es posible, debido a la precipitación tan fuerte, a condiciones topográficas del terreno, etc. Esto, asociado a altas producciones en las fincas, justifica el uso de infraestructura e instalaciones mecánicas para que el proceso de secamiento se efectúe en una forma rápida y continua. Para estos tenemos tres principales componentes para cada tipo de secadora.

2.2.1 Horno o calorífico

Tiene la función de generar calor para desecar el aire hasta un porcentaje de humedad del 8 al 10%, ya que el aire del ambiente circundante tendrá valores de humedad relativa, mayores al 50%. Un generador de calor, ya sea un simple horno o una caldera, contiene por lo menos una cámara de

combustión, donde el aire entra en contacto con el combustible y se verifica la liberación de la energía calorífica.

La leña es un combustible con poca densidad energética; se necesita más volumen para obtener determinada producción de calor, que el volumen necesario del petróleo. Inclusive dentro de la misma categoría de combustible sólidos la leña requiere mucho volumen para desprender su potencial calorífico. Al haber más cantidad de combustible para quemar, será necesario más aire y todo esto se conjuga para que los hornos e intercambiadores de calor utilizados en hornos sean voluminosos. La combustión de leña es además más compleja y hay más parámetros que controlar, por ejemplo, en el caso del gas licuado y otros derivados del petróleo.

Sin embargo, la ventaja del sistema con leña y cascarilla de café es el menor costo del combustible. Al instalar un horno o caldera, el control de la combustión debe ser tal que la utilización del combustible sea lo más eficiente posible. Esto no es una tarea sencilla en la combustión de la leña que es un proceso más complejo que el de la cascarilla de café o derivados del petróleo.

Entre las características que presenta la leña se destaca el hecho de que no muestra homogeneidad en cuanto a sus dimensiones volumétricas, así como en la densidad y potencial calorífico en el estado en que se usa en la combustión.

En el comienzo de la combustión de la leña hay una evaporación del agua contenida en el combustible, lo cual eleva tu temperatura y produce la evaporación de la mayor parte de los elementos que se queman en contacto con el aire. Ocurren entonces reacciones físicas y químicas entere los elementos volátiles de la leña: el carbono fijo que reacciona en forma sólida y el

oxígeno del aire, los que se conjugan en un proceso exotérmico o sea, su combinación produce la liberación de energía.

La madera necesita una cantidad exacta para quemarse, entre seis y ocho veces el peso del combustible seco, como mínimo. Esto se debe al hecho de que solamente una parte del aire está compuesto por oxígeno, que es el elemento que le permite la combustión.

El restante 80% del aire está compuesto por oxígeno que es el elemento que le permite la combustión. El restante 20% del aire está compuesto por nitrógeno, que no juega ningún papel en la combustión, solo ocupa espacio y requiere ser impulsado juntamente con el oxígeno. Siempre es necesario agregar más aire para aumentar la cantidad de moléculas de oxígeno en contacto con el combustible. Hay que tomar en cuenta también que el exceso de aire requiere mayores inversiones y gastos de operación en ventiladores para suplir el aire de entrada, y reduce la eficiencia en el uso de la leña, cascarilla y electricidad.

2.2.2 Formas de transferencia de calor

Se considera que la transferencia de calor se lleva a cabo, en general, por tres procesos:

- 1) **Conducción:** Es la transferencia de calor de una parte de un cuerpo a otra o a otro cuerpo por la interacción, en un intervalo pequeño de moléculas o electrones. Como cuando el calor avanza por el mango de una cuchara.

- 2) **Radiación:** Es la emisión de energía en forma de ondas electromagnéticas. La radiación incidente de un cuerpo puede ser absorbida, reflejada y transmitida, como el calor transmitido por el sol.

- 3) **Convección:** es la transferencia de calor por la combinación de mecanismo de mezcla de fluidos y conducción, como cuando una casa es calentada por el aire que pasa a través de un calentador.

Los procesos por conducción y radiación no son deseables para el secado, debido a las altas temperaturas requeridas por la fuente y por una pobre distribución de calor.

Así que la convección es el medio deseable y eficiente por el cual el calor es transferido a todas las partículas del producto a ser secado. La convección es fácilmente controlable y con resultados uniformes.

2.3 Tipos de hornos

Los hornos son generalmente clasificados como de fuego indirecto y directo. Los primeros tienen intercambiadores de calor, que calientan el aire que entra finalmente en contacto con el café. En los hornos de fuego directo los gases calientes generados en la combustión son diluidos con aire ambiente y de allí la mezcla entra en contacto con el café. La clave del éxito de los hornos de fuego directo está en la realización de una buena combustión, limpia de humos, lo cual depende en gran medida del combustible utilizado. Los problemas con estos hornos son cuando no se tiene una buena relación aire-combustible, y se permite que el café sea ahumado.

2.4 Tipos de secadoras

2.4.1 Verticales o de cascada

Este tipo es derivado del tradicional y usualmente empleado para secar granos. Estas secadoras están basadas en que una cascada del grano recibe a contra corriente un flujo de aire caliente, para luego sufrir un descanso parcial; mientras tanto, es conducido de nuevo por medio de transportadores a la corriente de aire caliente, repitiéndose el ciclo hasta el secamiento completo.

La desventaja principal de este tipo de secadoras consiste en que cierta proporción del café resulta despergaminado, a causa del continuo paso por los transportadores (tornillos helicoidales) del grano. Se considera que este problema puede superarse ya que principalmente se debe a la luz entere el helicoidal y el canal. La solución es ajustar para que no quepa un grano dejar suficiente espacio para que no lo muerda. Debe recordarse que de estas secadoras las importadas han sido diseñadas originalmente para maíz.

Otro tipo de secador de cascada es el de baffles o de duelas, en donde el café se deposita en una tolva y de ésta pasa a la zona de secado, donde un colchón de grano con un espesor de 10 cm. Recibe el aire perpendicularmente al sentido de avance del material. El café es sometido en períodos intermitentes a una fuerte corriente de aire que los lleva a la fluidificación.

En Costa Rica generalmente son utilizados los presecadores de flujo cruzado, conocidos como “bericos”. En éstos el aire calentado entra en una cámara interna del secador, el plenum, y el café cae por gravedad entre placas

o mallas metálicas perforadas a través de las cuales pasa el aire perpendicularmente al sentido del movimiento del grano. El café húmedo es cargado a la máquina y en la zona de secado recibe el aire perpendicularmente al sentido de avance del material, a través de una capa de 45 cm. de producto.

2.4.2 Estáticas con aire caliente

Estas antiguas, sencillas y poco costosas secadoras se han estado instalando de nuevo como consecuencia del alto costo de las secadoras rotatorias y verticales. Los modelos más generalizados se han estado construyendo de ladrillo y block. Básicamente, consisten en cajas rectangulares o redondas con un falso fondo de lámina perforada, un ducto de aire caliente proveniente de un quemador directo de “kerosene” o aceite diesel o de intercambiadores de tubos cuando se emplea leña como combustible.

Existen diferentes talleres especializados en el país, que se dedican a la construcción de este tipo de secadoras.

2.4.3 Secadoras estáticas de cuartos inclinados

En 1992 la Sección de Beneficios del Proyecto AID de Anacafé, modificó el secado estático de pilas para volverla inclinada, con el fin de que el aire desecante que atravesaba la masa de café se distribuyera de una mejor forma dentro del área de secamiento y para que el mismo fuera uniforme y la descarga más fácil.

Dichas secadoras tienen la particularidad de que la temperatura de operación es baja (45 a 55° C) y el secamiento se produce por etapas para

cada cuarto. Funciona aplicando aire desecante a la masa de café, lo que provoca un intercambio de calor para eliminar hacia el exterior la humedad del grano, hasta que comienza a sacar aire caliente (período de 2 horas aproximadamente).

Luego, se cambia la compuerta para la otra pila de manera que la pila número uno entre a un período de reposo. Se repite el procedimiento para cada pila, siempre tomando en cuenta el tiempo en que comienza a salir aire caliente.

Muchos usuarios toman como norma un intercambio de compuertas cada dos horas, pero esto produce problemas posteriores. Lo ideal es cambiar compuertas a media que la masa de café se caliente. Conforme pasa el tiempo de secado, se reduce el tiempo de cambio de compuertas hasta que se hace más consecutivamente.

Estas secadoras presentan ciertas ventajas sobre otras, pero lo más importante es que, en cuanto a la calidad de café que se obtiene, compite estrechamente con los secamientos en patio que se tienen en las diferentes zonas cafetaleras, pues existen períodos de descanso o relajamiento.

3. METODOLOGÍA

3.1 Puesta en marcha del equipo de secamiento

- a) Se utilizó una secadora estática de 3 cuartos inclinados con capacidad para 80 quintales de café húmedo cada uno, con ventilador talla 30, accionado por un motor diesel al cual se adaptó el horno para carbón coque.
- b) Se cargaron 61 quintales de café al 55% de humedad en la pila número “1”.
- c) Se cargaron 41 quintales de café al 55% de humedad en la pila número “2”.
- d) No se cargó café en la pila número “3”.
- e) Se colocó leña y ocote en el interior de la cámara de combustión, se encendió el fuego y se esperó a que la leña prendiera completamente, en ese momento se le empezó a alimentar carbón distribuido sobre el fuego en paladas de aproximadamente 2.5 libras hasta completar 40 libras.
- f) Cuando la leña está terminando de quemarse se pone a funcionar el ventilador para el efecto de fragua hasta lograr una combustión completa del carbón, los gases de combustión que emanan en ese momento deben salir por la pila que no tiene café, éste proceso dura como máximo desde que se

empieza a colocar la leña hasta lograr una combustión completa en 30 minutos.

- g) Cuando se logró una combustión completa del carbón la temperatura del aire desecante debe estar alrededor de 50 grados centígrados.
- h) La temperatura en la chimenea del horno cuando el aire desecante estaba a 7° grados centígrados fue de 35 grados centígrados.

3.2 Condiciones de instalación del equipo de secamiento

En el local están instaladas 2 secadoras de cuartos inclinados de 3 cuartos de 80 quintales húmedos de capacidad cada cuarto o 120 quintales café pergamino seco por secadora equivalente a 240 quintales húmedos. Están construidas de metal en su totalidad y utilizan hornos de combustión directa con quemadores de diesel, ventilador centrífugo y ductos de metal con sección de 0.60 x 0.60 metros.

3.2.1 Desventajas de instalación del equipo

- a) El local donde está instalado el equipo de secamiento no tiene suficiente ventilación para permitir que emigre al exterior el aire desecante impregnado de humedad.
- b) La ubicación del horno permite succionar el aire del interior del local el cual tiene alta humedad relativa debido al vapor que provoca el secamiento.

- c) Se observó que en la etapa del secamiento de evaporación constante se produce una recirculación del vapor que emana de la masa de café que es succionado por el horno y es convertido nuevamente en aire desecante lo cual reduce la eficiencia en el secado.

3.3 Mediciones realizadas:

3.3.1 Variables controlables

- a) Caudal de aire desecante en pies cúbicos por minuto (CFM en inglés).
- b) Temperatura del aire desecante en grados centígrados.
- c) Temperatura de la masa de café en grados centígrados.
- d) Humedad de la masa de café en porcentaje.
- e) Horas de secado.
- f) Horas de descanso.
- g) Cantidad de carbón coque.

3.3.2 Variables no controlables

- a) Temperatura ambiente en grados centígrados.
- b) Humedad relativa del aire ambiente en porcentaje.

3.3.3 Equipo de medición utilizado

- a) Tester anemómetro y termómetro con sonda para aire desecante marca Dwyer.

- b) Multitester marca Radio Shack.

- c) Higrómetro marca Taylor.

- d) Báscula marca Fairbanks Morse.

- e) Determinador de humedad marca Dole 400.

- f) Cinta métrica marca Stanley.

- g) Reloj con cronómetro marca Cassio.

3.4 Alimentación y consumo de carbón

- Se inició con 40 libras.

- Se probaron alimentaciones con paladas de 2.5 libras; 8 a cada 60 minutos, 4 a cada 30 minutos, 2 a cada 15 minutos y 1 a cada 15 minutos.

- Las fallas en la combustión fueron ocasionadas cuando se alimentó 1 palada cada 15 minutos provocando una baja en la cantidad de carbón en combustión bajando la temperatura hasta apagarse completamente; la otra

falla fué cuando se alimentó excesivamente el horno dificultando la combustión provocando una baja de temperatura hasta apagarse completamente.

- Cuando se alimentaron paladas a cada 30 minutos se observó que baja la temperatura y empieza a subir hasta que se logra nuevamente la combustión completa en un rango de 20 grados.
- Se determinó en la práctica que alimentando 2 paladas durante el día y 3 paladas durante la noche a cada 15 minutos se mantiene estable la temperatura y el caudal.
- Cuando se alimentó carbón distribuido sobre el carbón en combustión se apagaron pequeñas zonas en la orilla de la hoguera que progresivamente van aumentando si no se corrige la forma de alimentación.
- La mejor forma de alimentar el carbón fue colocarlo en el centro por encima de la hoguera, de esta forma logra su combustión completa el carbón nuevo y a medida que se va quemando reduce su tamaño; el carbón nuevo que se alimenta lo desplaza hacia las orillas de la hoguera para iniciar nuevamente el ciclo, el carbón de menor tamaño tiene mejor combustión que el grande.
- Durante la noche hay que aumentar la alimentación de carbón para evitar que baje la temperatura progresivamente hasta apagarse completamente.

3.5 Resultados obtenidos

3.5.1 Tiempo de secado por pila

Pila “1”

El secamiento del café se realizó de las 13:56 22/2/2001 a las 21:30/23/2/2001 completando 14 horas 27 minutos de tiempo de secado y 16 horas 7 minutos de tiempo de descanso para un total de 30 horas 34 minutos no hubo interrupciones por falla en el horno. Se necesitó de 1 hora de secamiento adicional el día 24/2/2001 para puntear el café, durante este tiempo adicional no se efectuó ninguna medición.

Pila “2”

El secamiento del café se realizó de las 19:00/22/2/2001 a las 20:00/23/2/2001 completando 13 horas 15 minutos de tiempo de secado y 12 horas 45 minutos de tiempo de descanso para un total de 26 horas hubo una pérdida de tiempo de 2 horas 45 minutos por fallas en el horno. Se necesitaron 2 horas adicionales de secamiento el día 24/2/2001 para puntear el café, durante este tiempo adicional no se efectuó ninguna medición.

3.5.2 Rendimiento del café pergamino seco

Se cargaron en el equipo 102 quintales de café al 55% de humedad, 61 quintales en la pila 1 y 41 en la pila 2 obteniendo 48.33 quintales de café punto, con un rendimiento de 47.38%.

3.5.3 Consumo de carbón

- a) Al final de la jornada al apagar el carbón quedan 30 libras que son reutilizables.
- b) El consumo total de carbón en 28 horas 49 minutos de funcionamiento continuo fue de 574 libras restando las 30 libras que quedaron en el horno al finalizar; con un consumo promedio de 19.92 libras por hora este consumo fue durante el período en que se efectuaron las mediciones.
- c) El total de ceniza incluyendo pequeños pedazos de carbón que pasan por la parrilla fue de 87 libras equivalente al 15.16% del total de carbón consumido.

3.6 Comparación de costos del carbón coque versus diesel

La reducción de costos utilizando carbón coque es de 5.34%

Tabla IV. Utilizando boquilla de diesel de 2 galones por hora

Concepto	Total de horas de horno	Consumo por hora	Unidades	Costo unitario quetzales	Costo total quetzales	Quintales pergamin o seco	Costo total pergamino quetzales
Diesel	28.82	2	Galones	12.1	697.44	48.33	14.43
Carbón coque	28.82	19.92	Libras	1.15	660.21	48.33	13.66

Tabla V. Utilizando boquilla de diesel de 2.5 galones por hora

La reducción de costos utilizando carbón coque es de 24.28%

Concepto	Total horas de horno	Consumo por hora	Unidades	Costo unitario quetzales	Costo total quetzales	Quintales pergamin o seco	Costo quintal pergamino quetzales
Diesel	28.82	2.5	Galones	12.1	871.81	48.33	18.04
Carbón coque	28.82	19.92	Libras	1.15	660.21	48.33	13.66

Tabla VI. Utilizando boquilla de diesel de 3 galones por hora

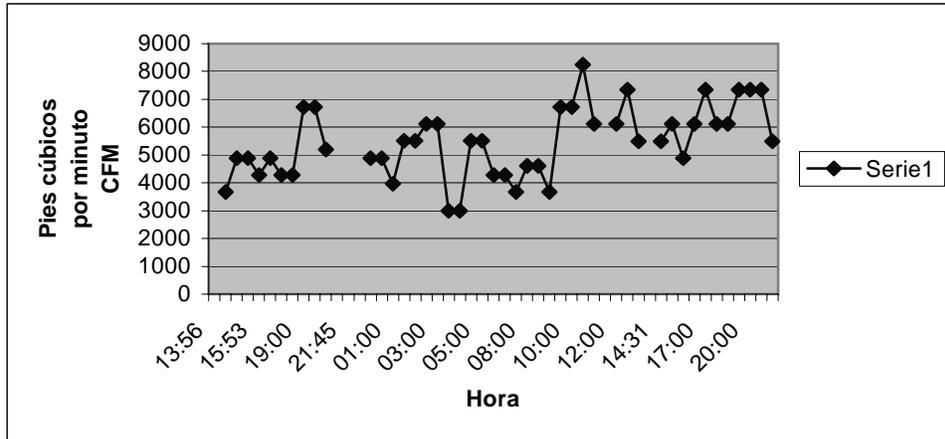
La reducción de costos utilizando carbón coque es de 36.91%

Concepto	Total horas de horno	Consumo por hora	Unidades	Costo unitario Quetzales	Costo total Quetzales	Quintales pergamin o seco	Costo total pergamino Quetzales
Diesel	28.82	3	Galones	12.1	1046.17	48.33	21.65
Carbón coque	28.82	19.92	Libras	1.15	660.21	48.33	13.66

Nota: Los costos no incluyen transporte de combustible del distribuidor hasta el beneficio.

3.7 Análisis de resultados

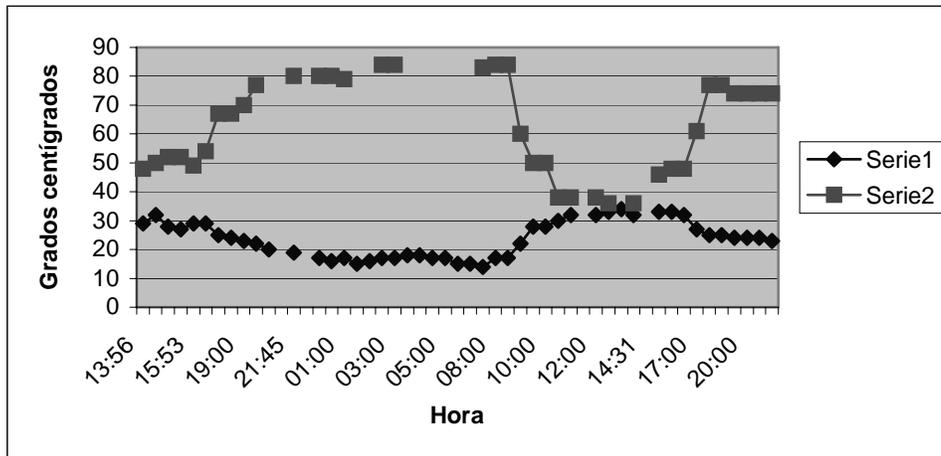
Figura 2. Variación del caudal de aire desecante



El Caudal más bajo fue de 2,996 CFM., el más alto de 8,250 CFM., y el promedio de 5,562 CFM. El rango de variación es 5,254 CFM., este rango es alto porque se provocaron condiciones extremas deliberadamente, las variaciones hacia abajo fueron cuando se cerraban las compuertas de entrada de aire para aumentar la fragua del horno y subir la temperatura del aire desecante y hacia arriba cuando la temperatura subía y se abrían las compuertas del aire para bajar la temperatura, se experimenta un cambio hacia abajo cuando se alimenta carbón al horno, cuando se logra una combustión completa del carbón aumenta el caudal.

Las variaciones por abrir y cerrar las compuertas de entrada de aire al horno son las que provocan los extremos en el caudal; el caudal medido con la secadora sin carga de café fue de 11,500 CFM a 70 grados centígrados de temperatura por consiguiente el caudal de aire desecante se redujo 48.36% al cargar la secadora con café.

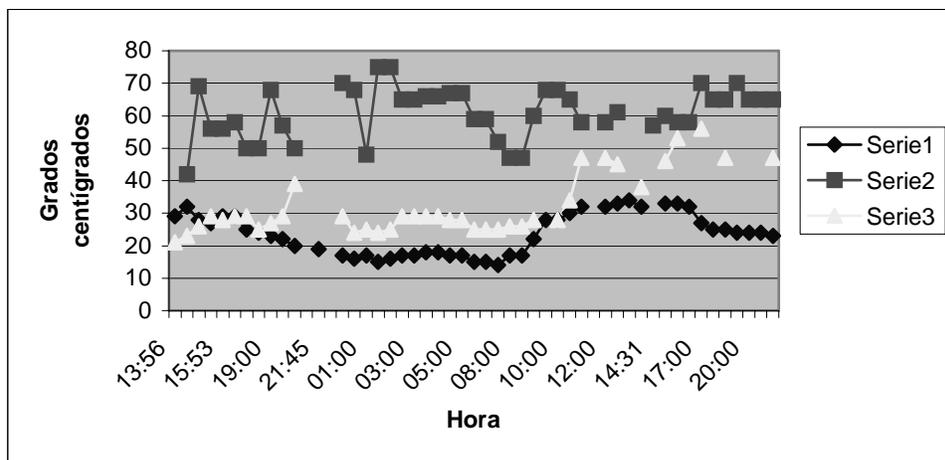
Figura 3. Comportamiento de variables no controlables, temperatura ambiente y humedad relativa del aire.



La temperatura ambiente más baja fue de 14 grados centígrados la más alta de 34 grados y el promedio de 24 grados, la humedad relativa del aire ambiente más baja fue de 36% la más alta de 84% y el promedio de 70% las mejores condiciones para el secamiento fueron cuando se acercan las curvas, temperatura alta y humedad baja y las más adversas cuando se separan.

Se observa en la gráfica que el período crítico es más prolongado, esto fue debido a la recirculación de los vapores que emanaban de la masa de café en la etapa de evaporación constante.

Figura 4. Variación de temperaturas



3.7.1 Temperatura ambiente

La máxima fue de 34 grados centígrados y la mínima de 14, con un rango de variación de 20 grados y una media de 23.97 grados ésta es una variable no controlable pero muy influyente para poder realizar el secado de café, cuando más alta permanezca las condiciones de secado son mejores.

3.7.2 Temperatura del aire desecante

La mínima es la temperatura ambiente pero cuando se encendió el equipo de secado se registraron las siguientes mediciones máxima 75 grados centígrados, mínima 42 grados, con un rango de variación de 33 grados y una media de 74.5 grados, el rango de variación tan alto fue debido a la forma de alimentar el carbón y que se realizó el secamiento durante el día y la noche momentos en que se registran las temperaturas extremas en el ambiente, la variación conocida para hornos de combustibles sólidos es de 10 grados centígrados.

3.7.3 Temperatura de la masa de café

La máxima fue de 56 grados centígrados, la mínima de 21 grados, con un rango de variación de 35 grados y una media de 32.59 grados la medición se realizó en el centro de la altura de la masa de café pudiendo registrarse temperaturas más altas y más bajas en la parte inferior a la del ambiente debido que el café aún está húmedo, el rango de variación fue alto debido a los períodos de descanso, tiempo en el cual descendió la temperatura.

Las condiciones de rangos de temperatura y caudal de aire producidos por el horno de carbón coque son similares a las condiciones requeridas para los equipos de secamiento con movimiento, secadoras tipo guardiola, verticales, de cascada, etc.

3.8 Control de calidad

El análisis de las características físicas y organolépticas del café se realizó en el laboratorio de catación de Anacafé presentando los siguientes resultados:

En verde

Apariencia regular, secamiento disparejo, tamaño mediano, color poco pálidos, olor a sobrefermento y defectos de granos vanos, verdes y lastimados, humedad 10.10%.

La apariencia, el color pálido y lo disparejo es debido al secamiento mecánico por el tipo de secadora (estática); el olor a sobrefermento fue por un mal lavado y amontonar el café por mucho tiempo antes de secarlo; los granos vanos vienen de la plantación y persisten durante el proceso si no son convenientemente clasificados; los verdes son por una mala recolección y los lastimados por deficiencias de las máquinas despulpadoras.

Tueste

Calidad regular, apariencia dispareja con algunos Quakers.

La calidad y apariencia del tueste es resultado del mal lavado; cuando el café es de diferentes plantaciones y variedad y alturas no presenta calidad y apariencia homogéneas y los quakers son por mala recolección.

Taza	Sobrefermentada
Tipo	Strictly Hard Bean
Rendimiento pergamino oro:	1.22
Catador que realizó el análisis:	Eduardo Ambrosio

Los resultados negativos del dictamen de catación son problemas de origen conocido que se pueden corregir durante el proceso de beneficiado, no reveló defectos de colores, olores y sabores de origen desconocido.

CONCLUSIONES

1. El encendido y la alimentación del combustible sólido carbón coque es similar al de los hornos convencionales de combustibles sólidos.
2. Se puede mejorar la eficiencia del horno de carbón coque si se mejoran las condiciones de instalación.
3. Se mejora la eficiencia del carbón cuando la alimentación es en menor cantidad y en el menor tiempo.
4. Al comparar los costos por consumo de combustibles por hora con el diesel, el carbón coque es rentable a partir de consumos iguales o mayores a dos galones de diesel por hora.
5. Las variaciones extremas en el caudal de aire desecante son consecuencia de la mala alimentación del carbón coque, más cantidad de carbón en mayor período de tiempo.
6. El período crítico de secamiento fue más prolongado debido a la recirculación de vapores en el aire desecante.

7. No se emplearon temperaturas extremas para secar, la mayor fue de 75 grados centígrados por un período de 30 minutos.
8. El horno para carbón coque puede utilizarse para secadores con movimiento.
9. El secamiento disperejo es característico de los equipos de secamiento de tipo estático, los demás defectos encontrados en el análisis físico y organoléptico provienen del campo y de otras etapas del proceso.
10. El caudal de aire desecante sin carga de café se reduce hasta en un 48.36% cuando la secadora es cargada con café.
11. El uso del horno para carbón tipo coque en esta prueba de secamiento de café no alteró la calidad que venía del campo.

RECOMENDACIONES

1. Instalar el horno para carbón coque con la succión de aire separado del área de los cuartos de secado para evitar la recirculación de vapores del secamiento o bien orientar la succión hacia el exterior para succionar aire con las condiciones del ambiente.
2. Alimentar el horno con carbón en menor cantidad en el menor tiempo, 5 libras a cada 15 minutos equivalente a 2 paladas de 2.5 libras a cada 15 minutos, dejando abierta la compuerta de alimentación con el espacio suficiente para que pase la pala con carbón, evitando abrir y cerrar compuertas para mantener constante el caudal y la temperatura del aire desecante durante el día y por la noche el mismo procedimiento únicamente aumentar la dosificación de carbón a 7.5 libras equivalente a 3 paladas de 2.5 libras.

4. INFORME SEGUNDA EVALUACIÓN DE SECAMIENTO DE CAFÉ UTILIZANDO COMO COMBUSTIBLE PARA EL HORNO CARBÓN TIPO COQUE, REALIZADA EN EL BENEFICIO DEL SEÑOR ARTURO CHUY, SANTA ROSA DE LIMA, SANTA ROSA 16 DE MARZO DE 2001

4.1 Metodología

- a) El segundo tratamiento, se inició con café con el 40% de humedad, con un presecado de 6 horas al sol.

- b) Se utilizó un secador estático de cuartos inclinados, de las mismas características del tratamiento uno.

- c) El ventilador del secador es talla 30 accionado con un motor eléctrico de 10 H. P. Y 990 revoluciones por minuto.

- d) Se adaptó el horno para carbón coque a dicho ventilador.

- e) Se cargaron 37.72 qq de café con el 40% de humedad en la pila número 1.

- f) La misma cantidad de café y con las mismas características fue cargada a la pila número 2.

- g) No se cargó la pila número 3.

- h) Para el encendido del horno se procedió tal como el tratamiento número 1. Iniciando con una carga de 40 libras de carbón mineral.
- i) Se inicia el secado de la pila número 1 a las 8:30 horas, con una humedad relativa de 51% y una temperatura ambiente de 24 grados centígrados.

4.2 Consumo de carbón

- a) Se inicia la combustión con 40 libras de carbón. Se aplica 2 horas de secado a la pila número 1, tiempo en el cual se agregaron 20 libras de carbón.
- b) Se alternó el aire desecante a cada una de las pilas, en períodos de dos horas hasta alcanzar una humedad del grano 25%, después de eso se secó en períodos de una hora.
- c) En promedio se aplicaron 7.5 libras de carbón de cada 30 minutos (equivalente a 3 paladas).
- d) Se observó que al momento de alimentar el horno, es necesario mantener las compuertas cerradas, para lograr un buen fraguado, hasta que el nuevo carbón combustione.
- e) Al final de la jornada quedaron 28 libras de carbón en la parrilla, que son reutilizables. Además quedaron 8 libras de residuos reutilizables dentro de la ceniza.
- f) La cantidad de ceniza resultante fue de 18 libras. Esto representa el 6.7% del consumo total de carbón.

- g) El consumo de carbón en 13.5 horas de funcionamiento continuo fue de 266 libras con un consumo promedio de 19.7 libras por hora.

4.3 Resultados obtenidos

4.3.1 Tiempo de secado por pila

Pila número 1

El secamiento del café inició a las 8:30 A.M. del 16 de marzo y finalizó a las 21:00 P.M. del 16 de marzo, completando 6 ½ horas de secado. Se tomó una muestra en oro y se determinó la humedad, estando en 10% de humedad.

Pila número 2

El secamiento del café se inició en esta pila a las 10:30 A.M. del 16 de marzo, y finalizó a las 22:30 P.M. del mismo día, completando 7 horas de secado ininterrumpido. Se determinó el porcentaje de humedad, estando en 12% (café oro).

4.3.2 Tiempo total de secado

El tiempo total de secado ininterrumpido de ambas pilas fue de 13 ½ horas.

4.3.3 Rendimiento del café pergamino seco.

Se cargaron en el equipo 75.44 qq de café con el 40% de humedad, repartido por la mitad en ambas pilas. Se obtuvo un total de 55 qq de café pergamino de punto. Esta da un rendimiento del 72.9%.

4.3.4 Comparación de costos del carbón coque versus combustible diesel

Para este caso se hará una comparación únicamente con el quemador diesel que utiliza boquilla de dos galones por hora, tal como se maneja en el beneficio del señor Arturo Chuy. Considerando que el tiempo de secado del grano es el mismo utilizando quemador diesel de esa capacidad.

Tabla VII. Carbón coque versus combustible diesel

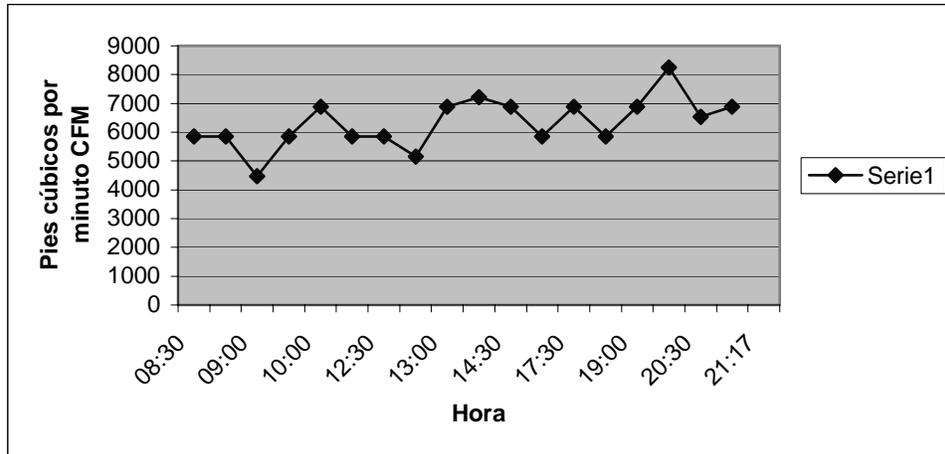
Combustible	Horas de secado	Consumo por hora	Unidades	Costo por unidad	Costo total en Q.	Qq café perg. secos	Costo qq perg. seco Q.
Diesel	13.5	2	Galones	12.10	326.70	55	5.94
Carbón coque	13.5	19.7	Libras	1.15	305.84	55	5.56

Nota:

Se puede analizar que la reducción de costos utilizando carbón coque es del 6.38%.

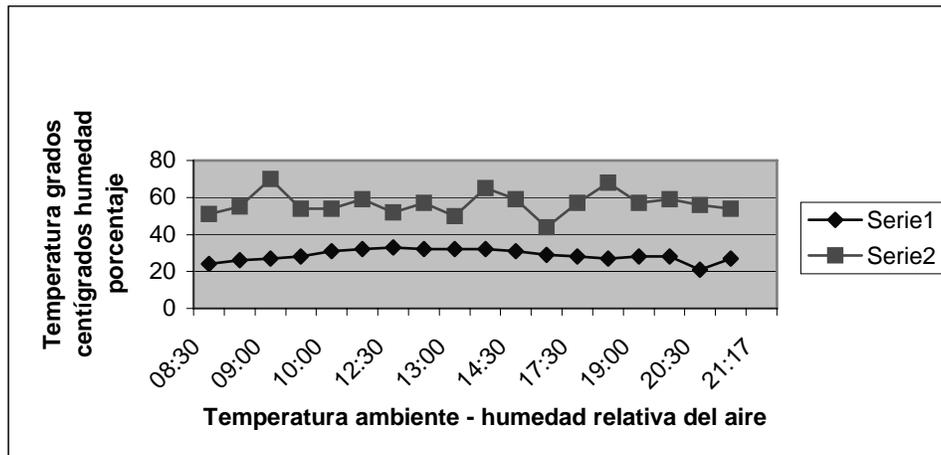
4.4 Análisis de resultados

Figura 5. Variación del caudal de aire desecante



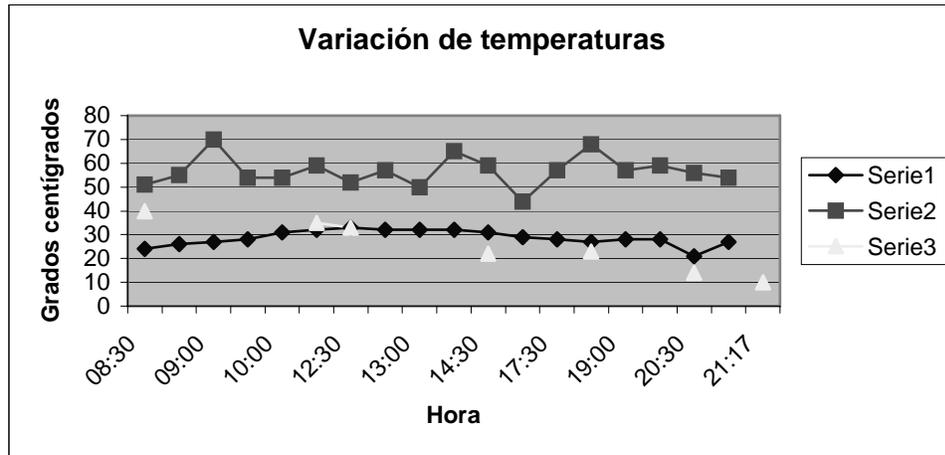
Se observa una variación del caudal de aire hasta las 21:00 P.M. debido a que al momento de alimentar el horno con carbón, se experimenta una baja de caudal, por el cierre de compuertas para lograr que el carbón nuevo combustione rápidamente. Los caudales más altos se registran cuando el carbón logra una combustión uniforme, aumentando al mismo tiempo la temperatura del aire desecante. Después de las 21:00 horas no se realizaron mediciones de caudal.

Figura 6. Comportamiento variables no controlables, temperatura ambiente y humedad relativa del aire



Prácticamente se puede observar que iniciando el secado en horas de la mañana, se tuvieron condiciones ideales de temperatura ambiente y humedad relativa, las cuales incidieron favorablemente en el tiempo de secado del grano. Otra condición favorable fue iniciar el secado con el 40% de humedad del grano, ya que no se experimentó presencia de exceso de vapores en la bodega de secado.

Figura 7. Variación de temperaturas



En la gráfica nos queda analizar el comportamiento de la temperatura de la masa de café, la cual fue tomada al centro de la masa de ambas pilas. La máxima fue de 50 grados centígrados, la mínima fue de 25 grados centígrados, con un rango de variación de 25 grados y una media de 39 grados. La temperatura más baja se registra cuando el café inicia el secado (café húmedo). La temperatura más baja se registra cuando el café inicia el secado (café húmedo). La temperatura más alta se registra cuando el café ha liberado alto porcentaje de humedad; esto permite al aire desecante penetrar con mayor facilidad entre grano y grano.

4.5 Control de calidad

La evaluación de la calidad física y organoléptica del grano, se realizó en el departamento de catación de Anacafé. De acuerdo al análisis de catación K228/00-01 se puede observar lo siguiente:

En verde

La apariencia regular, el secamiento disparejo, color poco pálido, son características del secado mecánico de tipo estático. El tamaño del grano es una característica que viene del campo (variedad), el olor vinagroso puede deberse a que el café en fruta llegó y se procesó sobremadura. Los defectos como granos vanos, verdes y lastimados, son origen de la plantación, mala recolección y problemas en el despulpado respectivamente. El grano se estabilizó en un 9.70% de humedad, el cual se considera bajo a pesar de que se dejó en un 10 y 13% de humedad, la pila 1 y 2 al terminar el proceso de secado.

Tueste

La calidad es buena y la apariencia es pareja, con algunos quakers. Los quakers son el resultado de una mala recolección (un porcentaje de café verde).

Taza

La taza vinosa puede provenir de un café sobremaduro. El tipo es un café de altura (strictly hard bean).

No se encontró en el dictamen olores ni sabores extraños que puedan provenir de una mala combustión. Los sabores y olores encontrados son de origen conocido, que puede corregirse en el campo, y en el proceso de beneficiado húmedo.

CONCLUSIONES

- 1) Es de gran ventaja iniciar el secado en horas de la mañana, para aprovechar la baja humedad relativa y la alta temperatura ambiental.
- 2) En fincas donde se pueda realizar un presecamiento al sol, traerá la ventaja de iniciar el secado con cero de humedad superficial en el grano.
- 3) Se logró mantener una mejor combustión en el horno, cuando se le añadió residuos de la ceniza, que es un carbón de aproximadamente 1/4 de pulgada de grosor.
- 4) Para lograr que el nuevo carbón que ingresa al horno, tenga una combustión pronta y eficiente, es necesario agregar preliminarmente, unas dos paladas de residuos de ceniza. Este método se conoce como el *Sándwich*.
- 5) La alimentación del horno cada media hora, para mantener una temperatura estable, puede ser un factor negativo que incida en el uso de este combustible.
- 6) Cada vez que se le alimente carbón nuevo, es necesario cerrar las compuertas, con el objetivo de que el oxígeno ingrese por la parrilla y enriquezca la combustión.

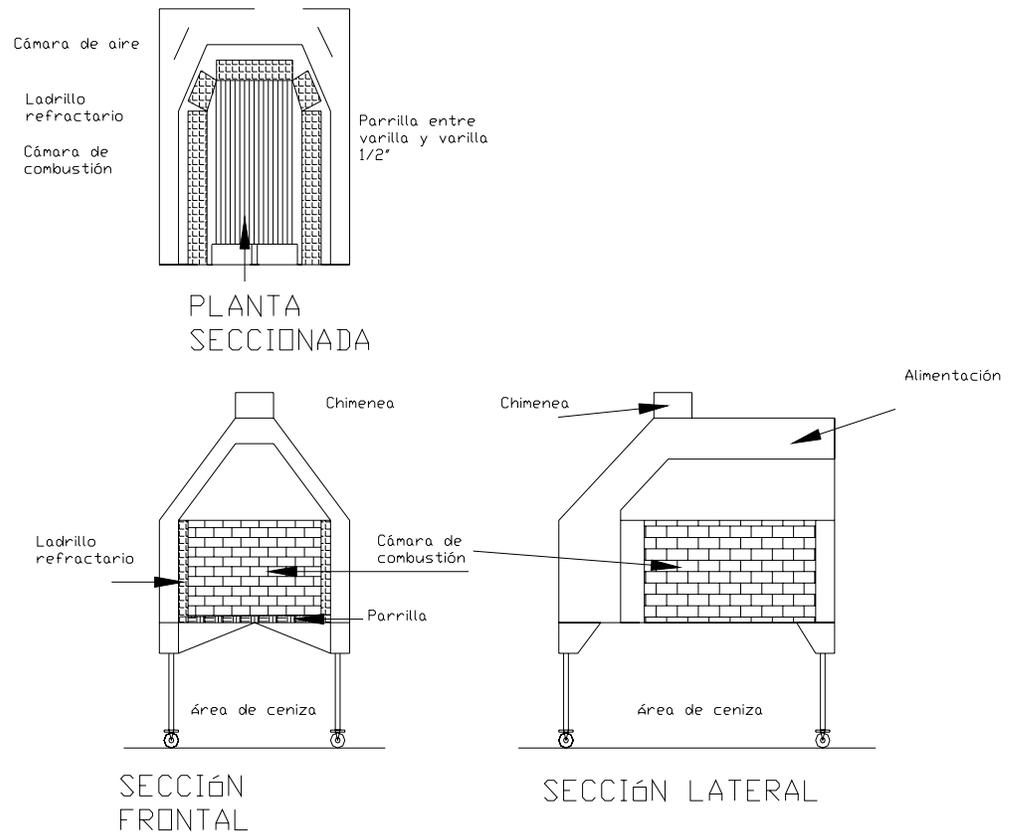
- 7) Se obtuvo un 6.38% de ahorro de los costos del carbón, comparado con combustible diesel, debido al corto tiempo que duró el secado (en ambas pilas).

- 8) Los costos del carbón no incluyen el transporte del combustible al beneficio.

RECOMENDACIONES

1. Es importante crear un mecanismo que permita alimentar en el tiempo que se requiera y en la cantidad exacta, carbón a la hoguera del horno. Esto facilitará al operario dicha operación.
2. Es necesario seguir realizando investigación de éste combustible, ya que aunque no se encontraron olores ni sabores extraños en el café (infusión); en el cuarto del secador, al momento de ingresar carbón nuevo al horno, se sienten gases de combustión. Esta cantidad de gases puede determinarse a través de aparatos especiales que pueden colocarse en el ducto de ventilación.

Figura 8. Especificaciones de horno para carbón tipo coque



Diseño de horno de fuego directo para combustión de carbón coque

Tabla VIII. Cuadro de evaluación de equipo de secamiento pila 1

Fecha: 22 de febrero de 2.001

Jurisdicción: Beneficio San Jorge, Nueva Santa Rosa, Santa Rosa

Tipo de secadora: Estática de Cuartos Inclinados Quintales Café Húmedo 61 Pila 1

No.	HORA	CAUDAL	TEMPERATURA			HUMEDAD masa café	HRA	HORAS Secado	HORAS Descanso	OBS
			Ambiente	AD	Café					
1	13:56		29		21	55	48	0	0:00	Inicio
2	14:14	3669	32	42	23	55	50	0	0:00	
3	14:31	4892	28	69	26	55	52	0	0:00	
4	14:53	4892	27	56	29	55	52	0	0:00	
5	15:53	4280	29	56	28	55	49	0	0:00	
6	16:53	4892	29	58	29	55	54	0	0:00	
7	17:53	4280	25	50	29	55	67	03:57	0:00	Final
8	0:00	4892	16	68	24	55	80	0	6:07	Inicio
9	01:00	3974	17	48	25	55	79	0	0:00	
10	02:00	5503	15	75	24	55		02:00	0:00	Final
11	03:00	6115	17	65	29	55	84	0	1:00	Inicio
12	04:00	2996	18	66	29	55		01:00	0:00	Final
13	05:00	5503	17	67	28	55		0	1:00	Inicio
14	06:00	4280	15	59	25	55		01:00	0:00	Final
15	08:00	4609	17	47	26	55	84	0	2:00	Inicio
16	09:00	3669	22	60	28	40	60	0	0:00	
17	10:00	6726	28	68		23	50	02:00	0:00	Final
18	11:00					36		0	0:00	
19	12:00	6115	32	58	47	40.6	38	0	2:00	Inicio
20	13:00	7338	33	61	45	37	36	0	0:00	
21	14:00	5500	34					01:00	0:00	Final
22	16:00	6115	32	58			48	0	2:00	Inicio
23	17:00	7338	27	70	56	32	61	0	0:00	
24	18:00	6115	25	65		24	77	02:00	0:00	Final
25	20:00	7338	24	65		24	74	0	2:00	Inicio
26	21:30	5500	23	65	47	12	74	01:30	0:00	Final
Sumatoria		126531	611	1396	618		1217	14:27	16:07	
Media		5272.1	24.44	60.7	31		60.85			

Leyenda :

- Caudal :* Esta dado en (CFM en Inglés) pies cúbicos por minuto.
Temperatura : Dadas en grados centígrados.
AD: Significa temperaturas de aire desecante.
Café: Significa temperatura promedio de la masa de café en pila.
Humedad masa de café: Está dada en porcentajes
Hra.: Significa humedad relativa del aire ambiente y esta dada en porcentajes.
Horas secado: Son las horas en que se aplicó el aire desecante a la pila.
Horas descanso: Son las horas cuando se le quita el aire desecante para su relajamiento, volteo, y homogenización.
OBS: Significa observaciones.
Inicio: Hora en que se empezó a aplicar el aire desecante.
Final: Hora en que se interrumpe la aplicación del aire desecante.

Tabla IX. Cuadro de evaluación de equipo de secamiento pila 2

Fecha: 22 de febrero de 2.001

Jurisdicción: Beneficio San Jorge, Nueva Santa Rosa, Santa Rosa

Tipo de secadora: Estática de Cuartos Inclinados Quintales Café Húmedo 41 Pila 2

No.	HORA	CAUDAL	TEMPERATURA			HUMEDAD Masa café	HRA	HORAS Secado	HORAS Descanso	OBS
			Ambiente	AD	Café					
1	18:15	4280	24	50	25	55	67	0	1:00	Falla
2	19:00	6726	23	68	27	55	70	0	0:00	Inicio
3	20:00	6726	22	57	29	55	77	0	0:00	
4	21:00	5198	20	50	39	55		02:00	0:00	Final
5	21:15							0	0:00	Falla
6	21:45		19				80	0	0:00	Falla
7	22:45							00:00	1:45	Inicio
8	23:30	4892	17	70	29	55	80	0	0:00	
9	00:00	4892	16	68	24	55	80	01:15	0:00	Final
10	02:00	5503	16	75	25	55		00:00	2:00	Inicio
11	03:00	6115	17	65	29	55	84	01:00	0:00	Final
12	04:00	2996	18	66	29	55		00:00	1:00	Inicio
13	05:00	5503	17	67	28	55		01:00	0:00	Final
14	06:00	4280	15	59	25	55		00:00	1:00	Inicio
15	07:00	3669	14	52	25	55	83	0	0:00	
16	08:00	4609	17	47	26		84	02:00	0:00	Final
17	10:00	6726	28	68	28	41	50	00:00	2:00	Inicio
18	11:00	8250	30	65	34	43	38	0	0:00	
19	12:00	6115	32	58	47	34	38	02:00	0:00	Final
20	14:00		32		38		36	0	2:00	Inicio
21	14:31	5500		57				00:00	0:00	
22	15:00	6615	33	60	46		46	0	0:00	
23	16:00	4892	33	58	53		48	02:00	0:00	Final
24	18:00	6115	25	65	47	37	77	00:00	2:00	Inicio
25	19:00	7338	24	70			74	0	0:00	
26	20:00	7338	24	65		35	74	02:00	0:00	Final
Sumatoria		123778	516	1310	653		1186	13:15	12:45	
Media		5626.27	22.43	59.545	29.68		65.89			

Leyenda :

<i>Caudal :</i>	Esta dado en (CFM en Inglés) pies cúbicos por minuto.
<i>Temperatura :</i>	Dadas en grados centígrados.
<i>AD:</i>	Significa temperaturas de aire desecante.
<i>Café:</i>	Significa temperatura promedio de la masa de café en pila.
<i>Humedad masa de café:</i>	Está dada en porcentajes
<i>Hra.:</i>	Significa humedad relativa del aire ambiente y esta dada en porcentajes.
<i>Horas secado:</i>	Son las horas en que se aplicó el aire desecante a la pila.
<i>Horas descanso:</i>	Son las horas cuando se le quita el aire desecante para su relajamiento, volteo, y homogenización.
<i>OBS:</i>	Significa observaciones.
<i>Inicio:</i>	Hora en que se empezó a aplicar el aire desecante.
<i>Final:</i>	Hora en que se interrumpe la aplicación del aire desecante.

Tabla X. Cuadro de evaluación de equipo de secamiento consolidado

Fecha: *22 de febrero de 2.001*

Jurisdicción: *Beneficio San Jorge, Nueva Santa Rosa, Santa Rosa*

Tipo de secadora: *Estática de Cuartos Inclinados*

No.	HORA	CAUDAL	TEMPERATURA			HUMEDAD Masa café	HRA
			Ambiente	AD	Café		
1	13:56		29		21	55	48
2	14:14	3669	32	42	23	55	50
3	14:31	4892	28	69	26	55	52
4	14:53	4892	27	56	29	55	52
5	15:53	4280	29	56	28	55	49
6	16:53	4892	29	58	29	55	54
7	17:53	4280	25	50	29	55	67
8	18:00	4280	24	50	25	55	67
9	19:00	6726	23	68	27	55	70
10	20:00	6726	22	57	29	55	77
11	21:00	5198	20	50	39	55	
12	21:15						
13	21:45		19				80
14	22:45						
15	23:30	4892	17	70	29	55	80
16	00:00	4892	16	68	24	55	80
17	01:00	3974	17	48	25	55	79
18	02:00	5503	15	75	24	55	
19	02:00	5503	16	75	25	55	
20	03:00	6115	17	65	29	55	84
21	03:00	6115	17	65	29	55	84
22	04:00	2996	18	66	29	55	
23	04:00	2996	18	66	29	55	
24	05:00	5503	17	67	28	55	
25	05:00	5503	17	67	28	55	
26	06:00	4280	15	59	25	55	
27	06:00	4280	15	59	25	55	
28	07:00	3669	14	52	25	55	83
29	08:00	4609	17	47	26		84
30	08:00	4609	17	47	26	55	84
31	09:00	3669	22	60	28	40	60
32	10:00	6726	28	68		23	50
33	10:00	6726	28	68	28	41	50
34	11:00	8250	30	65	34	43	38
35	12:00	6115	32	58	47	34	38
36	11:00					36	
37	12:00	6115	32	58	47	40.6	38
38	13:00	7338	33	61	45	37	36
39	14:00	5500	34				
40	14:00		32		38		36
41	14:31	5500		57			
42	15:00	6115	33	60	46		46
43	16:00	4892	33	58	53		48
44	16:00	6115	32	58			48
45	17:00	7338	27	70	56	32	61
46	18:00	6115	25	65		24	77
47	18:00	6115	25	65	47	37	77
		230309	1127	2756	1271		2403
		5562.42	23.9787	74.5	32.59		69.946

Tiempo total **31:34 horas**

Tiempo horno **28:49:00**

Tabla XI. Cuadro de evaluación de equipo de secamiento pila 1

Fecha: 16 de marzo de 2,001

Jurisdicción: Beneficio San Jorge, Nueva Santa Rosa, Santa Rosa

Tipo de secadora: Estática de Cuartos Inclinados Quintales café húmedo 37.72 Pila 1

No.	HORA	CAUDAL	TEMPERATURA			HUMEDAD Masa café	HRA	HORAS secado	HORAS descanso	OBS
			Ambiente	AD	Café					
1	08:30	5845	24	51	25	40		0	0:00	Inicio
2	08:48	5845	26	55	26			0	0:00	
3	09:00	4469	27	70	38			0	0:00	
4	09:30	5845	28	54	38		51	0	0:00	
5	10:00	6876	31	54	38			0	0:00	
6	10:30	5845	32	59		35	45	02:00	0:00	Cambio
7	12:30	5845	33	52		33	42		2:00	Inicio
8	12:51	5158	32	57	41			0		
9	13:00	6877	32	50			47	0	0:00	
10	13:45	7221	32	65	47		47		0:00	
11	14:30	6877	31	59	47	22	47	02:00		Cambio
12	16:30	5845	29	44	36		63		2:00	Inicio
13	17:30	6879	28	57	38		68	01:00		Final
14	18:30	5845	27	68	45	23			1:00	Inicio
15	19:00	6876	28	57	47		69	0		
16	19:30	8252	28	59			69	1:00		Cambio
17	20:30	6532	21	56	46	14	69		1:00	Inicio
18	21:00	6876	27	54	49		69	00:30	0:00	Cambio
19	21:17					10	69	0	1:00	
Sumatoria		113808	516	1021	561		755	6:30	7:00	
Media		6322.7	56.7	40.071			58.08			

Leyenda :

- Caudal :* Esta dado en (CFM en Inglés) pies cúbicos por minuto.
Temperatura : Dadas en grados centígrados.
AD: Significa temperaturas de aire desecante.
Café: Significa temperatura promedio de la masa de café en pila.
Humedad masa de café: Está dada en porcentajes
Hra.: Significa humedad relativa del aire ambiente y esta dada en porcentajes.
Horas secado: Son las horas en que se aplicó el aire desecante a la pila.
Horas descanso: Son las horas cuando se le quita el aire desecante para su relajamiento, volteo, y homogenización.
OBS: Significa observaciones.
Inicio: Hora en que se empezó a aplicar el aire desecante.
Final: Hora en que se interrumpe la aplicación del aire desecante.

Tabla XII. Cuadro de evaluación de equipo de secamiento pila 2

Fecha: 16 de marzo de 2,001

Jurisdicción: Beneficio San Jorge, Nueva Santa Rosa, Santa Rosa

Tipo de secadora: Estática de Cuartos Inclinados Quintales café húmedo 37.72 Pila 2

No.	HORA	CAUDAL	TEMPERATURA			HUMEDAD masa café	HRA	HORAS secado	HORAS descanso	OBS
			Ambiente	AD	Café					
1	10:30	5845	32	57	25	40	45	0	0:00	Inicio
2	11:00	6189	31	52	29		46	0		
3	11:30	6533	31	57	29			0	0:00	
4	12:00	6533	33	50	39				0:00	
5	12:30	5845	32	61	45			02:00	0:00	Cambio
6	14:30	6533	33	50		36	58	0	2:00	Inicio
7	15:00	6189	30	42				00:00		
8	15:12	6189	31	54	34		54	0	0:00	
9	15:38	5501	29	55			54		0:00	
10	16:00	6189	29	49	36			00:00		
11	16:30	5845	29	44	36	25	63	02:00	0:00	Final
12	17:30	6877	30	74				00:00	2:00	Inicio
13	18:30	5501	27	58	50			01:00	0:00	Final
14	19:30	7220	28	53		28	69	00:00	1:00	Inicio
15	20:30	7900	28	63	46		69	01:00	0:00	Final
16	21:00					13	69		1:00	Inicio
17	21:15	6876	28	56	44			00:00		
18	21:50	6876	26	49	39			0	0:00	
19	22:00					13		01:00		Final
20	22:30					12			0:30	
Sumatoria		108641	507	924	452		527	7:00	6:30	
Media		6390.6	29.82	54.4	37.7		58.56			

Leyenda :

- Caudal :* Esta dado en (CFM en Inglés) pies cúbicos por minuto.
Temperatura : Dadas en grados centígrados.
AD: Significa temperaturas de aire desecante.
Café: Significa temperatura promedio de la masa de café en pila.
Humedad masa de café: Está dada en porcentajes
Hra.: Significa humedad relativa del aire ambiente y esta dada en porcentajes.
Horas secado: Son las horas en que se aplicó el aire desecante a la pila.
Horas descanso: Son las horas cuando se le quita el aire desecante para su relajamiento, volteo, y homogenización.
OBS: Significa observaciones.
Inicio: Hora en que se empezó a aplicar el aire desecante.
Final: Hora en que se interrumpe la aplicación del aire desecante.

Tabla XIII. Cuadro de evaluación de equipo de secamiento consolidado

Fecha: 16 de marzo de 2,001

Jurisdicción: Beneficio San Jorge, Nueva Santa Rosa, Santa Rosa

Tipo de secadora: Estática de Cuartos Inclinados Quintales café húmedo

No.	HORA	CAUDAL	TEMPERATURA			HUMEDAD masa café	HRA	HORAS Secado	OBSER.	
			Ambiente	AD	Café					
1	08:30	5845	24	51	25	40		0	Inicio	
2	08:48	5845	26	55	26			0		
3	09:00	4469	27	70	38			0		Pila 1
4	09:30	5845	28	54	38		51	0		
5	10:00	6876	31	54	38			0		
6	10:30	5845	32	59		35	45	02:00	cambio	
7	10:30	5845	32	57	25	40	45	0	Inicio	
8	11:00	6189	31	52	29		46	0		
9	11:30	6533	31	57	29			0		Pila 2
10	12:00	6533	33	50	39					
11	12:30	5845	32	61	45			02:00	Cambio	
12	12:30	5845	33	52		33	42		Inicio	
13	12:51	5158	32	57	41			0		
14	13:00	6877	32	50			47	0		Pila 1
15	13:45	7221	32	65	47		47			
16	14:30	6877	31	59	47	22	47	02:00	cambio	
17	14:30	6533	33	50		36	58	0	Inicio	
18	15:00	6189	30	42				00:00		
19	15:12	6189	31	54	34		54	0		Pila 2
20	15:38	5501	29	55			54			
21	16:00	6189	29	49	36			00:00		
22	16:30	5845	29	44	36	25	63	02:00	Final	
23	16:30	5845	29	44	36		63		Inicio	
24	17:30	6879	28	57	38		68	01:00	Final	Pila 1
25	17:30	6877	30	74				00:00	Inicio	
26	18:30	5501	27	58	50			01:00	Final	Pila 2
27	18:30	5845	27	68	45	23			Inicio	
28	19:00	6876	28	57	47		69	0		Pila 1
29	19:30	8252	28	59			69	01:00	cambio	
30	19:30	7220	28	53		28	69	00:00	Inicio	
31	20:30	7900	28	63	46		69	01:00	Final	Pila 2
32	20:30	6532	21	56	46	14	69		Inicio	
33	21:00	6876	27	54	49		69	00:30	Cambio	Pila 1
34	21:00					13	69		inicio	
35	21:15	6876	28	56	44			00:00		
36	21:50	6876	26	49	39			0		Pila 2
37	22:00					13		01:00	Final	
Sumatoria		222449	1023	1945	1013		1213	13:30		
Media		6355.69	29.2286	55.5714	38.96154		57.76			

Tiempo total de secamiento

13:30

<h1>Anacafé</h1> <p>Asociación Nacional del Café</p> <p>Ejercicio: 2000/2001</p>	<h2>ANÁLISIS DE CATACIÓN</h2>	<p>K-227/00-01</p>
----------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------	---------------------------

FECHA:	Marzo 22, 2001	CLASE:	PERGAMINO
--------	----------------	--------	-----------

EMITIDO A:	Mauricio Lemus Departamento de Postcosecha Anacafé
------------	----------------------------------------------------------

VERDE:

APARIENCIA:	Regular	SECAMIENTO :	Disparejo
TAMAÑO:	Mediano	COLOR:	Poco Pálido

OLOR:	Vinagroso
DEFECTOS:	Con granos vanos, verdes y lastimados

COSECHA:	2000/2001	HUMEDAD	9.70%
----------	-----------	---------	-------

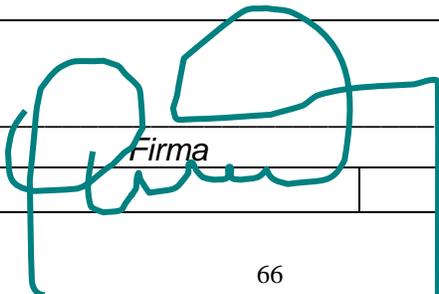
TUESTE:

CALIDAD:	Bueno	APARIENCIA:	Parejo, con algunos Quakers
----------	-------	-------------	-----------------------------

UNICAMENTE PARA CAFES SOLUBLES, TOSTADOS Y MOLIDOS

AROMA:	*****	TUESTE :	*****
MOLIDO:	*****	MEZCLA:	*****

TAZA:	Vinosa
TIPO:	STRICTL Y HARD BEAN
CATADOR:	Eduardo Ambrosio
OBSERVACIONES:	RENDIMIENTO PERGAMINO ORO: 1.24 Beneficio de Don Arturo Chuy Santa rosa de Lima 19/03/01

(f)	
Firma	

Anacafé Asociación Nacional del Café Ejercicio: 2000/2001	ANÁLISIS DE CATACIÓN	K-148/00-01

FECHA:	Marzo 20, 2001	CLASE:	PERGAMINO
--------	----------------	--------	-----------

EMITIDO A:	Carlos Muñoz Departamento de Postcosecha Investigación
------------	--------------------------------------------------------------

VERDE:

APARIENCIA:	Regular	SECAMIENTO :	Disparejo
TAMAÑO:	Mediano	COLOR:	Poco Pálido

OLOR:	Sobrefermento
DEFECTOS:	Con granos vanos, verdes y lastimados

COSECHA:	2000/2001	HUMEDAD	10.10%
----------	-----------	---------	--------

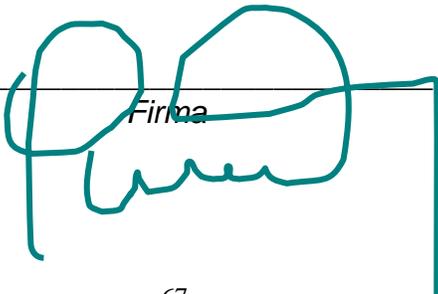
TUESTE:

CALIDAD:	Regular	APARIENCIA:	Disparejo, con algunos Quakers
----------	---------	-------------	--------------------------------

UNICAMENTE PARA CAFES SOLUBLES, TOSTADOS Y MOLIDOS

AROMA:	*****	TUESTE :	*****
MOLIDO:	*****	MEZCLA:	

TAZA:	Sobrefermentada
TIPO:	STRICTL Y HARD BEAN
CATADOR:	Eduardo Ambrocio
OBSERVACIONES:	RENDIMIENTO PERGAMINO ORO: 1.22

(f)  Firma

BIBLIOGRAFÍA

1. Wark, Kenneth Jr. **Termodinámica**. 5ta. Edición. Tr. José Luis Torres. México: Editorial McGraw –Hill. 1955.
2. Fernández, J.J. **Notification of coal-tar pitch by air blowing**. I. Variation of pitch composition and properties. *Carbón* 33, 295-307, 1995.
3. Menéndez López, Rosa. **Preparación de gránulos de carbono a partir de carbón y coque para su utilización en telefonía**. Financiado por FICYT. 1997-1999.