



*Universidad de San Carlos de Guatemala*  
*Facultad de Ingeniería*  
*Escuela de Ingeniería Mecánica*

***REDISEÑO DE HORNO MÚLTIPLE, PARA SECADO DE CAFÉ PARA SER  
ALIMENTADO CON GAS METANO EN EMPRESA TRANSBRISAS***

***Eduardo José Uribe Morán***

*Asesorado por el Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda*

*Guatemala, junio de 2013*



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**REDISEÑO DE HORNO MÚLTIPLE, PARA SECADO DE CAFÉ PARA SER  
ALIMENTADO CON GAS METANO EN EMPRESA TRANSBRISAS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**EDUARDO JOSÉ URIBE MORÁN**

ASESORADO POR EL ING. EDWIN ESTUARDO SARCEÑO ZEPEDA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO**

GUATEMALA, JUNIO DE 2013



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Julio César Campos Paiz
EXAMINADOR	Ing. Carlos Anibal Chicojay Coloma
EXAMINADOR	Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez



## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

### **REDISEÑO DE HORNO MÚLTIPLE, PARA SECADO DE CAFÉ PARA SER ALIMENTADO CON GAS METANO EN EMPRESA TRANSBRISAS**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 4 de mayo de 2012.



**Eduardo José Uribe Morán**





UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIDAD DE EPS

Guatemala, 29 de abril de 2013  
REF.EPS.DOC.509.04.13.

Inga. Sigrid Alitza Calderón de León De de León  
Directora Unidad de EPS  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimada Ingeniera Calderón de León De de León.

Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Eduardo José Uribe Morán** de la Carrera de Ingeniería Mecánica, con carné No. 200815563, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **“REDISEÑO DE HORNO MÚLTIPLE, PARA SECADO DE CAFÉ PARA SER ALIMENTADO CON GAS METANO EN EMPRESA TRANSBRISAS”**.

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”

Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda  
Asesor-Supervisor de EPS  
Área de Ingeniería Mecánica



c.c. Archivo  
EESZ/ra



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIDAD DE EPS

Guatemala, 29 de abril de 2013  
REF.EPS.D.317.04.13

Ing. Julio César Campos Paiz  
Director Escuela de Ingeniería Mecánica  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ingeniero Campos Paiz:

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"REDISEÑO DE HORNO MÚLTIPLE, PARA SECADO DE CAFÉ PARA SER ALIMENTADO CON GAS METANO EN EMPRESA TRANSBRISAS"** que fue desarrollado por el estudiante universitario **Eduardo José Uribe Morán** quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ingeniero Edwin Estuardo Sarceño Zepeda.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor - Supervisor de EPS, en mi calidad de Directora apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,  
"Id y Enseñad a Todos"

Inga. Sigrid Alitzac Calderón de León  
Directora Unidad de EPS



SACde LDdL/ra



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA**

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 la aprobación de la Directora del Ejercicio Profesional Supervisado, E.P.S., al Trabajo de Graduación, REDISEÑO DE HORNO MÚLTIPLE, PARA SECADO DE CAFÉ PARA SER ALIMENTADO CON GAS METANO EN EMPRESA TRANSBRISAS del estudiante **Eduardo José Uribe Morán**, procede a la autorización del mismo.

**ID Y ENSEÑAD A TODOS**

Ing. Julio César Campos Paiz  
**DIRECTOR**



Guatemala, mayo de 2013.

JCCP/behdei

**ESCUELAS:** Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, Escuela de Ciencias, Regional de Ingeniería Sanitaria, Recursos Hidráulicos (ERIS), Posgrado Maestría en Sistemas Mención Construcción y Mención Ingeniería Vial. **Carreras:** Ingeniería Electrónica, Ingeniería en Ciencias y Sistemas, Licenciatura en Matemática, Licenciatura en Física. **Centros:** de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM), Guatemala, Ciudad Universitaria, Zona 12, Guatemala, Centroamérica



Universidad de San Carlos  
De Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG.397.2013

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al trabajo de graduación titulado: **REDISEÑO DE HORNO MÚLTIPLE, PARA SECADO DE CAFÉ PARA SER ALIMENTADO CON GAS METANO EN EMPRESA TRANSBRISAS**, presentado por el estudiante universitario: **Eduardo José Uribe Morán**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
Decano



Guatemala, junio de 2013

/cc





## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
GLOSARIO .....	VII
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
INTRODUCCIÓN .....	XV
1. GENERALIDADES.....	1
1.1. Transbrisas S.A. ....	1
1.1.1. Descripción general.....	1
1.2. Proceso del café .....	2
1.2.1. Extracción de semilla.....	2
1.2.2. Recepción en el beneficiadero .....	3
1.2.3. Despulpado .....	3
1.2.4. Fermentación .....	4
1.2.5. Lavado.....	4
1.2.6. Secado .....	4
2. FASE DE INVESTIGACIÓN .....	7
2.1. Producción más Limpia.....	7
2.1.1. Introducción.....	7
2.1.2. Definición.....	7
2.1.3. Método de implementación .....	8
2.1.3.1. Planeamiento y organización .....	8
2.1.3.2. Evaluación en la planta .....	9
2.1.3.3. Estudio de factibilidad .....	9

2.3.4.	<i>Implementación</i> .....	10
2.1.4.	<i>Situación actual en el manejo de recursos dentro</i>	
	<i>Transbrisas</i> .....	10
2.1.4.1.	<i>Recursos para llevar a cabo los</i>	
	<i>procesos</i> .....	10
2.1.4.2.	<i>Desechos obtenidos</i> .....	13
2.1.4.3.	<i>Propuesta</i> .....	16
2.2.	<i>Energía alternativa dentro de la finca</i> .....	19
2.2.1.	<i>Introducción</i> .....	20
2.2.2.	<i>Biogás</i> .....	20
2.2.3.	<i>Metano</i> .....	20
2.2.3.1.	<i>Propiedades físicas</i> .....	21
2.2.3.2.	<i>Impacto ambiental</i> .....	22
2.2.3.3.	<i>Riesgos para la salud</i> .....	23
2.2.3.4.	<i>Metano ideal para producir en la</i>	
	<i>finca</i> .....	24
2.3.	<i>Hornos de secado de café</i> .....	24
2.3.1.	<i>Tipos de hornos</i> .....	25
2.3.2.	<i>Horno utilizado en el beneficio de la finca</i>	
	<i>Transbrisas</i> .....	25
2.4.	<i>Quemadores</i> .....	40
2.4.1.	<i>Clasificación de los quemadores</i> .....	40
3.	<i>FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL</i> .....	43
3.1.	<i>Modificación al horno múltiple</i> .....	43
3.1.1.	<i>Equipos</i> .....	43
3.1.1.1.	<i>Cálculo del flujo volumétrico que se</i>	
	<i>requiere de metano</i> .....	43
3.1.1.2.	<i>Cálculo de la boquilla del quemador</i> .....	47

3.1.1.3.	<i>Cálculo del flujo de aire</i> .....	53
3.1.1.4.	<i>Quemador</i> .....	56
3.1.1.5.	<i>Sistema de control</i> .....	58
3.1.2.	<i>Instalación del quemador</i> .....	61
3.1.3.	<i>Instalación del refractario</i> .....	67
3.1.3.1.	<i>Instrucciones para el curado del refractario</i> .....	67
3.2.	<i>Mantenimiento</i> .....	68
3.2.1.	<i>Inspección de rutina al quemador</i> .....	69
3.3.	<i>Medidas de seguridad</i> .....	70
3.3.1.	<i>Peligros de incendio</i> .....	70
3.3.2.	<i>Fugas y emergencias</i> .....	71
3.3.3.	<i>Manipulación y almacenamiento</i> .....	71
3.3.4.	<i>Primeros auxilios</i> .....	72
	<i>CONCLUSIONES</i> .....	75
	<i>RECOMENDACIONES</i> .....	77
	<i>BIBLIOGRAFÍA</i> .....	79
	<i>ANEXOS</i> .....	81



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	<i>Concentrado para las gallinas</i> .....	13
2.	<i>Pulpa de café</i> .....	14
3.	<i>Gallinaza</i> .....	15
4.	<i>Horno múltiple con inyección de oxígeno</i> .....	27
5.	<i>Cámara de generación activa</i> .....	29
6.	<i>Horno de beneficio Las Brisas</i> .....	30
7.	<i>Múltiple de admisión de oxígeno</i> .....	32
8.	<i>Intercambiador de calor completo</i> .....	33
9.	<i>Salidas de aire del horno</i> .....	34
10.	<i>Distribución de aire caliente</i> .....	35
11.	<i>Montaje de las secadoras</i> .....	37
12.	<i>Interior de la secadora</i> .....	38
13.	<i>Ingreso de café a las secadoras</i> .....	39
14.	<i>Coeficientes de descarga de los inyectores</i> .....	49
15.	<i>Sistema de control</i> .....	59
16.	<i>Compuertas del horno</i> .....	61
17.	<i>Diseño del horno</i> .....	62
18.	<i>Intercambiador de calor</i> .....	63
19.	<i>Vista de frente del intercambiador de calor</i> .....	63
20.	<i>Vista frontal del intercambiador de calor</i> .....	64
21.	<i>Distancia de la compuerta a la cámara de generación</i> .....	64
22.	<i>Diseño con quemador incluido</i> .....	66
23.	<i>Material refractario</i> .....	67

## TABLAS

I.	<i>Datos de leña utilizada .....</i>	11
II.	<i>Datos de cascabillo utilizado .....</i>	12
III.	<i>Datos de desechos de pulpa .....</i>	14
IV.	<i>Datos gallinaza .....</i>	15
V.	<i>Capacidad de producción de metano .....</i>	17
VI.	<i>Comparación de energía utilizada y desperdiciada .....</i>	19
VII.	<i>Propiedades del metano.....</i>	21
VIII.	<i>Flujo de combustible que debe de ser entregado al quemador .....</i>	47
IX.	<i>Diámetros de cada tipo de boquillas (mm) .....</i>	52
X.	<i>Relación aire combustible.....</i>	53
XI.	<i>Flujos de aire requeridos .....</i>	55
XII.	<i>Potencia requerida en el quemador.....</i>	57
XIII.	<i>Especificaciones requeridas para el quemador .....</i>	58
XIV.	<i>Diámetros de tuberías para metano .....</i>	59

## **GLOSARIO**

<b>ACGIH</b>	<i>American Conference of Governmental Industrial Hygienists. Conferencia estadounidense de higienistas industriales gubernamentales.</i>
<b>Antropogénicas</b>	<i>De origen humano o derivado de la actividad del hombre.</i>
<b>Biodegradación</b>	<i>La biodegradación es la disolución química de los materiales por bacterias u otros medios biológicos.</i>
<b>BTU</b>	<i>British Thermal Unit</i>
<b>Cercóspora</b>	<i>Es una infección en las hojas que se inicia a través de las estomas formando lesiones circulares con borde ladrillo obscuro, centro claro y en algunos casos está presente un halo clorótico. La mancha de cercóspora prevalece particularmente en el vivero y en los cafetales sin sombra.</i>
<b>DEP</b>	<i>Departamento de Protección al Medio Ambiente.</i>
<b>DOT</b>	<i>Departamento de Transporte. La agencia federal que regula el transporte de sustancias químicas.</i>

- Estratosfera** *Es la capa de la atmósfera terrestre situada encima de la troposfera y por debajo de la mesosfera. Empieza a una altitud entre los 12,9 y 19,3 km y que se extiende 50 km hacia arriba.*
- Koleroga** *Esta enfermedad se caracteriza por la presencia de hojas secas suspendidas en las ramas por un hilo compuesto por hifas del hongo. El patógeno puede permanecer en los tallos y cuando se activan las condiciones óptimas para su desarrollo invade las hojas ocasionándoles la muerte*
- Mal rosado** *El mal rosado se caracteriza por la presencia de una costra en los tallos de los cafetos. Esta costra la constituye el micelio del hongo la cual inicialmente es de color cremoso y eventualmente se torna color rosado-salmón.*
- Mesocarpio** *(mucílago, baba) - capa de consistencia gelatinosa, dulce y de color cremoso que queda adherida al café despulpado.*
- Metanogénicas** *Las bacterias metanogénicas son un grupo especializado de bacterias anaerobias obligadas que descompone la materia orgánica y forma metano.*



<b>NFPA</b>	<i>Asociación Nacional para la Protección Contra Incendios. Clasifica las substancias según su riesgo de incendio y explosión.</i>
<b>OSHA</b>	<i>Administración de Salud y Seguridad en el Trabajo. La agencia federal que promulga las normas de salud y seguridad y vigila el cumplimiento de dichas normas.</i>
<b>RCP</b>	<i>Reanimación cardiopulmonar.</i>
<b>SFOE</b>	<i>Oficina Federal de Energía de Suiza (Swiss Federal Office of Energy).</i>
<b>Tanda</b>	<i>Son 36 horas de funcionamiento del horno múltiple para secar el café y dejarlo como café pergamino.</i>
<b>Tarea</b>	<i>Medida utilizada en la finca para comprar madera (1 tarea = 22qq = 2200 lb).</i>
<b>UNEP</b>	<i>Programa de Medio Ambiente de las Naciones Unidas (United Nations Environment Programme).</i>



## **RESUMEN**

*El horno de secado de café es un equipo utilizado para generar aire caliente y transmitirlo a las secadoras para bajarles la humedad a los granos de café y sacarlos como café pergamino, al ser múltiples significa que el aire caliente será distribuido hacía varias secadoras.*

*El horno múltiple del beneficio de la empresa Transbrisas aprovecha el poder calorífico de la madera y el cascabillo para calentar el hogar del horno y que este caliente el aire que está alrededor del hogar y así poder generar aire caliente de una manera indirecta, sin que el fuego este en contacto directo con el aire caliente generado. Este aire caliente es distribuido hacía cuatro secadoras.*

*En la empresa Transbrisas se producen dos tipos de desechos orgánicos los cuales que son: la pulpa de café y gallinaza, que seran utilizadas para la producción de metano por medio de un biodigestor.*

*El rediseño que se le debe de hacer al horno es para que este pueda utilizar el poder calorífico del metano que será producido por el biodigestor y analizar si es suficiente la capacidad de producción para poder cumplir con la demanda de energía calorífica que se requiere en el horno múltiple.*

*Al finalizar los análisis de demanda de energía del horno múltiple resulta que la capacidad de producción de metano que se tiene cumple con más del doble de la demanda de energía requerida por lo que se dejaría de usar en su totalidad el cascabillo y la madera que contribuía a la deforestación del país.*



## **OBJETIVOS**

### **General**

*Promover el desarrollo sostenible en las fincas de Guatemala.*

### **Específicos**

1. *Realizar una propuesta de modificación al horno múltiple de secado de café para usar metano como combustible.*
2. *Proveer a la junta directiva de la empresa la información sobre como volver a la finca más sostenible.*



## **INTRODUCCIÓN**

*El café puede ser secado de varias maneras una de las maneras más conocidas es por los patios de secado de café, en estos patios el café se seca aproximadamente en unos 4 días. Otra manera de secar el café es por medio de secadoras donde el secado tarda 36 horas, a estas secadoras el calor es proporcionado por hornos múltiples.*

*En el beneficio de la empresa Transbrisas el horno múltiple utiliza la madera y el cascabillo de café como combustible, lo cual contribuye a la deforestación porque tienen que estar comprando madera.*

*La finca Transbrisas cuenta con desechos orgánicos que son la pulpa de café y la gallinaza, con este tipo de desechos se puede llegar a producir biogás. El biogás está compuesto de metano en su mayor parte, el cual es un gas que contiene un alto poder calorífico y puede ser usado como combustible.*

*Los hornos múltiples para el secado del café se pueden modificar para que funcionen con metano y así poder promover una Producción más Limpia en el proceso del café.*





# **1. GENERALIDADES**

## **1.1. Transbrisas S.A.**

*Empresa familiar con fines de lucro dedicada a la producción y exportación del café pergamino, también trabaja con pequeños productores de la región comprándoles el café. La organización tiene convenios con casas exportadoras para que sean los encargados de distribuirlo a los diferentes países.*

### **1.1.1. Descripción general**

*La finca principal donde inicialmente se desarrolló la empresa está ubicada en la aldea El Teocinte, municipio Santa Cruz Naranjo, de Santa Rosa. Al inicio se llamaba Las Brisas y se dedicaba al cultivo de caña para la producción de panela en las partes bajas de su topografía y en las partes altas se dedicaba al cultivo de café, pero este último, fue creciendo hasta llegar a cubrir toda el área.*

*Al principio de los 70's, solo se contaba con dos beneficios en el municipio y ninguno en la aldea y estos ya no lograban cumplir con la demanda, ante la necesidad de procesar el café, se decidió poner su propio beneficiado.*

*Dando inicio con una maquinaria tipo Wittl con capacidad de 44qq/hora accionada por un motor diésel. El beneficio se surtía con café propio y con el de pequeños productores de la región. El beneficio contaba con 1000 metros cuadrados de patio para el secado del cultivo.*

*Hoy en día la empresa cuenta con dos beneficios propios, con una capacidad de procesar café maduro de 500qq/hora y con 7000 metros cuadrados de patio para secado.*

*La producción de huevos se empezó a desarrollar desde hace 4 años con una galera de 12 X 10 metros con gallinas a piso. Actualmente se desarrolló una nueva galera de 110 X 12 metros con gallinas de equipo con una capacidad de 50mil gallinas.*

## **1.2. Proceso del café**

*Este cuenta con seis diferentes etapas, las cuales influyen en la calidad del grano de café, por lo cual se deben de seguir para lograr una calidad adecuada.*

### **1.2.1. Extracción de semilla**

*Esta es la primera etapa del proceso y es sumamente importante que se corten solo los granos que están completamente maduros, ya que al cortar y mezclarlos con los granos verdes o los que traen algún defecto afecta a la calidad final del producto.*

*Para la recolección debemos tomar en cuenta las condiciones climatológicas que se tienen en la finca, por ejemplo: la época muy lluviosa hará que la maduración se retrase y provoque la caída del fruto.*

*La preparación de café de exportación conlleva a clasificar el grano durante todo el proceso de beneficiado. En la fase de corte se separan los siguientes frutos:*

- *Verdes que tendrán que ser madurados y beneficiados por aparte*
- *Enfermos por antracnosis, cercóspora, mal rosado, koleroga, etc*
- *Afectados por plagas y frutos que caen por efecto de la lluvia o el viento*

### **1.2.2. Recepción en el beneficiadero**

*La cantidad de café que se va a recibir depende de los volúmenes que genera el corte conforme avanza la maduración. La capacidad de procesamiento del beneficio, debe de estar de acuerdo con los picos de cosecha que se generan.*

*Se recibe y se procesa el mismo día que se ha recolectado, antes de recibirlo se pesa, para saber cuánto café va a ser procesado.*

### **1.2.3. Despulpado**

*Es la fase mecánica del proceso en la que el fruto es transportado a los despulpadores, a través de helicoidales o bien en canales con una corriente de agua, y es sometido a la eliminación de la pulpa (epicarpio). Esta operación se efectúa en aparatos que aprovechan la cualidad lubricante del mucílago del café, para que por presión se suelten los granos.*

*El despulpado debe realizarse durante las primeras 4 o 5 horas de recibido, si se tarda más tiempo, se corre el riesgo de que se inicie la fermentación dentro del fruto, afectando con ella la calidad del café. También se tiene que tener cuidado durante la operación de despulpado de no dañar el pergamino o aún más el propio grano, porque todo esto influirá en la calidad del producto final.*

#### **1.2.4. Fermentación**

*La etapa que sigue al despulpado es la remoción del mucílago. Por tratarse de un material gelatinoso insoluble en el agua(hidrogel), es necesario solubilizarlo, para convertirlo en un material de fácil remoción en el lavado (hidrosol). Para esto es necesario degradarlo mediante la fermentación natural (bioquímica), en tanques o pilas de madera, concreto, ladrillo, plástico, fibra de vidrio, etc.*

*La fermentación va de períodos que van de 6 a 48 horas, dependiendo de la temperatura ambiente, capacidad de drenaje de los tanques, altura de la masa de café, calidad del agua utilizada en el despulpado, estado de madurez del fruto, microorganismos presentes, etc.*

#### **1.2.5. Lavado**

*Es la operación de quitar los restos de mucílago, que quedan adheridos al pergamino, por medio de la inmersión y paso de una corriente de agua. El agua para el lavado debe ser limpia, sin cloro ni tierra, para evitar contaminantes.*

#### **1.2.6. Secado**

*El proceso de beneficiado húmedo termina con el secado del café; o sea, bajar la humedad del café pergamino recién lavado (55 por ciento) hasta el 10 a 12 por ciento, que es cuando está disponible para su almacenamiento y comercialización.*

*El café orgánico de preferencia debe secarse al sol, en patios. Sin embargo, en situaciones que se dificulta el secado en forma natural (mucha*

*lluvia o volúmenes de producción), también es permitido el secamiento mecánico con el uso de secadoras accionadas por combustibles. Deberá tenerse cuidado de mantener la temperatura de secamiento entre 55 y 60 grados centígrados máximo.*

*Para los casos de secado al sol se recomienda:*

- *Depositar el café recién lavado en capas no mayores de cinco centímetros.*
- *Disponer de un metro cuadrado de patio por cada 70 libras de café recién lavado.*
- *Evitar el amontonamiento del café recién lavado en el patio, ya que provoca sobrefermentación, perjudicando el aspecto físico del grano.*
- *Construir los patios de concreto con una pendiente longitudinal máxima del dos por ciento.*
- *Remover el café en el patio de 3 a 4 veces diariamente para uniformizar el secado.*
- *Construir casillas para resguardar el grano por la noche y en caso de lluvias.*

*En situaciones en que el secado deba hacerse a través de secadoras mecánicas, mantener las instalaciones en buenas condiciones, para evitar contaminaciones del producto por causa de derrame de combustible o por olores transferidos al grano.*



## **2. FASE DE INVESTIGACIÓN**

### **2.1. Producción más Limpia**

*Se basa tanto en principio de prevención como en principios de control, para así poder aprovechar al máximo los recursos y reducir al mínimo los contaminantes.*

#### **2.1.1. Introducción**

*Durante los últimos años cada vez se ha puesto más atención a los problemas ambientales, debido a que los recursos del planeta ya no son suficientes para toda la población. A causa de esto se han implementado sistemas de control, donde se intenta reducir al final la contaminación producida, pero estos métodos han ido evolucionando hasta lo que hoy en día se conoce como Producción más Limpia.*

#### **2.1.2. Definición**

*Según la UNEP lo define como la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva e integrada, en los procesos productivos, los productos y los servicios, para reducir los riesgos relevantes a los humanos y al medio ambiente.*

*En caso de los procesos productivos se orienta hacia la conservación de materias primas y energía, la eliminación de materias tóxicas, y la reducción de la cantidad y toxicidad de todas las emisiones contaminantes y desechos. En el*

*caso de los productos se orienta hacia la reducción de impactos negativos que acompañan el ciclo de vida del producto, desde la extracción de materias primas hasta su disposición final. En caso de los servicios se orienta hacia la incorporación de la dimensión ambiental, tanto en el diseño como en la prestación de los mismos.*

### **2.1.3. Método de implementación**

*Para poder diseñar e implementar un programa de Producción más Limpia es necesario una metodología que consta de cuatro etapas: planeamiento y organización, evaluación de planta, estudio de factibilidad e implementación del programa.*

#### **2.1.3.1. Planeamiento y organización**

*En esta fase se busca que la empresa se comprometa con el programa para poder lograr una implementación exitosa. También se da a conocer al personal sobre el programa que se llevará a cabo y se establecen los grupos de trabajo y sus responsabilidades.*

*Las actividades a desarrollar en esta fase son:*

- *Compromiso de gerencia y todo el personal de la empresa*
- *Organizar el equipo de producción más limpia*
- *Definir las metas a las que se quiere llegar*
- *Identificar obstáculos y soluciones*
- *Capacitación a mandos y operarios*



### **2.1.3.2. Evaluación en la planta**

*En la evaluación de la planta se reconoció cada etapa del proceso productivo donde se identificaron las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas (FODA). De este análisis se sacaron las posibles mejoras. También se determinó la situación actual de proceso donde se miró cómo se maneja el agua, energía y materias primas así como su efecto ambiental.*

*Las actividades que se realizaron en esta etapa fueron:*

- *Recolección de datos generales de la empresa y del proceso de producción (volúmenes de materiales, residuos y emisiones en el flujo).*
- *Definición del diagrama de flujo en el proceso: entradas y salidas*
- *Obtención de los registros y mediciones de materias primas, consumos de agua y energía.*
- *Organización del equipo evaluador*
- *Generar las opciones*

### **2.1.3.3. Estudio de factibilidad**

*En esta fase se elaboraron los análisis, tecnológicos y ambientales de las opciones de mejora y se identificaron cuáles son factibles.*

*Las actividades que se realizaron en esta etapa fueron:*

- *Una evaluación técnica y ambiental: considerando como estos elementos afectan a la producción, la calidad y el ambiente.*
- *Definición de las recomendaciones*
- *Seleccionar las medidas a tomar*

#### **2.1.3.4. Implementación**

*Esta es la fase de ejecución donde se concretan las recomendaciones mediante la asignación de recursos económicos, tecnológicos y humanos, para la implementación se requiere lo siguiente:*

- *Establecer la fuente y el monto de los fondos destinados al proyecto*
- *Ejecutar las medidas recomendadas: asignación de recursos y a los responsables para llevar a cabo estas medidas.*
- *Monitorear y evaluar las medidas implementadas, mediante el uso de indicadores que midan el desempeño y reportes de seguimiento.*

#### **2.1.4. Situación actual en el manejo de recursos dentro Transbrisas**

*Para llevar a cabo el proceso del café se requiere de varios recursos los cuales pueden ser reutilizables y otros que no, también durante todo el proceso se van obteniendo desechos que podrían resultar ser útiles para otros fines dentro de la finca.*

##### **2.1.4.1. Recursos para llevar a cabo los procesos**

*El recurso primordial dentro del beneficio del café es el agua, debido a que es un beneficio húmedo y se utiliza el agua para transportar el café a cada etapa del proceso. Cierta porcentage de esta agua es reutilizada para transportar al café que no llegó a los requerimientos y que regresa al proceso.*

*Para que las máquinas utilizadas dentro del beneficio funcionen necesitan electricidad, la cual es aportada por unas plantas eléctricas que utilizan combustible diésel.*

*En el proceso final está el secado del grano, acá se utilizan dos métodos uno que es completamente renovable que sería el calor solar, que se lleva a cabo en los patios de secado. El otro recurso que se utiliza que no es renovable es la madera y el cascabillo donde se aprovecha el poder calorífico de estos dos recursos como combustible para el horno múltiple.*

*El horno se prende de noviembre a marzo con tandas de 36 horas y 15 tandas por mes. Se utilizan  $\frac{3}{4}$  de tarea diarias lo que hace  $\frac{9}{8}$  de tarea por tanda, lo que representa 1.125 tareas por cada tanda, una tarea pesa 22 quintales que son 2200 libras, esto quiere decir que por cada tanda se usan 2475 libras de madera o 1125 kilogramos de madera. Al sacar el consumo mensual de madera se obtiene que por las 15 tandas de secado se requieren 16 875 kilogramos de madera. Esto significa que para un año de producción de café pergamino donde se utiliza el horno múltiple durante 5 meses se necesita un total de 84 375 kilogramos de madera.*

**Tabla I. Datos de leña utilizada**

<b>Leña (tarea/tanda)</b>	<b>Leña (lb/tanda)</b>	<b>Leña (kg/tanda)</b>	<b>Leña (kg/mes)</b>	<b>Leña (kg/anual)</b>
<b>1.125</b>	2475	1125	16875	84375

*Fuente: elaboración propia.*

*El cascabillo se usa para avivar la llama y soltar su poder calorífico para calentar el horno, se usan un total de 27 sacos diarios esto quiere decir que son*

40.5 sacos de cascabillo por tanda y cada saco pesa aproximadamente 75 libras, lo que representa un total de 3 037.50 libras de cascabillo por cada tanda o 1 380.68 kilogramos de cascabillo por cada tanda finalizada. Al final del mes después de cumplir con las 15 tandas mensuales se recopiló que se consume un total de 20 710.23 kilogramos de cascabillo. Esto quiere decir que el consumo que se tendrá para mantener funcionando el horno del mes de noviembre al mes de marzo y cumplir con la demanda de secado del cultivo anual, será de 103 551.14 kilogramos de cascabillo.

**Tabla II. Datos de cascabillo utilizado**

Cascabillo (saco/tanda)	Cascabillo (lb/tanda)	Cascabillo (kg/tanda)	Cascabillo (kg/mes)	Cascabillo (kg/anual)
40.50	3037.50	1380.68	20710.23	103551.14

Fuente: elaboración propia.

Antes del proceso del café, también está el cultivo del mismo, el cual requiere grandes cantidades de fertilizante y abono y representa un cincuenta por ciento de los gastos que tiene la empresa Transbrisas.

Para la producción de huevos los recursos que se utilizan son la electricidad la cual proviene de un alumbrado eléctrico y 48 quintales diarios de concentrado.

**Figura 1. Concentrado para las gallinas**



*Fuente: galera de aves en finca Las Brisas.*

#### **2.1.4.2. Desechos obtenidos**

*Durante todo el proceso del café solo se obtiene un desecho sólido que es la pulpa de café (figura 2), la pulpa de café representa el 40 % del grano maduro y hay 700 manzanas cultivadas de dónde sacan 50000 quintales de café maduro, lo que produce un total de 20000 quintales de pulpa, esto quiere decir que son 2 000 000 libras de pulpa o 909090.91 kilogramos de pulpa por cultivo anual de café.*

*La producción de huevos el desecho que dejan es la gallinaza, las gallinas están divididas en dos equipos Sucami, con un total de 21000 gallinas a las*

cuales se les dan 48 quintales de concentrado diario, las gallinas defecan el 60 % del concentrado diario, lo que representa un total de 28.8 quintales diarios de gallinaza, esto significa 2 880 libras de gallinaza o bien 1 309.91 kilogramos de gallinaza al día. Y anualmente se tendría un desecho de 477 818.18 kilogramos de gallinaza.

**Figura 2. Pulpa de café**



Fuente: finca Las Brisas.

**Tabla III. Datos de desechos de pulpa**

Café cultivado anual (mzn)	Café maduro anual (qq)	Pulpa anual (qq)	Pulpa anual (lb)	Pulpa anual (kg)
<b>700</b>	50000	20000	2000000	909090.9091

Fuente: elaboración propia.

oda la gallinaza se junta en un depósito de 12 metros por 14 metros y un metro de profundidad (figura 3), estos dos desechos se les rocía con una bacteria para que no se reproduzcan las moscas seguido a eso se dejan secar y después se mezclan y se utilizan como abono para el cultivo del café.

**Figura 3. Gallinaza**



Fuente: finca Las Brisas.

**Tabla IV. Datos gallinaza**

Aves	Concentrado (qq/día)	Gallinaza (qq/día)	Gallinaza (lb/día)	Gallinaza (kg/día)	Gallinaza anual (kg)
<b>21000</b>	48	28.8	2880	1309.090909	477818.1818

Fuente: elaboración propia.

### **2.1.4.3. Propuesta**

*La propuesta que se tiene para poder utilizar al máximo los recursos desperdiciados dentro de la finca, es la de la producción de metano mediante los desechos orgánicos de la finca. Los desechos orgánicos de la finca son la pulpa del café y la gallinaza.*

*El poder calorífico del metano será utilizado como combustible para los hornos de secado de café. A los hornos múltiples de secado de café se les tiene que hacer unas modificaciones para que puedan ser accionados con metano.*

*En un estudio que hizo la SFOE en el 2003 se demostró que la pulpa de café es apropiada para digestión anaeróbica teniendo una capacidad de producción de 0.38 metros cúbicos de biogás por kg de pulpa. Sabiendo que anualmente se obtienen 909 090.91 kilogramos de pulpa, esta representaría 345 454.55 metros cúbicos de biogás, pero el biogás solo tiene un 60% de metano, esto nos daría un total de 207 272.73 metros cúbicos de metano anual producido por la pulpa.*

*Con la gallinaza se hizo un estudio en 1997 en Georgia, Estados Unidos, llamado TACIS en el cual se determinó que el potencial de producción de biogás es de 0.07 metros cúbicos por kilogramo de gallinaza. En la finca se obtiene un desecho diario de 1 309.09 kilogramos de gallinaza y en un año un total de 477 818.18 kilogramos de gallinaza, entonces representaría un producción de 91.64 metros cúbicos de biogás diario y un total de 33 447.27 metros cúbicos de biogás anual, pero ya que el biogás solo contiene un 60 por ciento de metano en su volumen, se tendría en la finca una producción de 54.98 metros cúbicos de metano diario que sería un total de 20 068.36 metros cúbicos de metano anual producido por la gallinaza.*



La finca Transbrisas cuenta con pulpa de café y gallinaza, desechos que le representarían una producción de metano de 227 341.09 metros cúbicos anualmente.

Tabla V. **Capacidad de producción de metano**

	kg/día	kg/anual	Capacidad de producción de Biogás (m <sup>3</sup> /kg)	m <sup>3</sup> Biogás/día	m <sup>3</sup> Biogás/anual	m <sup>3</sup> metano/día	m <sup>3</sup> metano/anual
<b>Pulpa</b>		909090.91	0.38		345454.55		207272.73
<b>Gallinaza</b>	1309.09	477818.18	0.07	91.64	33447.27	54.98	20068.36
<b>Capacidad de producción de metano</b>							<b>227341.09</b>

Fuente: elaboración propia.

Para poder ver si la capacidad de producción de metano de los desechos de la finca logra cumplir con la demanda de energía del horno, se necesita el poder calorífico de la madera y el cascabillo y así encontrar la demanda de energía del horno, y con el poder calorífico del metano ver si lograr cumplir con dicha demanda. Hay que tomar en cuenta el poder calorífico inferior porque es el calor realmente aprovechable, ya que no se toma en cuenta la parte correspondiente al calor latente del vapor de agua generado en la combustión, ya que no se produce cambio de fase, y se expulsa como vapor.

La madera total utilizada en un año es de 84 375 kilogramos y tiene un poder calorífico inferior de 20.09 megajoules por cada kilogramo de madera con un leve porcentaje de humedad, lo que representa una energía anual por parte de la madera de 1 695 093.75 megajoules.

*El cascabillo en total que se utiliza anualmente es de 103 551.14 kilogramos y este tiene un poder calorífico inferior de 17.50 megajoules por cada kilogramo de cascabillo, lo que significaría un total de energía utilizada de 1 812 144.89 megajoules anuales al quemar el cascabillo.*

*Al analizar los desechos y sus capacidades de producción de metano se encontró que la producción de metano por parte de la pulpa es de 207 272.73 metros cúbicos por año, y el poder calorífico inferior del metano es de 35.80 megajoules por cada metro cubico o bien 50.01 megajoules por cada kilogramo de metano, se tendría que la pulpa en total representaría una energía de 7 420 363.64 megajoules anualmente.*

*La producción de gallinaza es un poco menor porque ésta solo produciría un total anual de 20 068.36 metros cúbicos de metano y con el poder calorífico inferior del metano que es de 35.80 megajoules por metro cubico o bien 50.01 megajoules por cada kilogramo de metano, se tendría que la energía total representada por la gallinaza seria de 718 447.42 megajoules anualmente.*

*Al sumar las energías que están siendo utilizada actualmente, que son la de la madera y la energía del cascabillo da que en total la energía que se necesita para poder accionar el horno durante los 5 meses de funcionamiento es de 3 507 238.64 megajoules. La energía que se está desperdiciando actualmente porque no se aprovechan los desechos que son la pulpa y la gallinaza que representan una gran producción de metano es de 8 138 811.05 megajoules anualmente.*

$$\% \text{ energía desperdiciada} = \frac{8138811.05}{3507238.64} * 100$$

$$\% \text{ energía desperdiciada} = 232.06$$

Al comparar la energía utilizada en el horno con la energía que se puede sacar de los desechos se puede observar que la energía de los desechos representa un 232.06 % de la demanda actual de energía.

Tabla VI. **Comparación de energía utilizada y desperdiciada**

	<b>Madera</b>	<b>Cascabillo</b>	<b>Total de energía utilizada</b>
<b>kg/añual</b>	84375.00	103551.14	
<b>Poder Calorífico (MJ/kg)</b>	20.09	17.50	
<b>Poder calorífico (MJ/m<sup>3</sup>)</b>			
<b>Energía (MJ/añual)</b>	1695093.75	1812144.89	3507238.64
	<b>Pulpa</b>	<b>Gallinaza</b>	<b>Total de energía desperdiciada</b>
<b>m<sup>3</sup> metano/añual</b>	207272.73	20068.36	
<b>Poder calorífico (MJ/kg)</b>	50.01	50.01	
<b>Poder calorífico (MJ/m<sup>3</sup>)</b>	35.80	35.80	
<b>Energía (MJ/añual)</b>	7420363.64	718447.42	8138811.05
<b>Porcentaje de demanda de energía cumplida (%)</b>			232.06

Fuente: elaboración propia.

## 2.2. **Energía alternativa dentro de la finca**

Actualmente en la finca Transbrisas se utiliza madera y cascabillo como recurso calorífico para los hornos múltiples de secado de café, lo cual constituye a la deforestación y contaminación ambiental.

### **2.2.1. Introducción**

*Se ha hecho una propuesta de la utilización de desechos orgánicos que produce la finca para la producción de biogás.*

### **2.2.2. Biogás**

*Es un combustible que se genera en medios naturales o en dispositivos específicos, por las reacciones de biodegradación de la materia orgánica, mediante la acción de microorganismos (bacterias metanogénicas, etc.) y otros factores, en ausencia de oxígeno (ambiente anaeróbico). La producción de biogás por descomposición anaeróbica es un modo considerado útil para tratar residuos biodegradables, ya que produce un combustible de valor además de generar un efluente que puede aplicarse como acondicionador de suelo o abono genérico.*

*El biogás a la mezcla constituida por metano ( $\text{CH}_4$ ) en una proporción que oscila entre un 50% a un 70% y dióxido de carbono conteniendo pequeñas proporciones de otros gases como el hidrógeno, nitrógeno y sulfuro de hidrógeno.*

### **2.2.3. Metano**

*Es el hidrocarburo saturado de cadena más corta que existe. Su fórmula es  $\text{CH}_4$ , en la que cada uno de los átomos de hidrógeno está unido a un átomo de carbono a través de un enlace covalente.*

*Es una sustancia incolora y no polar, que se presenta en forma de gas a temperaturas y presiones ordinarias, y se caracteriza por su baja solubilidad en fase líquida y elevada persistencia en la atmósfera.*

### 2.2.3.1. Propiedades físicas

En la siguiente tabla se podrá ver de qué manera se comporta el metano dependiendo en la fase que se encuentre.

Tabla VII. Propiedades del metano

Propiedades		
	Peso Molecular	16.043 g/mol
<b>Fase solida</b>		
	Punto de fusión	-182.5 °C
	Calor latente de fusión (1.013 bar, en el punto triple)	58.68 kJ/kg
<b>Fase líquida</b>		
	Densidad del líquido (1.013 bar en el punto de ebullición)	422.62 kg/m <sup>3</sup>
	Equivalente líquido/gas (1.013 bar y 15 °C (59 °F))	630 vol/vol
	Punto de ebullición (1.013 bar)	-161.6 °C
	Calor latente de vaporización (1.013 bar en el punto de ebullición)	510 kJ/kg
<b>Punto Crítico</b>		
	Temperatura critica	-82.7 °C
	Presión critica	45.96 bar
<b>Fase Gaseosa</b>		
	Densidad del gas (1.013 bar en el punto de ebullición)	1.819 kg/m <sup>3</sup>
	Densidad del gas (1.013 bar y 15 °C (59 °F))	0.68 kg/m <sup>3</sup>
	Factor de compresibilidad (Z) (1.013 bar y 15 °C (59 °F))	0.998
	Gravedad especifica (aire=1) (1.013 bar y 21 °C (70 °F))	0.6
	Volumen especifico (1.013 bar y 21 °C (70 °F))	1.48 m <sup>3</sup> /kg
	Capacidad calorífica a presión constante (Cp) (1 bar y 25 °C (77 °F))	0.035 kJ/(mol.K)
	Capacidad calorífica a volumen constante (Cv) (1 bar y 25 °C (77 °F))	0.027 kJ/(mol.K)

Continuación de la tabla VII.

	Razón de calores específicos (Gama: Cp/Cv) (1bar y 25 °C (77 °F))	<b>1.305454</b>
	<b>Viscosidad (1.013 bar y 0 °C (32 °F))</b>	0.0001027 Poise
	<b>Conductividad térmica (1.013 bar y 0 °C (32 °F))</b>	32.81 mW/(m.K)
	<b>Poder calorífico Superior (MJ/kg)</b>	55.5
	<b>Poder calorífico Superior (MJ/m<sup>3</sup>)</b>	39.72
	<b>Poder calorífico Inferior (MJ/kg)</b>	50.01
	<b>Poder calorífico Inferior (MJ/m<sup>3</sup>)</b>	35.8
<b>Misceláneos</b>		
	<b>Solubilidad en agua (1.013 bar y 2 °C (35.6 °F))</b>	0.054 vol/vol
	<b>Temperatura de autoignición</b>	595 °C

Fuente: <http://encyclopedia.airliquide.com>. Consulta: 20 de noviembre de 2012.

### **2.2.3.2. Impacto ambiental**

*El biogás está compuesto de metano (CH<sub>4</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y una pequeña proporción de sulfuro de hidrogeno (H<sub>2</sub>S), en aumento en la atmosfera de estos gases provoca un calentamiento en la superficie terrestre y la destrucción de la capa de ozono en la estratosfera. Dentro de la gama de gases a los que se les atribuye el efecto invernadero, se considera el CO<sub>2</sub> el más abundante y actualmente tiene un mayor aporte al incremento del calentamiento global.*

*Hoy en día las concentraciones de metano son inferiores a las de CO<sub>2</sub>, sin embargo el metano, se está incrementando rápidamente y además posee un efecto 21-30 veces más contaminante con respecto al CO<sub>2</sub> considerándose que en el tiempo el metano pueda ser predominante.*

*La tasa de acumulación de metano en la atmosfera ha cambiado drásticamente en los últimos años presentando un incremento de forma exponencial. Cerca de 500 millones de toneladas métricas/año de metano ingresan a la atmosfera, debido actividades antropogénicas y fenómenos naturales. A esta tasa se espera que el metano cause cerca del 15-17% del calentamiento global.*

### **2.2.3.3. Riesgos para la salud**

*El metano no es una sustancia toxica, pero si puede llegar a afectar la salud si dependiendo de la duración de la exposición y la concentración. Los siguientes efectos agudos (a corto plazo) sobre la salud pueden ocurrir inmediatamente o poco tiempo después de la exposición al metano:*

- *A niveles muy altos puede causar asfixia por falta de oxígeno*
- *El contacto de la piel con el metano líquido puede causar congelación*

*Los siguientes efectos crónicos (a largo plazo) sobre la salud pueden ocurrir algún tiempo después de la exposición al metano:*

- *Riesgo de cáncer*
- *Riego para la reproducción*

*Estos efectos crónicos no han sido sometidos a pruebas para determinar si realmente han sido causadas por la exposición al metano.*

#### **2.2.3.4. Metano ideal para producir en la finca**

*El biogás producido por los biodigestores está constituido mayormente por metano ( $\text{CH}_4$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y sulfuro de hidrogeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ). El único gas que se requiere para la combustión, es el metano por lo que los otros dos se consideran como impurezas en el combustible.*

*El gas más importante en eliminar es el sulfuro de hidrogeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ) debido a que este cuando se produce la combustión con oxígeno se descompone en agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ) y dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), el ultimo siendo un gas tóxico que contaminaría al grano de café que se quiere secar y dañaría el horno debido a que puede corroer los materiales como el hierro, aparte que también sería dañino para el personal de trabajo y para el medio ambiente, ya que es el causante de la lluvia acida. Para poder eliminarlo, el método más utilizado es hacer pasar el gas por un filtro que contiene hidróxido de hierro ( $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ), el dióxido de azufre se combina con el hierro formando sulfuro de hierro y agua.*

*El dióxido de carbono no tiene poder calorífico, no representa peligro y su eliminación solo representaría un gasto innecesario salvo en los casos donde el biogás se va a almacenar a altas presiones, debido a que sería un gasto de energía de compresión y volumen de almacenaje.*

### **2.3. Hornos de secado de café**

*Tienen la función de generar calor, para desecar el aire hasta un porcentaje de humedad del 8 al 10 porciento, ya que el aire del ambiente circundante tendrá valores de humedad relativa mayores al 50 porciento. Un generador de calor contiene una cámara de combustión donde se quema el combustible y se libera la energía calorífica usada para calentar el aire de*



*manera indirecta o directa según el tipo de horno, donde después este aire caliente es mandado a las secadoras.*

### **2.3.1. Tipos de hornos**

*Los hornos son generalmente clasificados como de fuego indirecto o fuego directo. Los de fuego indirecto 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 el aire ambiente y la mezcla entra en contacto con el café.*

*Tipos de hornos que existen:*

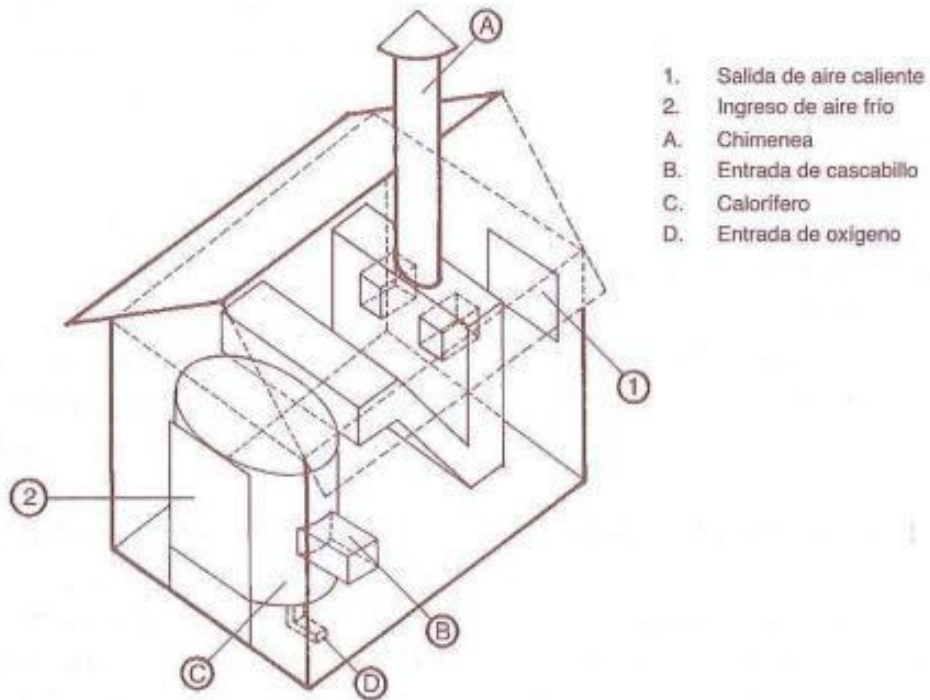
- *Fuego indirecto*
  - *Tipo campana*
  - *De tubos concéntricos*
  - *De doble paso*
  - *Horno múltiple*
  - *Horno mejorado con inyección de oxígeno*
  
- *Fuego directo*
  - *Sistema con quemador diésel*

### **2.3.2. Horno utilizado en el beneficio de la finca Transbrisas**

*El horno que se utiliza en la finca es un horno múltiple con inyección de oxígeno (figura 4), en la figura se puede observar los componentes principales que debe de llevar el horno múltiple que son:*

- *Salida de aire caliente, esta debe de ser controlada a la entrada de la secadora ya que si el aire llega muy caliente puede arruinar la calidad de café y si va muy frío no se completara el secado lo cual arruina igualmente la calidad.*
- *Ingreso de aire frío o el radiador, este debe de ser un lugar ventilado para que haya una buena recirculación del aire y no exista un estancamiento del aire caliente en el horno lo que puede sobrecalentar los materiales.*
- *Chimenea, es por donde salen todos los humos de combustión debe de tener el tiro adecuando para hacer una contrapresión y que haya una combustión exitosa y que todos los gases sean evacuados de la cámara generadora activa.*
- *Entrada del cascabillo, que debe de estar a una altura específica para que conforme el cascabillo vaya cayendo se quemé y se logre aprovechar todo su potencial calorífico.*
- *Calorífero o cámara de generación activa, acá es donde se suelta todo el potencial calorífico de los combustibles por lo que debe de estar revestida de materia refractario para poder aguantar las altas temperaturas.*
- *Entrada de oxígeno, esta fue una modificación que se le dio al horno múltiple ya que antes no contaba con esta entrada y sirve para poder mantener en la cámara generadora la cantidad apropiada de oxígeno, para que se pueda llevar a cabo una buena combustión.*

Figura 4. **Horno múltiple con inyección de oxígeno**



Fuente: [www.anacafe.org](http://www.anacafe.org). Consulta: 25 de noviembre de 2012.

El horno múltiple del beneficio Las Brisas tiene las dimensiones de 6 metros largo por 3 metros de ancho y una altura de 2.73 metros, esta hecho de doble lámina de aluminio que esta separa por 5 centímetros y adentro tiene paraleles de 5 por 5 centímetros cada metro de distancia, en una de las caras frontales tiene una compuerta de 1.80 metros de altura por 0.62 metros de ancho, para el acceso al personal de limpieza también en la misma cara tiene dos compuertas una para ingresar los troncos de madera y la otra compuerta para la extracción de ceniza. Al par de las compuertas también hay dos entradas tubulares, en la entrada superior es por donde se alimenta a la cámara generadora con el cascabillo y la entrada inferior que está debajo de la compuerta de extracción de cenizas es por la cual se lleva a cabo la inyección

*de oxígeno. En esta misma cara se encuentra el orificio donde va instalado el ventilador con su debido motor, para la extracción de humos por la chimenea y también se encuentra instalada la tobera de recepción de cascabillo y su bomba para ingresar el cascabillo a la cámara generadora y debajo de esta se encuentra el ventilador que tiene como función inyectar el aire a la cámara también.*

*En la cara lateral derecha está lo que es el radiador que está constituido por tres paredes de tubos, y en la cara lateral izquierda están las salidas de aire caliente que lo llevan directamente a las secadoras, el horno es capaz de distribuir aire caliente a cuatro secadoras al mismo tiempo.*

*Cuenta con una cámara de generación activa (figura 5), que consiste en un cilindro de acero y esta revestida en su interior con ladrillo refractario de alta resistencia (puede resistir temperaturas superiores a los 1200 grados centígrados). Esta cámara de combustión tiene capacidad de generación de 1 200 000 hasta 2 000 000 BTU por hora, esta cámara de generación tiene 1.66 metros de diámetro exterior y 1.35 metros de diámetro interior y el cilindro de acero que se utilizó es aproximado de casi un centímetro de espesor, lo que quiere decir que el material refractario es de 30 centímetros de espesor para poder soportar las altas temperaturas que se dan en la cámara generadora.*

*Al cilindro generador se le unen las dos compuertas, una para la alimentación con trozos de leña y otra para la extracción de la ceniza y limpieza en general. Además, también las dos entradas tubulares, una a una altura apropiada para la inyección de cascabillo de café y otra en la parte de abajo, para la inyección de oxígeno que ayuda a mejorar su combustión y eficiencia térmica.*

*Figura 5. Cámara de generación activa*



*Fuente: horno de Beneficio Las Brisas.*

Figura 6. **Horno de beneficio Las Brisas**



1. Radiador
2. Chimenea
3. Tobera de cascabillo
4. Ventilador de la chimenea
5. Ventilador de inyeccion de oxigeno
6. Compuerta para la alimentacion con leña
7. Compuerta para la extraccion de la ceniza

*Descripción de los componentes por los que está compuesto el horno múltiple del beneficio Las Brisas:*

1. *Radiador tiene dimensiones de 1.28 metros de largo por 1.49 metros de alto y 0.24 metros de ancho y que está compuesto por tubos de 6 centímetros de diámetro que tienen a todo lo largo en espiral una varilla de acero de medio centímetro de diámetro para un mejor intercambio de calor a la hora que el aire frío de afuera haga contacto con los tubos que adentro les está pasando el aire caliente, contiene 45 de estos tubos que están distribuidos en tres filas de 15 cada una y cada tubo está a un centímetro de separación de los demás tubos. Al radiador le entra aire caliente en la parte de arriba a un contenedor de 1.28 metros de largo por 0.40 metros de alto y 24 centímetros de ancho y después el aire caliente va bajando por los tubos hasta llegar a un contenedor con las mismas medidas que el de arriba y ya es succionado el aire a la chimenea.*

### *Continuación de la figura 6.*

- 2. La chimenea que se encuentra a la par del radiador, ésta tiene las dimensiones de 31 por 31 centímetros y 6 metros de altura para poder salir del techo de la galera donde se encuentra el horno, la chimenea es de tiro forzado para poder lograr hacer circular todo el aire que se encuentra en el intercambiador y sacarlo, este ventilador se encuentra hasta debajo de la chimenea.*
- 3. Tobera del cascabillo, tiene como función retener el cascabillo mientras se va administrando de una forma automatizada cada minuto la bomba del cascabillo un aproximado de 1.2 a 1.5 libras de cascabillo, la tobera tiene capacidad para dos sacos de cascabillo que son en total 150 libras de cascabillo que duran aproximadamente de una hora y media a dos horas.*
- 4. Ventilador de la chimenea, este está ubicado hasta debajo de la chimenea y es accionado por un motor eléctrico de 1 Hp de potencia que está conectado al eje del ventilador por una faja de una pulgada de grosor, este ventilador se encuentra en un espacio de 70 centímetros de largo por 66 centímetros de alto.*
- 5. Ventilador de inyección de oxígeno, se encuentra debajo de la tobera de cascabillo ya que el mismo motor que mueve la bomba de cascabillo también mueve el ventilador de inyección, por lo que al mismo tiempo que se suministra el cascabillo por el tubo superior también se suministra aire por el tubo inferior, el tubo le suministra aire a un múltiple de admisión, que distribuye el aire de una forma equilibrada a la cámara de combustión activa. El motor que mueve el ventilador de inyección de oxígeno y a la bomba que administra cascabillo es de 1 Hp y distribuye la potencia por medio de una faja de una pulgada ala bomba y una faja de media pulgada al ventilador.*
- 6. Compuerta para la alimentación de la leña, se encuentra a 55 centímetros del suelo y tiene dimensiones de 70 centímetros de alto y 67.5 centímetros de ancho y cuenta con un pasador, para asegurar después de ser introducida la leña. La compuerta es de un cuarto de pulgada de espesor y es de acero.*

Continuación de la figura 6.

7. Compuerta de extracción de ceniza, se encuentra a 2 centímetros del suelo y tiene 49 centímetros de alto por 48 centímetros de ancho y es de  $\frac{1}{4}$  de espesor, también cuenta con su pasador para asegurarla después de realizar la limpieza.

Fuente: finca Las Brisas.

Figura 7. **Múltiple de admisión de oxígeno**



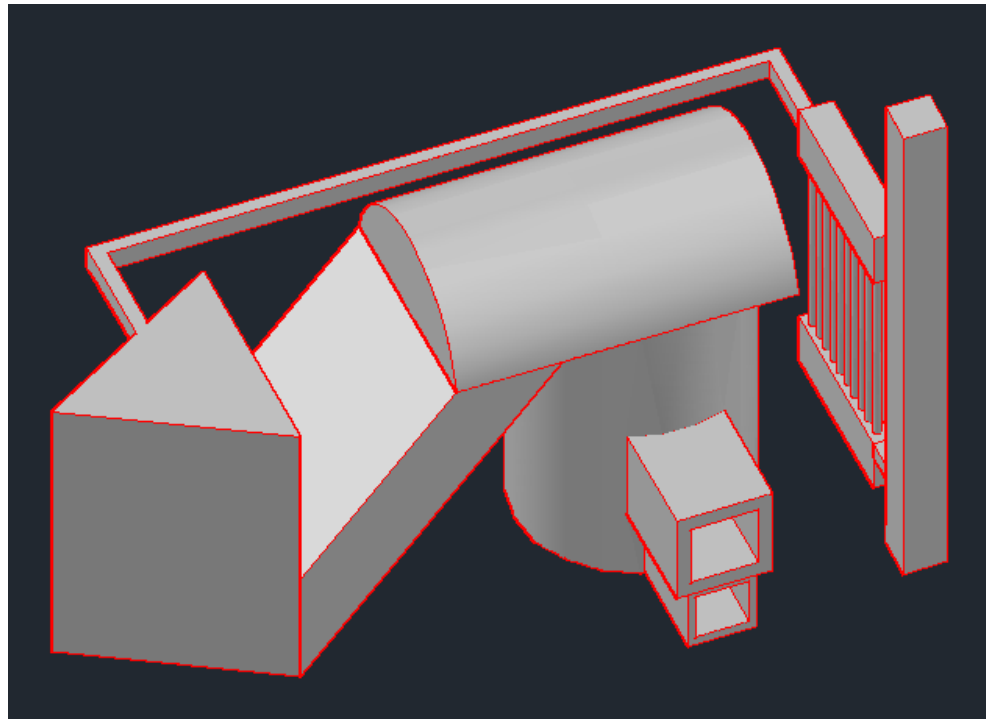
Fuente: taller de finca Las Brisas.

El múltiple de admisión es de un diámetro de 1.66 metros y cuenta con 9 salidas de aire para poder distribuir el aire equilibradamente, cada salida es de 3 centímetros de diámetro, este se encuentra ubicado hasta debajo de la



cámara de combustión activa y permite que sea un poco más eficiente la combustión adentro de la cámara.

**Figura 8. Intercambiador de calor completo**



*Fuente: elaboración propia, con programa de AUTOCAD.*

*El segundo componente estructural del horno es la cámara de combustión lenta, que es un medio cilindro horizontal con dimensiones de 2.41 metros de largo y un radio de 66 centímetros, ubicado encima de la cámara generadora. Su función es dar un tiempo adicional a la cámara de combustión para quemar en su totalidad las partículas y gases generados por la cámara de combustión rápida. Después de la cámara de combustión lenta, siguen dos componentes más donde ya solo sirven para calentar todo el intercambiador de calor y hasta*

el final hay un ducto que conecta el último componente al contenedor que tiene en la parte de arriba el radiador.

Este horno tiene una gran superficie de intercambio de calor, los gases son extraídos después de pasar por todo el intercambiador y por el radiador, siendo expulsados al exterior a través de la chimenea por medio de un ventilador.

El aire caliente transferido por convección, se conduce por medio de ventilación forzada, el horno cuenta con dos salidas de aire y cada salida de aire alimenta a dos secadoras tipo guardiola de 100 qq de café cada una.

**Figura 9. Salidas de aire del horno**

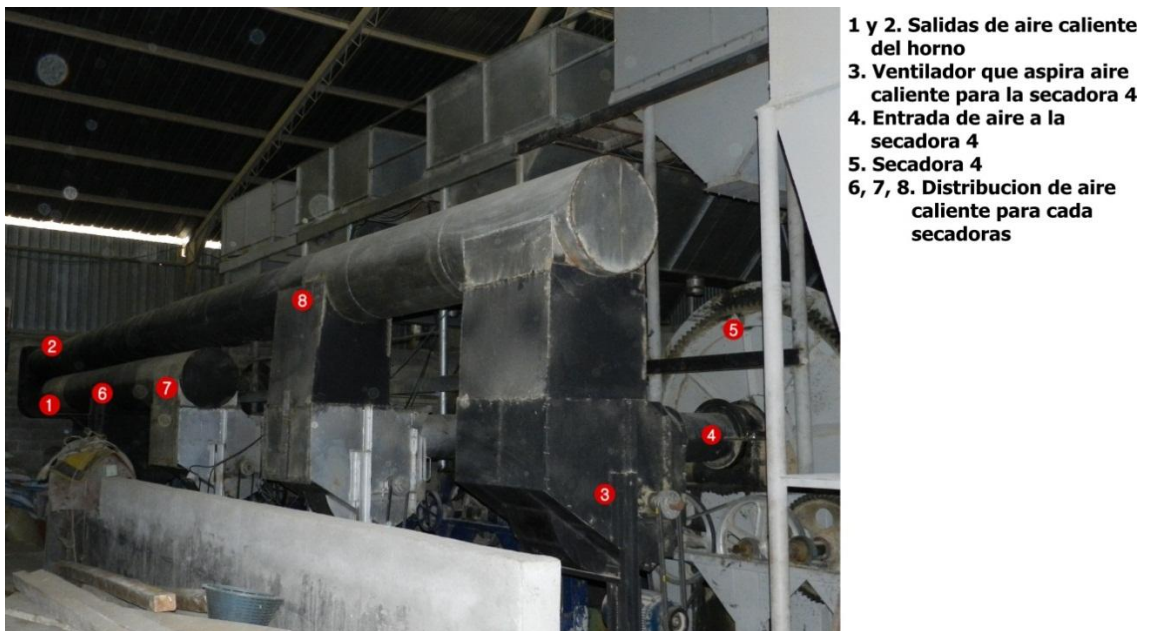


Fuente: finca Las Brisas.

La salida de aire caliente número uno tiene unas dimensiones de 62 por 62 centímetros y alimenta a las secadoras más alejadas del horno que son la secadora 3 y la secadora 4.

La salida de aire caliente número dos tiene una forma circular de 62 centímetros de diámetro y esta alimenta a las secadoras que están más cercanas al horno que son la secadora 1 y la secadora 2.

Figura 10. **Distribución de aire caliente**



Fuente: Finca Las Brisas.

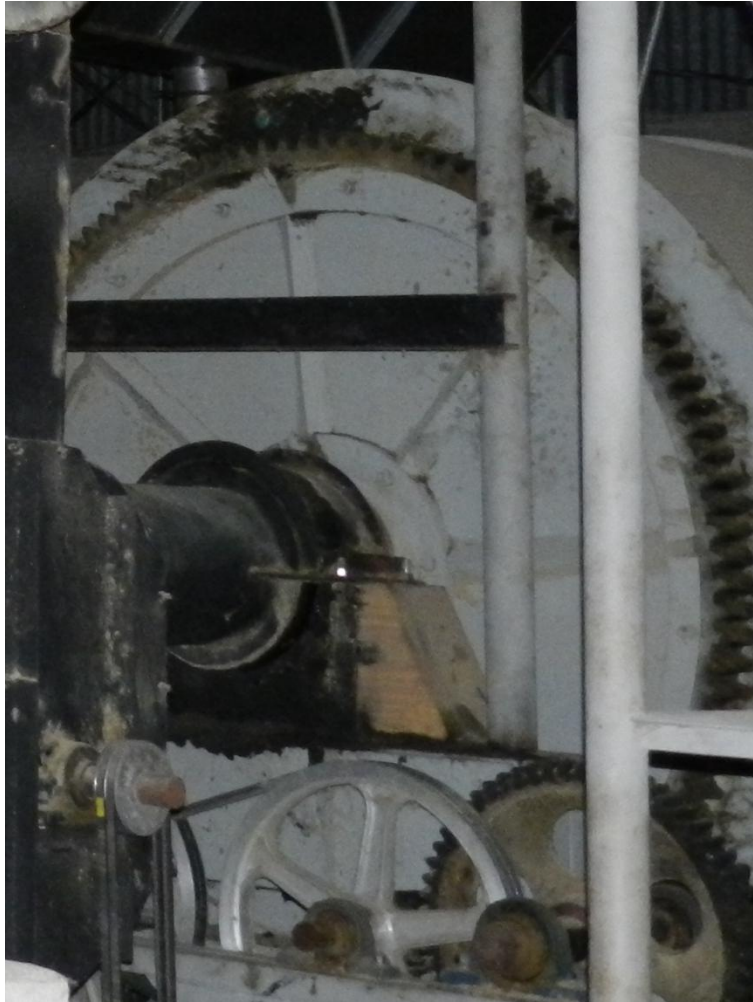
La distribución de aire caliente se divide en dos, la primer salida que alimenta a las secadoras uno y dos, es un ducto circular de 60 centímetros de diámetro, con un tramo de un metro seguido por un codo de 90 grados y un tramo de 4 metros de longitud. La salida de aire caliente a la secadora uno se encuentra a los 2 metros del ducto y la salida a la secadora número dos se encuentra al final del ducto, que sería a los cuatro metros del ducto. Las dos salidas tienen 60 centímetros de ancho y 70 centímetros de largo.

*La segunda salida que alimenta a las secadoras 3 y 4 empieza con un ducto cuadrado de 62 por 62 centímetros y un metro de longitud, seguido por un codo de 90 grados apuntado hacia arriba donde le sigue otro ducto cuadrado de 53 centímetros de longitud, todo esto para poder llevar el ducto final, que es uno circular de 60 centímetros de diámetro y de 8 metros de longitud arriba de la primer salida de aire caliente. La salida de aire caliente a la secadora tres se encuentra a los 6 metros del ducto y es una salida rectangular de 60 por 70 centímetros y la salida a la secadora cuatro se encuentra al final del ducto que son 8 metros de longitud y las dimensiones de la salida son las misma que las de las salida a la secadora tres.*

*Después de las salidas de los ductos principales se encuentra un ventilador de hojas múltiples que es el que está aspirando todo el aire caliente he introduciéndolo hacia la secadora a una velocidad de 1 500 revoluciones por minuto, este ventilador está siendo movido por un motor eléctrico de 1.5 hp de potencia, cada secadora tiene su propio ventilador y motor de las mismas especificaciones. Los motores transfieren su potencia hacia los ventiladores por medio de una faja de una pulgada de ancho. Los ventiladores están conectados a un ducto de 22 centímetros de diámetro que ya es la entrada a la secadora.*

*Las secadoras están sobre un medio cojinete de madera, los cojinetes se tienen que hacer de un solo pedazo de madera, sino tienden a quebrarse donde fue hecha la unión de los pedazos. Los cojinetes se cambian en cada temporada de secado debido a que estos no llevan lubricación, tienden a quemarse por la fricción que les ejerce el eje de la secadora al estar en un constante movimiento de dos revoluciones por minuto.*

*Figura 11. Montaje de las secadoras*



*Fuente: beneficio Las Brisas.*

*A la secadora la mueve un motor de 5 Hp que transfiere su potencia por medio de dos fajas de media pulgada a un disco de mayor tamaño, que funciona como un reductor de velocidad, y este disco ya por medio de engranajes transmite la potencia a la secadora para poder hacerla rotar.*

*Estas secadoras están constituidas por un tambor cilíndrico rotatorio en cuyo interior se coloca el café húmedo a secar. Las paredes de las secadoras son de metal y están perforadas para permitir la salida del aire húmedo hacia el exterior. El cilindro se halla montado sobre un eje hueco, por donde circula aire caliente que es puesto en contacto con los granos de café mediante un conducto axial con brazos radiales perforados. Además, cuenta con ventanillas para la carga y descarga del café. El tiempo de secado es de aproximadamente 36 horas.*

*Los tambores cilíndricos tienen un diámetros de 1.50 metros y 6 metros de longitud y todas las perforaciones se encuentran a 5 milímetros de separación y son de 5 milímetros de diámetro, suficiente para que este saliendo el aire húmedo pero que no se salgan los granos de café.*

**Figura 12. Interior de la secadora**



*Fuente: taller de la finca Las Brisas.*

*El interior de las secadoras se llama de estrella porque el conducto del centro donde circula el aire caliente tiene unas aspas en diagonal, que hace que el café se vaya revolviendo con cada revolución y así poder secar el café de una manera más uniforme. Las aspas tienen unas dimensiones de 30 centímetros de ancho por 50 centímetros de largo.*

*Todo el conducto estrella que se encuentra adentro de la secadora va sujetado al exterior de la secadora por unos tubos soldados a la pared de la secadora de una pulgada de diámetro, en total tiene 4 tubos por cada lado de la estrella y esta tiene cuatro lados lo que sería un total de 16 tubos para poder soportar todo el peso del conducto de acero.*

**Figura 13. Ingreso de café a las secadoras**



1. Tobera para entrada de cafe a la secadora
2. Secadora

*Fuente: finca Las Brisas*

*El ingreso de café a las secadoras se hace por medio de unas toberas que están instaladas arriba de cada secadora, ya que cada secadora cuenta con su propia tobera.*

*Las dimensiones de la tobera son de 1.5 metros de alto por 1.5 metros de largo en el extremo superior, por 30 centímetros en el extremo inferior y 6 metros de largo. La tobera tiene una capacidad de 150 quintales o 1 500 libras de café húmedo. Tiene cuatro salidas que concuerdan con las cuatro entradas que tiene la secadora, cada salida es de 20 centímetros de diámetro para que pueda salir el café.*

*A la tobera el café sube por medio de un elevador de café que lo sube unos 6 metros y por medio de fajas los distribuye hacia las toberas.*

## **2.4. Quemadores**

*Los quemadores son dispositivos que permiten realizar la reacción de combustión entre el combustible y el comburente de manera controlada y regulable, asegurando la aportación adecuada de ambos para conseguir la potencia calorífica especificada, y distribuyendo la zona de reacción y la circulación de los productos de combustión de modo que se transfiera a la carga, del modo más eficiente posible, todo el calor producido.*

### **2.4.1. Clasificación de los quemadores**

- *Tipo A: por punto de mezcla aire combustible*
  - *De premezcla parcial: el gas y el aire primario se mezclan previamente antes de llegar a la zona de combustión, el secundario se entrega en la zona de combustión.*



- *De premezcla total: se mezcla totalmente antes de la combustión.*
- *Sin mezcla previa: el gas y el aire se suministran por separado a la zona de combustión.*
  
- *Tipo B: según el suministro de aire*
  - *Aire forzado: aire suministrado por un ventilador*
  - *Aire de tiro natural: suministrado por la presión atmosférica*
  - *Aire inducido: aire arrastrado por el gas*
  - *Aire inductor: gas arrastrado por el aire*
  
- *Tipo C: por presión de operación*
  - *Atmosféricos*
  - *No atmosféricos*



### **3. FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL**

#### **3.1. Modificación al horno múltiple**

*La modificación que se debe de hacer es la instalación de un quemador de metano para que se logre sacar el poder calorífico del metano y usarlo para calentar el horno. El quemador debe de proporcionar la misma potencia que está actualmente proporcionando al quemar la madera y el cascabillo.*

*También se necesita instalar un sistema de control para el uso del quemador que permita que este opere de una manera segura y se detenga en caso de un mal funcionamiento.*

##### **3.1.1. Equipos**

*Antes de instalar los equipos se tiene que ver cuál es la demanda que estos van a tener, por lo que se tiene que calcular las especificaciones.*

##### **3.1.1.1. Cálculo del flujo volumétrico que se requiere de metano**

*El quemador va a hacer combustión con el flujo volumétrico que se le entregue por eso es muy importante que sea el adecuado para que pueda entregar el potencial calorífico que se necesita para poder alcanzar la temperatura solicitada que es de 1 000 grados centígrados.*

*El flujo volumétrico que se requiere para alcanzar una debida potencia viene dado por la siguiente ecuación.*

$$Q = \left( \frac{E_p}{LHV} \right) / n$$

*Dónde:*

*Ep: energía requerida para el proceso*

*LHV: poder calorífico inferior*

*n: eficiencia del equipo sobre la base LHV*

*Q: flujo de combustible*

*La cantidad de energía que se requiere para el proceso es de 1298.98 MJ/h y el poder calorífico inferior del metano es de 50.01 MJ/kg o 35.80 MJ/m<sup>3</sup> y normalmente la combustión de metano tiene una eficiencia de 70 a 80 por ciento.*

*El flujo volumétrico necesario para el funcionamiento del quemador seria de:*

$$Q = \left( \frac{1298.98 \frac{\text{MJ}}{\text{h}}}{35.8 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^3}} \right) / 0.70$$

$$\text{Con el 70\% de eficiencia } Q = 51.835 \frac{\text{Nm}^3}{\text{h}}$$

$$Q = \left( \frac{1298.98 \frac{\text{MJ}}{\text{h}}}{35.8 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^3}} \right) / 0.80$$

$$\text{Con el 80\% de eficiencia } Q = 45.355 \frac{\text{Nm}^3}{\text{h}}$$

*El flujo volumétrico que se le debe de entregar al quemador debe de ser de 45.355 a 51.835 metros cúbicos por hora. Este flujo es en condiciones ideales, ya que solo es metano puro el que se supone que se está entregando, pero si el gas que se suministra contiene un porcentaje de CO<sub>2</sub> este debe de considerarse aparte ya que el CO<sub>2</sub> no representa ningún poder calorífico.*

*Ya que hasta que se empiece a producir el biogás en la finca no se sabrá específicamente cual será la calidad de este, por lo que no se sabe cuál será el porcentaje de dióxido de carbono, que se encontrará en el volumen del flujo que llegara al quemador.*

*Debido a esto se calcularán diferentes flujos, dependiendo del porcentaje de metano que contenga el biogás producido en la finca Las Brisas y también dependiendo de la eficiencia que tenga la combustión del quemador. El cálculo se realizará con 50, 60, 70 porciento de volumen de metano en el biogás y con una eficiencia en el quemador de 70 y de 80 porciento.*

- *Con un 50 porciento de metano:*

$$Q = \frac{\left( \frac{1298.98 \frac{\text{MJ}}{\text{h}}}{35.8 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^3} * 0.50} \right)}{0.70}$$

$$Q \text{ con } 50\% \text{ de metano y } 70\% \text{ de eficiencia} = 103.67 \text{ Nm}^3$$

$$\frac{\left( \frac{1298.98 \frac{\text{MJ}}{\text{h}}}{35.8 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^3} * 0.50} \right)}{0.80}$$

$$Q \text{ con } 50\% \text{ de metano y } 80\% \text{ de eficiencia} = 90.71 \text{ Nm}^3$$

- *Con un 60 porciento de metano:*

$$\frac{\left( \frac{1298.98 \frac{\text{MJ}}{\text{h}}}{35.8 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^3} * 0.60} \right)}{0.70}$$

Q con 60% de metano y 70% de eficiencia = 86.392 Nm<sup>3</sup>

$$\frac{\left( \frac{1298.98 \frac{\text{MJ}}{\text{h}}}{35.8 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^3} * 0.60} \right)}{0.80}$$

Q con 60% de metano y 80% de eficiencia = 75.592 Nm<sup>3</sup>

- *Con un 70 porciento de metano:*

$$\frac{\left( \frac{1298.98 \frac{\text{MJ}}{\text{h}}}{35.8 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^3} * 0.70} \right)}{0.70}$$

Q con 50% de metano y 70% de eficiencia = 74.05 Nm<sup>3</sup>

$$\frac{\left( \frac{1298.98 \frac{\text{MJ}}{\text{h}}}{35.8 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^3} * 0.70} \right)}{0.80}$$

Q con 50% de metano y 80% de eficiencia = 64.793 Nm<sup>3</sup>

**Tabla VIII. Flujo de combustible que debe de ser entregado al quemador**

Eficiencia del Quemador (%)	Porcentaje de metano (%)	
	70	80
100	51.835 Nm <sup>3</sup> /h	45.355 Nm <sup>3</sup> /h
50	103.670 Nm <sup>3</sup> /h	90.710 Nm <sup>3</sup> /h
60	86.392 Nm <sup>3</sup> /h	75.592 Nm <sup>3</sup> /h
70	74.050 Nm <sup>3</sup> /h	64.793 Nm <sup>3</sup> /h

Fuente: elaboración propia.

### 3.1.1.2. Cálculo de la boquilla del quemador

El cálculo del diámetro de la boquilla, depende de dos factores que son: la presión y la potencia requerida. En este caso ya tenemos que la potencia es de 361 kilovatios o 310404.13 kilocalorías por hora y la presión se usará la mínima que es de 1 000 mm c.a. o 0.1 kilogramo sobre centímetro cuadrado, esto para reducir los costos de almacenamiento y distribución ya que al tener una mayor presión los costos van aumentando.

Para poder sacar el diámetro de la boquilla del quemador, se debe de deducir de la siguiente función:

$$Q = 0.01139 * C * \phi^2 * \sqrt{\frac{P}{d}} * PCS * n$$

Dónde:

*Q*: potencia calorífica teórica consumida por el quemador

*C*: coeficiente de descarga del inyector

$\emptyset$ : diámetro de paso del orificio del inyector

*P*: presión de utilización (mm c.a.)

*PCS*: poder calorífico superior del gas

*d*: densidad relativa del gas respecto al aire

*n*: eficiencia de la combustión

Al despejar la fórmula quedaría que el diámetro de la boquilla se representa de la siguiente manera:

$$\emptyset = \sqrt{\frac{Q}{0.01139 * C * \sqrt{\frac{P}{d}} * PCS * n}}$$

$$\emptyset = \sqrt{\frac{310404.13 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}}{0.01139 * 1 * \sqrt{\frac{1000 \text{ mm c.a.}}{0.6}} * 9600 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3} * 1}}$$

$$\emptyset = 8.339 \text{ mm}$$

Al sacar el diámetro de la boquilla del quemador, con un coeficiente de descarga del inyector de 1 y una eficiencia del quemador del 100 por ciento, nos da un diámetro de 8.339 mm el cual no se encuentra entre los diámetros disponibles para las boquillas, lo que quiere decir es que: no cumple con los diámetros mínimos de seguridad para el metano a la presión utilizada.

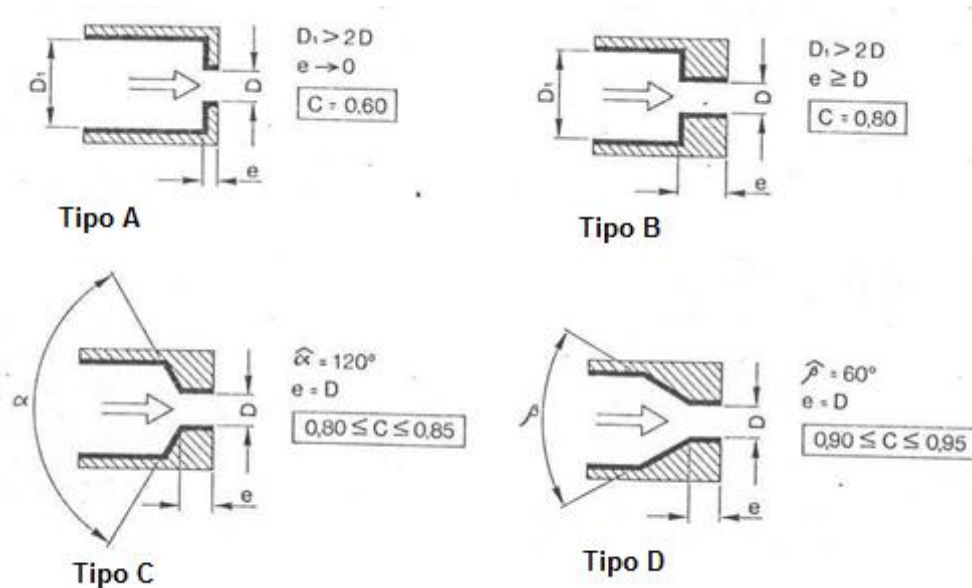


Para poder encontrar un diámetro disponible, se tienen que utilizar varias boquillas así reducir el diámetro de cada boquilla y que la suma de la potencia entregada por cada boquilla sea la requerida en total.

Para que entrara a los diámetros requeridos, se hizo el cálculo con 5 boquillas, esto quiere decir que para poder sacar el diámetro, se dividirá la potencia total dentro de 5 y así dará el diámetro de cada boquilla.

Existen 4 tipos de boquillas, a continuación se indica cuál es el diámetro requerido para cada tipo de boquilla suponiendo una eficiencia de combustión del 70 y del 80 por ciento.

Figura 14. **Coefficientes de descarga de los inyectores**



Fuente: SEDIGAS Modulo técnico instalador IGII.

- *Tipo A: en este se usará un C de 0.6*

$$\emptyset = \sqrt{\frac{\frac{310404.13 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}}{5}}{0.01139 * 0.6 * \sqrt{\frac{1000 \text{ mm c.a}}{0.6}} * 9600 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3} * 0.8}}$$

$\emptyset$  boquilla A con 80% de eficiencia = 5.383 mm

$$\emptyset = \sqrt{\frac{\frac{310404.13 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}}{5}}{0.01139 * 0.6 * \sqrt{\frac{1000 \text{ mm c.a}}{0.6}} * 9600 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3} * 0.7}}$$

$\emptyset$  boquilla A con 70% de eficiencia = 5.7543 mm

- *Tipo B: en este se usará un C de 0.8*

$$\emptyset = \sqrt{\frac{\frac{310404.13 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}}{5}}{0.01139 * 0.8 * \sqrt{\frac{1000 \text{ mm c.a}}{0.6}} * 9600 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3} * 0.8}}$$

$\emptyset$  boquilla B con 80% de eficiencia = 4.662 mm

$$\emptyset = \sqrt{\frac{\frac{310404.13 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}}{5}}{0.01139 * 0.8 * \sqrt{\frac{1000 \text{ mm c.a.}}{0.6}} * 9600 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3} * 0.7}}$$

$\emptyset$  boquilla B con 70% de eficiencia = 4.983 mm

- *Tipo C: en este se usará un promedio de C de 0.825*

$$\emptyset = \sqrt{\frac{\frac{310404.13 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}}{5}}{0.01139 * 0.825 * \sqrt{\frac{1000 \text{ mm c.a.}}{0.6}} * 9600 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3} * 0.8}}$$

$\emptyset$  boquilla C con 80% de eficiencia = 4.59 mm

$$\emptyset = \sqrt{\frac{\frac{310404.13 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}}{5}}{0.01139 * 0.825 * \sqrt{\frac{1000 \text{ mm c.a.}}{0.6}} * 9600 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3} * 0.7}}$$

$\emptyset$  boquilla C con 70% de eficiencia = 4.907 mm

- *Tipo D: en este también se usará un promedio de C de 0.925*

$$\emptyset = \sqrt{\frac{\frac{310404.13 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}}{5}}{0.01139 * 0.925 * \sqrt{\frac{1000 \text{ mm c.a.}}{0.6}} * 9600 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3} * 0.8}}$$

Ø boquilla D con 80% de eficiencia = 4.335 mm

$$\varnothing = \sqrt{\frac{\frac{310404.13 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}}{5}}{0.01139 * 0.925 * \sqrt{\frac{1000 \text{ mm c.a.}}{0.6}} * 9600 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3} * 0.7}}$$

Ø boquilla D con 70% de eficiencia = 4.634 mm

Se puede observar que el único que no llegó a cumplir con los requisitos del diámetro de 5 milímetros o menor fue la boquilla de tipo A, esto quiere decir, que si se quiere poner de este tipo de boquillas se necesitaran más de 5 boquillas pero estas no son muy recomendables por el bajo coeficiente de descarga que tienen.

Los demás tipos de boquillas si cumplen con los requisitos por lo tanto las cinco boquillas del tipo que se seleccionen van a poder operar de una forma eficaz y segura.

Tabla IX. **Diámetros de cada tipo de boquillas (mm)**

				Potencia por boquilla	
Eficiencia de combustión		0.8	0.7	kcal/h	kW
<b>Tipo A</b>	0.6	5.382667	5.754314	62080.826	72.2
<b>Tipo B</b>	0.8	4.661527	4.983382	62080.826	72.2
<b>Tipo C</b>	0.825	4.590354	4.907295	62080.826	72.2
<b>Tipo D</b>	0.925	4.335132	4.634451	62080.826	72.2

Fuente: elaboración propia.

### 3.1.1.3. Cálculo del flujo de aire

Para poder sacar el flujo de aire que tiene que entregar el ventilador se requiere de la potencia que se demanda al quemador y de la relación aire combustible que se tendrá. Se realizó el cálculo del flujo de aire con las distintas relaciones de aire combustible que se pueden dar, expresadas en la siguiente tabla dependiendo el porcentaje de exceso de aire.

Tabla X. Relación aire combustible

## Relación aire-combustible en Kg./Kg.

• TABLA REFERENCIAL

Combustible	5%	10%	15%	20%	25%
GN	18,12	18,98	19,84	20,7	21,57
Propano	16,47	17,25	18,04	18,82	19,61
Butano	16,24	17,02	17,79	18,56	19,34
Diesel	15,89	16,65	17,41	18,16	18,92

Fuente: Combustionintegral.cl. Consulta: 30 de noviembre de 2012.

La fórmula para el flujo de aire viene dada de la siguiente manera:

$$C = \frac{Q * Rac}{PCS * d}$$

*Dónde:*

*C: caudal de aire que se requiere*

*Q: potencia del quemador*

*Rac: relación aire combustible*

*PCS: poder calorífico superior del metano*

*d: densidad del aire*

- *Con 5% de exceso de aire*

$$C = \frac{310404.13 \frac{\text{kcal}}{\text{h}} * 18.12}{9600 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3} * 1.2047 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$C \text{ con 5\% de } = 486.2784 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

- *Con 10% de exceso de aire*

$$C = \frac{310404.13 \frac{\text{kcal}}{\text{h}} * 18.98}{9600 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3} * 1.2047 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$C \text{ con 10\% } = 509.417 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

- *Con 15% de exceso de aire*

$$C = \frac{310404.13 \frac{\text{kcal}}{\text{h}} * 19.84}{9600 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3} * 1.2047 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$C \text{ con } 15\% = 532.499 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

- *Con 20% de exceso de aire*

$$C = \frac{310404.13 \frac{\text{kcal}}{\text{h}} * 20.7}{9600 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3} * 1.2047 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$C \text{ con } 20\% = 555.581 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

- *Con 25% de exceso de aire*

$$C = \frac{310404.13 \frac{\text{kcal}}{\text{h}} * 21.57}{9600 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3} * 1.2047 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$C \text{ con } 25\% = 578.932 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Al sacar los diferentes flujos de aire que se le debe de suministrar al quemador, se deduce que el ventilador deberá entregar entre un rango de 486.2784 a 578.932 metros cúbicos por hora.

Tabla XI. **Flujos de aire requeridos**

Porcentaje de exceso de aire	5	10	15	20	25
Flujo de aire necesario (m <sup>3</sup> /h)	486.2784	509.417	532.499	555.581	578.932

Fuente: elaboración propia.

#### **3.1.1.4. Quemador**

*Para poder sacar cual es la potencia necesaria que tiene que tener el quemador, se necesita saber cuál es la potencia que se está usando ahora y esto se obtuvo averiguando cuanto combustible vegetal se está quemado actualmente.*

*Se tiene que se están quemando 1 125 kilogramos de madera por cada tanda que se completa y como cada tanda dura 36 horas se calculó que se queman 31.25 kilogramos de madera por cada hora, ya que sabemos que el poder calorífico inferior de la madera es de 20.09 megajoules por cada kilogramo de madera, se requiere una potencia de 627.81 megajoules por hora y para pasarlo a kilovatio (Kw), se sabe que 1 kilovatio es igual a 1 kilojoule en un segundo, lo que significa que la madera proporciona una potencia de 172.39 kilovatios.*

*Pero como también se quema cascabillo, se necesitó sacar cuanto se quemaba, y por cada tanda se queman 1 380.68 kilogramos de cascabillo, que representa 38.35 kilogramos de cascabillo por cada hora. El cascabillo tiene un poder calorífico inferior de 17.50 megajoules por cada kilogramo, lo que nos dice que el cascabillo produce una potencia de 671.16 megajoules por cada hora o 186.43 kilovatios.*

*Para obtener la potencia total que están produciendo estos dos combustibles vegetales se suman las potencias entregadas de la madera que son 174.39 kilovatios y 186.43 kilovatios, lo que da una potencia total de 360.83 kilovatios.*



Tabla XII. **Potencia requerida en el quemador**

	Kg/tanda	kg/h	Poder calorífico(MJ/kg)	MJ/h	Kw(kJ/s)
<b>Madera</b>	1125.00	31.25	20.09	627.81	174.39
<b>Cascabillo</b>	1380.68	38.35	17.50	671.16	186.43
<b>Potencia requerida en el quemador</b>				1298.98	360.83

Fuente: elaboración propia.

El horno se debe de mantener a una temperatura de 90 grados centígrados y constante por 36 horas que dura la tanda. La potencia que debe de proporcionar el quemador es de 360.83 kW, que se obtuvo por la energía que actualmente está proporcionando la madera y el cascabillo durante una tanda completa de funcionamiento del horno.

El quemador debe de ser de una etapa debido a que solo se requiere de una potencia para mantener la temperatura del aire del horno a 90 grados centígrados.

El aire suministrado debe de ser mayor a la presión atmosférica para lograr alcanzar la potencia requerida, lo que quiere decir que el quemador debe de constar con un ventilador para el suministro de aire, ya que los atmosféricos solo logran proporcionar hasta 200 kW, y la mezcla de aire combustible debe de ser parcial, que con estas se logra alcanzar potencias de hasta 500 kW.

Tabla XIII. **Especificaciones requeridas para el quemador**

Características	
Potencia	361 kW
Temperatura de la cámara de combustión	1000 °C
Temperatura dentro del horno	90°C
Tiempo de operación	36 horas
Etapas necesarias	1
Presión de operación	1000 mm c.a
Punto de mezcla aire-combustible	De mezcla parcial
Suministro de aire	Por ventilador

Fuente: elaboración propia.

### 3.1.1.5. Sistema de control

En el sistema de control se debe de instalar una serie de instrumentos para poder controlar el acceso de gas al quemador de una forma controlada y segura.

De primero se debe de sacar cual es el diámetro que se requiere para el sistema de control, dependiendo de la presión a la que se llevara el gas y de la potencia que se requiere para el quemador se saca el diámetro de tubería. La presión que se va a utilizar es de 1 000 mm c.a. o 98.07 mbar por lo que se escoge la columna de 100 mbar hasta encontrar la potencia que se requiere para el quemador que es de 361 kilovatios, pero como esta no aparece se escoge la siguiente que es de 500 kilovatios, ya teniendo nuestros dos factores seleccionamos el diámetro de tubería a utilizar que en este caso es de 1 ½ de pulgada.

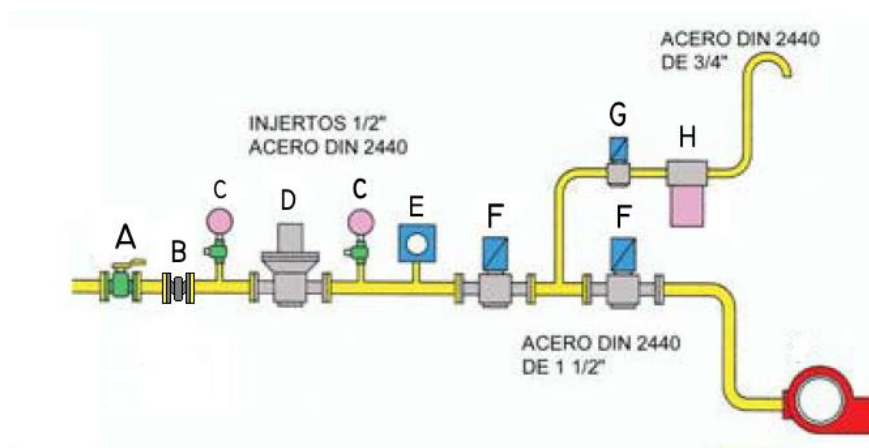
Tabla XIV. **Diámetros de tuberías para metano**

## Cálculo tren de gas (GN)

Potencia	Presión en mbar			
	50	100	150	200
100	1"	3/4"	3/4"	3/4"
250	1 1/2"	1"	1"	1"
500	1 1/2"	1 1/2"	1 1/2"	1 1/2"
750	2"	1 1/2"	1 1/2"	1 1/2"
1000	2"	2"	1 1/2"	1 1/2"
1500	2 1/2"	2"	2"	2"
2000	2 1/2"	2"	2"	2"
2500	2 1/2"	2 1/2"	2"	2"
3000	3"	2 1/2"	2 1/2"	2"
3500	3"	2 1/2"	2 1/2"	2"
4000	3"	3"	2 1/2"	2 1/2"
4500	3"	3"	2 1/2"	2 1/2"
5000	3 1/2"	3"	3"	2 1/2"

Fuente: Combustionintegral.cl. Consulta: 3 de diciembre de 2012.

Figura 15. **Sistema de control**



### *Continuación de la figura 15.*

*Con el diámetro seleccionado se escogen los siguientes componentes del sistema de control:*

- A. Llave de paso: esta tiene que ser embrizada y de un cuarto de vuelta para que pueda ser cerrada de una manera rápida en caso de que sea necesario.*
- B. Junta antivibración: para evitar las vibraciones en los equipos siguientes y evitar que estos tenga un mal funcionamiento y lo más importante evitar cualquier fuga de gas.*
- C. Dos Manómetros: para poder controlar la presión de entrada y de salida del manorreductor, pueden ser de tipo fuelle.*
- D. Manorreductor: este sirve para regular la presión de entrada al quemador que debe de estar entre 1 000 mm c.a.*
- E. Presostato: para cerrar el circuito eléctrico a falta de presión*
- F. Dos válvulas solenoides: deben de ser con regulador de caudal de tipo normalmente cerrada (NC).*
- G. Electroválvula: de tipo normalmente abierta (NA) y de venteo en caso que se exceda la presión.*
- H. Detector de fugas de glicerina: donde en el caso de alguna fuga el gas llegara al depósito de glicerina y este barboteara.*

*Fuente: Departamento de Ingeniería Energética y Fluidomecánica, Universidad Valladolid.  
Manual de sistema de control. p. 57.*

### **3.1.2. Instalación del quemador**

*La instalación del quemador se realizará en la compuerta que actualmente se usa para introducir la madera, se encuentra arriba de la compuerta que sirve para remover la ceniza provocada por la quema de madera.*

*Figura 16. Compuertas del horno*



*Fuente: horno finca Las Brisas.*

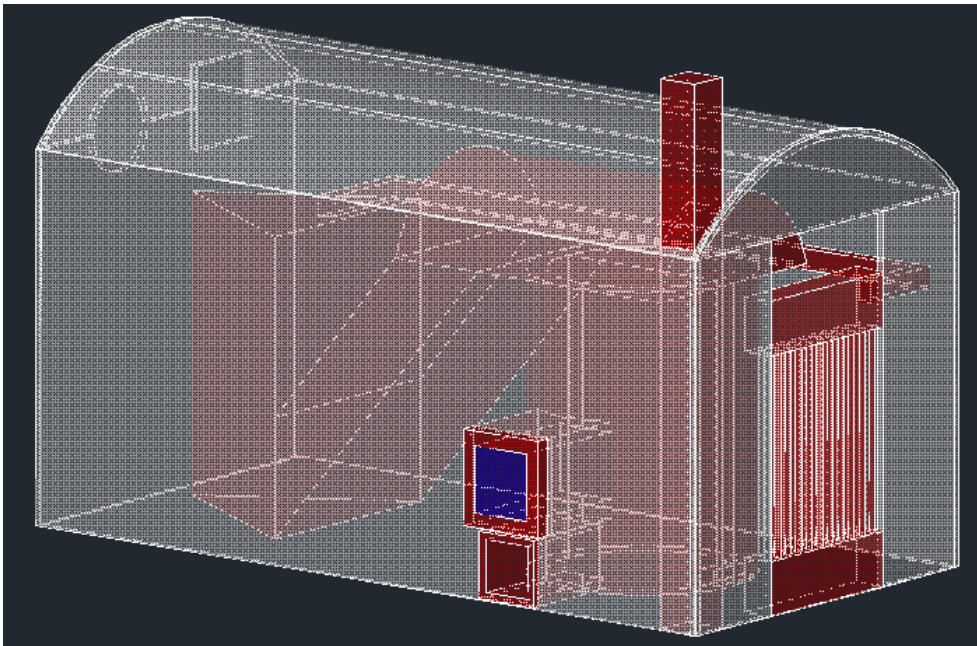
*La compuerta de madera representada tiene las siguientes dimensiones:*

- *Ancho: 0.47m*

- *Altura: 0.49m*
- *Profundidad: 0.96m*

*La compuerta de abajo se quedara para poder seguir realizando limpieza o por si se le necesita cambiar alguna boquilla al quemador se puede ingresar en esta compuerta.*

**Figura 17.      Diseño del horno**

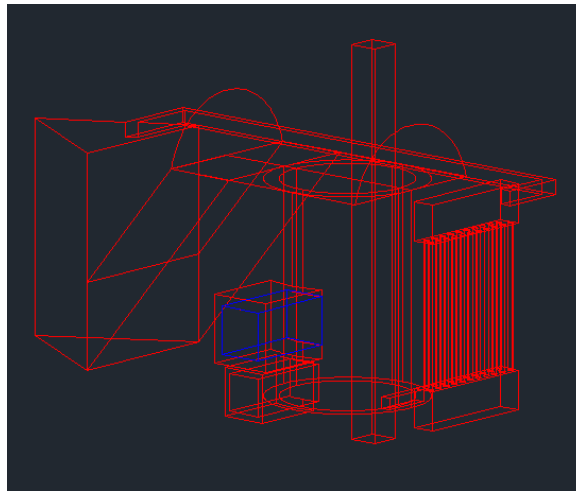


*Fuente: elaboración propia, con programa de AUTOCAD.*

*La tobera de cascabillo con su respectiva bomba para ingresar el cascabillo a la cámara de generación se removerá del horno, al igual que el ducto por donde ingresa actualmente el cascabillo se sellará con material refractario. El ventilador de inyección de oxígeno con su respectivo ducto se seguirá usando para poder seguir administrando oxígeno a la cámara de*

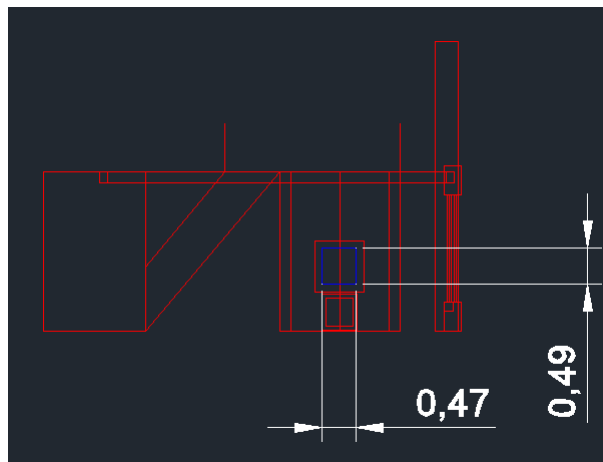
generación ya que el quemador solo cuenta con una mezcla parcial de oxígeno y el restante se administra ya en la cámara de generación.

**Figura 18. Intercambiador de calor**



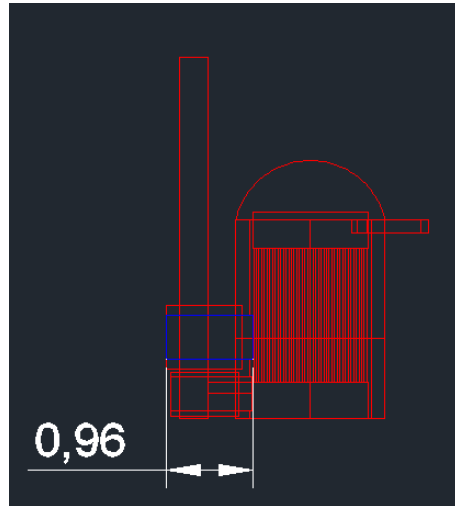
Fuente: elaboración propia, con programa de AUTOCAD.

**Figura 19. Vista de frente del intercambiador de calor**



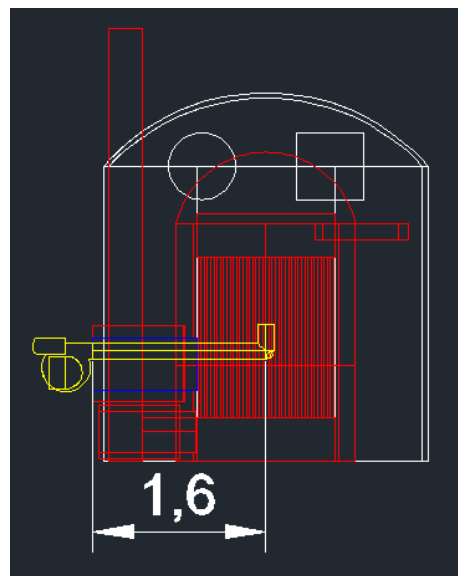
Fuente: elaboración propia, con programa de AUTOCAD.

Figura 20. **Vista frontal del intercambiador de calor**



Fuente: elaboración propia, con programa de AUTOCAD.

Figura 21. **Distancia de la compuerta a la cámara de generación**



Fuente: elaboración propia, con programa de AUTOCAD.



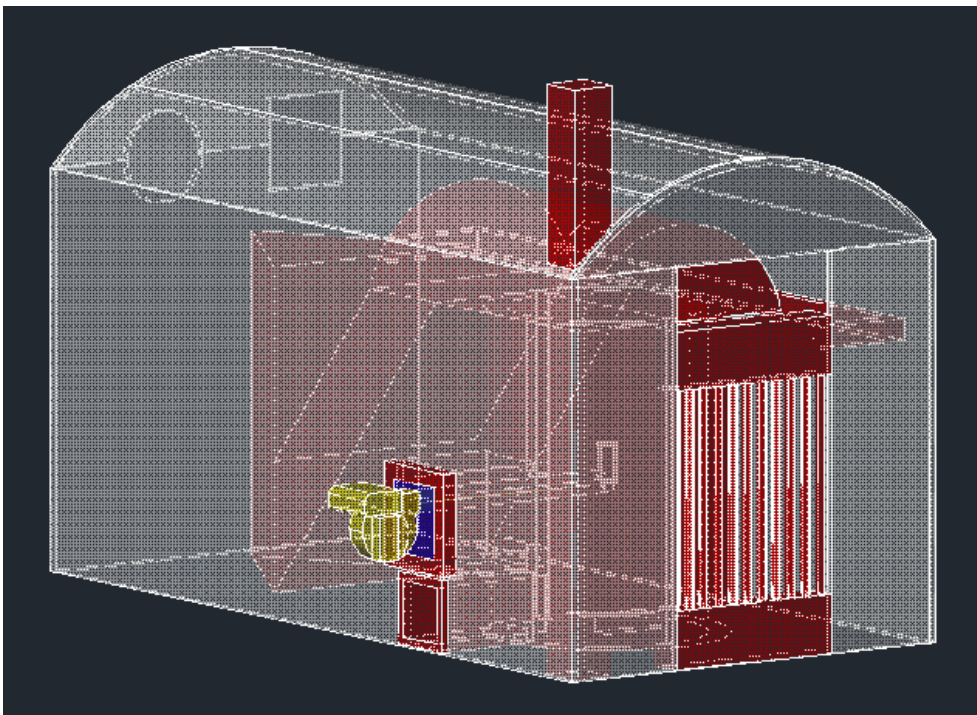
*El quemador quedará fijado al horno mediante una brida o placa de acoplamiento y la parte donde se une el ducto, donde se introduce madera con la cámara de generación será tapado con refractario, dejando solo el área donde entrará la boquilla del quemador, esta debiendo tener 1.60m de largo para poder llegar a la cámara de generación activa, los demás componentes del quemador deben de estar afuera para que no se expongan a altas temperaturas y se dañen, también el ventilador del quemador debe de estar afuera para poder contar con suficiente toma de aire y tener un correcto desempeño.*

*Para el correcto montaje del quemador sobre el horno, se deberán seguir detenidamente las siguientes instrucciones:*

- El quemador deberá fijarse correctamente sobre la brida de sujeción. Los tornillos de sujeción deberán ser lo suficientemente apretados, de tal forma que no quede ninguna holgura entre el quemador y el horno.*
- La junta del quemador asegura la correcta estanqueidad del mismo, evitando fugas de gases quemados.*
- El quemador, debe de colocarse de una manera horizontal al ducto y perpendicular a la cámara de combustión.*
- El cañón del quemador debe de ser alineado correctamente en relación con el centro de la cámara de combustión. De este modo se producirá una llama más uniforme y se asegurará una mejor distribución de la carga térmica en la cámara de combustión.*
- El hueco que queda entre el cañón del quemador y el ducto que se dirige a la cámara activa, deberá ser rellenado con material refractario.*

- *Un montaje y funcionamiento correcto del quemador asegura una combustión suave y armoniosa.*
- *Toda intervención sobre el quemador deberá ser realizada por personal calificado y autorizado.*
- *El no seguir todas las instrucciones indicadas arriba, puede provocar desperfectos serios en el quemador o en el horno.*

*Figura 22.      **Diseño con quemador incluido***

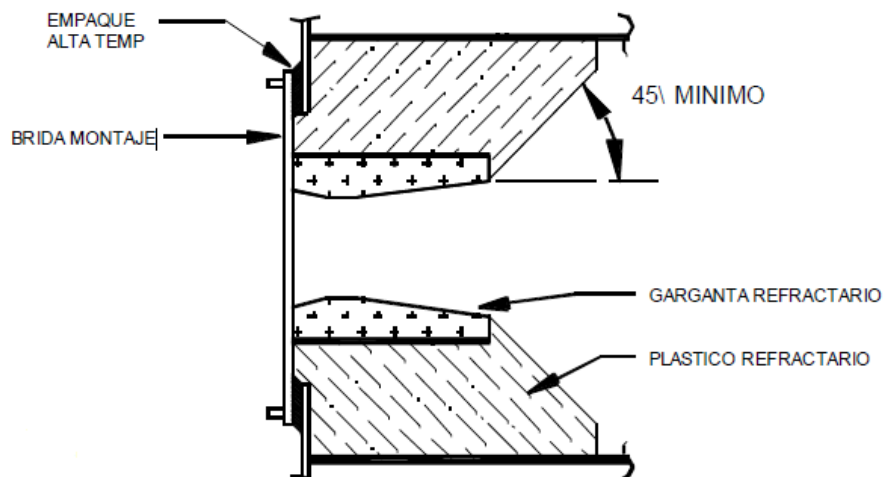


*Fuente: elaboración propia, con programa de AUTOCAD.*

### 3.1.3. **Instalación del refractario**

Se debe rellenar con plástico refractario el espacio sobrante entre la garganta del quemador y las paredes del ducto donde se instalará el quemador. El refractario que se extiende más allá de la garganta de refractario suministrada con el quemador deberá ser formado a un ángulo de 45 grados como mínimo. Entre la brida de montaje y el material refractario debe de haber un empaque de alta temperatura.

Figura 23. **Material refractario**



Fuente: S.T. Johnson Co, Manual de operación y mantenimiento. p. 6.

#### 3.1.3.1. **Instrucciones para el curado del refractario**

Seguir un programa de calentamiento gradual del refractario, para asegurar el curado de la garganta y el plástico refractario. El refractario que no ha sido debidamente curado puede sufrir deterioro prematuro y llegar a explotar debido a la rápida evaporación de la humedad si se aplica un calentamiento

*muy agresivo. Si se observa vapor saliendo del refractario, esto indica que la temperatura está incrementando muy rápidamente. En tal caso, mantenga la temperatura constante hasta que desaparezca el vapor.*

*Siempre se deben seguir las instrucciones suministradas por el proveedor del refractario para asegurar un curado adecuado y maximizar la vida útil del refractario. Las siguientes recomendaciones deben de ser usadas como requerimientos mínimos:*

- *Inicialmente, operar el quemador a fuego mínimo durante 30 minutos*
- *Apagar el quemador durante 30 minutos*
- *Repetir los pasos 1 y 2 durante 6 a 8 horas. Esto elevará la temperatura del refractario en forma gradual y asegurará un curado uniforme. No incrementar la carga del quemador más allá del fuego mínimo hasta que el refractario esté debidamente curado.*

*El refractario debidamente curado presenta pequeñas fisuras superficiales que no son indicaciones de defecto o daño. Sin embargo, la presencia de fisuras mayores o desprendimientos de piezas de refractario si indican que el refractario fue instalado o curado incorrectamente. En dicho caso el refractario deberá reemplazarse inmediatamente para evitar accidentes.*

### **3.2. Mantenimiento**

*El mantenimiento es un conjunto de operaciones necesarias para asegurar un elevado rendimiento energético, la seguridad del servicio y defensa del medio ambiente durante el funcionamiento de la instalación.*

### **3.2.1. Inspección de rutina al quemador**

- *Diaria*
  - *Revisar visualmente la apariencia de la llama para asegurar que no pegue en las paredes del hogar o presente otros problemas.*
  - *Revisar la línea de gas para verificar que no haya fugas*
  - *Revisar que no haya ruido anormal en el rodamiento del ventilador.*
  - *Revisar que el refractario no este deteriorado o presente desprendimientos.*
  - *Comprobar correcta puesta en servicio*
  - *Controlar humos de combustión*
  - *Comprobar valor de consigna de presostato*
  - *Verificar temperatura del horno y del aire a las secadoras*
  
- *Semanal*
  - *Verificar y limpiar filtro de gas, (la limpieza debe de ser mediante vapor o solventes, no mediante objetos metálicos).*
  - *Verificar y limpiar electrodo, (la limpieza debe de ser mediante vapor o solventes, no mediante objetos metálicos).*
  - *Verificar y limpiar boquilla, (la limpieza debe de ser mediante vapor o solventes, no mediante objetos metálicos).*
  - *Comprobar las válvulas solenoides de alimentación de combustible, cerrando la llave de paso manualmente, esto debe detener automáticamente el quemador y cerrar las válvulas.*

### **3.3. Medidas de seguridad**

*El metano está en la lista de sustancias peligrosas (Hazardous Substance List), ya que ha sido citado por el ACGIH, DOT, DEP, NFPA. También está en la lista de sustancias extremadamente peligrosas para la salud (Special Health Hazard Substance List) ya que es inflamable.*

*La Norma de Comunicación de Riesgos (Hazard Communication Standard), la Norma Federal de la OSHA: 29 CFR 1910.120, exige a los empleadores privados que provean a sus empleados capacitación e información acerca de los peligros y controles de sustancias químicas.*

*No se han establecido límites de exposición ocupacional al metano. A pesar de ello, esta sustancia puede ser nociva ya que grandes cantidades de metano pueden disminuir la cantidad disponible de oxígeno. El oxígeno debe ser medido rutinariamente para verificar que se mantenga por lo menos el 19 por ciento por volumen.*

#### **3.3.1. Peligros de incendio**

- *El metano es un gas inflamable y las llamas pueden ser invisibles*
- *Detener el flujo de gas, si es posible, sino permitir que arda*
- *Usar agua rociada para reducir los vapores*
- *Al incendiarse, se producen gases tóxicos*
- *Los vapores son más pesados que el aire y pueden desplazarse y causar un incendio o una explosión lejos de la fuente.*
- *Los vapores pueden viajar a una fuente de ignición y retroceder en llamas.*

- *Si son los empleados quienes deben de extinguir los incendios, deben de estar capacitados y equipados de acuerdo con lo establecido en la Norma de la OSHA: 29 CFR 1910.156.*

### **3.3.2. Fugas y emergencias**

*En caso de escape de metano, tome las siguientes medidas:*

- *Evacuar al personal. Controle e impida el acceso a la zona*
- *Eliminar toda fuente de ignición*
- *Ventilar el área del escape para dispersar los gases*
- *Detener el flujo de gas cerrando la llave de paso. Si la fuente de escape es un cilindro y no se puede detener el escape en ese lugar, retire el cilindro de escape hacia un lugar seguro, al aire libre, y repare el escape o deje que se vacíe el cilindro.*
- *Usar agua rociada para reducir los vapores*
- *Mantener el metano fuera de espacios confinados, por la posibilidad de explosión, a no ser que el espacio confinado este diseñado para impedir la acumulación de concentraciones explosivas.*
- *El metano hay que contenerlo como desecho peligroso y para eso se pueden seguir las especificaciones del Departamento de protección al medio ambiente (DEP).*

### **3.3.3. Manipulación y almacenamiento**

*Antes de trabajar con metano, la persona debe de estar capacitada en el almacenamiento y manipulación apropiada de esta sustancia química.*

- *El metano se debe almacenar para evitar el contacto con agentes oxidantes (tales como el percloratos, peróxido, permanganatos, cloratos, nitratos, cloro, bromo y flúor) y oxígeno líquido.*
- *Almacenar en recipientes bien cerrados, en un área fresca, bien ventilada y lejos de materiales combustibles.*
- *Las fuentes de ignición, tales como el fumar y llamas abiertas, están prohibidas donde se usa, maneja o almacena metano.*
- *Los recipientes de metal que se usan en el traslado de metano deben estar conectados a tierra y entre sí.*
- *Usar solamente equipos y herramientas que no produzcan chispas, especialmente al cambiar tuberías.*
- *Las tuberías deben de estar conectadas eléctricamente entre si y a tierra*

#### **3.3.4. Primeros auxilios**

*En caso que haya contacto con los ojos:*

- *Enjaguar inmediatamente los ojos con abundante agua por un mínimo de 15 minutos, levantando en forma periódica los parpados superiores e inferiores.*

*En caso que haya contacto con la piel:*

- *Sumergir la parte afectada en agua tibia. Busque atención médica*



*En caso que se respire en exceso:*

- *Retirar a la persona del lugar de la exposición*
- *Iniciar la respiración de rescate (utilizando precauciones universales) si la respiración se ha detenido y la RCP (reanimación cardiopulmonar) si la acción del corazón se ha detenido.*
- *Trasladar sin demora a la víctima a un centro de atención médica*



## **CONCLUSIONES**

1. *La producción de metano por medio de los desechos que tendría la empresa Transbrisas S.A. representaría más del doble de la energía que actualmente se está utilizando dentro del beneficio de café.*
2. *El horno múltiple de secado de café, requiere de una potencia de 361 kilovatios para poder cumplir con la demanda de aire caliente para las cuatro secadoras.*
3. *La utilización de los desechos producidos en la finca Las Brisas, haría que el proceso del café sea una Producción más Limpia ya que se estarían aprovechando al máximo los recursos disponibles y no se necesita energía adicional, la que actualmente sería de la madera y el cascabillo.*
4. *Las emisiones de la combustión del metano serían dióxido de carbono y vapor de agua.*
5. *Al usar como combustible el metano producido por la materia orgánica, que se encuentra como desecho en la finca Las Brisas ayudaría a: minimizar la contaminación ambiental, ya que al no aprovechar el metano de la materia orgánica este sería soltado libremente a la atmósfera y es más contaminante que el dióxido de carbono.*

6. *Del biogás producido en la finca Las Brisas se debe de eliminar el pequeño porcentaje de producción de sulfuro de hidrogeno, haciéndolo pasar por un filtro de hidróxido de hierro, ya que este al hacer combustión con el oxígeno forma el dióxido de azufre, que es corrosivo y altamente toxico para el ambiente.*
  
7. *Con la presión a utilizar y la potencia que se quiere alcanzar con el quemador, no es posible la instalación de una sola boquilla que alcance dicha potencia por lo que se deben de instalar más boquillas de menor tamaño, para que estén cumplan con las normas de los diámetros de seguridad para el metano.*

## **RECOMENDACIONES**

### 1. *A la Junta Directiva*

- *Seguir buscando la manera de aprovechar los desechos al máximo, para así hacer el proceso de café una Producción más Limpia y evitar la contaminación ambiental.*
- *Capacitar a los encargados en el manejo de gas metano, al implementar la producción y el uso del mismo dentro de la finca, ya que está considerado como sustancia altamente peligrosa por el hecho de ser inflamable.*

### 2. *Encargado de secadoras*

- *Mejorar la ventilación en el área del horno múltiple, para que haya un mejor flujo de aire tanto a los ventiladores como al radiador del horno y para que en caso de una fuga de gas este se disperse lo más rápido posible evitando cualquier tipo de accidentes.*
- *Instalar en el área de horno múltiple extintores o rociadores de agua, para que en cualquier caso de emergencia esta se pueda contener y así poder reducir los daños a las instalaciones y proteger al personal.*

- *Señalizar en el área de horno múltiple, indicando que se está haciendo uso de un gas inflamable y los requerimientos que se deben de cumplir para poder transitar dentro del lugar.*

### 3. *Al operario del horno*

- *Utilizar el equipo de protección para la operación del horno y evitar al máximo cualquier lesión que le pueda ocurrir.*
- *Capacitar en el manejo de extintores y sobre las medidas de seguridad a tomar en caso de cualquier emergencia, para que pueda actuar rápido y contener la situación antes que se convierta en algo mayor.*
- *Cumplir con su turno establecido sin estar haciendo turnos extras, ya que en esta posición si se está agotado no se podrá reaccionar con la misma eficiencia en cualquier situación de emergencia.*

## **BIBLIOGRAFÍA**

1. *POGGIO, Davide. Diseño y construcción de dos digestores anaeróbicos en el altiplano andino peruano [en línea]. Universidad politécnica de Cataluña.<<http://organica1.org/qo1/MO-CAP1.htm>> [Consulta: 13 de junio de 2012].*
2. *BEYCHOK, Milton; HOGAN, C. Michael. Encyclopedia of Earth. Heat of combustion. Washington, D.C: Environmental Information Coalition, National Council for Science and Environment,2012. 235 p.*
3. *Secamiento del café [en línea]. Asociación Nacional del Café (Anacafe). <[http://www.anacafe.org/glifos/index.php?title=BeneficiadoHumedo\\_Secamiento](http://www.anacafe.org/glifos/index.php?title=BeneficiadoHumedo_Secamiento)>[Consulta: 6 de julio de 2012].*
4. *BARRIOS CASTILLO, Adolfo Waldermar; OVALLE DE LA VEGA, Carlos Florencio; DÁVILA RAMÍREZ, Rolando de Jesús. Beneficiado húmedo y control de calidad. Manual de caficultura. 3a ed. Guatemala: Anacafe, 1998. 127 p.*
5. *STEINER, Reto. USA: Biogas production of coffee pulp and waste waters, 2011.45 p.*
6. *CREUS SOLE, Antonio. Instrumentación industrial. 6a ed. Ciudad: Alfaomega, 2008. 67 p.*

7. *Departamento de salud y servicios para personas mayores de New Jersey [en línea]. Trenton, NJ 08625-0360.<<http://www.state.nj.us/health/ohs/index.shtml>>*[Consulta: 17 de octubre de 2012].
  
8. *GILES, Ronald V. Mecánica de los fluidos e hidráulica. Teoría y problemas. McGraw-Hill.2009. 124 p.*



## ANEXOS

### Anexo 1. Poder calorífico menor

Fuel	Phase	Molecular Weight	kJ/mol	MJ/kg	MJ/m <sup>3</sup>	Btu/lb	Btu/ft <sup>3</sup>
Hydrogen <sup>[9]</sup>	gas	2.016	241.83	119.96	10.79	51,596	274
Methane <sup>[9]</sup>	gas	16.043	802.32	50.01	35.60	21,511	909
Ethane <sup>[9]</sup>	gas	30.069	1,427.84	47.49	63.70	20,424	1,618
Propane <sup>[9]</sup>	gas	44.096	2,044.00	46.35	91.19	19,937	2,317
Butane <sup>[9]</sup>	gas	58.122	2,658.45	45.74	118.61	19,673	3,013
Ethanol <sup>[9]</sup>	liquid	46.0684	1,241.66	26.95		11,593	
Gasoline <sup>[9]</sup>	liquid	110	4,675.00	42.50		18,280	
Kerosene <sup>[11]</sup>	liquid	178	7,519.05	42.24		18,169	
Diesel oil <sup>[11]</sup>	liquid	225	9,395.99	41.76		17,961	
Coal <sup>[11]</sup>	solid			24.429		10,507	
Wood (dry) <sup>[11]</sup>	solid			20.09		8,639	
Peat (dry) <sup>[11]</sup>	solid			20.65		8,883	

-- The gas temperature and pressure for the values of MJ/m<sup>3</sup> are 0 °C and 101.325 kPa.  
 -- The gas temperature and pressure for the values of Btu/ft<sup>3</sup> are 60 °F and 14.696 psia.  
 -- LPO is marketed as propane or butanes or a mixture of propane and butanes.  
 -- Natural gas, after removal of impurities and natural gas liquids (NGL), is essentially pure methane.

Fuente: [http://www.eoearth.org/article/Heat\\_of\\_combustion?topic=49557](http://www.eoearth.org/article/Heat_of_combustion?topic=49557). Consulta el 18 de julio de 2012.

### Anexo 2. Potencial de producción de biogás por desecho animal

No	Biomass Source	Total Amount, Thousand Heads	Biomass, kg/Day per Unit	Total Biomass, Tonnes/Day	Biogas Amount Obtained from 1 kg of Biomass, m <sup>3</sup>	Total Biogas Production, Thousand m <sup>3</sup> / Day
1	Livestock	916	45	41 260	0.04	1 650
2	Pigs	328	9	2 955	0.06	177.3
3	Sheep, Goats	580	4	2 321	0.06	139.2
4	Poultry	7 580	0.17	1 288	0.07	90.1
5	Horses	22	35	786	0.04	314

Fuente: STEINER, Reto; *Biogas production of coffee pulp & waste waters*. Consulta de 15 de octubre de 2012.

### Anexo 3. **Propiedades del aire**

**(B) ALGUNAS PROPIEDADES DEL AIRE A LA PRESION ATMOSFERICA**

Temperatura °C	Densidad $\rho$ UTM/m <sup>3</sup>	Peso específico $w$ kg/m <sup>3</sup>	Viscosidad cinemática $\nu$ m <sup>2</sup> /seg	Viscosidad dinámica $\mu$ kg seg/m <sup>2</sup>
-20	0,1424	1,3955	$1,188 \times 10^{-5}$	$16,917 \times 10^{-7}$
-10	0,1370	1,3426	1,233	16,892
0	0,1319	1,2926	1,320	17,411
10	0,1273	1,2475	1,415	18,013
20	0,1229	1,2047	1,488	18,288
30	0,1188	1,1642	1,600	19,008
40	0,1150	1,1270	1,688	19,412
50	0,1115	1,0927	$1,769 \times 10^{-5}$	$19,724 \times 10^{-7}$

Fuente: Teoría y problemas. Mecánica de los fluidos e hidráulica. Ranauld V. Giles. Libros McGraw hill. p. 246.

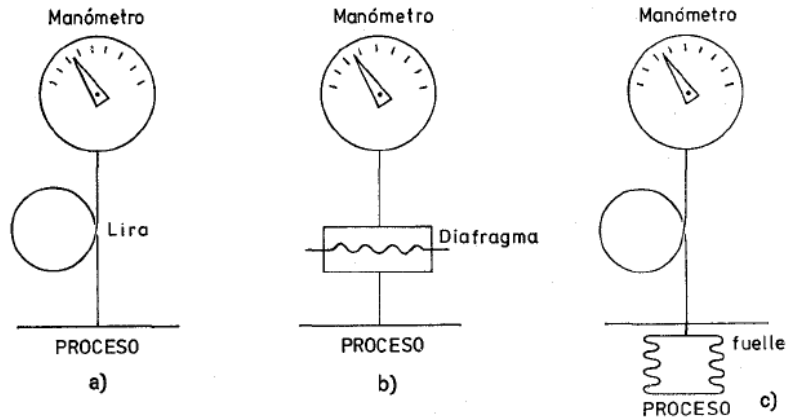
### Anexo 4. **Poder calorífico superior de algunos gases**

<b>Características de los gases</b>			
Nombre	<b>Butano</b>	<b>Propano</b>	<b>Gas nat.</b>
Familia	3º	3º	2º
PCS Kcal/m <sup>3</sup>	31,100	25,200	9,600
PCS Kcal/Kg	11,700	11,900	no
d corregida	1.44	1.16	0.6

Fuente: SEDIGAS: Modulo técnico instalador IGII.



## Anexo 6. Tipos de sellos



Fuente: Instrumentación Industrial. 6a ed. p. 123.

## Anexo 7. Elementos mecánicos

	Campo de medida	Precisión en % de toda la escala	Temperatura máxima de servicio	Presión estática máxima
Barómetro cubeta	0,1-3 m cda	0,5-1 %	Ambiente	6 bar
Tubo en U	0,2-1,2 m cda	0,5-1 %		10 bar
Tubo inclinado	0,01-1,2 m cda			↓
Toro pendular	0,5-10 m cda			100-600 bar
Manómetro campana	0,005-1 m cda			Atmosférica
Tubo Bourdon	0,5-6000 bar		90° C	6000 bar
Espiral	0,5-2500 bar			2500 bar
Helicoidal	0,5-5000 bar			5000 bar
Diafragma	50 mm cda-2 bar			2 bar
Fuelle	100 mm cda-2 bar			↓
Presión absoluta	6-760 mm Hg abs	1 %	Ambiente	Atmosférica
Sello volumétrico	3-600 bar	0,5-1 %	400° C	600 bar

Fuente: Instrumentación Industrial. 6a ed. p. 124.