UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA INDUSTRIA
INGENIERIA MECANICA

TITULO

Evaluación de la Eficiencia Térmica del Generador de Calor Ubicado en el Beneficio Santa Margarita Jinotepe, Carazo.

AUTORES

Br. Jerald Josué González Castillo

Br. Rudy Santiago González Narváez

Para Optar al Título de Ingeniero mecánico

TUTOR

Ing. Alex Arnoldo Pavón López

Managua, 10 de agosto de 2012

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Facultad de Tecnología de la Industria
Líder en Ciencia y Tecnología

DECANATURA

A: Br. Jerald Josué González Castillo
Rudy Santiago González Narváez

DE: Facultad de Tecnología de la Industria

FECHA: Viernes 16 de marzo de 2012

Por este medio hago constar que su trabajo de Investigación Titulado **"Evaluación de la eficiencia Térmica del Generador de calor ubicado en el Beneficio Santa Margarita Jinotepe, Carazo".** Que Contara con el Ing. Alex Arnoldo Pavón López, como profesor guía, ha sido aceptado por esta Decanatura por lo que puede proceder a su realización.

Cordialmente,

Facultad de Tecnología de la Industria
DECANATURA
F.T.I.
U.N.I.

Ing. Daniel Cuadra Horney
Decano

Cc: Archivo

Managua, Nicaragua. Apdo. 5595 • Tel.: 2249-6437 • 2248-6879 • 2251 8271 • 2251 8276
Telefax: 2240 1653 • 2249 0942

Managua, 26 de junio del 2012.

Ing. Daniel Cuadra Horney

Estimado Ingeniero Cuadra:

Por este medio hago constar que he revisado exhaustivamente la Tesis de los Bachilleres Jerald Josué González Castillo y Rudy Santiago González Narváez, cuyo Título es "**Evaluación Térmica del Generador de Calor Utilizado en el Beneficio Santa Margarita, Jinotepe Carazo**".

Esta Investigación Consistió en realizar la evaluación térmica del generador del calor, utilizado en el beneficio Santa Margarita, mediante los balances de materia y energía, utilizando las mediciones realizadas (Temperatura, Flujo másico de aire y flujo másico de combustible).

Este estudio tiene gran importancia a nivel del beneficio, ya que este estudio da pautas para reconocer el estado del funcionamiento del generador y mejorarlo, aprovechando al máximo la energía producido por la combustión de la cascarilla de café.

Sin más a que referime

Ing. Alex Pavón López
Profesor Titular

RESUMEN.

El presente trabajo monográfico representa el trabajo de culminación de estudios para optar al título de ingeniero mecánico.

En el presente trabajo se analiza el generador de calor, utilizado en el beneficio santa margarita, para el secado de café. Específicamente se determina y cuantifica la energía en forma de calor que es utilizada en este proceso tecnológico.

Este trabajo está dividido en 7 capítulos los cuales se resumen de la siguiente manera:

En el capítulo 1 se describen aspectos del beneficiado y la operación de secado, los diferentes procesos a los cuales es sometido el grano de café para su trasformación.

En el capítulo 2 de detallan aspectos importantes de los generadores de calor utilizados para el secado de café; funcionamiento, componentes, controles y accesorios, edemas se realiza la descripción del generador de calor en estudio.

En el capítulo 3 se describe a la biomasa como combustible; característica, ventajas y desventajas en su uso y se presentan las propiedades fisicoquímicas de la cascarilla de café.

En el capítulo 4 se detallan las ecuaciones sobre las cuales está basado el balance de energía y eficiencia térmica.

En el capítulo 5 se detalla la metodología con la que se realizaron las mediciones de temperatura y flujo, se presentan además los resultados obtenidos.

En los capítulos 6 y 7 se muestran los cálculos de balances de masa y energía y se determina la eficiencia del generador de calor.

Dedicatoria.

A Dios todo poderoso por estar siempre junto a nosotros,a nuestros padres y familiares por su apoyo incondicional.

A todas y cada una de las personas que nos han brindado su ayuda para hacer posible este trabajo y muy especialmente a nuestro profesor tutor.

Por siempre agradecidos

Br. Jerald Josué González Castillo.

Br. Rudy Santiago González Narváez.

Índice.

pagina

I. Introducción 1

II. Objetivos 3

III. Justificación 4

Marco teórico.

Capítulo 1: el beneficiado y la operación de secado. 5

1.1. Beneficiado, concepto 5

1.2. Tipos de beneficiado 5

1.2.1. Vía húmeda 5

1.2.2. Vía seca 7

1.3. Secado, concepto 7

1.4. Formas de secado 8

1.4.1. Secado natural 8

1.4.2. Secado artificial 9

Capítulo 2: Generadores de calor para el secado de café. 11

2.1. Generador de calor, concepto 11

2.2. Función del generador de calor en los beneficios de café 11

2.3. Sistemas de calor 11

2.3.1. A fuego directo 12

2.3.2. A fuego indirecto 12

2.4. Componentes, controles y accesorios del generador de calor 12

2.5. Instalaciones auxiliares del generador de calor 18

2.6. Particularidades constructivas y de funcionamiento del generador de calor en estudio 19

Capítulo 3: La biomasa como combustible en los generadores de calor 25
3.1. Biomasa, definición 25
3.2. Combustión de la biomasa 25
3.3. Principales biomasas utilizadas 27
3.4. Características fisicoquímicas de la cascarilla de café como combustible 27
3.5. Ventajas del uso de biomasa como combustible 29
3.6. Desventajas del uso dela biomasa 29

Capítulo 4: balance térmico del generador de calor. 31
4.1. Definición , general 31
4.2. Elementos del balance térmico 32
4.2.1. Entradas de calor 32
4.2.2. Consumo de calor 33
4.3. Rendimiento teórico 38

Metodología y desarrollo del tema.

Capítulo 5: Metodología empleada para la evaluación térmica. 39
5.1. Metodología de análisis 39
5.1.1. Análisis cualitativo 39
5.1.2. Análisis cuantitativo 39
5.1.2.1. Métodos para determinar la eficiencia térmica 40
5.1.2.2. Variables importantes del análisis cuantitativo 40
5.2. Mediciones de temperatura 41
5.2.1. Generalidades 41
5.2.2. Selección y descripción de los instrumentos utilizados para la medición de temperatura 43
5.2.2.1. Termómetro digital compacto DAN 133N 43
5.2.2.2. Termohigrometro digital UTL 338 43
5.2.2.3. Anemómetro/termómetro AM-4210 44
5.2.2.4. Pirómetro infrarrojo 44

5.2.3. Procedimiento de las mediciones de temperatura en el generador de calor 45
5.2.4. Resultados de las mediciones de temperaturas 49
5.3. Mediciones de flujo 49
5.3.1. Generalidades 49
5.3.2. Instrumentos para la medición de flujo 50
5.3.3. Selección del equipo para realizar las mediciones 51
5.3.4. Descripción del anemómetro AM-4210 51
5.3.5. Metodología para la medición de la velocidad del aire con el anemómetro AM-4210 52
5.3.6. Procedimiento de las mediciones de velocidades 55
5.3.7. Resultados de las mediciones de velocidad de flujo 61

Capítulo 6: balance de materia. 62
6.1. Consumo de combustible 62
6.2. Balance de materia del proceso de combustión 63
6.2.1. Calculo de C,O,H presentes en el combustible 64
6.2.2. Aire teórico para la combustión de los 40.90 Kg/h de cascarilla de café 64
6.2.3. Aire practico para la combustión 67
6.2.4. Determinación de μ y ς 69
6.2.5. Calculo de O_2,N_2,H_2O presentes en el aire practico 69
6.2.6. Productos de la combustión 70
6.2.7. Resumen del balance de materia del proceso de combustión 72
6.3. Masa de aire a calentar 72
6.4. Perdidas de aire 74
6.5. Resumen del balance de materia del generador de calor 78

Capítulo 7: Cálculo de las pérdidas de calor, calor útil y eficiencia del generador de calor. 79
7.1. Calor generado por el combustible 79
7.2. Determinación del calor aportado al aire que se utiliza para el secado 80
7.3. Calculo de las pérdidas de calor a través de las paredes 81

7.3.1. Cuerpo principal 80
7.3.2.Techo 83
7.3.3. Ducto de descarga 83
7.4. Perdidas en los humos 84
7.5. Perdidas no consideradas 86
7.6. Rendimiento teórico y eficiencia térmica del generador de calor 86
7.7. Resumen del balance térmico 86
7.8. Desarrollo del análisis cualitativo. 88

8. Conclusiones 89

9. Recomendaciones 90

Bibliografía

Nomenclatura

Anexos
Anexo A. Planos del generador de calor
Anexo B. Especificaciones técnicas delos instrumentos de medición
Anexo C. Registro de mediciones
Anexo D. Factores de convercio9n de unidades y tablas termodinámicas
Anexo E. Imágenes del generador de calor en estudio

I. INTRODUCCIÓN.

El departamento de Carazo es una de las principales zonas productoras de café sumada con la zona norte representan una buena parte del rubro productor cafetalero del país.

Actualmente el café producido en la zona de Carazo es procesado en cuatro beneficios entre los cuales está el beneficio Santa Margarita, ubicado en la ciudad de Jinotepe. El beneficiado o procesado del café, Técnicamente consiste en la serie de pasos o etapas de procesamiento a las que se somete el café para quitar o eliminar todas sus capas o cubiertas de la forma más eficiente sin afectar su calidad y su rendimiento. Es una transformación primaria del grano.

Entre los pasos para la transformación primaria del grano que son realizadas en este beneficio están: Tanque sifón (es un clasificador hidráulico de café uva) , Transporte del café, Despulpado ,Transporte de pulpa , Desmucilaginado , Lavado , Clasificación del café pergamino, Transporte del café pergamino a los secadores mecánicos , secado(natural y mecánico), trillado, clasificado , empacado y almacenamiento .Todos estos pasos pertenecen al proceso de beneficiado húmedo, el cual es el comúnmente utilizado en los diferentes beneficios de la zona y del país.

El beneficio procesa en una temporada regular (5 meses diciembre -abril) entre 45,000 y 50,000 fanegas de café uva, gran parte de este café es secado en dos secadoras rotativos geométrica y funcionalmente iguales que suman una capacidad de 180 quintales de café pergamino. Dos generadores de calor del tipo tubular (calentadores de aire) proporcionan el aire caliente necesario para el secado del café, estos utilizan como combustible leña, cascarilla de café u otro combustible sólido con propiedades similares a estos.

Los equipos para el secado mecánico de café fueron instalados para aumentar la capacidad de acopio del beneficio y mejorar la calidad del café procesado además, como no se cuenta con suficiente infraestructura de patios y el clima

durante la temporada de trabajo es muy lluvioso, los equipos son de mucha utilidad e indispensables, por tanto, estos deben de funcionar de manera correcta y eficiente para efectuar un secado de calidad al café procesado.

Frecuentemente es muy útil conocer la eficiencia con la que funcionan estos equipos porque suministra una apreciación sobre la calidad de diseño, fabricación, uso y conveniencia del combustible a utilizar en ellos.

El presente trabajo monográfico tiene como uno de sus objetivos determinar la eficiencia térmica con la que funciona uno de los dos generadores de calor que se utiliza en el beneficio para el secado de café pergamino, mediante la aplicación de un conjunto de técnicas que permitan determinar el grado de eficiencia con que se produce, transporta y se usa la energía térmica en el proceso de secado de café pergamino.

II. OBJETIVOS.

Objetivo general.

Realizar la evaluación de la eficiencia térmica del generador de calor utilizado para el secado de café, del beneficio santa margarita Jinotepe, Carazo.

Objetivos específicos:

1. Determinar las condiciones actuales del generador de calor.

2. Elaborar planos constructivos con todos los detalles del generador de calor.

3. Identificar los elementos que provocan la disminución de la eficiencia en el generador de calor.

4. Proporcionar una metodología de cálculo para la determinación de la eficiencia térmica de los generadores de calor humo tubular.

III. Justificación.

Frecuentemente es muy útil conocer la eficiencia con la que funcionan estos equipos porque suministran una apreciación sobre la calidad de diseño, fabricación, uso y conveniencia del combustible a utilizar en ellos.

Los generadores de calor, instalados hace más de 50 años en el beneficio santa margarita, son de mucha utilidad; debido a las condiciones lluviosas del clima y a que no se cuente con suficiente infraestructura de patios, para secar de manera natural el volumen de café que se procesa durante toda una temporada. La antigüedad y los cambios que se han realizado en los equipos hace sospechar que estos funcionan de una manera no tan eficiente, trayendo consigo ciertas dificultades como el consumo extra de combustible(cascarilla de café),suministro extra de combustible que se debe realizar para lograr proporcionar el aire para el secado a la temperatura que se requiere, de lo contrario, el secado será insuficiente afectando la calidad del café y aumentando, tanto el tiempo estandarizado para esta acción, como el consumo de energía eléctrica en los motores que impulsan el ventilador y la secadora rotativa.

A pesar de que la cascarilla de café es un combustible que se obtiene a bajos costos, pues es un sub producto del beneficiado y solo se necesita un espacio acondicionado para su almacenamiento, no se justifica un uso indebido en su aprovechamiento como energía.

Por todo lo antes mencionado se pretende realizar este trabajo monográfico que tiene como objetivo la evaluación térmica de uno de los generadores de calor (calentadores de aire).

Se busca además desarrollar una metodología de análisis y cálculo para determinar la eficiencia, en los generadores de calor utilizados para el secado de café, que sirva como guía y documento de consulta a personas interesadas en el tema.

1. EL BENEFICIADO Y LA OPERACIÓN DE SECADO DEL CAFE.

1.1. Beneficiado, concepto.

Técnicamente, el beneficiado, consiste en la serie de pasos o etapas de procesamiento a las que se somete el café para quitar o eliminar todas sus capas o cubiertas de la forma más eficiente sin afectar su calidad y su rendimiento. Es una transformación primaria del grano.

Otra definición del beneficiado es también: El conjunto de operaciones que se realizan para transformar el café uva en pergamino seco, conservando la calidad del café, cumpliendo con las normas de comercialización, evitando perdidas de café y eliminando procesos innecesarios, aprovechando los subproductos del grano, consiguiendo el mayor ingreso económico al caficultor y minimizando la contaminación del ambiente.

1.2. Tipos de beneficiado.

Para obtener el grano comercial, hay que eliminar completamente la pulpa y el pergamino y todas las capas de este hasta obtener el grano. Tal resultado se obtiene mediante dos técnicas distintas de procesamiento o transformación del grano: una llamada vía húmeda y otra llamada vía seca.

1.2.1 Vía húmeda (beneficiado húmedo):

Recibe este nombre debido a que en la serie de procesos que se siguen para la transformación del café se utiliza agua. El beneficiado húmedo consta de los siguientes pasos:

1. Pesado y Tarado: El café maduro, recién cortado, denominado Café Uva, llega al beneficio en camiones, los cuales son pesados en una báscula, primero con la carga de café, luego son pesados sin la carga de café, la resta de los dos pesos (Tarado), es el peso real del café recibido.
2. Clasificado Inicial por Densidad: El café se recibe de los camiones en tanques o sifones húmedos, en los cuales, el café es transportado por

medio de una corriente de agua, hacia el fondo del tanque, para luego pasar hacia la tolva de separación de flote, en la cual el flujo se separa en dos partes: el café con el peso adecuado o de primera, pasa hacia los pulperos, y el café que flota o de segunda, sigue el mismo proceso; pero aparte o es enviado a un patio aledaño.

3. Despulpado: Por medio de una bomba el flujo de agua lleva el café hacia los pulperos, en los cuales se fricciona para separar la cáscara y la pulpa del grano, usando aguapara facilitar esta tarea y para transportarlo hacia las cribas.
4. Clasificación:El café despulpado llega hacia las cribas, en las cuales se clasifica el café, separando nuevamente el flujo en dos: primero el café que atraviesa la superficie de la criba, se dirige hacia el flujo de café secundario, y segundo el café que corre sobre la criba se dirige hacia las pilas de fermentación.
5. fermentación: El café se deposita en pilas, para la eliminación de mucílago (baba o “miel” presente en el grano de café uva) esto se logra mediante fermentación, que puede ser natural o acelerada por medio de alguna enzima, para luego pasar al proceso de lavado.
6. lavado: El café se hace pasar muy cuidadosamente por lavadoras en forma de canal, el café resultante hasta este punto se le denomina café pergamino húmedo, debido a que todavía lo envuelve una película llamada cascarilla.
7. pre secado y secado: El café pasa por máquinas pre secadoras y secadoras, para reducir su humedad, por medio de un intercambio de calor con aire caliente generado por calderas. El resultado es lo que se denomina café pergamino seco, el cual generalmente se almacena en sacos o en algunos casos en silos metálicos, para luego transportarse hacia el trillado.
8. trillado: El café se hace pasar por las trilladoras, estos equipos realizan el proceso de separar la cascarilla del grano de café, resultando el café oro,

la cascarilla es entonces transportada hacia una bodega para su posterior uso como combustible en calderas y hornos.

9. Clasificado: El café oro pasa por diferentes tipos de clasificado: por tamaño, por densidad y por color, esto se realiza por medio de máquinas neumáticas. al final los diferentes tipos de café oro se empacan en sacos, los cuales después de pesados, son transportados a la bodega de producto terminado, quedando listos para su exportación o destino final.

1.2.2. Vía seca:

La vía seca se aplica a los frutos secos (café en cascara) y permite en una sola operación mecánica librar los granos de todas sus capas o cubiertas. Esta técnica consiste en los siguientes pasos:

- recolección
- secado
- eliminación de la envoltura (cascara) en una sola operación mecánica.
- clasificado.

1.3. Secado, concepto.

Las razones para realizar el secado de un material son tan amplias como la variedad de materiales que necesitan o pueden ser secados. En el caso del café no hay acepción, a pesar de que es uno de los productos más difíciles de secar, dicho proceso es indispensable en la trasformación y obtención de un producto de calidad, el cual se comercializa a muy buen precio en nuestro país y los mercados internacionales.

Se define al proceso de secado mecánico como: la remoción de sustancias volátiles (que se llama humedad) de una mezcla que se encuentra en un producto solido mediante la aplicación de calor. Se excluye métodos de concentración, prensas, filtros o centrífugos a si también como métodos térmicos como la destilación o deshidratación azeotrópica de algunos líquidos orgánicos.

Cuando hablamos de la humedad de un material nos referimos al contenido de agua (en masa) por unidad de peso de material seco o mojado.

1.4. Formas de secado.

En el beneficio santa margarita, como en el resto de beneficios procesadores de café que operan en la zona caraceña y demás regiones del país, el secado del grano de "oro" se realiza mediante los métodos de secado natural y secado artificial. El objetivo, cualquiera que sea el método de secado, es reducir la humedad del grano de un 50% -55% hasta un 10%-12%.

1.4.1. El secado natural:

Es el método tradicional empleado, no requiere de mucha complejidad, ni equipos sofisticados, solamente se necesita de grandes áreas para la colación del grano y exposición al aire ambiente y acción del sol, con el objetivo de eliminar gradualmente la humedad contenida en el grano. Los intercambios de energía y humedad toman lugar en la superficie de los granos; aquellos localizados en la parte inferior, en contacto con la superficie, prácticamente permanece en el mismo estado de humedad porque no recibe la energía térmica necesaria para la evaporación y eliminación del agua que contiene. Por tanto es indispensable y necesario mover constantemente la masa de café, para lograr exponer a la radiación del sol la mayor parte de la superficie del grano, obteniendo a si un secado más uniforme y rápido. Tradicionalmente la remoción se realiza con rastrillos o palas de madera, en lapsos de tiempo de tres o cuatro veces por día.

Los fenómenos de trasferencia de calor y humedad, en el secado solar, son muy complejos. Son numerosas las variables que se relacionan con el proceso y que tienen su grado de incidencia en la efectividad del proceso; variables tales como las que a continuación mencionamos:

- la radiación solar
- temperatura y humedad del aire

- la velocidad del aire
- el tipo de piso sobre el cual descansa el grano
- el espesor de la capa del grano
- el procedimiento y la periodicidad con la que se realiza la remoción del grano
- el clima cambiante
- humedad inicial del café

No se espera que el secado tradicional del café cambie en los próximos años, por el aprovechamiento de la energía disponible (energía solar) son muy aceptables, y los costos de los equipos utilizados en el proceso son bajos, principalmente para los pequeños productores.

La segunda manera o forma, de extraer la humedad presente en el grano de café, que es también muy utilizado en nuestro país, es el secado artificial. El que a continuación describimos.

1.4.2. Secado artificial:

Es aquel que se utiliza en aquellos beneficios que procesan grandes volúmenes de café y requieren de procesos tecnológicos rápidos y efectivos. Todas las operaciones están mecanizadas, por lo tanto se requiere de aparatos y equipos complejos, gran destreza y experiencia de los operadores de estos equipos, así como también de un control estricto de los procesos para mantenerlos dentro de los límites permitidos, con el propósito de obtener café seco de alta calidad. En este caso la humedad que contiene el grano de café es extraída gracias a una masa de aire que se hace fluir a través de la masa de café, la masa de aire es calentada en sistemas de calentamiento para luego ser inyectado al café y extraer la humedad. la temperatura que debe poseer la masa de aire, y que es recomendada para un buen secado, se encuentra entre los valores de 60 a 70 grados, si se calientan masas de aire menores o mayores a este intervalo se corre el riesgo de obtener un secado del grano no muy bueno cosa que repercute en la calidad del mismo.

A continuación se mencionan algunas consecuencias en las que se incurren al secar con temperaturas bajas o altas.

Temperaturas altas:

- Causan el endurecimiento de la superficie del grano y dificultan la salida de la humedad del interior de éste.
- Dañan la apariencia del grano (decoloración, cristalizados) y su calidad.
- Pérdidas de peso y problemas en el pilado.
- Provoca la expulsión del embrión del grano

Temperaturas bajas:

- Retardan el secado y lo hacen más costoso.
- Si el grano retiene mucha humedad, causa problemas en el almacenamiento; ataque de hongos, pérdida de sabor, etc.
- Riesgos en la calidad del producto

Las variables que se relacionan con este tipo de proceso y que tienen su grado de incidencia en la efectividad del proceso se mencionan a continuación:

- Temperatura del aire (60 a 70 grados recomendado)
- Flujo de aire
- Presión estática
- Humedad relativa del aire

Es evidente la ventaja que tiene esta forma de secar café respecto a la forma tradicional, entre estas ventajas esta:

- secado más uniforme del grano de café.
- es independiente del clima.
- se mejora la calidad del grano.
- se mejora la capacidad de secado.

A continuación se mencionan algunas consecuencias en las que se incurren al secar con temperaturas bajas o altas.

Temperaturas altas:

- Causan el endurecimiento de la superficie del grano y dificultan la salida de la humedad del interior de éste.
- Dañan la apariencia del grano (decoloración, cristalizados) y su calidad.
- Pérdidas de peso y problemas en el pilado.
- Provoca la expulsión del embrión del grano

Temperaturas bajas:

- Retardan el secado y lo hacen más costoso.
- Si el grano retiene mucha humedad, causa problemas en el almacenamiento; ataque de hongos, pérdida de sabor, etc.
- Riesgos en la calidad del producto

Las variables que se relacionan con este tipo de proceso y que tienen su grado de incidencia en la efectividad del proceso se mencionan a continuación:

- Temperatura del aire (60 a 70 grados recomendado)
- Flujo de aire
- Presión estática
- Humedad relativa del aire

Es evidente la ventaja que tiene esta forma de secar café respecto a la forma tradicional, entre estas ventajas esta:

- secado más uniforme del grano de café.
- es independiente del clima.
- se mejora la calidad del grano.
- se mejora la capacidad de secado.

2. GENERADORES DE CALOR PARA EL SECADO DE CAFÉ.

2.1. Definición de generador de calor.

Son muchos y diversos los usos que se le da a la energía, en forma de calor, en la industria. Usos que van desde la producción de vapor sobrecalentado para la generación de energía, acondicionamiento de aire, producción de vapor para la esterilización de equipos médicos, etc.

Si nos referimos al uso del calor en la industria cafetalera, este se utiliza en el secado artificial del café, proceso en el que se debe contar con equipos especiales en los cuales se calienta aire para luego utilizarlo en el proceso de secado. A estos equipos se les denomina generadores de calor (calentadores de aire) son muchos los modelos y las formas en que estos son fabricados.

Se define al generador de calor como una caja aislada en la cual el calor, liberado por el quemado de un combustible sólido o líquido, es transferido a un fluido de proceso que fluye a través de un elemento intercambiador de calor. Generalmente o casi siempre el fluido de proceso es aire atmosférico. Existen otros sistemas en los que el fluido es vapor sobrecalentado.

2.2. Función del generador de calor utilizado en los beneficios de café.

La función de un calentador es suministrar una cantidad específica de energía, en forma de calor a niveles de temperaturas elevadas, al fluido que se desea calentar. Esto debe realizarse sin que se presenten sobrecalentamientos del fluido o de los componentes estructurales del equipo.

2.3. Sistemas de calor. En los generadores de calor, específicamente en los que el fluido del proceso es aire atmosférico, existen dos sistemas de calor.

2.3.1. A fuego directo:

En los sistemas a fuego directo, los gases calientes generados por la combustión, son mezclados con el aire atmosférico en proporciones que varían

entre 25% y 75% para luego ser inyectados en las maquinas secadoras.. En estos tipos de sistemas se pueden causar daños al operador en las vías respiratorias debido al humo, además puede impartir olor y sabor a humo, al café, si la combustión no está bien ajustada.

2.3.2. A fuego indirecto.

En este caso solo se le agrega calor al fluido de proceso y no gases de combustión. El secado es más limpio y se evita el riesgo de ahumar el café en el proceso.

2.4. Componentes, controles y accesorios del generador de calor.

Existen modelos diversos, con distintos grados de complejidad, pero en todos ellos ocurre una serie de procesos mecánicos, físicos y químicos relacionados entre sí, como son:

- La combustión.
- La transferencia de calor desde los productos de la combustión hacia el flujo de trabajo a través de la superficie de calentamiento.
- Los procesos de transformación química y físicas en los productos de la combustión y en el flujo de trabajo.

Debido a la variedad de procesos que ocurren en el generador de calor hacen que este posea una serie de componentes básicos y de instalaciones auxiliares tales como:

- Horno
- Intercambiador de calor
- Alimentador de combustible
- Parrilla
- Cenicero
- Ventilador para el abastecimiento de aire
- Extractores de los gases de combustible

- Chimenea
- Controladores de temperatura
- Ductos y tuberías
- Economizadores y recuperadores de calor.

La instalación y la disposición de cada uno de estos elementos, tiene como objetivo contribuir a la obtención de una máxima transferencia de la energía térmica y óptimo rendimiento del generador de calor.

Los componentes básicos presentes en la mayoría de los modelos de generadores de calor actualmente utilizados para el secado de café son los siguientes:

1. horno. Es un espacio encerrado en el que se produce calor, mediante la oxidación química de un combustible. El diseño del horno y su tamaño deberá garantizar en su interior una buena combustión, para lograr este propósito se tiene que cumplir las siguientes exigencias:

- Instalación, operación y mantenimiento correcto del equipo destinado a quemar combustible.
- Volumen suficiente para las necesidades de la combustión.
- Materiales refractarios y aislamiento adecuados.
- Accesibilidad para los trabajos de mantenimiento y reparación que deben realizarse dentro de la cámara de combustión.

La cámara de combustión es propiamente el lugar del horno, donde ocurre la combustión. Generalmente su forma geométrica corresponde a la de un cilindro, ya que esta, proporciona mayor sencillez de construcción y no necesita de juntas de compensación durante las expansiones térmicas del material. Las paredes de la cámara de combustión se fabrican de materiales refractarios con aislamiento térmico. La superficie de las paredes de la cámara de combustión se forran con planchas de acero para evitar filtraciones y proporcionar resistencia a la estructura, estas paredes se fabrican de tal forma que puedan cumplir las siguientes funciones:

- Disminuir las pérdidas de calor al medio ambiente
- Asegurar la hermeticidad de la cámara de combustión.

El volumen de la cámara de combustión tiene que ser suficiente para alcanzar los siguientes objetivos:

- Un alto rendimiento económico de la combustión, siempre y cuando la intensidad de la radiación térmica del volumen no sobrepasen los valores permisibles en el generador de calor.
- Ubicar las superficies de calentamiento de radiación que sean necesarias para garantizar la temperatura de los gases a un valor determinado, a la salida de la cámara de combustión.

Las magnitudes del volumen de la cámara de combustión que corresponden a estas condiciones no deben coincidir, entonces, de las dos magnitudes de volumen se puede escoger la mayor, pues de esta forma serán satisfechas ambas.

Existen dos modelos básicos de hornos que se acoplan a los generadores de calor, el horno de lecho y el horno de cámara, estos se diferencian por la manera en que ocurre la combustión.

- Hornos de lecho. Son aquellos en los cuales la cascarilla de café se quema en capas sobre una superficie o parrilla.
- Hornos de cámara. Son aquellos en donde el combustible se quema en suspensión dentro de un volumen limitado.

2. intercambiador de calor. El intercambiador es uno de los equipos de mucho uso en la industria y de sumo interés en ingeniería. Las aplicaciones modernas de los intercambiadores son numerosas. Una de las principales aplicaciones es el intercambio de energía, en forma de calor, entre dos sustancias que se mueven a diferentes temperaturas (fluidos de trabajo).

Los gases, que se forman como producto de la combustión de cualquier combustible sólido o líquido en el horno, son los portadores de esta energía que es transferida al aire tomado de la atmosfera a través de los mecanismos siguientes:

- Convección - radiación de los gases de combustión de combustión hacia la superficie del sólido.
- Conducción térmica a través de la superficie del sólido.
- Convección-radiación desde la superficie del solido al aire tomado de la atmosfera.

Entre los diversos tipos de intercambiadores utilizados en los generadores de calor para el secado se encuentran los siguientes modelos, los cuales han sido clasificados de acuerdo a:

La dirección del movimiento de los fluidos que circulan tanto al interior de los tubos o cámaras como en el espacio intertubular:

- Intercambiador de calor a contra corriente. Donde el flujo de humo y el flujo de aire a calentar tienen direcciones opuestas.
- Flujo transversal (cruzado). La dirección de los flujos forman 90˚.
- Flujo paralelo. Los flujos tienen la misma dirección.
- Intercambiador de varios pasos. Donde el flujo de humo en su recorrido cede calor en varias etapas, esto depende de la disposición y el montaje de las distintas etapas del intercambiador de calor.

De acuerdo con su construcción. Los intercambiadores de calor pueden clasificarse en:

- Tubo en tubo.
- Tubo y coraza.
- Mixtos.

Todos estos modelos tienden a obtener la máxima área posible de contacto, que se logra alcanzar, con el propósito de intensificar el proceso de intercambio de calor y lograr una mayor eficiencia del aprovechamiento de la energía liberada por el combustible. Los gases de combustión circulan en el interior de los tubos o cámara, en tanto, el aire a calentar se mueve sobre la superficie exterior de estos, en el espacio intertubular. En algunos casos se hace uso de la recirculación de los gases de combustión y todos los elementos por donde los gases circulan, ya sean estos, tuberías, ductos y chimeneas participan como intercambiadores de calor.

El intercambiador de calor generalmente está situado a continuación de la cámara de combustión procurando obtener el mayor recorrido y área de intercambio de energía térmica.

3. alimentador de combustible. Este equipo realiza el suministro de combustible hacia la cámara de combustión. Por medio de un ventilador se dosifica la cascarilla de café y el aire necesario para la combustión completa de esta. Utilizando la presión que desarrolla el aire circulando en la tubería, se logra trasportar la cascarilla de café desde la tolva receptora hasta el lecho de la cámara de combustión. Aumentando o disminuyendo la abertura en la salida de la tolva de alimentación se regula la cantidad de cascarilla de café, dependiendo del régimen de trabajo del generador de calor.

El alimentador de combustible realiza la mezcla de cascarilla de café y aire en proporciones que se encuentre dentro de los límites de régimen para el encendido, logrando una combustión constante durante el periodo de trabajo del generador de calor. Los incrementos considerables en la velocidad de los flujos de aire y el combustible hacen disminuir los límites de inflamabilidad, también las atmosferas viciadas provocan el mismo efecto. A este sistema de alimentación se le conoce como del tipo neumático y es muy utilizado en sistemas modernos de generación de calor debido a que gracias a la forma en la que se quema el combustible (en suspensión) se logra una combustión casi completa, mejorando la estabilidad en la producción de calor. Otra forma de

proporcionar combustible, al generador de calor, es a través de un procedimiento manual.

4. parrilla estacionaria. Funciona a la vez como el lecho del hogar del horno, sobre esta se realiza la combustión de la cascarilla de café. La parrilla está construida de una plancha de acero de un espesor variable de 5 a 8 centímetros, posee una serie de perforaciones y aberturas que permiten el descenso de la ceniza de la cascarilla hacia el cenicero y la entrada de aire complementario hacia la cámara de combustión.

5. cenicero. Generalmente es el piso del generador de calor. En este sitio se recogen los residuos de la combustión, los cuales deben ser retirados periódicamente, con el propósito de evitar su atascamiento en las aberturas de la parrilla estacionaria y puedan permitir un flujo continuo de aire complementario para la combustión.

6. ventiladores de suministro de aire a calentar. La función de este dispositivo es el de aspirar el aire de la atmosfera y hacerlo circular sobre las superficies destinadas para el intercambio de calor que se encuentran calientes y finalmente conducirlos a través de los ductos y tuberías hacia el equipo para el secado de café. El ventilador centrífugo es de los principales utilizados en los generadores de calor para el secado de café; se distinguen tres tipos de ventiladores centrífugos:

- ventilador centrifugo de paletas múltiples curvadas hacia delante. son apropiados para mover grandes caudales de aire, contra presiones bajas, con un nivel de ruido sumamente bajo.
- ventiladores centrífugos de paletas rectas. se utilizan muy pocos.
- ventiladores centrífugos de paletas inclinadas hacia atrás. pueden desarrollar presiones estáticas más elevadas que los de paletas hacia adelante pero mueven caudales de aire menores.

Debido a su construcción, los diferentes ventiladores pueden girar a velocidades relativamente grandes. Tienen la característica de no sobrecargarse, aun quitando todas las restricciones al flujo de aire; algunos se construyen con aletas aerodinámicas, lo que lo hacen más eficientes y silencioso.

7. chimenea. Es el dispositivo para evacuar los gases que son producidos por la combustión de la cascarilla de café, esta es instalada a continuación del último intercambio de calor de los gases de combustión con el aire a calentar. La chimenea está construida de láminas de acero con forma cilíndrica.

8. controladores de temperatura. Para efectos del control de la temperatura se utilizan termómetros de dial, los cuales presentan la temperatura del aire caliente. Esta temperatura deberá estar en el rango de 60 a 70 grados centígrados, que es lo recomendado en el secado de café para obtener un grano seco de café de muy buena calidad.

Los termómetros están instalados en la tubería y ductos que trasportan el aire caliente que es conducido hacia los secadores de café. En caso de presentar un valor fuera de estos límites, se procede a aumentar o disminuir la alimentación de aire y combustible con el propósito de regresar al régimen normal de trabajo.

9. ductos y tuberías. Estos equipos son utilizados para el transporte del aire caliente desde el intercambiador de calor hasta el equipo de secado, el aire frio que necesita ser calentado, aire para la combustión, gases de combustión desde la cámara de combustión, pasando por los intercambiadores de calor hasta su expulsión a la atmosfera a través de la chimenea. Los ductos y tuberías están construidos de láminas de acero.

2.5. Instalaciones auxiliares de un generador de calor.

Las instalaciones auxiliares son: equipos que se utilizan para mejorar el rendimiento del generador de calor entre los cuales encontramos los siguientes:

1. Ventiladores tiro inducido o forzado: Estos equipos se encargan de impulsar o aspirar los gases de combustión de la cámara de combustión, se instalan cuando el tiro natural no puede vencer la pérdida de presión al interior del generador de calor.

2. Economizadores y recuperadores de calor: Son equipos que intercambian calor aprovechando la capacidad térmica de los gases de combustión. Estos dispositivos se construyen generalmente de superficies extendidas para obtener una mayor área de transferencia de calor. Se le da el nombre de economizador ya que aumenta la temperatura del aire para la combustión y el aire a calentar, por ende disminuye el consumo de combustible, aumentando el rendimiento del generador de calor.

3. Compuerta para la entrada de flujo de aire y limpieza: Están construida de láminas de acero al carbono, se utilizan para: la regulación de flujo de aire a calentar, flujo de aire para la combustión, mantenimiento interno del intercambiador de calor y las operaciones de limpieza de la cámara de combustión.

4. Llave de pase de regulación de flujo de aire a calentar: Es utilizada en la regulación del flujo de aire a calentar, está localizada en los ductos que conducen el aire caliente hacia los secadores de café.

2.6. Particularidades constructivas y de funcionamiento del generador de calor en estudio[1].

A continuación se describe cada uno de los elementos que constituyen el generador de calor en estudio, así como su funcionamiento, las cuales de una u otra manera tienen su grado de incidencia en la efectividad del equipo, en el aprovechamiento de la energía térmica.

El equipo es de fabricación inglesa, fue instalado en el beneficio con el fin de dinamizar el proceso de secado de café, en sus tantos años de uso ha sido de

[1] Los detalles constructivos son presentados en el anexo A

suma y vital importancia tanto en el aumento de la capacidad de acopio como en el mejoramiento en los procesos de secado en el beneficio, el cual se realiza en patios de secado.

Funcionamiento.

El sistema calienta aire, el cual es utilizado para secar café pergamino, el equipo toma aire atmosférico a temperatura ambiente, para calentarlo hasta el intervalo de temperaturas de 60 a 70 °C para luego ser inyectado en la maquina secadora de café donde ocurre un intercambio de calor entre el café pergamino húmedo y el aire caliente suministrado. El generador de calor tiene la capacidad de proporcionar el calor necesario para abastecer con el aire caliente necesario a la maquina secadora, la cual tiene una productividad de 90 quintales de café seco. El tiempo de trabajo, por ciclo de secado del grano, está en dependencia del grado de humedad inicial y final que este posea.

Estructura del Cuerpo principal (carcasa).

Cuatro placas rectangulares son unidas en sus esquinas a través de angulares y pernos, para constituir el cuerpo principal de la carcasa, esta forma un volumen prismático rectangular, en el cual están confinados la cámara de combustión, el intercambiador de calor y la sección de evacuación de gases. En la parte superior se acopla también otra placa rectangular que sirve como techo, esta obliga a los gases de combustión a salir a través de la chimenea. En las placas que constituyen el cuerpo principal de la carcasa se ubican secciones donde son acoplados los ductos de entrega y suministro de aire así también la chimenea.

Combustible que utiliza.

Este equipo puede funcionar con una gran variedad de combustibles como: leña, cascarilla de café, aserrín y otros que tengan características similares. Específicamente el equipo utiliza cascarilla de café como combustible debido a su conveniencia económica. La cascarilla de café se obtiene como un subproducto del proceso del beneficiado, por lo tanto se obtiene el combustible

ahí mismo, en la empresa, esto elimina los costos de compra y traslado de combustible; únicamente es necesario acondicionar un espacio para su almacenamiento y su posterior utilización.

Mecanismo de Alimentación del combustible al equipo.

Se realiza de manera manual, se utiliza una pala con la cual se toma la cascarilla de café y se deposita en la cámara de combustión a través de la compuerta principal de suministro; El operador del equipo a intervalos de tiempo determinados deposita cierta cantidad de combustible en el interior del horno y lo distribuye sobre la parrilla, de forma tal, que se garantice una buena combustión de la cascarilla. A diferencia de los sistemas neumáticos de alimentación modernos, en los que se logra una combustión casi completa y una distribución de temperaturas uniforme a lo largo de la cámara de combustión, este sistema de alimentación posee grandes deficiencias, generando desperdicios de combustible e inestabilidad en el sistema de generación de calor.

Mecanismo de Alimentación de aire para la combustión.

El aire para la combustión llega, al horno, única y exclusivamente a través del cenicero, debido al tiro natural que generan los gases al moverse a temperaturas considerables en la chimenea. Este movimiento produce depresiones en la cámara de combustión, la cual provoca un flujo de aire atmosférico a través del cenicero. La combustión se realiza en capas directamente sobre la parrilla metálica estacionaria la cual sirve como piso del horno. La parrilla está compuesta por 12 piezas rectangulares en forma de tiras. Estas se soportan en angulares ubicados de lado a lado. Las tiras se ubican una a la par de la otra, hasta conformar toda la parte de la estructura de la parrilla.

Las tiras en su parte lateral poseen una forma de dientes, es decir, no son planos, de tal forma que al entrelazar una con otra se generan espacios en forma de zigzag, espacios que sirven para la expansión térmica, dar salida a las cenizas hasta el cenicero, una vez que se da la combustión, también sirven

como entrada del aire para la combustión, después de que este pasa por la sección del cenicero.

Cámara de combustión.

Situada posterior al cenicero, en el pie del cuerpo principal; es el lugar donde se transforma la energía del combustible, a través de la oxidación del mismo. Con el fin de disminuir las pérdidas de calor, sus paredes están hechas de ladrillo de barro común cubierto con una capa de concreto hidráulico. Las paredes de la cámara de combustión son soportadas en su parte exterior por el cuerpo principal de la carcasa. El acceso a esta se logra a través de la compuerta principal, por la cual se suministra el combustible, o también retirando las 12 piezas en forma de tira que forman el piso de la misma.

Intercambio de calor.

El intercambio de calor entre los productos de la combustión y el aire a calentar se da gracias a un intercambiador que se encuentra inmediatamente después del horno. Este intercambiador es del tipo tubo y coraza, está constituido por 85 tubos arreglados a tres bolillos dispuestos verticalmente. Los tubos en sus extremos están soldados a placas de acero, estas se soportan a su vez al cuerpo principal de la carcasa a través de angulares atornillados. La placa inferior sirve como techo al horno, esta placa se encuentra sometida a radiación intensa y es una de las secciones donde se intercambia calor. Una vez que los gases abandonan la cámara de combustión, circulan a través del interior de los tubos, al entrar en contacto con las superficies internas ceden parte de su energía, para luego abandonar definitivamente al equipo.

El aire a calentar circula en la parte exterior de los tubos, una placa deflectora ubicada a la mitad del intercambiador, obliga al aire a realizar dos pasos a través de la carcasa. En el primer paso los humos y el aire a calentar circulan en sentidos contrario, en el segundo paso ambos circulan en el mismo sentido. El aire se calienta al entrar en contacto con las superficies exteriores de los tubos,

para luego abandonar el intercambiador y ser enviado a la maquina secadora donde será utilizado para secar el café pergamino. En los acoples de la lámina de la carcasa y los ductos de transporte de aire se identificaron fugas de aires consideradas, esta masa de aire que se fuga no es calentada e influye directamente en la eficiencia del equipo.

Evacuación de gases y transporte de aire.

Los gases de combustión, luego de finalizar los procesos de intercambio de calor, son expulsados a través de la chimenea, que funciona con un tiro natural, hacia el exterior.

El volumen de aire a calentar es abastecido por un ventilador centrífugo de una sola entrada, el cual proporciona la presión necesaria para realizar el recorrido al interior del intercambiador de calor y la sección del ducto hasta la maquina secadora. El ventilador es impulsado con un motor eléctrico de 7.5 HP que lo hace girar a 1800 RPM.

Control y monitoreo de la temperatura.

Sobre el ducto que transporta el aire caliente, precisamente antes que este entre a la maquina secadora, se ubican termómetros los cuales registran las temperaturas del aire caliente, el cual deberá mantenerse en el intervalo de 60 70 °C. El dato que proporciona este termómetro es de suma importancia debido a que con él se determina la cantidad de combustible, así como el tiempo en que este debe suministrarse.

Aislamiento térmico.

Las paredes del horno, construidas con ladrillo de barro, es el único elemento aislante y que disminuye las pérdidas de calor. Lo demás (cuerpo principal y los ductos de transporte) carecen de aislamiento térmico, lo que produce calentamientos excesivos en las paredes exteriores de algunos elementos y por ende perdidas excesivas de calor hacia el medio ambiente. La falta de

aislamiento térmico incide significativamente en el aprovechamiento de la energía, esto se ve reflejado en los cálculos del balance térmico.

3. LA BIOMASA COMO COMBUSTIBLE EN LOS GENERADORES DE CALOR.

3.1. Definición general.

En las diferentes actividades industriales, la principal fuente de energía proviene de los procesos de combustión. Es reconocido por todo el uso del petróleo y sus diferente derivados (diesel, gasoil. bunquer, gas licuado, etc.), como uno de los principales combustibles; pero a medida que este aumenta su precio de obtención, se hace necesario, la búsqueda de combustibles más baratos que puedan sustituirlo y disminuir así los costos. Como una alternativa surge el uso de la biomasa, la que además de ser rentable, su uso es amigable con el medio ambiente.

se conoce como biomasa: a toda la materia orgánica que proviene de árboles, plantas y desechos de animales que pueden ser convertidos en energía; o las provenientes de la agricultura (residuos de maíz, café, arroz, nacadamia), del aserradero (podas, ramas, aserrín, cortezas) y de los residuos urbanos (aguas negras, basura orgánica y otros). Esta es la fuente de energía renovable más antigua conocida por el ser humano, pues ha sido usada desde que nuestros ancestros descubrieron el secreto del fuego.

3.2. Combustión de la biomasa.

Para la generación de calor, en el secado de café, el proceso de combustión es el más importante, ya que sin este fenómeno, los equipos destinados para este fin, no funcionarían. La combustión es un proceso complejo que es necesario tener bajo control y regulación, en caso contrario, provocaría perdidas de combustible e inestabilidad en la generación de calor.

Se define como combustión a la combinación químicamente rápida de una sustancia con el oxígeno, en el cual existe un desprendimiento de energía térmica y lumínica, desarrollándose altas temperaturas.

Existen dos tipos de combustión que son:

- Completa: en esta todos los elementos combustibles de la sustancia reaccionan totalmente con el oxígeno, obteniéndose como producto de combustión CO_2 y H_2O.
- Incompleta: en este caso, parte de los elementos combustibles de la sustancia no reaccionan totalmente con el oxígeno, por lo cual existen residuos de estos en los gases de combustión. Generalmente se obtiene monóxido de carbono (CO), debido a que el carbono es el elemento que más existe en el combustible y es menos activo que el hidrogeno.

Las condiciones necesarias para que se produzca una buena combustión son las siguientes:

- Suministrar a la cámara de combustión la cantidad suficiente de aire para quemar el combustible. Para que ocurra una combustión completa se agrega aire en exceso. Experimentalmente se ha determinado que para los combustibles sólidos este exceso esta entre 40 a 80 % sobre las necesidades teóricas de aire.
- Mezclar bien el aire y el combustible.
- Mantener una elevada temperatura en la cámara de combustión que esté por encima de la temperatura de fuego.
- Proveer a la cámara de combustión del volumen suficiente para dar tiempo a que se efectúe la combustión.

Los generadores de calor modernos de combustible sólido, se diseñan para crear estas condiciones técnicas convenientes. Esencialmente se alcanzan estas condiciones por una separación especial del suministro de aire al lecho (aire primario) y del suministro de aire a la zona de combustión del gas del combustible (aire secundario) esto garantiza la combustión de los combustibles y una reducción de las emisiones.

Las razones por las que puede resultar una combustión incompleta son dos.

- cuando la entrada de aire no es adecuada, pues no hay suficiente oxígeno para trasformar el carbono. esto puede ser causado por el diseño

inadecuado del equipo, la falta de ventilación y la sobrecarga del combustible.

- cuando la biomasa tiene una alta humedad, o sea está demasiado mojada; entonces, la temperatura de combustión no es lo suficientemente elevada como para completar las reacciones químicas.

3.3. Principales biomasas utilizadas.

La liberación de energía por métodos químicos es la más difundida, y se basa en las propiedades que poseen ciertas sustancias de combinarse químicamente con el oxígeno, dando por resultado un desprendimiento de energía térmica y lumínica. Las sustancias que cumplen esta condición se denominan combustibles.

En el proceso de secado de café, se utilizan, principalmente, los siguientes tipos de combustibles:

- Leña. (Genera problemas medioambientales, debido a los despales indiscriminados en los bosques)
- Cascarilla de café. (La más utilizada debido a sus bajos costos de obtención)
- Combustibles fósiles como el diesel y el bunker. (Muy poco utilizado debido a sus altos costos de obtención)

3.4. Características fisicoquímicas de la cascarilla de café como combustible.

La cascarilla de café es un subproducto que se obtiene durante el proceso de beneficiado del grano de café. Debido a su origen vegetal posee propiedades de combustible de considerable valor energético, además, su empleo presenta ciertas ventajas tanto económicas como ecológicas.

En el presente trabajo se considera de interés a la cascarilla de café debido a que el generador de calor en estudio la utiliza en calidad de combustible para su funcionamiento.

A continuación se presentan algunas de sus propiedades físicas y químicas importantes que caracterizan a la cascarilla de café como combustible

Tabla 1. Propiedades de la cascarilla de café[2].

Características físicas	Unidades de medición
Densidad aparente	190 kg/m^3
Densidad real	230 kg/m^3
Poder calorífico bajo	3,096.07 kcal/kg
Poder calorífico alto	3,445.03 kcal/kg
Temperatura teórica de combustión	1150 °C

Tabla 2. Composición química de la cascarilla de café[2]**.**

Componente	Composición %
Celulosa	41.33
Pentosanas	25.15
Lignina	15.29
Grasas, Ceras y Resinas	5.83
Humedad	11.45
Cenizas	0.95
TOTALES	100.00

Tabla 3. Composición química por elemento C, H, O presente en cada sustancia componente de la cascarilla de café[2].

componente	carbono	hidrogeno	oxigeno	Totales
Celulosa	41.86	5.82	52.32	100.00
lignina	56.00	6.00	38.00	100.00
pentosanas	37.50	6.25	56.25	100.00
Grasas, serás y resinas	40.70	5.10	54.20	100.00

3.5. Ventajas del uso de biomasa como combustible.

- La cascarilla de café puede ser utilizada directamente, sin ningún tipo de preparación previa, por los propios beneficios que la generan.
- El costo de utilización del desecho en el mismo beneficio, se limita al pago del operador del generador de calor y el costo del almacenamiento.
- No requiere condiciones especiales de almacenamiento, excepto de ser un local cerrado que evite el contacto con la humedad del ambiente.
- los combustibles biomasicos contienen niveles insignificantes de sulfuro y no contribuyen a las emisiones que provocan lluvias acidas.
- la combustión de biomasa produce menos cenizas que la de carbón mineral y puede utilizarse como insumo orgánico en los suelos
- Puede ser utilizado como alternativa a la leña y los derivados del petróleo.

3.6. Desventajas del uso de la biomasa

- Su uso es justificable, cuando se genera en altos volúmenes.

[2] Datos tomados de evaluación de la eficiencia térmica de tres sistemas de generación de calor para el secado de café en los beneficios de la zona norte de Nicaragua.

- Su empleo como sustituto de la leña, requiere de mayor cuidado, ya que es necesario evitar el contacto con la humedad.
- por su naturaleza, la biomasa posee una baja densidad relativa de energía; es decir se requiere de su disponibilidad en grandes volúmenes para producir potencia, en comparación con los combustibles fósiles.
- su combustión incompleta produce materia orgánica, monóxido de carbono (CO) y otros gases, que repercuten en la salud de los seres humanos.
- el potencial calórico de la biomasa es muy dependiente de las variaciones en el contenido de humedad, clima y densidad de la materia prima
- Los equipos para generación de calor requieren de personal calificado para la operación y mantenimiento de estos.

4. BALANCE TERMICO DEL GENERADOR DE CALOR[3].

4.1. Definición general.

El generador de calor es uno de los elementos tecnológicos básicos de los beneficios de café que realizan el procesamiento del grano de café en régimen de trabajo continuo. El rendimiento económico de la operación de este sistema, depende, en gran medida, de la efectividad de la utilización del combustible en el generador de calor, esta efectividad, a su vez se determina por el mayor o menor grado de combustión de los componentes del combustible en la cámara de combustión del generador de calor y por el grado de enfriamiento de los gases de combustión dados por los elementos de asimilación térmica del generador de calor.

El calor entregado por los productos de la combustión a las superficies de calentamientos del generador de calor, se trasmite a los flujos de trabajo, el aire frio es calentado hasta la temperatura de 60 a 70°C, por eso, este calor es llamado calor útil.

No todo el calor del combustible que se quema en la cámara de combustión se usa para la producción de calor útil, una parte de él se pierde a causa de las imperfecciones del proceso de combustión, algunas particularidades del intercambio u otras cosas.

La igualdad entre el calor suministrado al generador de calor llamado calor disponible y la suma del calor útil y pérdidas de calor, se determinan por medio de la composición del balance térmico del generador de calor.

Se define el balance térmico como: el análisis cuantitativo de las cantidades de energía que se transforman en el generador de calor, este es utilizado para determinar la eficiencia térmica y el consumo necesario de combustible.

[3] El balance térmico se tomó de la monografía evaluación de la eficiencia térmica de tres sistemas de generación de calor para el secado de café en los beneficios de la zona norte de Nicaragua.

El balance térmico se realiza para un estado térmico determinado, sobre la base de 100 kilogramos de combustible y una hora de trabajo.

La ecuación fundamental del balance térmico se basa en el principio de conservación de la energía:

$$\Sigma \text{ energía de entrada} = \Sigma \text{ energía de salida.}$$

4.2 Elementos del balance térmico.

El potencial térmico del generador de calor está definido por los siguientes componentes:

4.2.1 Entradas de calor:

Calor de combustión del combustible: este es el calor generado por la combustión del combustible, se determina con la siguiente ecuación:

$$Q_x = H_i * \dot{m}_c \quad (1)$$

Dónde:

H_i - es el poder calorífico inferior.

$\dot{m}_c$ – masa de combustible.

Calor físico del aire para la combustión: es el calor que posee el aire a la Temperatura ambiente en que se encuentra o la temperatura que adquiere en el caso de ser precalentado.

$$Q_a = \dot{m}_c * V_{ap} * C_a * t_a, \text{ kcal/h.} \quad (2)$$

Dónde:

V_{ap} – consumo real de aire por kilogramo de combustible

C_a – capacidad calorífica del aire desde 0 °C hasta ta

t_a – temperatura a la que se encuentra el aire

Calor físico del combustible: es el calor que posee el combustible a la temperatura en que se encuentra antes de dar inicio el proceso de combustión.

$$Q_c = \dot{m}_c * C_c * t_c \qquad (3)$$

Dónde:

C_c – Capacidad calorífica media del combustible desde 0°C hasta tc

t_c – temperatura a la cual se encuentra el combustible

Al utilizar combustible sólido como es el caso de la cascarilla de café, estos dos últimos aportes de energía térmica pueden no ser tomados en cuenta ya que sus magnitudes son pequeñas.

4.2.2 Consumo de calor.

Calor trasmitido al aire atmosférico que será utilizado en el secado de café:

$$Q_u = G * C_{o*} (T_f - T_o) \qquad (4)$$

Dónde:

G – cantidad de aire a calentar

T_f – temperatura final del aire a la salida

T_o – temperatura inicial del aire a la entrada del generador de calor

C_o - calor especifico a temperatura promedio

Pérdida de combustible: las pérdidas de combustible se producen de manera evidente y visible en los generadores de calor se pueden calcular de la siguiente ecuación:

$$Q_{pc} = H_l * G_b \qquad (5)$$

Dónde:

H_i - poder calorífico inferior del combustible

G_b– masa de combustible que no participa en la combustión

Pérdidas por las fugas de humos: estas se producen por las fugas de humos a través de ranuras de ventanas y compuertas, se determina por la siguiente relación:

$$Q_L = G_L * h_i \qquad (6)$$

Dónde:

G_l – es la masa de humos que se escapan

h_i – la entalpia de los humos que se escapan.

Pérdidas de calor por las paredes: en estas pérdidas se consideran todas las paredes, techo y estructura exterior que cubre al generador de calor, se determina por:

$$Q_p = q * A \qquad (7)$$

Dónde:

$q = h\ (T_{ext} – T_a)$

A – es el área de la sección transversal del elemento en estudio

T_{ext} – temperatura exterior del generador de calor.

T_a - temperatura ambiental de los alrededores

h – coeficiente de transferencia de calor entre la superficie externa del generador de calor y el ambiente dado.

El coeficiente h depende de la temperatura de la pared, de su emisividad y de la posición horizontal o vertical.

Pérdidas por irradiación: las pérdidas por radiación por las aberturas de las puertas de trabajo ya sea continua o periódicas se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$Q_r = (4.96E\text{-}8) * A * [(T_1/100)^4 - (T_2/100)^4] \quad (8)$$

Dónde:

4.96E-8 – constante de Stefan-Boltzman

Q_r – calor de radiación de la superficie emisora

A – área de la superficie de radiación

T_1 – temperatura del área emisora.

T_2 – temperatura del área receptora

Una pared que absorbe la totalidad de la radiación que recibe, se considera negra, en ella no habrá reflexión de energía radiante.

Una pared que absorbe todas las longitudes de onda en una misma fracción de la intensidad de la radiación, reflejando entonces el resto, se dice que es gris.

El cuerpo negro absorbe completamente todas las longitudes de ondas de las radiaciones, las más intensas posibles, es por eso que el suministra una medida de la energía radiante. Las radiaciones de intensidad teóricamente máximas son llamadas radiaciones negras.

Para un cuerpo gris la radiación emitida es disminuida en la misma proporción que para todas las longitudes de onda de todo los tipos. La distribución relativa de la energía no cambiará y seguirá rigiéndose por las mismas leyes físicas hasta ahora presentadas, la única modificación será en los valores de las constantes de radiación. Sin embargo, la aplicación es difícil cuando el poder absorbente del cuerpo varía con la longitud de onda. Este caso se presenta, sobre todo al tener metales pulidos, teniendo su aplicación más frecuente en los generadores de calor industriales.

El recubrimiento brillante no puede ser tratado más que atribuyendo un valor promedio al poder absorbente. Si una superficie no negra A de un cuerpo, recibe

la radiación negra, ella no absorbe más que la fracción ε de la radiación. Por lo tanto la cantidad de calor estará dada por:

$$Q_{\lambda-\lambda} = \varepsilon * Qr \qquad (9)$$

$$Q_{\lambda-\lambda} = \varepsilon * (4.96E\text{-}8) * A * [(T_1/100)4 - (T_2/100)] \quad (10)$$

Dónde:

$Q_{\lambda-\lambda}$ – Pérdidas de calor por radiación considerando el coeficiente de emisividad o poder absorbente.

ε - coeficiente de emisividad o poder absorbente.

Pérdidas de calor por los humos: estas pérdidas ocurren en el lugar donde se terminan los intercambios de calor directo o indirecto entre los gases de combustión y el aire a calentar, se determinan por la siguiente ecuación:

$$Q_{gas} = V_s * h_s \qquad (11)$$

Dónde:

V_s – masa de los gases de combustión

h_s – entalpia de los humos a la salida por la chimenea, se determina por la ecuación:

$h_s = c_{pgas} * T_s \qquad (12)$

T_s – temperatura de los humos a la salida por la chimenea

C_{pgas} - calor especifico de los humos a la salida

Si la combustión se realiza con un exceso de aire, la corrección en el valor de la entalpia estará dado por:

$$h_{of} = T_f * \{_{cpf} + [(\mu\text{-}1) * V_{oa}/(V_{ot} * c_{pa})]\} \qquad (13)$$

Dónde:

V_{oa} – masa de aire teórico por unidad de combustible

μ – factor de exceso de aire mayor que 1.

V_{ot}– masa teórica de los gases de escape

C_{pf} – calor especifico de los gases de escape

C_{pa} - calor especifico del aire

Pérdidas de calor no consideradas: agrupa a todas las pérdidas de calor que debido a su complejidad no pueden ser determinar con facilidad, ejemplos de estas pérdidas son: el calor que se pierde a través de las fundaciones del generador de calor, las estructuras accesorias al generador de calor y todas las radiaciones que no pueden ser controladas. Generalmente se calculan se calculan tomando un 10% del calor generado por el combustible, o se pueden determinar a través de la siguiente relación:

$$Q_n = [Q_t – (Q_u + Q_c + Q_l + Q_p + Q_r + Q_{gas})] \qquad (14)$$

Dónde:

Q_n - Pérdidas de calor no consideradas

Q_t – calor total, es la suma algebraica de todos los componentes de aportes de calor, por lo general se considera el principal componente de estos aportes, el calor generado por el combustible durante el proceso de combustión.

Q_u – calor útil, es el calor que verdaderamente es empleado en el proceso tecnológico, para el secado del café, representa la cantidad de calor que ha sido empleada para calentar el aire desde la temperatura ambiente hasta la temperatura de secado.

Q_c – Pérdidas de combustible antes de la combustión.

Q_l – Pérdida por fugas de humos no utilizados o parcialmente utilizados.

Q_p – Pérdidas por las paredes.

Q_r - Pérdidas por radiación en las aberturas.

Q_{gas} - Pérdidas por los humos a la salida.

4.3 Rendimiento teórico.

El rendimiento teórico se define como aquella fracción de calor teóricamente utilizable en el generador de calor. Está expresado de la siguiente forma:

$$n = (Q_u + Q_c + Q_L + Q_p + Q_r)/ Q_t \quad (15)$$

Frecuentemente es útil formularlo porque suministra una apreciación sobre la calidad de diseño y fabricación del generador de calor y sobre la conveniencia de combustible a utilizar.

La eficiencia del generador de calor se calcula con la siguiente expresión:

$$\eta=Q_U/Q_t \quad (16)$$

El cálculo de la eficiencia del generador de calor, representa el porcentaje de calor que ha sido utilizado en el proceso tecnológico.

El presente trabajo tiene como unos de sus objetivos determinar, a través del balance térmico planteado, la eficiencia con la que opera el generador de calor utilizado, en el beneficio santa margarita, para el secado de café pergamino y poder, así, diagnosticar cuantitativamente el aprovechamiento de la energía térmica utilizada para este proceso.

5. METODOLOGIA EMPLEADA PARA LA EVALUACIÓN TÉRMICA.

5.1. Metodología de análisis.

La evaluación del equipo de generación de calor, utilizado en el beneficio santa margarita, se realizó mediante los análisis cualitativo y cuantitativo. Por medio de los cuales se logró determinar las condiciones de funcionamiento y explotación.

5.1.1. Análisis cualitativo.

Esta comprende una ponderación cualitativa del impacto de los factores operacionales y el estado físico del equipo sobre el aprovechamiento energético disipado por el combustible.

Un análisis cualitativo comprende las siguientes actividades:

- la evaluación cualitativa para identificar las pérdidas de energía en función del estado físico y operacional del equipo.
- inspección visual: inspección detallada del estado físico de todos los elementos que conforman el generador de calor.
- inspección de los factores operacionales que afectan la eficiencia térmica.

5.1.2. Análisis cuantitativo.

Este comprende la cuantificación del aprovechamiento térmico de la energía suministrada por el combustible hacia el proceso; es decir los balances de masa y energía involucrados en el sistema.

Un análisis cuantitativo comprende las siguientes actividades:

- identificar las características de diseño (eficiencia, razón de trasferencia de calor).
- evaluar la eficiencia del equipo en condiciones de diseño y operación actual.

- identificar el potencial de ahorro de energía respecto a las características de diseño.
- evaluación cuantitativa del aprovechamiento de la energía térmica en función del proceso y sus pérdidas.

5.1.2.1. Métodos para determinar la eficiencia térmica.

La determinación de la eficiencia térmica, del generador de calor en estudio, representa uno de los principales objetivos de este trabajo monográfico. Esta eficiencia puede determinar por medio de los siguientes métodos.

- Método del balance térmico directo
- método del balance térmico indirecto.

El balance térmico indirecto, es aquel mediante el cual, la eficiencia térmica se determina en función de las perdidas.

$$\eta = \frac{\mathrm{Q_{suministrado}} - \mathrm{Q_{perdido}}}{\mathrm{Q_{suministrado}}} \times 100\%$$

El balance térmico directo, es aquel que determina la eficiencia térmica en función del calor útil y el calor disponible.

$$\eta = \frac{Q_{util}}{\mathrm{Q_{suministrado}}} \times 100\%$$

En el desarrollo del presente trabajo monográfico se consideró, tanto el balance térmico directo como el indirecto, con el fin de poder cuantificar la energía que se pierde como la que se utiliza. El balance térmico se detalla en el capítulo 4.

5.1.2.2. Variables importantes del análisis cuantitativo.

La evaluación de la eficiencia térmica, según el balance térmico, se realiza durante la explotación o durante las pruebas del generador de calor y solamente, cuando sea posible la medición de los parámetros que caracterizan a sus componentes. Dichas mediciones pueden realizarse únicamente durante el funcionamiento en régimen estacionario del generador de calor.

Para efectuar los balances de masa y energía, del generador de calor; es necesario obtener a través de mediciones directas e indirectas, durante el pleno funcionamiento del generador de calor, los siguientes parámetros:

- temperatura del aire ambiente
- temperatura de los gases en la cámara de combustión
- temperatura de las paredes exteriores del generador de calor
- temperatura de los gases de escape
- temperatura de entrada y salida del aire a calentar
- flujo másico del combustible
- flujo másico de aire para la combustión
- flujo másico de aire a calentar
- flujo másico de los productos de la combustión

En el presente trabajo monográfico las mediciones realizadas al equipo fueron divididas en dos importantes grupos:

- mediciones de temperatura
- mediciones de flujo

Todo con el fin de facilitar el análisis del equipo y proporcionar de manera ordenada los datos obtenidos en el proceso de medición. Los detalles de estas mediciones se muestran en el anexo E.

5.2. Metodología para las Mediciones de temperatura.

5.2.1. Generalidades.

Mediante el contacto del tacto podemos percibir cual de dos cuerpos es más caliente y cual es más frio, es decir sabemos cuál posee una mayor temperatura. En otras palabras la temperatura de un cuerpo es una propiedad que se relaciona con el hecho de que un cuerpo esté "más caliente o más frio". De acuerdo a la teoría cinética-molecular, la temperatura es una medida de la energía cinética-molecular de traslación de la molécula.

La medición de la temperatura, prácticamente solo es posible por el método de comparación de los grados de calentamiento de los cuerpos, siempre y cuando sea conocido el grado de calentamiento de uno de ellos.

Para comparar el grado de calentamiento comúnmente se utiliza el cambio de alguna de las propiedades físicas de las sustancias que dependen de la temperatura y que fácilmente sea medible, dentro de estas propiedades físicas que dependen de la temperatura tenemos:

- Variación de volumen o variación en el estado de los cuerpos(solido, liquido, gaseoso)
- Variación de la resistencia de un conductor(sonda resistencia)
- Variación de la resistencia de un semiconductor(termistor)
- Generación de una fem en la unión de dos metales distintos(termopares)
- Intensidad de la radiación emitida por el cuerpo(pirómetro de radiación)

5.2.2. Selección y descripción de los instrumentos utilizados para la medición de temperaturas[4].

En la seleccionar del equipo para realizar las mediciones de temperatura se tomó en cuenta los siguientes aspectos:

- Capacidad de respuesta.
- Fidelidad.
- Precisión.
- Exactitud.
- Rapidez de respuesta.
- Múltiples escalas de medición.

[4] Los detalles técnicos de los instrumentos de medición se presentan en el anexo B

- Almacenamiento de datos data Logger(preferiblemente)
- Sencillez de uso.
- Buena reproducibilidad.
- Disponibilidad del equipo.

Los instrumentos, utilizados en las mediciones de temperatura, son los que a continuación se mencionan, los cuales cumplen con la mayoría de los requisitos mencionados.

5.2.2.1. Termómetro Digital Compacto DAN 133N.

Este equipo es de uso sencillo, los valores medidos pueden expresarse en grados Celsius (°C) o grados Fahrenheit (°F), según convenga la medición, se puede seleccionar la escala con solo oprimir el botón (°C/°F), que está en el teclado del aparato. Este instrumento es capaz de medir temperaturas en dos puntos distintos a la vez, pues consta con dos puertos en donde se conectan las termosondas. Para visualizar las temperaturas de las termosondas conectadas en los puertos 1 ó 2, basta con oprimir el botón correspondiente al puerto a la que está conectado la sonda; además el equipo puede Proporcionar la diferencia de temperatura que existe entre los puntos en medición, esto solo con oprimir el botón ($T_1 – T_2$), ubicado en el teclado del instrumento.

El equipo es capaz de medir temperaturas en el rango de -50 a 1300 °C (-58 a 2000 °F), por supuesto esto está en dependencia del tipo de termocupla (termosonda) instalada o utilizada para realizar las mediciones.

5.2.2.2. Termohigrómetro Digital UTL 338.

Instrumento compacto y de uso sencillo, con el cual pueden realizarse la medición de dos magnitudes físicas importantes del ambiente, estas son: la temperatura y la humedad relativa. El aparato cuenta con una pantalla LCD, en las que se reflejan las mediciones de temperatura y humedad relativa en el mismo instante de la medición.

Con este instrumentos pueden medirse temperaturas en el rango de 0 a 50 °C (32 a122 °F) y rangos de humedad relativa del 2 al 98% HR.

5.2.2.3. Anemómetro/Termómetro AM-4210.

El anemómetro/termómetro AM- 4210 es un equipo compacto de gran precisión, con este se pueden realizar mediciones de temperatura y velocidades de flujos, cuenta con un microprocesador que proporciona funciones especiales y alta fidelidad en las mediciones. Con él pueden medirse temperaturas en el rango de -56 a 1200 °C, esto gracias a que se le puede instalar una termosonda tipo K o J. El equipo mismo trae incluido en sus accesorios una termosonda tipo S para realizar las mediciones.

Las temperaturas pueden mostrarse en °F o °C, además cuenta con grabador de valores máximos y mínimos. Posee un sistema Data Logger de hasta un máximo de 1600 puntos.

5.2.2.4. Pirómetro infrarrojo.

Instrumento compacto en forma de pistola, de fácil uso, perfecto para medir temperaturas en superficies expuestas, debido a que se necesita apuntar a la superficie en observación, es un aparato cómodo debido a la forma y de precisión considerable, esto es por los ajustes y correcciones permitidos en el aparato en función de las superficies y condiciones de medición (grado de emisión de la superficie, rango posible de temperatura, distancia de medición, etc.) posee un menú de ajustes que se definen en función de los requerimientos de medición y una caratula que revela el estado del instrumento y las condiciones de medición. Posee un rango de medición de -30 a 900 °C.

5.2.3. Procedimiento de las mediciones de temperatura en el generador de calor.

Una vez realizada la selección de los instrumentos, se procede a desarrollar la metodología, con la que se tomaron los datos de temperaturas. El procedimiento empleado para realizar las mediciones en el generador de calor, se diseñó mediante una inspección previa al equipo en pleno funcionamiento y tomando en cuenta los siguientes aspectos:

Características constructivas del generador de calor: es de importancia tener en cuenta que debido a las particularidades constructivas del equipo, no siempre es posible acceder a los puntos donde se desea realizar las mediciones, es decir, se tienen restricciones en la accesibilidad al momento de ubicar las sondas en los puntos donde se desea realizar el monitoreo de la temperatura, por tal razón se deber tener cuidado al momento de seleccionar aquellos puntos donde deseamos medir. Por tanto los puntos seleccionados para medir sus temperaturas deben ser accesibles.

Equipos de medición disponibles: con el fin de evitar daños a los equipos de medición y sus accesorios, estos deben ser asignados a los puntos a donde puedan medir, de acuerdo a su valor máximo de medición y las condiciones en el ambiente, esto con el fin de que corran el menor riesgo de daños por exponerlos a condiciones para los que no fueron diseñados.

Mediciones requeridas para realizar el balance de energía: nos referimos a las mediciones en aquellos puntos donde es indispensable conocer el valor de la temperatura, para realizar el balance de energía. Valores de temperaturas que se utilizan para efectuar el cálculo de los calores descritos en el capítulo 4.

El procedimiento para tomar las mediciones fue el siguiente:

1. se procede a la revisión y preparación de cada uno de los instrumentos a utilizar en las mediciones.

2. previa al encendido o arranque del generador de calor, se ubican las sondas en cada punto de medición previamente identificados. Los puntos donde se realizaron las mediciones se presentan en la figura 1.

3. una vez que se ha efectuado la ubicación de las sondas y el generador de calor ha alcanzado el régimen de trabajo estacionario, se inicia con el periodo de mediciones.

A continuación se detallan la ubicación de cada uno de los puntos de medición:

No 1. Extremo inferior del intercambiador de calor, centro de la cámara de combustión.

No 2. Extremo inferior del intercambiador de calor (cámara de combustión), opuesto a la compuerta.

No 3. Extremo inferior del intercambiador de calor (cámara de combustión) derecho a la compuerta.

No 4. Aire caliente en el ducto de descarga, antes de entrar a la maquina secadora.

No 5. Gases en la chimenea, inmediatamente después que abandonan el intercambiador de calor.

No 6. Pared exterior de la carcasa, sección inferior.

No 7. Pared exterior de la carcasa, sección intermedia.

No 8. Pared exterior de la carcasa, techo.

No 9. Pared exterior del ducto de descarga de aire caliente.

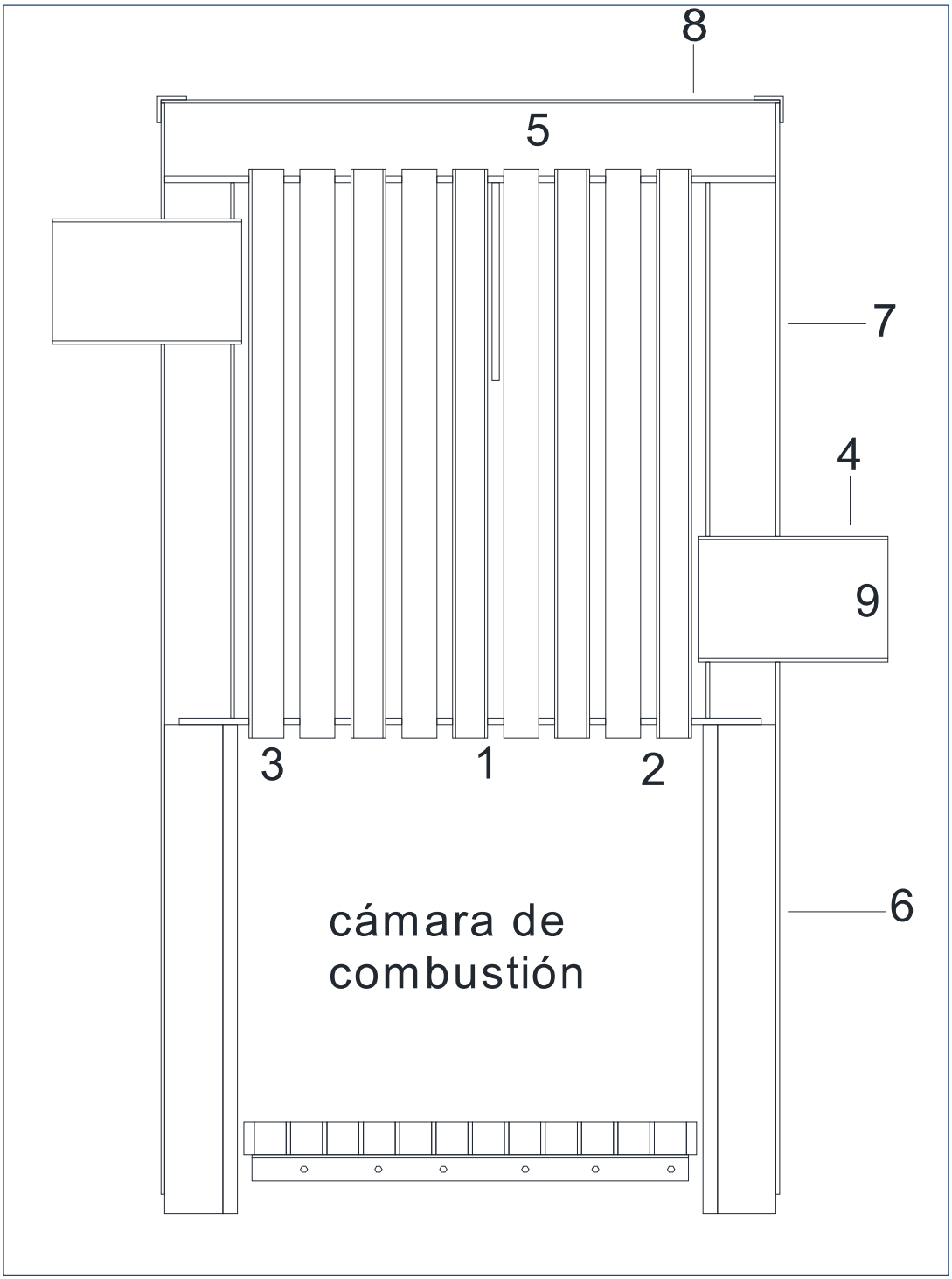


Figura 1. Ubicación de los puntos de medición de las temperaturas.

Las mediciones en los puntos 1, 2, 3, 6 se realizaron con el termómetro digital compacto DAN 133N, en este caso se utilizaron dos equipos cada uno registro dos temperaturas.

Las mediciones en los puntos 7, 8 y 4 se realizaron con el pirómetro de radiación. En el punto 5 la medición se realizó con el anemómetro/termómetro AM-4210.

La temperatura del aire a calentar, en la entrada del ventilador, así como la temperatura del aire para la combustión y el ambiente fueron realizadas con el Termohigrómetro Digital UTL 338.

La medición del punto 4 se obtuvo con el termómetro instalado en el generador de calor. Él cual utilizan los operadores para monitorear la temperatura del aire caliente. Este se encuentra instalado en el ducto de entrega antes de la maquina secadora.

Una vez que el generador de calor alcanzo el régimen de trabajo estacionario; se procedió a registrar los datos, de forma manual, cada minuto en los puntos 1, 2, 3, 9, 5, y cada cinco minutos en los puntos 4, 7, 8, 6 durante el intervalo de tiempo de una hora y media.

5.2.4. Resultado de las mediciones de temperatura.

A continuación se presentan los valores promedios de las temperaturas registradas en cada punto. Los valores con los que se efectuaron estos promedios se presentan en el anexo C; los cuales pertenecen al intervalo de trabajo considerado para efectuar los cálculos y análisis.

Tabla 4. Valores promedios de las temperaturas registradas en cada punto

ubicación	Temperatura.(ºC)	Puntos de medición
Pared exterior(cuerpo principal)	124	6,7
Cámara de combustión	460.5	1, 2, 3
Gases de combustión	310	5
Pared exterior del ducto de descarga	63	4
techo	180	8
Aire a calentar, aire para la combustión y ambiente	30	-
Aire caliente	65.5	9

5.3. Mediciones de flujo.

5.3.1. Generalidades

La determinación de cantidades de flujo que atraviesan la sección trasversal de un ducto, se realiza por métodos directos e indirectos. Por medio de estas determinaciones se llega a conocer la cantidad de masa o volumen que está circulando en estos conductos por unidad de tiempo, se denomina caudal másico o volumétrico.

Determinar las cantidades de masa con las que interactúa el sistema es de mucha importancia. Es necesario determinar, las masas de aire que son calentadas, los flujos de humos que se producen como también las cantidades de combustible suministrados al generador de calor, para poder formular el balance térmico y determinar así la eficiencia con la que el equipo opera en régimen normal de trabajo.

5.3.2. Instrumentos para las mediciones de flujo.

Las mediciones de flujo pueden realizarse de manera directa como indirecta. Cuándo se realiza de manera directa se determina el caudal directamente por medio de contadores volumétricos o contadores de velocidad y de manera indirecta cuando a través del cambio o medida de otra magnitud física puede obtenerse la medida del caudal, estas magnitudes pueden ser: presión diferencial, cambio de área, velocidad, fuerza, tención inducida, etc.

Medidores de flujo de presión diferencial: el principio de operación se basa en medir la caída de presión que se produce a través de una restricción que se coloca a la línea de un fluido en movimiento, esta caída de presión es proporcional al flujo. Generalmente están constituidos por dos elementos.

- elemento primario: dispositivo que se coloca en la línea de tubería para obstruir el flujo y generar una caída de presión.
- elemento secundario: mide la caída de presión y proporciona una indicación o señal de transmisión a un sistema de indicación o control.

Entre los medidores de presión diferencial se destacan:

- tubo de Venturi
- placa orificio
- tobera(boquilla de flujo)

.

5.3.3. Selección del equipo para realizar las mediciones.

La selección del equipo para mediciones de la velocidad de los fluidos se realiza en base a las condiciones de trabajo del generador de calor. Este equipo deberá poseer las siguientes características:

- una calibración confiable y reproducible.
- introduzca una pequeña perdida de energía en el sistema.
- rango de valores máximos y mínimos de velocidad de los fluidos a medir.
- rapidez de respuesta.
- buena exactitud y precisión.
- sencillez de uso e instalación.

El equipo utilizado para realizar las mediciones que cumple con la mayoría de las características mencionadas es el anemómetro: AM-4210.

5.3.4. Descripción del anemómetro AM-4210[5].

El anemómetro AM-4210 es un equipo compacto de gran precisión con el que se pueden realizar mediciones de temperatura y velocidad de flujos de gases. Cuenta con un microprocesador que provee funciones especiales y alta fidelidad en las mediciones.

Funciones.

Medición de temperaturas en el rango de -50 a 1200 °C, esto gracias a que se le puede instalar una termosonda tipo K O J.

Mediciones de velocidad de fluidos. Pueden registrarse velocidades en diferentes escalas: k/h, m/s, mil/h, etc. en el rango de los .las mediciones de fluido se pueden realizar gracias a que el equipo cuenta con un contador de velocidad tipo turbina de muy baja fricción lo que proporciona una buena

[5] Las especificaciones técnicas del anemometro se muestran en el anexo B

exactitud en las mediciones .esencialmente el equipo se utiliza principalmente para medir velocidades de fluidos gaseosos.

5.3.5. Metodología para la medición de la velocidad de aire con el anemómetro AM-4210.

La determinación de caudales másicos o volumétricos de fluidos, se realiza midiendo y registrando manual o automáticamente las velocidades en numerosos puntos, calculando la velocidad promedio y luego multiplicando este valor por la sección trasversal del ducto o la abertura donde fue hecha la medición.

El caudal de un fluido que circula a través de una abertura, está determinado por la siguiente relación:

$$\dot{V}=V*A$$

Dónde:

V- velocidad promedio del fluido a través de la sección transversal del ducto por donde circula.

A-área de la sección trasversal del ducto.

$\dot{V}$- caudal del fluido.

Para determinar la velocidad promedio de un fluido que circula a través de un ducto, con cualquier tipo de anemómetro, se llevan a cabo los siguientes pasos:

- dividir la sección transversal, en donde se medirá, en un número de áreas iguales.
- colocar el contador de velocidad, en el centro de cada área y registrar la lectura.
- obtener la velocidad promedio sumando todos valores obtenidos y promediar los resultados.

Se recomienda realizar lecturas rápidas, para determinar la uniformidad de la velocidad del aire. En ocasiones el perfil de esta suele ser relativamente uniforme en la abertura de succión del ventilador que en la sección de descarga. Si la velocidad no es constante en un punto de medición, se usa la velocidad promedio entre las lecturas más altas y más bajas.

Si la sección donde se realiza la medición está cubierta por una malla, el contador de velocidad deberá instalarse aproximadamente a una pulgada en frente de la malla, para obtener así la velocidad promedio. Las mallas en las secciones de succión de los ventiladores se utilizan como protectores con el fin de evitar que objetos entren al rodete y provoquen daños cuando este está en funcionamiento.

La presencia de mallas incide directamente en las mediciones de velocidades, en esencia esta incidencia se traduce en errores al momento de realizar la medición, por tanto se introduce un factor de corrección en la ecuación del cálculo del caudal. El caudal se determina mediante la siguiente expresión:

$$\dot{V}=F*A*V$$

Dónde:

F- es el factor de aplicación.

A-área designada

V-velocidad promedia medida.

El factor de aplicación depende del tipo de malla que se utiliza para la protección. A continuación se presentan los factores de aplicación de las mallas comúnmente utilizadas.

Tabla 5. Factor de aplicación

Tipo de malla	Factor de aplicación(F)	Área designada
Ninguna	1.00	Área completa
Perforaciones	0.88	Área libre
Cuadradas	0.78	Centro del área
Banda de lámina de acero	0.73	Centro del área

.

Para ductos de sección redonda dos métodos son utilizados para determinar de manera precisa las velocidades del flujo que circula en él. El primero es el método de los tres diámetros de seis puntos y el segundo es el método de los diámetros. El método de los diámetros consiste en dividir la circunferencia en dos ejes ose en cuatro partes de 90º cada una realizando diez lecturas por cada eje.

En el caso de un ducto de sección cuadrada, el método que se sugiere depende del tamaño de la abertura y del perfil de la velocidad. Para estas mediciones se requiere:

- Un mínimo de 25 lecturas
- Los puntos donde se toman las lecturas deberán localizarse sobre los puntos de intersección de líneas.

A continuación se muestran el número de líneas que se intersectan con respecto al tamaño de los ductos.

Tabla. 6. Líneas de intersección.

Tamaño del ducto(en pulgadas)	Número de líneas que se intersectan
30	5
≥30≤36	6
≥36	7

Los indicadores de algunos ductos rectangulares menores de 30 pulgadas requieren menos de 5 líneas que se intersecten sobre la sección de abertura.

5.3.6. Procedimiento de medición de las velocidades.

Las mediciones que se realizaron en el generador de calor fueron tres: mediciones del aire a calentar, el aire que se pierde a través de los acoples de los ductos y la carcasa y el aire que se le suministra para la combustión de la cascarilla de café. Las mediciones de los humos, productos de la combustión, no fue posible medir de manera directa, debido a la incomodidad en el acceso a la chimenea; la masa de estos se determinó de manera indirecta a través de un balance de materia para el proceso de combustión.

Medición de las velocidades del aire a calentar.

Estas mediciones fueron hechas en la abertura de succión del ventilador siendo este el punto donde se registra más uniformidad en el perfil de las velocidades y más fácil de acceder. En la figura 2 se muestra los puntos de medición

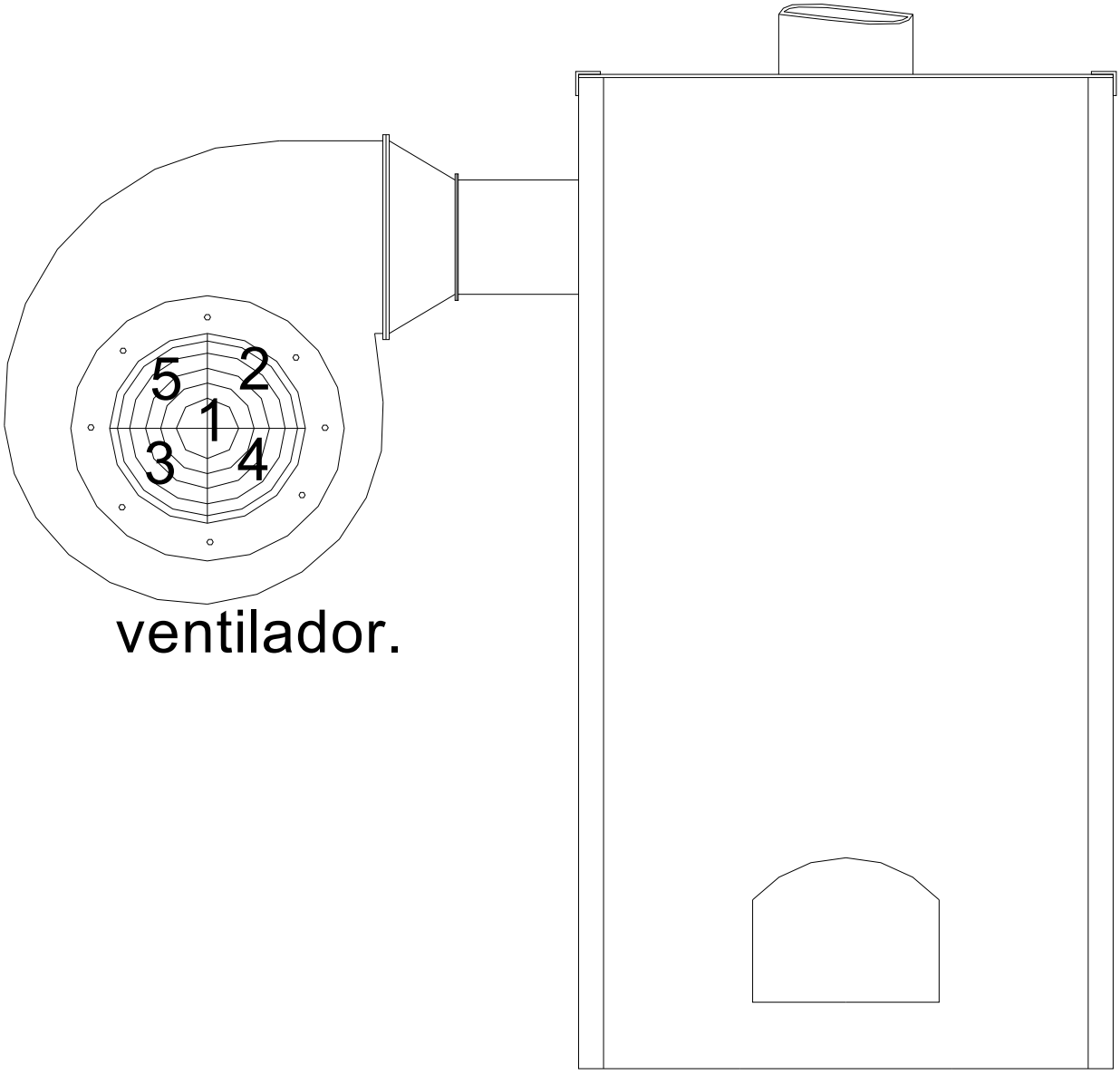


Figura 2 Ubicación de los puntos de medición del aire a calentar.

Mediciones de aire para la combustión.

El suministro de aire para la combustión de la cascarilla de café en el generador de calor, llega hasta la cámara de combustión única y exclusivamente a través de la sección del cenicero. El suministro de este aire es gracias al tiro ejercido por los gases de la combustión al moverse a altas temperaturas a través de toda la chimenea, hasta que salen a la atmosfera.

La distribución de los puntos se realizó aplicando el método descrito en la sección 5.3.5 la ubicación de estos puntos se muestran en la figura 3

Mediciones de las fugas de aire en las acoples de los ductos y carcasa.

En inspecciones previas, hechas al generador de calor en pleno funcionamiento, se observaron fugas de aire que no son calentadas, es decir que parte del aire que suministra el ventilador para ser calentado se pierde y no participa en el calentamiento. En consecuencia este valor debe ser determinado y cuantificado con el fin de evaluar la incidencia de este en el rendimiento del generador. En la figura 4 y 5 se muestran los puntos de medición.

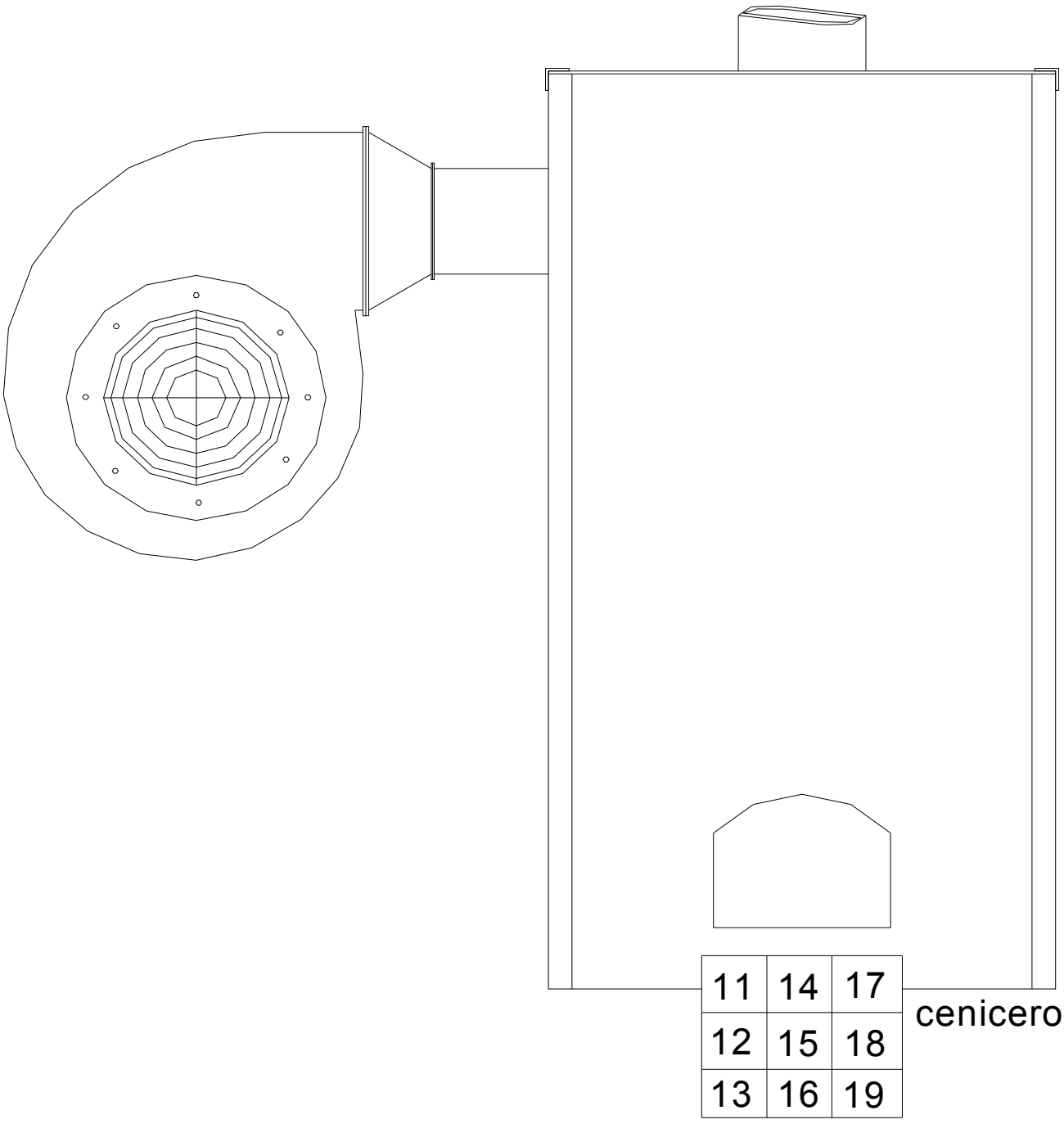


Figura 3. Ubicación de los puntos de medición del aire para la combustión.

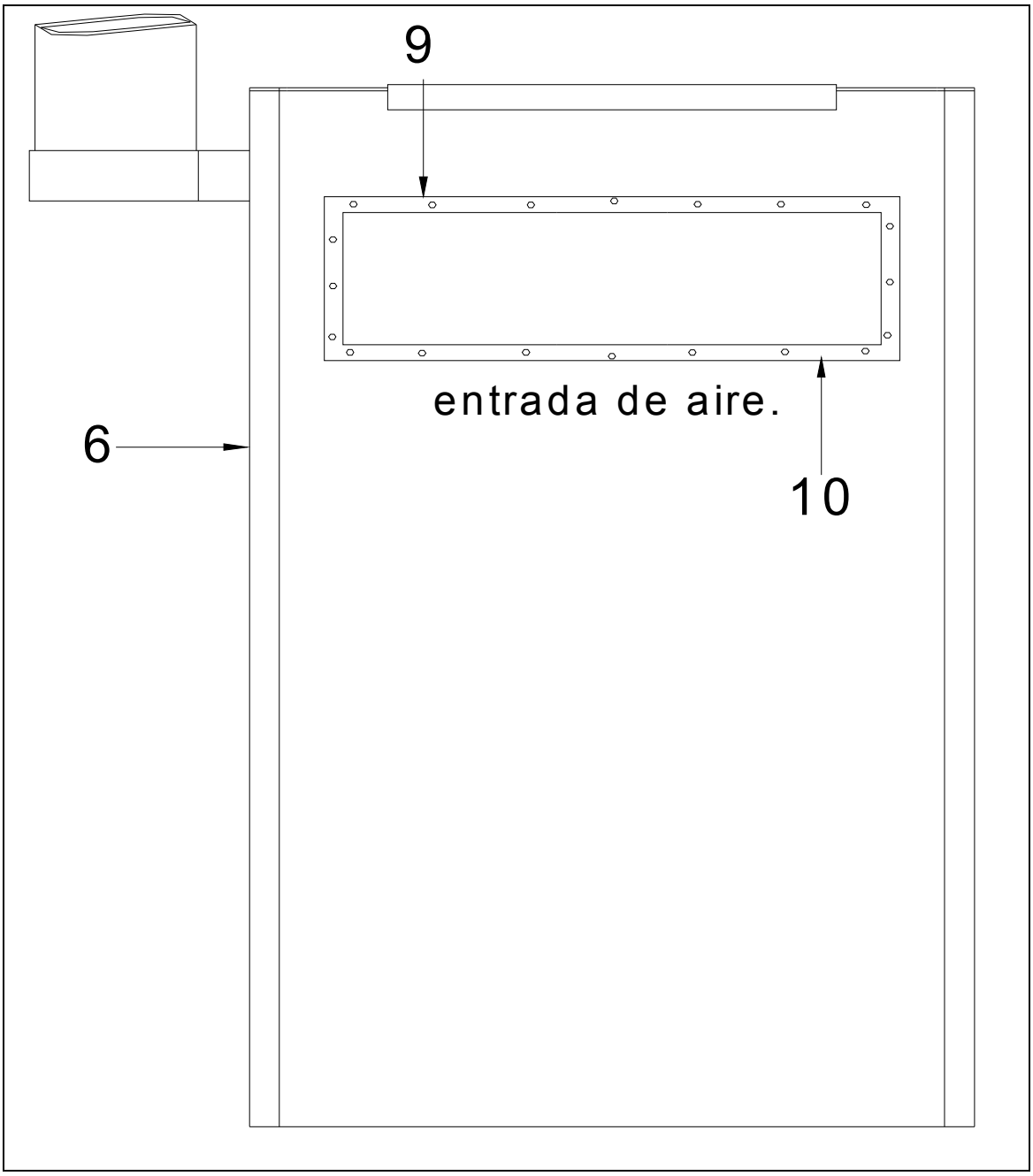


Figura 4 Ubicación de los puntos de medición del aire de fuga.

No 9 y 10 .acople del conducto que viene del ventilador.

No 6 .esquina posterior izquierdo de la carcasa.

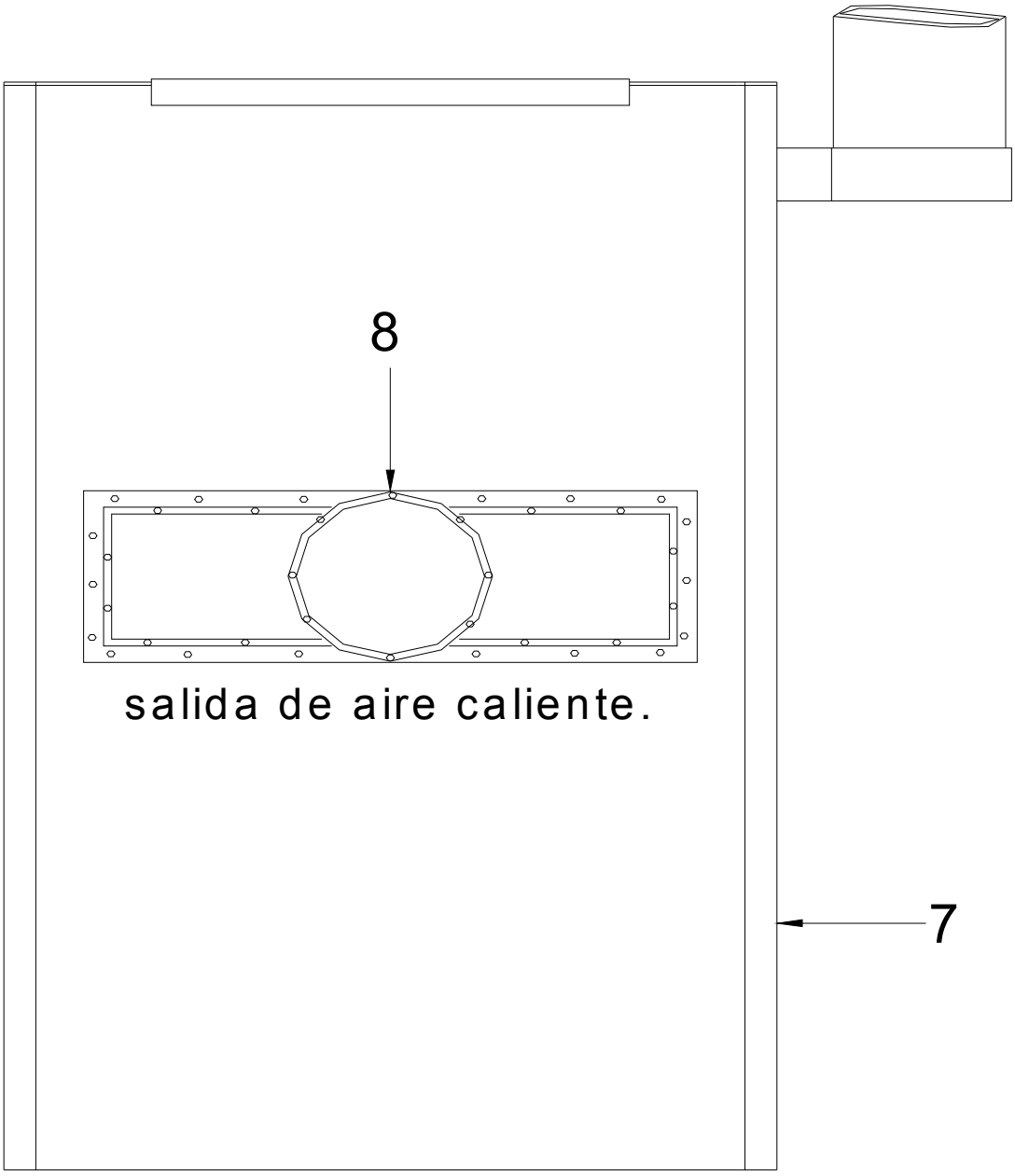


Figura. 5 Ubicación de los puntos de medición del aire de fuga.

No 7 .esquina posterior derecha de la carcasa.

No 8 .acople del conducto, que lleva el aire caliente, con la carcasa.

5.3.7. Resultado de las mediciones de velocidades de flujo.

A continuación se presentan los valores de las velocidades promedios registradas. El registro completo de mediciones se presenta en el anexo C

Tabla 7. Valores promedios de las velocidades de flujo de aire a calentar y are para la combustión.

Sección de medición	Velocidad promedia(mts/s)	Dimensiones de la sección de medición (cm).
Aire a calentar.		
Abertura de succión del ventilador.	13.8	Diámetro=30
Aire para la combustión.		
cenicero	0.8	44x37

Fugas de aire en la carcasa y acoples de los ductos.		
Sección de medición	Velocidad promedia(mts/s)	Dimensiones de la sección de medición (cm)
6	3	18x0.5
7	2.1	55x0.4
8	2.3	78x0.5
9	4.9	28x0.5
10	5	23x1

6. BALANCE DE MATERIA REALIZADA EN EL GENERADOR DE CALOR

6.1 Consumo de combustible.

El suministro de combustible hacia la cámara se realiza de forma manual, la alimentación se realiza en intervalos de tiempo 30 minutos (0.5 hora), con el fin de evitar caídas considerables en la temperatura del aire calentado, que puedan provocar complicaciones en el proceso de secado del café.

El suministro que se realiza es de quince paladas, las cuales son equivalentes 48 libras de combustible (20.45 kilogramos). Este es la cantidad de masa de cascarilla de café que se suministra para calentar el aire y que no sobrepase el valor máximo que se recomienda para el secado. De suministrarse una cantidad de masa mayor se corre el riesgo que el aire se caliente demasiado, provocando una cristalización en la capa exterior del grano, disminuyendo así la calidad del café y la eficiencia en el proceso de secado.

El consumo de combustible se calcula con la siguiente relación:

$$\dot{m}_c = P_C / t_s$$

Dónde:

$\dot{m}_c$– consumo de combustible, kg/h

Pc – masa de combustible suministrado durante el periodo de tiempo t_s, en kg.

t_s – tiempo en el que se hace cada suministro, h.

Sustituyendo, en la expresión, los valores de Pc y t_s se tiene un consumo de combustible de:

$\dot{m}_c$ = (20.45 kg)/ (0.5 hrs)

$\dot{m}_c$ = 40.9090 kg/h de cascarilla de café

6.2. Balance de materia del proceso de combustión.

6.2.1. Calculo de C, O, H presentes en los 40.90 kg/h de cascarilla de café.

El cálculo de los componentes se realiza mediante la siguiente expresión:

$$\dot{m} = (k)\ x(\dot{m}_c)/100.$$

Dónde:

k- es el porcentaje del elemento en la composición química de la cascarilla de café.

$\dot{m}_c$ - masa de combustible.

Los porcentajes de cada elemento se determinan haciendo uso de los datos presentados en las tablas 2 y 3 mediante la siguiente expresión.

$$k = \frac{\sum \%_{\text{del elemento en la sustancia}}\ X\ \%_{\text{de la sustancia}}}{100}$$

Por lo tanto se tendrá lo siguiente:

C= [(41.86) (41.33) + (56) (15.29) + (37.50) (25.15) + (40.70)(5.83)]/(100)

C = 37.67%

H = [(5.82) (41.33) + (6) (15.29) + (6.25) (25.15) + (5.10)(5.83)]/(100)

H = 5.192%

O = [(52.32) (41.33) + (38) (15.29) + (56.25) (25.15) + (54.20)(5.83)]/(100)

O = 44.74%.

Una vez definidos los porcentajes de cada elemento, se procede a determinar la masa de cada elemento presente en los 40.90 kg/h de combustible.

$\dot{m}_{Carbono}$ = (37.67) (40.90 kg/h)/100 =15.41kg/h

$\dot{m}_{Oxigeno}$ = (44.74) (40.90 kg/h)/100 =18.3kg/h

$\dot{m}_{\text{Humedad}}$ = (11.45) (40.90 kg/h)/100 =4.68kg/h

$\dot{m}_{\text{hidrogeno}}$ = (5.19) (40.90 kg/h)/100 =2.12kg/h

$\dot{m}_{\text{cenizas}}$ = (0.95)(40.90kg/h)/100 =0.39kg/h

Tabla 8. Masa de los elementos presentes en 40.90 kg de combustible

Elemento	$\dot{m}$ (kg/h)
Carbono	15.41
Oxigeno	18.3
Humedad	4.68
Hidrogeno	2.12
Cenizas	0.39
Total	40.90

.

6.2.2. Calculo del aire teórico para la combustión de 40.90 kg/h de cascarilla de café.

El termino "aire teórico" se refiere a aquella masa de aire atmosférico, en el cual está contenida la porción másica de oxígeno necesaria para la combustión de los elementos carbono e hidrogeno presente en la masa de combustible, que es suministrada al generador de calor y que está definida estrictamente por relaciones estequiométricas.

Combustión del carbono.

$$C + O_2 \text{ ----------} \rightarrow CO_2$$

De la relación estequiométrica se tiene que doce partes de carbono reaccionan con 32 partes de oxigeno formando 44 partes de dióxido de carbono. De lo cual se deduce:

12 kg de C----------32 kg de O_2

La cantidad de carbono presente en los 40.90 kg/h de combustible corresponde a 15.41 kg/h, tabla 8. Por lo tanto se tiene que:

12 kg de C----------32 kg de O_2

15.41 kg/h---------- O_2

O_2 = [(32 kg de O_2) (15.41 kg/h)]/ (12 kg de C)

O_2 = 41.093 kg/h de O_2 necesario para la combustión del carbono de manera teórica.

Combustión del Hidrogeno.

$$H + O_2 \text{ ----------} \rightarrow H_2O$$

De la relación estequiométrica se tiene que 4 partes de hidrogeno reaccionan con 32 partes de oxigeno formando 36 partes de vapor de agua.

De lo cual se deduce:

4 kg de H_2----------32 kg de O_2

La cantidad de hidrogeno presente en los 40.90 kg/h de combustible, corresponde a 2.12 kg/h, (tabla 8). Por lo tanto:

4 kg de H_2----------32 kg de O_2

2.12 kg/h ----------O_2

O_2 = (32 kg de O_2) (2.12 kg/h)/4

O_2 = 16.96 kg/h .es la cantidad de oxigeno teórico para combustionar la masa de hidrogeno contenido en el combustible.

La cantidad de oxigeno necesario para la combustión del carbono e hidrogeno presente en el combustible es la suma de los flujos másicos de oxígeno para la combustión del hidrogeno y el carbono.

Oxigeno necesario =$O_{carbono}$ + $O_{hidrogeno}$

Oxigeno necesario = (41.08 + 16.093) kg/h

Oxigeno necesario = 58.053 kg/h

Tomando en cuenta la cantidad de oxigeno que proporciona el combustible, se determina la cantidad teórica de oxigeno que deberá contener el aire seco. La cantidad de oxigeno que proporciona el combustible, corresponde a 18.3 kg/h (tabla 8).

Oxigeno teórico en el aire seco = oxigeno necesario – oxígeno en el combustible

$\dot{m}_{ot}$ = (58.053 – 18.3) kg/h

$\dot{m}_{ot}$ = 39.753 kg/h

Se tiene que para cien partes de aire, el 23.20% corresponde al oxígeno y el 76.80% al nitrógeno, por lo tanto se tendrá:

($\dot{m}_{Oxigeno}$)/ ($\dot{m}_{ats}$) = 23.20%

$\dot{m}_{ats}$ = (39.753 kg/h)(100)/(23.20)

$\dot{m}_{ats}$ = 171.349 kg/h de aire seco

La masa de nitrógeno presente en el aire seco es:

$\dot{m}_{nt}$ = (171.349 – 39.753) kg/h

$\dot{m}_{nt}$ = 131.596 kg/h

A la masa de aire seco se le debe sumar la masa de agua presente en el aire atmosférico, para obtener la masa de aire atmosférico. El aire atmosférico de la ciudad de Jinotepe posee una humedad relativa del 60% y temperatura ambiente promedio de 26 °C.

De la carta psicrométrica se obtiene que; para una humedad relativa de 60% y temperatura de 26 °C, la cantidad de agua en kg presente por cada kg de aire seco es de 0.013.

Entonces:

Humedad = (0.013 kg de agua/ kg de aire seco)/ (171.349 kg de aire seco/h)

Humedad = 2.227 kg/h

Por lo tanto la masa de aire atmosférico teórico que contiene la masa de oxigeno teórico necesario para la combustión de los elementos carbono e hidrogeno es:

$\dot{m}_{at}$ = aire seco + humedad

$\dot{m}_{at}$ = (171.349 + 2.227) kg/h

$\dot{m}_{at}$ = 173.57 kg/h

6.2.3. Calculo del aire para la combustión (aire práctico)

De acuerdo al procedimiento de mediciones efectuado y los datos que se presentan en la tabla 7, se precede al cálculo de la cantidad de aire, que es utilizado en la combustión de la cascarilla de café, mediante la siguiente expresión:

$$\dot{V}_{ap} = V*A$$

Dónde:

$\dot{V}_{ap}$ – volumen de aire practico, m^3/s

V – velocidad del aire en la sección de medición A

A – área de la sección de medición (cenicero)

Haciendo uso de los datos de la tabla 7, se realiza el cálculo del área de la sección de medición.

A = L* h

L – longitud del cenicero

h– ancho del cenicero

Siendo:

L = 0.44 m

h = 0.37 m

A = (0.44 m) (0.37 m)

A = 0.1628 m^2

De la tabla 7, tenemos que v = 0.38 m/s

Entonces:

$\dot{V}_{ap}$ = (0.38 m/s) * (0.1628 m^2)

$\dot{V}_{ap}$ = 0.06186 m^3/s

Conversion a m^3/h

$\dot{V}_{ap}$ = (0.06186 m^3/s) * (3600 s/h)

$\dot{V}_{ap}$ = 222.696 m^3/h

La cantidad de masa de aire por hora se calcula con la siguiente expresión:

$$\dot{m}_{ap} = \rho_{aire} * \dot{V}_{ap}$$

La densidad del aire (ρ_{aire}) a la temperatura de entrada al cenicero, se obtiene del anexo D. ρ_{aire} = 1.178 kg/m^3

Por tanto:

$\dot{m}_{ap}$ = (1.178 kg/m^3)(222.696 m^3/h)

$\dot{m}_{ap}$ = 262.33 kg/h de aire atmosférico para la combustión.

6.2.4. Determinación del coeficiente de exceso de aire μ y el porcentaje de exceso de aire ς.

El cálculo del coeficiente de exceso de aire y el porcentaje de exceso de aire se realiza por medio de la siguiente expresión.

$$\mu = \frac{\dot{m}ap}{\dot{m}\text{ aire teórico atmosférico}}$$

$$\varsigma = (\mu - 1) * 100\ \%$$

Con los resultados de los cálculos de aire atmosférico y teórico, que se hicieron anteriormente, se sustituye para obtener μ y ς:

μ = (262.33 kg/h)/(173.57 kg/h) = 1.5113

ς = (1.5113 - 1)* 100% = 51.13%

6.2.5. Calculo de O, N, H_2O presentes en el aire practico.

El cálculo del oxígeno presente en el aire teórico se realiza mediante la siguiente expresión:

$$\dot{m}_{op} = (\dot{m}_{ot}) * (1 + \varsigma)$$

La masa de oxigeno teórico se determinó en la sección 6.2.3 y este corresponde a un valor de 39.753 kg/h. (1 + ς) corresponde a 1.5113

Por tanto:

$\dot{m}_{op}$ = (39.753 kg/h)*(1.5113)

$\dot{m}_{op}$= 60.0787 kg/h

De la misma manera se determinan los valores de nitrógeno y agua. Los valores de nitrógeno y agua presentes en el aire teórico, determinados en la sección 6.2.3, corresponden a 131.596 y 2.227 kg/h respectivamente.

Por tanto:

El nitrógeno presente en el aire práctico es:

$\dot{m}_{np}$= (131.596)*(1.5113)

$\dot{m}_{np}$=198.8810 kg/h

El agua presente en el aire práctico es:

$\dot{m}_{agap}$= (2.227)*(1.5113).

$\dot{m}_{agap}$=3.3656 kg/h.

6.2.6. Calculo de los gases producidos por la combustión de los 40.90 kg/h de cascarilla de café al reaccionar con los 262.33 kg/h de aire práctico atmosférico.

Calculo de CO_2

De la relación estequiométrica De la relación estequiométrica se tiene que doce partes de carbono reaccionan con 32 partes de oxigeno formando 44 partes de dióxido de carbono. Por lo tanto se tiene que:

12 kg de C----------44 kg de CO_2

15.40 kg/h de C ---------- x CO_2

Por lo tanto se tiene que:

CO_2= (15.41 kg/h de C) (44 kg de CO_2)/ (12 kg de C)

CO_2= 56.5033 kg/h de CO_2

Calculo del vapor de agua.

De la relación estequiometrica se tiene que:

4 kg de H----------36 kg de H_2O

Se determinó la cantidad de H en los 40.90 kg/h de combustible el cual corresponde a 2.12 kg/h (tabla 6.19).

Por tanto:

4 kg de H----------36 kg de H_2O

2.12 kg/h de H---------- x H_2O

H_2O= (36 kg de H_2O)(2.12 kg/h de H)/(4 kg de H)

H_2O= 19.08 kg/h de agua

Esta es la cantidad de vapor de agua que es producto únicamente por la combustión del hidrogeno, a este valor debe sumársele la humedad presente en la cascarilla de café y el agua presente en la masa de aire atmosférico practico suministrado para la combustión.

La humedad presente en el combustible fue determinada anteriormente (tabla 8), la cual corresponde a un valor de 4.68 kg/h. el agua presente en el aire atmosférico práctico es 3.3656 kg/h.

Por tanto:

El vapor de agua total = (19.08+4.68+3.3656)kg/h

Vapor de agua total = 27.1256 kg/h

Calculo del nitrógeno.

El nitrógeno no sufre ninguna variación, la cantidad que entra con el aire, es la misma que es evacuada, junto con los otros gases de combustión.

Por tanto:

Nitrógeno = 198.881 kg/h

Oxígeno en exceso.

El Oxígeno en exceso no toma parte en la combustión, por tanto:

O_2 en exceso = (O_2 teórico) ς

O_2 en exceso = (39.753 kg/h) (0.5113)

O_2 en exceso = 20.3257 kg/h

6.2.7. Resumen del balance de materia del proceso de combustión.

Tabla 9. Balance de materia del proceso de combustión

Combustible		Aire practico		Gases de combustión	
elemento	Masa(kg)	elemento	Masa(kg)	elemento	Masa(kg)
Carbono	15.41	Oxigeno	60.0787	Dióxido de carbono	56.5033
Hidrógeno	2.12	Nitrógeno	198.8810		
Oxigeno	18.3	Humedad	3.3656	Vapor de agua	27.1256
Humedad	4.68	total	262.33		
Cenizas	0.39			Oxígeno en exceso	20.3257
total	40.90	Aire teórico		Nitrógeno	198.8810
		total	173.57	total	302.84

De la tabla 9 se deduce que al combustionar 40.90 kg/h de cascarilla de café con 262.33 kg/h de aire atmosférico de la ciudad de Jinotepe, se producen 302.84 kg/h de gases de combustión.

6.3. Calculo de la masa de aire a calentar.

El aire de trabajo es el aire proporcionado por el ventilador, que luego es calentado y entregado a la máquina de secado.

Para realizar este cálculo se hace uso de las mediciones de velocidad de aire hechas en la sección de succión del ventilador. El volumen de aire caliente se determina utilizando la siguiente expresión:

$$\dot{V}_{as} = v_{as} * A_{smed} * F$$

Dónde:

$\dot{V}_{as}$ – flujo volumétrico de aire para el secado del grano.

V_{as} – velocidad promedio del aire en la sección de succión del ventilador.

A_{smed} – área de la sección de medición.

F – factor de aplicación por pérdidas en la rejilla de la succión.

El valor promedio de velocidad se obtiene de la tabla 7 la que tiene un valor de 13.84 m/s (49,824 m/h)

Las dimensiones de la sección de succión son presentadas en la tabla 7

$A_{smed} = \pi D^2/4$

D- diámetro en la succión, m

Teniendo D = 0.4 m

$A_{smed} = (\pi)\ (0.4\ m)^2/4$

$A_{smed} = 0.1256\ m^2$

Factor de aplicación F = 0.95 (tabla 5)

Por tanto:

$V_{as} = (49{,}824\ m/h) * (0.1256\ m^2) * (0.95)$

$V_{as} = 5994.99\ m^3/h$

El flujo másico se determina a través de:

$$G = \rho_{tev} * V_{as}$$

Dónde:

G _ flujo másico de aire para el secado.

ρ_{tev} – densidad del aire a la temperatura de entrada del ventilador.

La densidad del aire a 30°C es 0.0727 lb_m/ft^3 (anexo D)

Conversion a kg/m^3

$\rho_{tev} = (0.0727\ lb_m/ft^3)(0.45\ kg/\ lb_m)(35.287\ ft^3/m^3)$

$\rho_{tev} = 1.1544\ kg/m^3$

Por tanto:

$G = (1.1544\ kg/m^3)(\ 5994.99\ m^3/h)$

G = 6862.8964 kg/h

6.4. Calculo de la masa de aire perdido.

El aire perdido se refiere a la masa de aire que se fuga a través de las juntas y acoples de cada una de las partes que constituyen el generador de calor, principalmente el acople de las tuberías de suministro y entrega de aire, acople de láminas de la carcasa y roturas. (Vea fig. 4 y 5)

Para realizar este cálculo se hace uso de las mediciones de velocidad del aire y dimensiones de las áreas de fuga en los puntos donde existen. Estos datos son presentados en la tabla 7. Este cálculo se realiza mediante la siguiente expresión:

$$V_{aper} = v_{sp} * A_{sp}$$

Dónde:

V_{aper} – flujo volumétrico de aire perdido en la sección a calcular, m^3/h

v_{sp} – velocidad en la sección de perdida, m/s

A_{sp} – área de la sección de perdida correspondiente al lugar de fuga, m^2

Calculo de la pérdida de masa en la esquina posterior izquierda de la carcasa.

v_{sp} = 3 m/s y A_{sp} = 18 cm x 0.5 cm

Convirtiendo v_{sp} a m/h y A_{sp} a m^2

v_{sp} = (3 m/s)(3600 s/h) = 10800 m/h

A_{sp} = (9 cm^2) (10^{-4} m^2/cm^2) = 0.0009 m^2

Por tanto:

V_{aper} = (10800 m/h) (0.0009 m^2)

V_{aper} = 9.72 m^3/h

El flujo másico (m_a) se calcula de la siguiente manera:

$$m_{aper} = \rho_{aire} * V_{aper}$$

donde:

ρ_{aire} = 1.1544 kg/m^3

m_{aper} = (9.72 m^3/h)(1.1544 kg/m^3)

m_{aper} = 11.2207 kg/h

Calculo de la masa de aire perdido en la esquina posterior derecha de la carcasa.

v_{sp} = 2.1 m/s y A_{sp} = 55 cm x 0.4 cm

Convirtiendo v_{sp} a m/h y A_{sp} a m^2

v_{sp} = (2.1 m/s)(3600 s/h) = 7650 m/h

$A_{sp} = (22\ cm^2)\ (10^{-4}\ m^2/cm^2) = 0.0022\ m^2$

Por tanto:

$V_{aper} = (7650\ m/h)(\ 0.0022\ m^2)$

$V_{aper} = 16.632\ m^3/h$

El flujo másico es:

$m_{aper} = (16.632\ m^3/h)(\ 1.1544\ kg/m^3)$

$m_{aper} = 19.19\ kg/h$

Calculo de la pérdida de masa de aire en el acople del conducto que va hacia la maquina secadora.

$v_{sp} = 2.3\ m/s$ y $A_{sp} = 78\ cm \times 0.5\ cm$

Convirtiendo v_{sp} a m/h y A_{sp} a m^2

$v_{sp} = (2.3\ m/s)(\ 3600\ s/h) = 8280\ m/h$

$A_{sp} = (39\ cm^2)(\ 10^{-4}\ m^2/cm^2) = 0.0039\ m^2$

Por tanto:

$V_{aper} = (8280\ m/h)(\ 0.0039\ m^2)$

$V_{aper} = 32.292\ m^3/h$

La densidad en este caso cambia debido a que la temperatura en este punto es mayor, con una temperatura del aire de 61°C se obtiene una densidad de 0.0619 lb_m/ft^3. (Anexo D)

Convirtiendo a kg/m^3 factor de conversión 16.019 (anexo D)

$\rho_{tev} = (0.0619\ lb_m/ft^3)(16.019)$

$\rho_{tev} = 0.9915\ kg/m^3$

El flujo másico es:

m_{aper} = (32.292 m^3/h)(0.9915 kg/m^3)

m_{aper} = 32.017 kg/h

Calculo de la pérdida de masa de aire en el acople del conducto que viene de la salida del ventilador.

v_{sp} = 4.9 m/s y A_{sp} = 28 cm x 0.5 cm

Convirtiendo v_{sp} a m/h y A_{sp} a m^2

v_{sp} = (4.9 m/s)(3600 s/h) = 17640 m/h

A_{sp} = (14 cm^2)(10^{-4} m^2/cm^2) = 0.0014 m^2

Por tanto:

V_{aper} = (17640 m/h) (0.0014 m^2)

V_{aper} = 24.696 m^3/h

El flujo másico es:

m_{aper} = (24.696 m^3/h)(1.544 kg/m^3)

m_{aper} = 28.5090 kg/h

Calculo de la masa de aire perdida en el acople del conducto del ventilador que viene de la salida del ventilador en la esquina superior izquierda.

v_{sp} = 5 m/s y A_{sp} = 23 cm x 1 cm

Convirtiendo v_{sp} a m/h y A_{sp} a m^2

v_{sp} = (5 m/s)(3600 s/h) = 18000 m/h

A_{sp} = (23 cm^2) (10^{-4} m^2/cm^2) = 0.0023 m^2

Por tanto:

V_{aper} = (18000 m/h) (0.0023 m^2)

V_{aper} = 41.4 m^3/h

El flujo másico es:

m_{aper} = (41.4 m^3/h)(1.544 kg/m^3)

m_{aper} = 47.7921 kg/h

6.5. Resumen del balance de materia del generador de calor:

A continuación se presentan los resultados del balance de materia en el generador de calor los, cuales son de utilidad para realizar el balance de energía en el generador de calor.

Tabla 10. Resumen del balance de materia.

Masa.	Flujo másico (kg/h)	Flujo volumétrico (m^3/h)
Combustible	40.90	0.177
Gases de combustión	302.84	235.10
Aire a calentar	6862.89	5944.99
Perdidas de aire	138.728	124.734
Aire para la combustión	262.33	222.696

Densidad de aire atmosférico: 1.1544 kg/m^3

Densidad de los gases de combustión: 1.2881 kg/m^3

7. CALCULO DE LAS PERDIDAS DE CALOR, CALOR UTIL Y EFICIENCIA DEL GENERADOR DE CALOR.

Para efectuar los cálculos de pérdidas de calor, calor útil y eficiencia del generador de calor, Se hace uso de las ecuaciones presentadas en el capítulo 4 y de los datos de temperatura, además del balance de materia que se detalla en el capítulo 6. Los datos de temperatura y los flujos masa se toman de las tablas 5.2 y 6.3 respectivamente.

7.1. Determinación del calor generado por el combustible.

Se determina por medio de la ecuación (1).

$$\dot{Q}_x = H_i * \dot{m}_{c.}$$

Dónde:

H_i= 3,096.07 kcal/kg.

$\dot{m}_c$= 40.90 kg/h.

El poder calorífico bajo del combustible y el gasto másico se toman de la tabla 1 y 10 respectivamente.

Por tanto:

$\dot{Q}_x$= (3,096.07)*(40.90).

$\dot{Q}_x$= 126,629.263 kcal/kg

Este es al calor desprendido, debido a la combustión de la cascarilla de café, en la cámara de combustión del generador de calor. Al utilizar combustibles sólidos, como es el caso de la cascarilla de café, el calor físico aportados por el combustible y el aire para la combustión no se toma en cuenta puesto que sus magnitudes son pequeñas.

7.2. Determinación del calor aportado al aire que es utilizado para el secado del café.

Este es el calor que verdaderamente es aprovechado (calor útil) y es utilizado en el proceso tecnológico del secado de café.

Se determina por medio de la ecuación (4).

$$\dot{Q}_u = G*C_a\ (T_f - T_o)$$

La masa de aire, que es calentada, es igual a la masa calculada en la entrada del ventilador (aire a calentar) menos las pérdidas de aire calculadas en las juntas de la carcasa y acoples de los ductos de entrega y descarga. Estos datos son presentados en la (tabla 10) del balance de materia.

Las temperaturas de entrada y salida (T_o, T_f) del aire que es calentado se presentan en la tabla 4 del resultado de las mediciones.

El valor de C_{paire} se toma del anexo D a una valor promedio de las temperaturas de entrada y salida del aire que es calentado.

Dónde:

G= 6,723.676 kg/h de aire atmosférico

C_a= 0.240 Btu/lbm°f

T_f= 65.5ºC

T_o= 30º

Conversión del C_a a kcal/kgºC. El factor de conversión es 1 (anexo D)

C_a = (0.240 Btu/lbm°f) (1)=0.240 kcal/kgºC

Por tanto el calor suministrado al aire es:

$\dot{Q}_u$= (6,723.676)*(0.240)*(65.5-30)

$\dot{Q}_u$=57,285.71 kcal/h

7.3. Calculo de las pérdidas de calor a través de las paredes del generador de calor.

Estas pérdidas se determinan realizando un seccionamiento de las áreas del generador de calor. A cada área le corresponde un coeficiente de trasferencia de calor (comvectivo, de radiación), el que depende de la disposición, emisividad y temperatura de cada superficie.

Se consideran las siguientes secciones:

- cuerpo principal de la carcasa
- techo
- ducto de entrega de aire caliente

La pérdida se calcula, en todos los casos, haciendo uso de la ecuación (7)

$$\dot{Q}_p = h\propto * A_{tc} * (T_{sup} - T_{am})$$

El mecanismo de trasferencia de calor corresponde a la convección natural y radiación térmica, debido a que ambos ocurren simultáneamente se estima, para todos los casos, un valor h$\propto$ de trasferencia de calor combinado, temperatura ambiente de 30ºc y una emisividad de 0.8.

7.3.1. Perdidas de calor en el cuerpo principal de la carcasa.

Para efectuar el cálculo de este calor se utiliza la ecuación (7).

$$\dot{Q}_p = h\propto * A_{tc} * (T_{sup} - T_{am})$$

Dónde:

T_{sup}=124ºc

T_{am}=30ºc

El dato de la temperatura ($T_{sup)}$ se toma de la tabla 4 Resultado de las mediciones.

h= 12.5 kcal/m^{2o}c

El coeficiente de trasferencia de calor (h) de una placa dispuesta verticalmente, se toma de la figura (1) del anexo D, para una temperatura de superficie 124ºc y una emisividad de 0.8.

Las dimensiones para calcular el área de trasferencia de calor se toman delos dibujos que se presentan en el anexo A.

A_{tc}= 2pared frontal+ 2pared lateral-A_{cen}-A_{sa}-A_{ea}-A_{sch}

A_{ce}- área del hueco del cenicero

A_{sa}- área del hueco de la salida del aire

A_{ea}- área del hueco de la entrada de aire

A_{sch}- área del hueco de la chimenea

Área de la pared frontal= 1.092*2.095 = 2.288 mt^2

Área de la pared lateral= 1.231*2.095 = 2.580 mt^2

A_{ce}= 0.35*0.08= 0.028 mt_2

A_{sa}=0.88*0.22= 0.201 mt^2

A_{ea}=0.88*0.22= 0.201mt^2

A_{sch}=0.60*0.101=0.060 mt^2

A_{tc}= 2*2.288+2*2.580-0.028-0.212-0.201-0.060

A_{tc}=9.235 mt^2

Por tanto la pérdida de calor en el cuerpo de la carcasa es:

$\dot{Q}_p$= 12.5*9.235*(124-30)

$\dot{Q}_p$= 10,851.125 kcal/h

7.3.2. Perdida de calor a través del techo.

La temperatura de la superficie se toma de la tabla 4

T_{sup}=180ºc

Se determina el coeficiente de trasferencia de calor (h∝), para una superficie dispuesta horizontalmente con temperatura superficial (T_{sup}) de 180ºc y emisividad 0.8. Figura (1) anexo D.

h= 17kcal/m^2hºc

Las dimensiones para el cálculo de las paredes se obtienen do los dibujos del generador de calor. Anexo A.

A_{tc}=1.23*1.092

A_{tc}=1.343 mt^2

Por tanto:

$\dot{Q}_p$= 17*1.343*(180-30)

$\dot{Q}_p$= 3,424.65 kcal/h.

7.3.3. Perdida de calor en el ducto de descarga de aire caliente.

En esta sección el aire calentado pierde parte del calor que se le fue suministrado al pasar en el intercambiador de calor, debido a que la tubería carece de aislante térmico. El cálculo se realiza considerando al cilindro como una superficie dispuesta horizontalmente.

El calor es disipado a través de 11.21 mt lineales de tubería, el diámetro de la tubería es de D= 0.30 mt. Por tanto el área de trasferencia de calor es de:

$A_{tc}=2*\pi *r*L$

$A_{tc}=2*3.1416*0.15*11.21$

$A_{tc}=10.5\ mt^2$

La temperatura de la superficie se toma de la tabla 4

$T_{sup}= 63ºc$

Se determina el coeficiente de trasferencia de calor (h) para una superficie dispuesta horizontalmente con temperatura superficial (T_{sup}) de 63ºc y emisividad 0.8. Figura (1) anexo D.

$h= 11kcal/mt^2hºc$

Por tanto:

$\dot{Q}_p= 11*10.5*(63-30)$

$\dot{Q}_p= 3{,}630\ kcal/h$

7.4. Perdida de calor por los humos.

Para determinar este calor se utiliza la ecuación (11)

$$\dot{Q}_{gas} = v_s * h_{gas}$$

El valor de la entalpia se determina utilizando la ecuación (12)

$$h_{gas} = C_{gas} * T_{gas}$$

Como la combustión se realiza con un exceso de aire, la entalpia debe corregirse utilizando la ecuación (13)

$$h_{gas}= T_{gas} * \{C_{pgas} + [(\mu-1) *\dot{m}_{at}/v_s *c_a)]\}$$

Dónde:

$T_{gas}= 310ºc$ (tabla 4)

μ= 1.5113

$\dot{m}_{at}$= 173.57 kg/h

V_s = 302.84 kg/h (tabla 9)

C_a = 0.240 Btu/lbm ºC (anexo D), conversión a kcal/kg ºC, el factor de conversión es 1 (anexo D)

C_a =0.240kcal/kgºc

$\dot{m}_{gast}$= $\dot{m}_{at}$ + $\dot{m}_c$- masa de cenizas

$\dot{m}_c$=40.90 kg/h (tabla 10)

$\dot{m}_{gast}$= 173.57+40.90-0.39

$\dot{m}_{gast}$= 214.08 kg/h

El C_{pgas} se determina promediando los valores de los calores específicos del bióxido de carbono, vapor de agua y oxígeno. (Anexo D)

Bióxido de carbono= 0.256 Btu/lbmºf

Vapor de agua=0.483 Btu/lbmºf

Oxigeno= 0.239 Btu/lbmf

C_{pgas}= $\frac{0.256+0.483+0.239}{3}$

C_{pgas}= 0.326 Btu/lbmºf, el factor de conversión es 1 (anexo D)

C_{pgas}= 0.326 kcal/kgºc

Determinamos el valor de la entalpia:

h_{gas}= 310* {0.326 + [(1.5113-1) *173.57 /214.08*0.240)]}

h_{gas}= 131.902 kcal/kg

Por tanto:

$\dot{Q}_{gas}$= 302.84*131.902

$\dot{Q}_{gas}$ =39,945.20 kcal/h

7.5. Calculo de pérdidas no consideradas

Se determina utilizando la ecuación (14)

$$\dot{Q}_n = [\dot{Q}_x - (\dot{Q}u + \dot{Q}c + \dot{Q}l + \dot{Q}_p + \dot{Q}r + \dot{Q}_{gas})]$$

Por tanto:

$\dot{Q}_n+\dot{Q}c+\dot{Q}l+ \dot{Q}r$ = [126,629.263– (57,285.71+17,905.775+39,945.20)]

$\dot{Q}_n$=11,492.577 kcal/h

7.6. Calculo del rendimiento teórico y eficiencia del generador de calor.

El rendimiento teórico se determina con la ecuación (15)

$\eta = (Q_u + Q_c + Q_l + Q_p + Q_r)/ Q_x$

Por tanto:

η= (57,285.71+0+0+17,905.775+0)/126,629.263

η=0.5937

Se dispone de un 59.3792 % del calor total que se aporta, que pudiera ser utilizable.

La eficiencia se determina utilizando la ecuación (16)

$$\eta=Q_U/Q_T$$

Por tanto:

η=57,285.71/126,629.263

η=0.4523

La eficiencia del generador de calor durante el proceso de producción de aire caliente para el secado del café presenta un valor del 45.23 % del calor generado por el combustible.

7.7. Resumen del balance térmico.

Tabla 11. Resumen del balance térmico.

Calor	Flujo de calor	%
Calor aportado por el combustible	126,629.263	100
Calor transferido al aire(calor útil)	57,285.71	45.23
Perdidas de calor		
Perdida de calor en la carcasa	10851.125	8.53
Perdida de calor en el techo	3,424.65	2.70
Perdida de calor en el ducto de entrega de aire	3,630	2.86
Perdida de calor en los humos	39945.20	31.54
Perdidas de calor no considerada($\dot{Q}_n$+$\dot{Q}$c+$\dot{Q}l$+ $\dot{Q}$r)	11492.577	9

7.8. Desarrollo del análisis cualitativo.

El objetivo de la inspección visual es recabar información sobre el estado físico actual del generador de calor y sus equipos periféricos para dictaminar las medidas que mejoren la funcionalidad del equipo

A partir de una vista de campo al generador de calor se recabo la siguiente información:

- se observan zonas oxidadas lo que nos indica fugas de energía
- otro aspecto a observar es la falta total de aislamiento térmico en la línea de entrega de aire caliente como en la misma carcasa.
- los instrumentos: válvulas de regulación de aire y termómetros de temperaturas se encuentran en no tan óptimas condiciones.
- el aislamiento térmico del horno está construido de ladrillo común el cual no es muy adecuado
- la limpieza, de los residuos de los humos en los tubos del intercambiador de calor, no se realiza de manera continua.
- parte del aire que proporciona el ventilador, para ser calentado, se fuga a través de malos ajustes en las juntas de los ductos de suministro y entrega.
- la cascarilla de café, utilizada como combustible, se introduce a la cámara de combustión con humedad no tan alta
- la compuerta de suministro de combustible no tiene un cierre hermético por tanto el calor se pierde por estas fisuras.
- el sistema de alimentación manual del combustible provoca inestabilidad en el proceso de producción de calor.

CONCLUSIONES.

Con los análisis cualitativos y cuantitativos efectuados en el presente trabajo se ha llegado a las siguientes conclusiones:

1. el generador de calor se encuentra operando con una carga del 100% de su capacidad, con una eficiencia de 45.23 %. a pesar de que no se cuenta con los datos de chapa, al comparar esta eficiencia con la de generadores de calor con características de funcionamiento similares, podemos concluir que esta se encuentra dentro de los rangos de funcionamiento aceptable.
2. Las pérdidas de calor en el cuerpo principal de la carcasa, ducto de entrega de aire y techo están por encima de los valores permisibles (10%). Estos alcanzan valores de 14.09 % debido a la falta de aislamiento térmico.
3. Las pérdidas de energía en los gases de chimenea son excesivas alcanzando valores del 31.54 % debido a que no se hace uso de la recirculación de estos para aprovecharlos. El aprovechamiento en la recirculación no se efectúa debido a que el generador funciona con un tiro natural, de otra manera se afectaría el suministro de aire para la combustión.
4. El mecanismo de alimentación de combustible, el cual se realiza de manera manual, provoca intermitencias en el proceso de generación de calor trayendo consigo problemas en el proceso de secado del café por las caídas y subidas bruscas de temperaturas como se muestra en la figura del anexo C.
5. La combustión de la cascarilla de café se realiza en capas, con un porcentaje de exceso de aire de 51.13 %.
6. Existen fugas de aire en los acoples de la carcasa, las cuales no son calentadas y disminuyen la eficiencia del generador. Estas pérdidas ascienden a 139.214 kg/hr.

RECOMENDACIONES.

Las recomendaciones que se presentan a continuación se obtienen a partir de los análisis cualitativos y cuantitativos realizados, con el fin de mejorar la funcionalidad y eficiencia del generador de calor.

Las recomendaciones son las siguientes:

1. limpieza de manera más continúa de la tubería del intercambiador de calor.
2. garantizar el aislamiento térmico para reducir las pérdidas de calor a través de las paredes. principalmente en el ducto de entrega de aire y la carcasa principal.
3. construir las paredes del horno con ladrillo refractario para disminuir las pérdidas de calor.
4. suministrar el combustible de manera más uniforme en la cámara de combustión y en intervalos de tiempo más cercano para disminuir la inestabilidad en la producción de calor.
5. mejorar los desajustes en los acoples de los ductos para evitar las fugas del aire que proporciona el ventilador.
6. Dar mantenimiento a las zonas afectadas por corrosión
7. Sustituir los elementos de regulación y control.
8. Almacenar la cascarilla de café, para su posterior utilización, en lugares adecuados en los que se evite el contacto con la humedad.
9. Orientar de manera técnica a los operarios responsables del funcionamiento.

Bibliografia.

- Addison Wesley. Graphics for engineers 1990. USA.
- Claudio Mataix Termodinámica técnica y maquinas térmicas. Edición ICAI
- Holzbock W. G. Instrumentos para medición y control, editorial Continental S. A, 2da edición 1982. México.
- Incropera. Transferencia de calor , 1ra edición 2006 , Mc Graw Hill.
- John Wiley & Sonc. Mechanical engineers handbook design and productions Charmicael Colin, Kents, twelfth edition,. New York. 1958. USA.
- James R. Welty: Transferencia de caor aplicada a la ingenieria, quinta reimpresion, editorial Limosa, Mexico 1994.
- Victor L. Streeter: Mecanica de los Fluidos, octava edicion, editorial Mcgraw- Hill, 1992.

Monografías

- Navarro Pérez María, Morales Mendoza Olivia. Aprovechamiento de los desechos agroindustriales como fuente alternativa de la generación de energía, Monografía Managua. UNI 1993.
- Evaluación de la eficiencia de tres sistemas de generación de calor para el secado del café en los beneficios del Norte de Nicaragua. Monografía UNI 1994.
- Zeledón Josefa. Monografía uso eficiente de la energía térmica en la industria, Managua UNI 1999.

Consultas electronicas

- http://libros.redsauce.net/
- http://html.rincondelvago.com/materiales_8.html.

NOMENCLATURA

K - es el porcentaje del elemento en la composición química de la cascarilla de café.

ρ_{aire} – densidad del aire.

m_{aper} – masa de aire perdido en la sección a calcular.

$\dot{m}_{ats}$ – masa de aire teórico seco.

$\dot{m}_{at}$ – masa de aire teórico para la combustión.

v_{sp} – velocidad en la sección de perdida.

Q_x – calor de combustión del combustible.

H_i – poder calorífico inferior.

$\dot{m}_c$ – flujo de masa de combustible.

Q_a – calor físico del aire para la combustión.

$\dot{m}_{ap}$ –masa de aire practico para la combustion.

C_a – capacidad calorífica del aire.

t_a – temperatura a la que se encuentra el aire en el ambiente.

Q_c – calor físico del combustible.

C_c – capacidad calorífica del combustible.

t_c – temperatura a la que se encuentra el combustible.

Q_c – calor útil.

G – masa de aire a calentar.

T_f – temperatura final del aire a la salida.

T_0 – temperatura del aire a la entrada del generador.

C_0 – calor especifico a temperatura promedio.

Q_{pc} – calor por pérdidas de combustible.

Q_L – pérdidas por las fugas de humos.

G_L – masa de humos que se escapan.

h_i – entalpia de los humos que se escapan.

A_{tc} – área de transferencia de calor.

Q_p – pérdidas de calor por las paredes.

T_{ext} – temperatura exterior de las paredes.

h – coeficiente de transferencia de calor entre la superficie exterior y el ambiente.

Q_r – pérdidas por irradiación.

T_1 – temperatura de la superficie emisora.

T_2 – temperatura del área receptora.

$Q_{\lambda\text{-}\lambda}$ – Pérdidas de calor por radiación considerando el coeficiente de emisividad o poder absorbente

4.96E-8 = ε – constante de Steffan-Boltzman.

Q_{gas} – pérdida de calor en los humos.

V_s – masa de los gases de combustión en la chimenea.

C_{pgas} – calor especifico de los humos a la salida.

$\dot{m}_{gast}$ – masa de gases teóricos.

h_s – entalpia de los humos a la salida del generador.

t_s – temperatura de los humos a la salida.

μ – factor de exceso de aire, mayor que 1.

Q_n – pérdidas no consideradas.

Q_t – calor total.

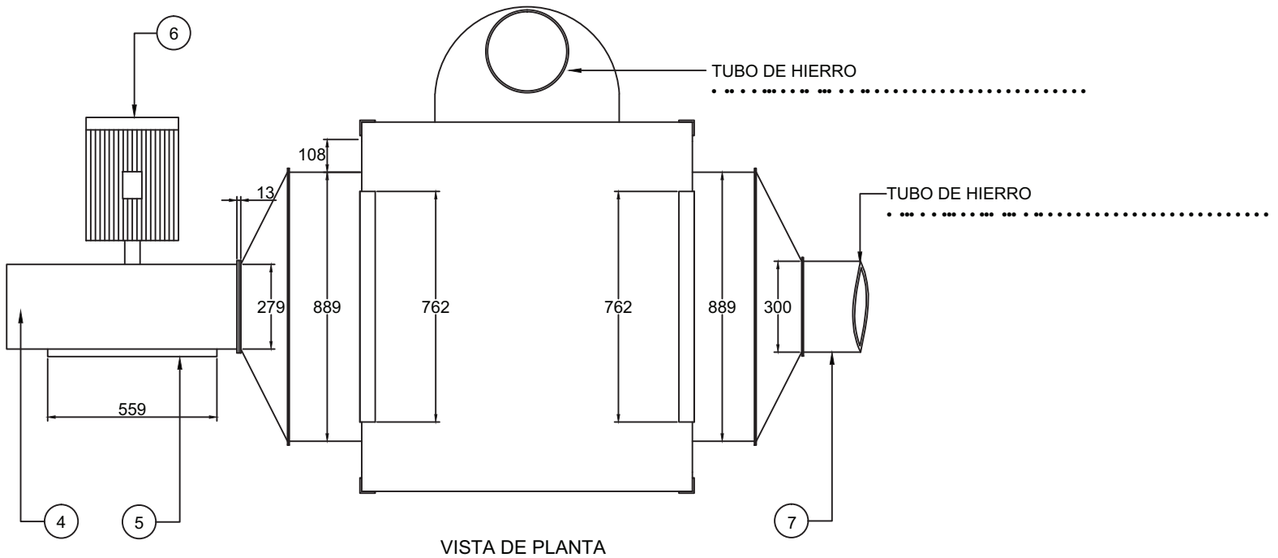
η - eficiencia térmica.

n – rendimiento térmico.

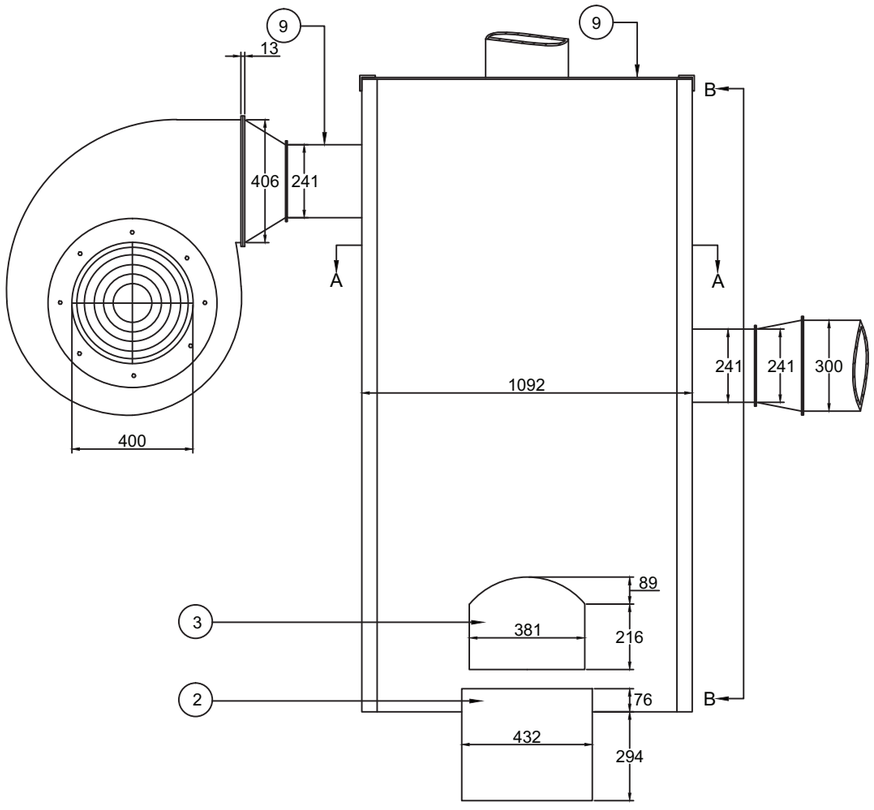
Anexo A.

Dibujos del generador de calor

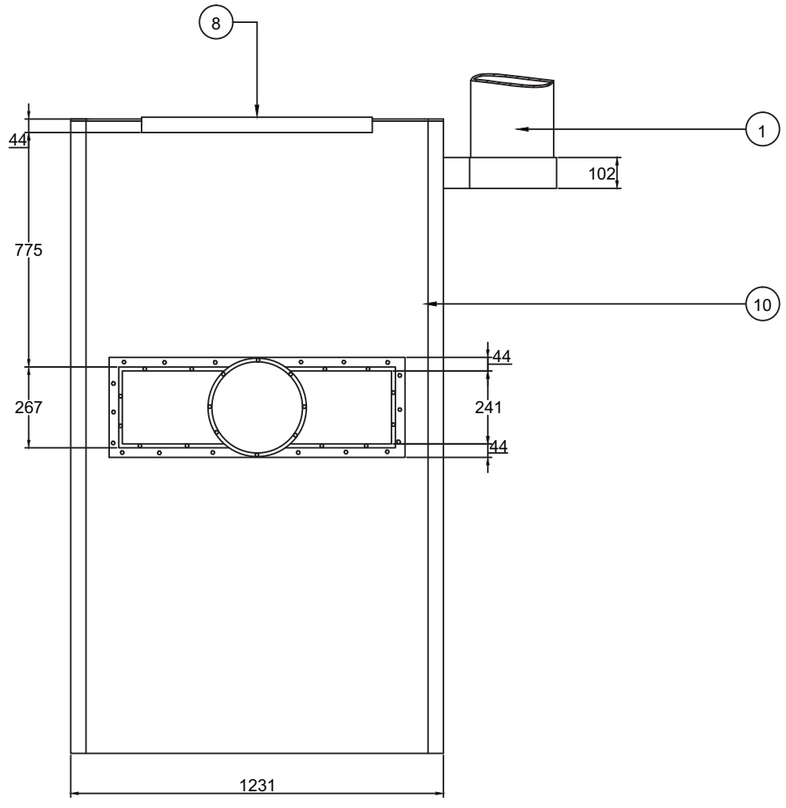
POS	DESCRIPCION	CANT
1	CHIMENEA	1
2	SECCION DE ENTRADA AL CENICERO	1
3	COMPUERTA PRINCIPAL DEL HOGAR	1
4	VENTILADOR	1
5	AREA DE SUCCION DEL VENTILADOR	1
6	MOTOR DEL VENTILADOR	1
7	DUCTO TRANSPORTADOR DE AIRE CALIENTE	1
8	SOPORTE DEL TECHO	2
9	TECHO	1
10	SOPORTE DE ESTRUCTURA PRINCIPAL	4



VISTA DE PLANTA



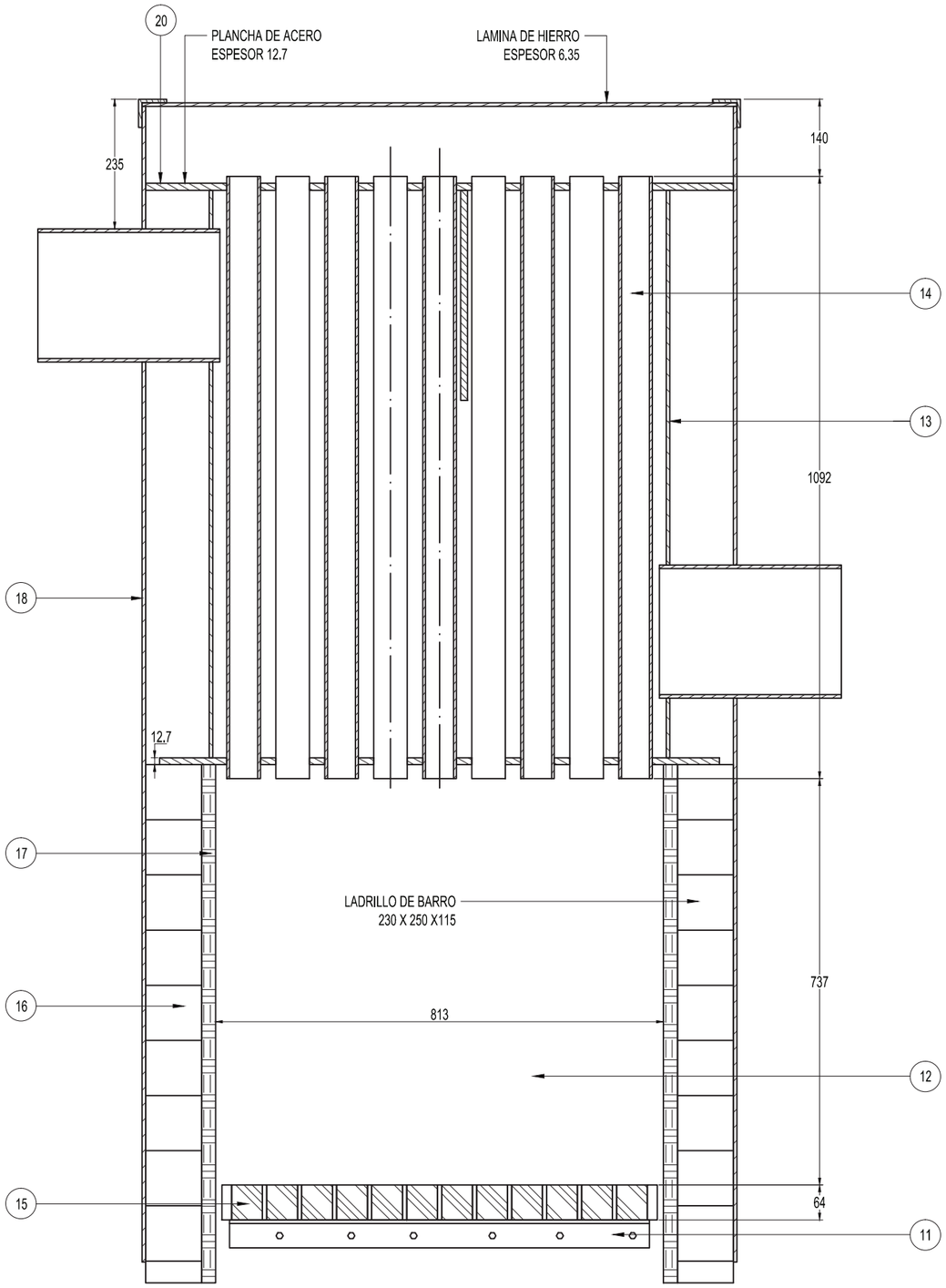
VISTA FRONTAL



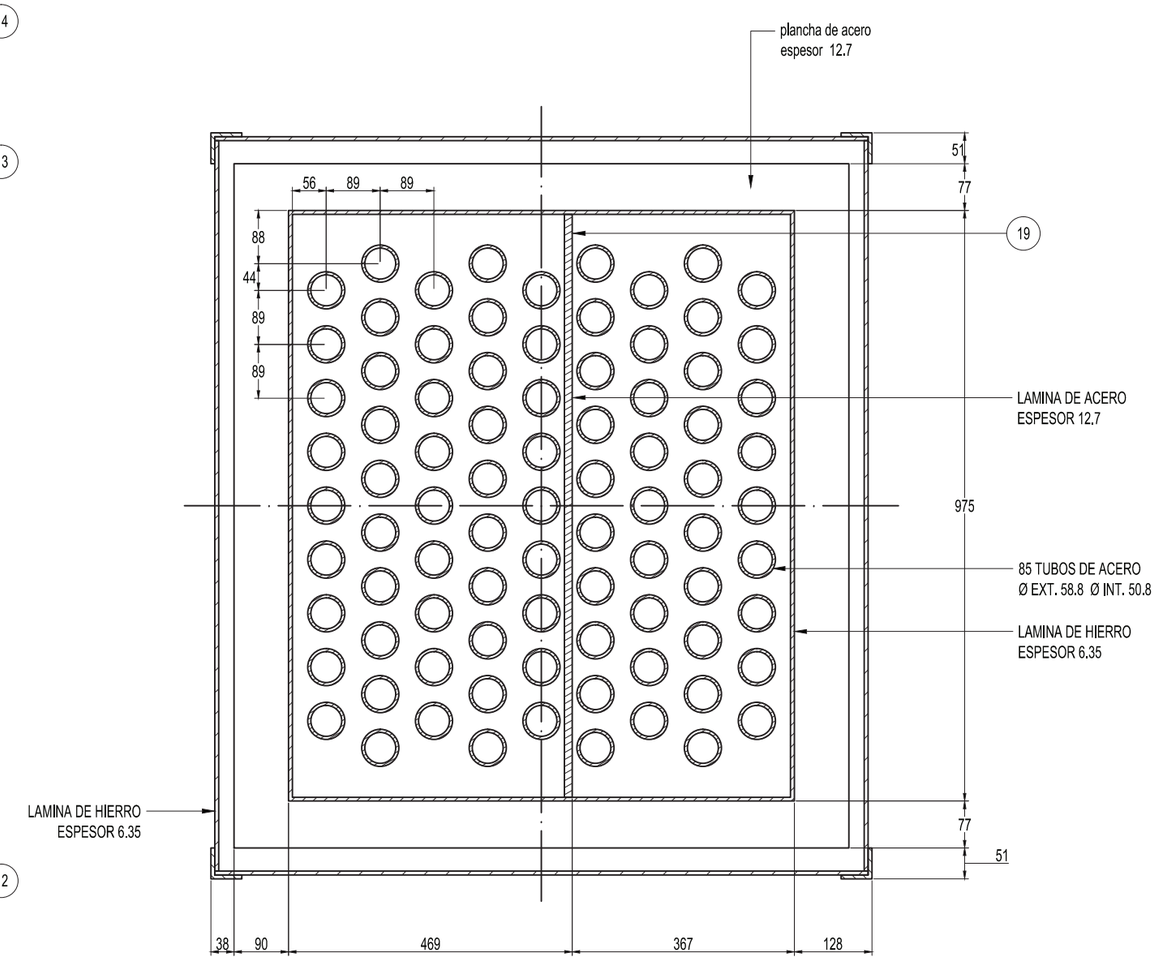
VISTA POR LA DERECHA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA MANAGUA NICARAGUA			
TITULO: GENERADOR DE CALOR			
DIBUJADO POR: RUDY GONZALEZ , GERAL GONZALEZ			
REVISADO POR: ING. ALEX PAVON PROFESOR TUTOR		CURSO: MONOGRAFIA	HOJA:
ESCALA: 1:20	UNIDAD: mm	FECHA: 20-07-12	

POS	DESCRIPCION	CANT
11	SOPORTE DE LA PARRILLA ESTACIONARIA DEL CENICERO	2
12	CAMARA DE COMBUSTION	
13	CORAZA DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR	1
14	TUBOS DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR	85
15	PARRILLA ESTACIONARIA	1
16	LADRILLO AISLANTE	
17	CAPA DE CONCRETO HIDRAULICO	1
18	CORAZA EXTERIOR DEL GENERADOR DE CALOR	
19	PLACA DEFLECTORA DE AIRE	1
20	ESPEJOS DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR	2



CORTE B - B



CORTE A - A

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA MANAGUA NICARAGUA			
TITULO: GENERADOR DE CALOR			
DIBUJADO POR: RUDY GONZALEZ , GERAL GONZALEZ			
REVISADO POR: ING. ALEX PAVON PROFESOR TUTOR		CURSO: MONOGRAFIA	HOJA:
ESCALA: 1:10	UNIDAD: mm	FECHA: 20-07-12	

Anexo B.

Detalles tecnicos de los instrumentos de medicion.

Automation Components

CARLO GAVAZZI, S.A. - Avda. Iparraguirre, 80-82 - 48940 Leioa (Bizkaia) - Spain
Tel. 94 480 40 37, Fax 94 480 10 61
!nternet:: www.carlogavazzi.com/ac/es - E-Mail: gavazzi@carlogavazzi-sa.es

CARLO GAVAZZI

PAN133N

INSTRUCCIONES DE FUNCIONAMIENTO

Introducción:

Termómetro digital compacto, portátil con sistema de conexión externo tipo K. Instrumento conforme con todas las indicaciones del "National Bureau Standards" en lo que a tensión y temperatura conforma la IEC 584 para termocontactos tipo K. Instrumento suministrado con dos termocontactos tipo K.

Normas de seguridad:

Lea atentamente las instrucciones de uso y normas de seguridad aportados en este manual por el fabricante antes de utilizar el termómetro.

¡ATENCIÓNi

Para evitar daños en el instrumento no utilizar nunca cuando la superficie de contacto supere [24vac o 50vcc]
No utilizar las sondas de medición en el interior de un horno microondas.

PRECAUCIÓN:

Para una larga duración del equipo, desconecte las sondas una vez tomadas las muestras de temperatura, conservando así en perfecto estado los termocontactos tipo K y sondas.
El símbolo de advertencia Y impreso en el instrumento indica que el operario se ha referido siempre a este manual en lo que a seguridad de uso y aplicación se refiere.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

ELÉCTRICAS:

Rango de medición: De –50ºC a 1300ºC(de –58ºF a 2000ºF)
Resolución: 1ºC o 1ºF, o, 0.1ºC o 0.1ºF
Precisión: Los datos de precisión se han tomado utilizando el instrumento con temperaturas de 18ºC y 28ºC (64ºF a 82ºF) durante un año, dando un error de lectura en las siguientes mediciones de:

±2ºC	-50 a 0ºC
±4ºF	-58ºF a 32ºF
±(0.3%rdg +1ºC)	0ºC a 1000ºC
±(0.5%rdg +1ºC)	1000ºC a 1300ºC
±(0.5%rdg +2ºF)	32ºF a 2000ºF

Coeficiente de temperatura: 0,1 x la precisión especificada en ºC de 0ºC a 18ºC o 28ºC a 50ºC (32ºF a 64ºF ó 82ºF a 1220F)
Protección de entrada: 60Vcc a 24Vac rms como tensión de entrada máxima
Frecuencia de trabajo: 2,5 voltios por segundo
Conexión de entrada: Enchufe sumergido para termosonda tipo K (Puntas metálicas con una distancia de entre puntas de 7.9mm de centro a centro)

AMBIENTE:

Temperatura de funcionamiento: 0ºC a 50ºC (32ºF a 122ºF)
Temperatura de almacenamiento: -20 ºC a 60ºC (-4ºF a 140ºF)

GENERALIDADES:

Display: Cristal líquido (LCC) 3 ½" dígitos con lectura máxima de 1999.
Alimentación: Batería estándar 9V (NEDA 1604, IEC 6F22)
Autonomía: 200 horas con batería de Zinc-Carbono.
Dimensiones: 147mm(L)x 70mm(H)x 39mm (A)
Peso: 215gr.
Sonda incluida: Termosonda tipo "K" de 122cm de longitud (con recubrimiento de teflón). Máxima temperatura de trabajo de 260ºC (500ºF). Precisión de la sonda ±2,2ºC 0 ±0,75 de lectura comprendida desde 0º a 800º.

INSTRUCCIONES DE USO

Selección de la escala de temperatura:

Los valores pueden expresar en grados Celsius (ºC) o Fahrenheit (ºF). En el momento de poner en "ON" el instrumento nos expresa la escala de temperatura utilizada en la ultima medición. Para modificar la escala presione el botón "F/C".

Medición de temperatura con una termosonda T1 oT2:

El termómetro visualiza la temperatura de la termosonda conectada en el puerto seleccionado, T1 o T2, oprima el botón correspondiente al puerto en que este conectada la sonda.

Medición de temperatura diferenciada entre T1 y T2:

Para la congelación de lectura "Data Hold", oprima el botón "Hold", se congela la lectura y en el display aparece "D-H". En esta función el termómetro continúa midiendo los valores de temperatura, para restablecer la medición oprima de nuevo el botón "Hold".

Modo Max:

El modo de máxima lectura permitirá la aparición en display de la máxima lectura en T1,T2 o T1-T2. El termómetro memoriza los valores máximos de entrada, para este modo oprima Max. Con el termómetro en modo "Max" y oprimiendo el botón "Hold", restablecemos los datos para una nueva lectura "Max".

Variación de la resolución:

El termómetro nos permite variar la escala de datos para variar su resolución. Alta resolución: 0,1ºC ó 0,1ºF, Baja resolución: 1,0ºC ó 1,0ºF. Para variar la resolución oprima el botón (0,1º/1º)

Calibración OFFSET:

La regulación OFFSET permite la compensación de variaciones tomadas en puerto T1 o T2 por la variación de las características de sus componentes. Modificando y controlando OFFSET, se puede optimizar la precisión del termómetro para el uso de sondas o temperaturas particulares.

Calibración OFFSET en T1 o T2:

1. Enchufe la termosonda en el puerto T1 o T2 y conecte el termómetro.
2. Coloque la sonda en una zona de temperatura conocida o estable y espere a que la lectura en display se estabilice.
3. Regule lentamente el control OFFSET correspondiente al puerto de toma T1 o T2, hasta que la lectura que aparezca en el display sea la adecuada.
4. La calibración entre puerto y sonda es ahora la adecuada según apart.2.

Calibración OFFSET entre T1-T2:

1. Coloque las sondas en los puertos T1 y T2.
2. Conecte el termómetro y seleccione el botón "T1-T2"
3. Coloque las sondas T1 y T2 en una zona de temperatura conocida o estable y espere a que la lectura en display se estabilice.
4. Regule lentamente el control OFFSET de cualquiera de los dos puertos, hasta que la lectura que aparezca en el display sea "0º". Espere a que se estabilice la lectura y dé por terminada la calibración.
5. La calibración entre puerto y sonda es ahora la adecuada según apart.2.

Restablecer calibración OFFSET:

Para restablecer el termómetro a la calibración de origen siga los siguientes pasos:

1. Coloque la termosonda en buen estado en el puerto T1 o T2 que desee restablecer.
2. Coloque la termosonda en agua helada y espere a que la lectura se estabilice.
3. Regule lentamente el control OFFSET correspondiente hasta que la lectura en display sea 0ºC (32ºF).

MANTENIMIENTO

¡ATENCIÓNi

Para evitar daños en el instrumento, desmonte las termosondas de los puertos T1 o T2 después de su uso.
Sustitución de la batería:
El termómetro viene equipado con una batería de 9V (NEDA 1604, IEC 6F22). El termómetro detecta el momento de desgaste de la batería apareciendo en el display el símbolo "±" cuando sea necesario reemplazar esta por una en buen estado. Extraiga la tapa portabatería de la parte trasera para su sustitución.

1. FEATURES

* Microprocessor circuit ensures high accuracy and provides special functions and features.
* Dual function display, show air velocity value and the Temp. value at the same time.
* Low-friction ball vane wheels is accurate in both high and low velocities.
* The portable anemometer provides fast, accurate readings, with digital readability and the convenience of a remote probe separately.
* Five air velocity measurement units : m/s, km/h, ft/min, knots. mile/h.
* Anemometer show the display unit with default.
* 2 in 1, Anemometer + Thermometer (type K/J).
* Thermocouple Thermometer can accept type K or type J Temp. probe with default.
* Thermometer can default the display unit to℃ or ℉ with default.
* Meter can default auto power off or manual power off.
* 0.1 degree resolution for temperature measurement.
* Microcomputer circuit provides intelligent function and high accuracy.
* Manual and auto data logger, with flexible sampling time selection, can save max. 1,600-point data.
* Records Maximum and Minimum readings with recall.
* Data hold function for freezing the desired value.
* Build in the input socket for DC 9V power adapter.
* RS232 PC serial interface.
* Few panel buttons, easy operation.
* Built-in low battery indicator.

2. SPECIFICATIONS

2-1 General Specifications

Circuit	Custom one-chip of microprocessor LSI circuit.
Display	LCD size : 44 mm x 29 mm dual function LCD display.
Function	* Anemometer
	* Thermocouple Thermometer '(Type K/J).
Anemometer	*Measurement :* m/s (meters per second) km/h (kilometers per hour) ft/min (feet/per minute) knots (nautical miles per hour) mile/h(miles per hour) Temperature (℃, ℉)
	Sensor : Air velocity sensor : Conventional twisted vane arms and low-friction ball-bearing design. Temperature sensor : Precision thermistor.
Thermocouple Thermometer	Thermocouple : Type K, Type J. Unit : ℃,℉ Resolution : 0.1 degree. Temperature Compensation : Automatic temp. compensation for the cold junction both type K/J thermometer Linear Compensation Linear Compensation for the full range.

THermocouple Thermometer (type K/J)

Sensor Type	*Reso-lution*	*Range*	*Accuracy*
Type K	0.1 ℃	-50.0 to 1300.0 ℃	± (0.4 % + 0.8 ℃)
		-50.1 to -199.9 ℃	± (0.4 % + 1 ℃)
	0.1 ℉	-58.0 to 2372.0 ℉	± (0.4 % + 1.5 ℉)
		-58.1 to -327.8 ℉	± (0.4 % + 1.8 ℉)
Type J	0.1 ℃	-100.0 to 1100.0 ℃	± (0.4 % + 0.8 ℃)
		-50.1 to -199.9 ℃	± (0.4 % + 1 ℃)
	0.1 ℉	-58.0 to 2012.0 ℉	± (0.4 % + 1.5 ℉)
		-58.1 to -327.8 ℉	± (0.4 % + 1.8 ℉)

* *Accuracy value is specified for the meter only.*

* *Temp. probe (Type K, TP-01 TP-02A, TP-03. TP-04) is the optional accessories, refer page 22.*

Note : Above specification tests under the environment RF Field Strength less than 3 V/M & frequency less than 30 MHz only.

3. FRONT PANEL DESCRIPTION

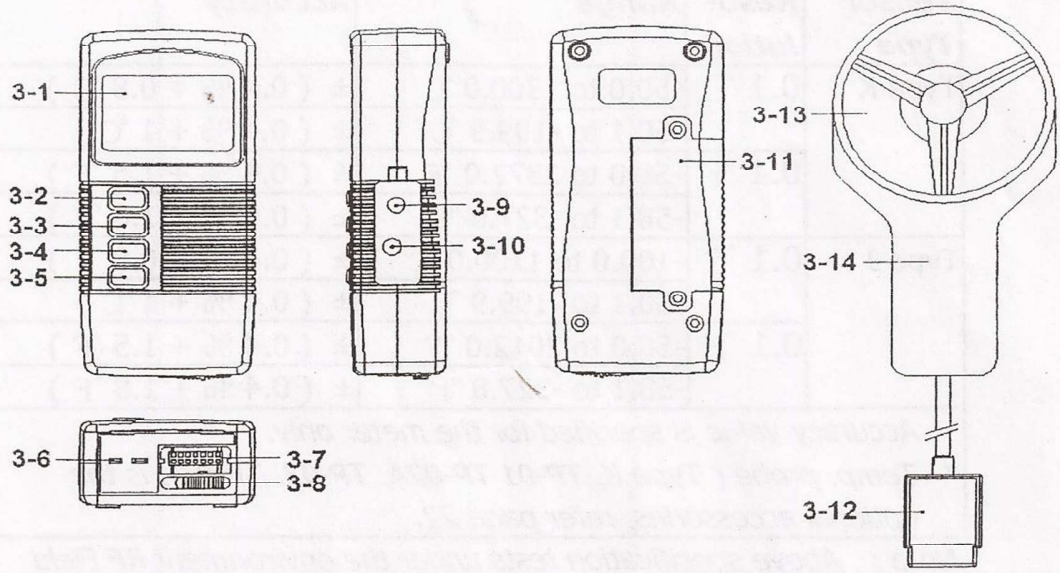


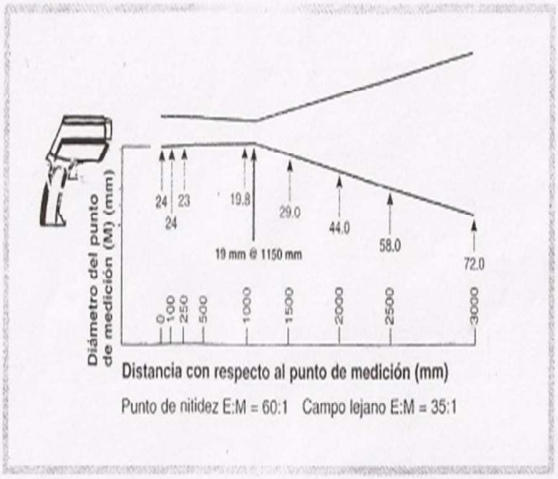
Fig. 1

3-1 Display
3-2 Power/ESC/Send button
3-3 Function/Hold button (Send quit/▲ button)
3-4 REC./Enter button
3-5 Setting/Logger button (▼ button)
3-6 Type K/J Temp. socket
3-7 Probe input socket
3-8 Probe lock switch
3-9 DC 9V adapter socket
3-10 RS-232 output terminal
3-11 Battery compartment/Cover
3-12 Probe Plug
3-13 Probe head (Anemometer vane & Temperature)
3-14 Probe handle

Data Acquisition software SW-U801-WIN	* The SW-U801-WIN is a multi displays (1/2/4/6/8 displays) powerful application software, provides the functions of data logging system, text display, angular display, chart display, data recorder high/low limit, data query, text report, chart report.. .xxx.mdb data file can be retrieved for EXCEL, ACESS.., wide intelligent applications.
(Type K) TP-01	* Max. short-tern operating Temperature: 300 ℃ (572 ℉). * It is an ultra fast response naked-bead thermocouple suitable for many general purpose application.
Thermocouple Probe (Type K), TP-02A	* Measure Range: -50 ℃ to 900 ℃, -50 ℉ to 1650 ℉. * Dimension:10cm tube, 3.2mm Dia.
Thermocouple Probe (Type K), TP-03	* Measure Range: -50 ℃ to 1200 ℃, -50 ℉ to 2200 ℉. * Dimension: 10cm tube, 8mm Dia.
Surface Probe (Type K), TP-04	* Measure Range: -50 ℃ to 400 ℃, -50 ℉ to 752 ℉. * Size : Temp. sensing head - 15 mm Dia. Probe length - 120 mm.

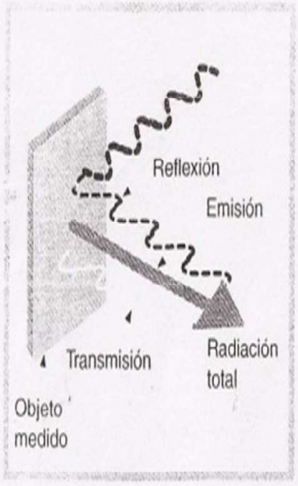
MEDIR

PUNTO DE MEDICIÓN



Téngase en cuenta que la parte medida (punto de medición) de la superficie del objeto sufre una modificación, de acuerdo con la ilustración, a medida que se cambie la distancia de medición. La proporción entre la distancia de medición y el diámetro del punto de medición asciende a aprox. 60 : 1 en el punto de nitidez, y a aprox. 35 : 1 en el campo lejano (>10 m).

GRADO DE EMISIÓN



La radiación térmica procedente del objeto medido depende de su temperatura y grado de emisión. El grado de emisión depende del material y del estado de su superficie. Para la medición exacta hacer la selección a base de la tabla de materiales del instrumento o ajustar el grado de emisión a base del apéndice F.

LÁSER

CON./DESC. LASER

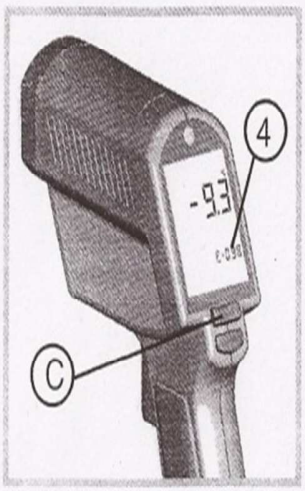
El visor láser facilita el poner la mira en el objeto de medición. Los puntos láser indican exactamente el diámetro de la mancha de medición.

Un símbolo (1) indica que el láser se encuentra conectado.

Símbolo de láser (Láser "con.")

GRADO DE EMISIÓN

AJUSTAR



Los valores medidos son corregidos automáticamente de acuerdo con el grado de emisión.
El ajuste momentáneo (4) se modifica mediante los pulsadores con flecha (C). Consultar también la tabla de grados de emisión en el apéndice F.
El conmutador Setup en el compartimiento de las baterías tiene que estar en la posición "ON"

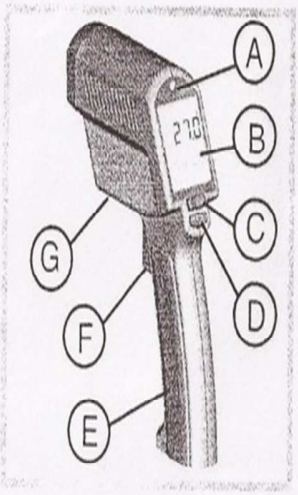
español

FUNCIONES

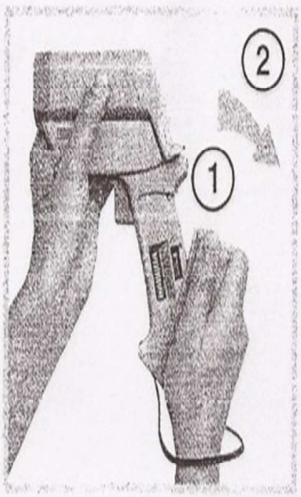
ELEMENTOS DE MANDO Y VISUALIZADORES

Elementos de mando y visualizadores:

(A) acúst./ópt. Alarma de valor límite
(B) Display
(C) 2 pulsadores con flechas
(D) Pulsador Intro
(E) Interruptor de ajuste
(F) Pulsador de medición
(G) Empalme para trípode



BATERÍAS

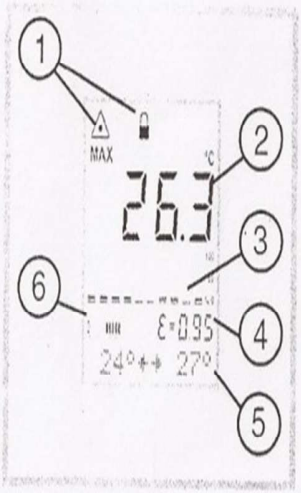


Abrir el compartimiento de las baterías mediante presión ligera ejercida en las medias empuñaduras superiores (1). Desplegar la empuñadura (2). Para utilizar el instrumento de medición se necesitan dos baterías tipo R6, (AA, UM3). Prestar atención a la polaridad correcta.

DISPLAY

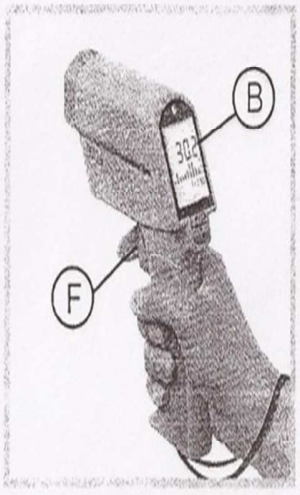
Visualizaciones en el display:

(1) Símbolo de estado y de alarma
(2) Valor medido
(3) Visualización gráfica del valor medido
(4) Grado de emisión
(5) Línea de estado
(6) Estado de la batería



MEDIR

MANEJO



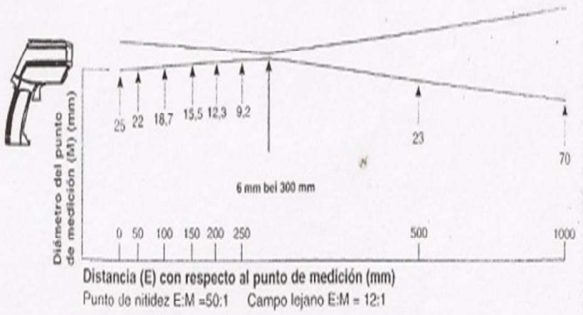
Mantener sujetado el instrumento de la manera representada. Apuntar con él hacia el objeto que se va a medir. Pulsar el pulsador de medición (F). La temperatura medida aparece visualizada en el display (B).
La misma permanece visible durante siete segundos después de haber soltado el pulsador de medición.

Preajustes de fábrica

Lock	OFF
°C/°F	US: °F Other: °C
Buzzer	ON
Backlight	OFF
Set Default	OFF
Setup	ON
Laserflash	ON
Laser	ON

Los preajustes de fábrica de los conmutadores DIL se podrán adaptar a las necesidades suyas.
Los conmutadores DIL los podrá encontrar en la empuñadura (ver capítulo BATERÍA). De la página precedente se desprenden las funciones que se pueden modificar con la ayuda de los conmutadores DIL.

Modelo con sistema óptico de punto de nitidez



El tamaño del punto de medición depende de la distancia entre el objeto medido y el termómetro infrarrojo. La proporción entre la distancia y el tamaño del punto de medición asciende a 50:1 en el punto de nitidez, y a 12:1 en el campo lejano.
La distancia óptima entre el sensor y el objeto medido está situada entre los 100 mm y 500 mm.

Modelo para bajas temperaturas

Margen de temperaturas: -50...500°C

A continuación viene la tabla de precisión para el modelo de baja temperatura con una temperatura ambiente de 25°C ± 5°C.

Temperatura del objeto	precisión
-5...500°C	± 1% del valor o ±1°C, rige siempre el valor mayor
-30...<-5°C	±1,5°C
-50...<-30°C	±2°C

español

Anexo C.

Registro de las mediciones de temperaturas y velocidades de flujo

Registro de temperaturas.

Tabla 1. Cámara de combustión, gases de chimenea y aire caliente (T°C)

Tiempo (minutos)	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Aire caliente	Gases en chimenea
0	377.5	297.7	210.5	65.3	189.6
1	820.5	434.8	271.5	63.5	329.6
2	855.6	580.2	569	65.4	411.1
3	759.7	571.3	562.1	68.2	392.1
4	646.3	518.1	602.3	69.2	353
5	536	473.3	548.8	69	324.8
6	458.7	440.6	469.3	67.6	292.5
7	393	395.8	365.3	66.2	264.8
8	1033.2	559.7	515	67.4	355
9	820.3	495.5	459	67.3	305.1
10	684	441.6	408.1	65.7	272
11	561.6	398.1	371.8	63.8	242.3
12	416.1	357.7	315.2	63.6	217.62
13	782	698.1	783.6	60.8	451.8
14	1017.6	840.7	658.8	68.3	568.3
15	843.2	679.6	470.6	75.2	473.3
16	724.5	616.7	417.2	76.8	388.8
17	604.2	522.6	389.3	76.3	332.1
18	520.5	479.8	350.2	74.7	297.4
19	450.1	433.5	327.3	72.4	274.1
20	405.5	490.6	420.1	64.8	392.1
21	492.2	659.1	603.6	68	537.7
22	519.5	584.1	458.2	70.8	433.5
23	457.5	476.7	377.7	71.1	335.3
24	383.2	398.1	335.5	68.6	267.8
25	330.7	351.2	304.7	67.7	229.7
26	305.6	326.6	284.7	65.2	269.3
27	286.5	307.7	267.8	62.7	194.7
28	272.1	291.9	252.1	60.6	181.6
29	259.5	277.6	247.7	58.3	172.2
30	299.7	266.5	233.3	56.6	165.1
31	236.1	255.8	226.3	55	158.4
32	232.8	242.5	212.8	53.2	153.7
33	219.8	233.2	205.2	52.1	147.5
34	160.12	217.4	187.8	51.3	188.6
35	657.2	415.2	334.3	53	396.2
36	498	396.6	307.8	55.4	373.2
37	380.6	349.7	281.2	56.4	287.9
38	274	269.2	216	55.2	189.5
39	237.2	463.7	297.7	54.3	344.1
40	460.3	752.4	554	58.6	498
41	1132	715.6	506.8	64.3	488.5
42	921.2	588.1	465.7	69.1	404.6
43	855.7	507.9	552.5	70.2	366.2
44	731.7	473.7	556.5	71	316.6

45	703.6	461.7	549.2	70.3	309.9
46	654.6	436.4	410.1	69	302.5
47	398.5	439.3	450.2	67	350.6
48	504.1	912.5	804.2	72.5	500
49	878.5	806.5	664.4	80.3	509.3
50	808.5	663.6	549.3	82.3	388.3
51	594.5	227.2	494.9	72	450.2
52	512.1	513.3	423.5	74.1	370.6
53	442.8	428.4	362.3	70.9	277.6
54	484.3	326.9	329.3	67.2	215.5
55	286.5	351.8	273.3	65.5	190
56	272.1	284.2	289.3	63	164.7
57	269.5	269.5	282.3	62.6	153.6
58	256.3	256.3	260.8	60	145.7
59	246	246	252.3	58.1	139.7

Punto 1: extremo inferior del intercambiador de calor, centro de la cámara de combustión.

Punto 2: extremo inferior del intercambiador de calor, opuesto a la compuerta.

Punto 3: extremo inferior del intercambiador de calor, derecha a la compuerta.

Tabla 2. Mediciones de temperaturas en las paredes exteriores (TºC)

Tiempo(min)	Punto 6	Punto 7	Punto 8	Punto 9
0	87.2	156.6	177.8	80.1
5	95.4	162.4	185.5	74
10	95.2	163.4	183.6	66.7
15	86.2	160	184.1	64
20	88.3	161.6	180.8	67
25	87.5	160.1	182.8	63
30	85	152.3	173	51
35	86	155.6	178.4	55.6
40	95.7	158	179.5	57
45	95.2	160	185.6	69
50	85	160.3	181	62.8
55	95.1	157	177.8	56.6
60	97.8	150.6	171.1	52

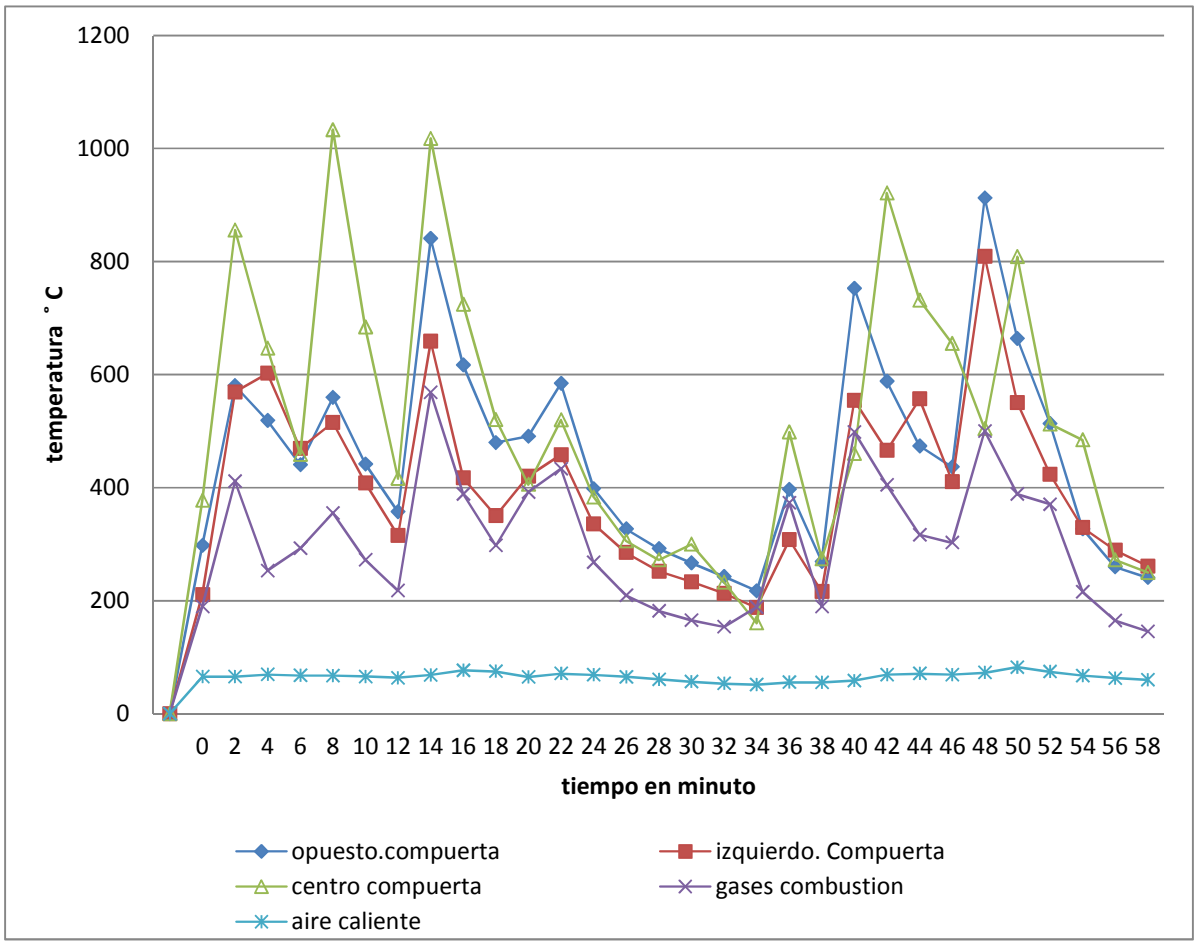
Punto 6: pared exterior de la carcasa, sección inferior.

Punto 7: pared exterior de la carcasa, sección intermedia.

Punto 8: pared exterior de la carcasa, techo.

Punto 9: pared exterior del ducto de descarga de aire caliente

Gráfica de temperatura 1[1]



Registro de velocidades de flujo.

Sección de medición: sección de succión del ventilador.

Tabla 3. Mediciones de velocidad del aire en la sección de succión del ventilador

Punto de medición	Velocidad(m/s)
Punto 1	14.3
Punto 2	14.2
Punto 3	13.5
Punto 4	14.1
Punto 5	13.1

[1] los datos graficados corresponden a los presentados en la tabla 1 de este anexo.
grafica generada en Excel

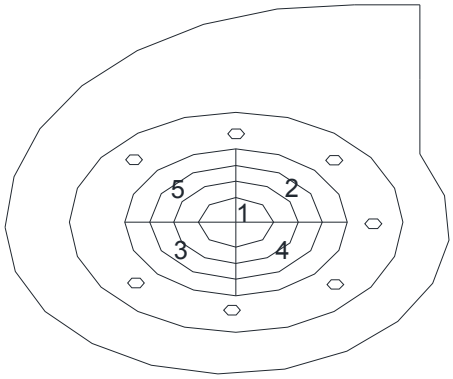


Tabla 4. Filtraciones de aire debido a las aberturas en los acoples de la carcasa

Puntos de medición	Velocidad(m/s)	Sección(cm x cm)
6	3	18 x 0.5
7	2.1	55 x 0.4
8	2.3	78 x 0.5
9	4.9	28 x0.5
10	5	23 x 1

Punto 6: esquina posterior izquierda de la carcasa
Punto 7: esquina posterior derecha de la carcasa
Punto 8: acople del conducto que va hacia la maquina secadora
Punto 9: acople del conducto que viene del ventilador
Punto 10: acople del conducto del ventilador que viene de la salida del ventilador en la esquina superior izquierda
Sección de medición: entrada del cenicero

Tabla 5. Medición de la velocidad del aire para la combustión

Puntos de medición	Velocidad(m/s)
11	0.37
12	0.39
13	0.40
14	0.38
15	0.39
16	0.40
17	0.37
18	0.37
19	0.37

Anexo D

Tablas de propiedades de los gases y factores de conversión utilizados en los cálculos del balance térmico.

Tabla 1. Propiedades físicas del aire[1].

T ºF	ρ lb_m/ft^3	c_p Btu/lb_m ºF	μx10^5 lb_m/ft-seg	Vx10^3 ft^2/seg	k Btu/h-ft.-ºf	α ft^2/hr	P_r	βx10^3 1/ºF	gβρ^2/μ^2 1/ºF-ft^3
Aire.									
0	0.0862	0.240	1.09	0.126	0.0132	0.639	0.721	2.18	4.39x10^6
30	0.0810	0.240	1.15	0.142	0.0139	0.714	0.716	2.04	3.28
60	0.0464	0.240	1.21	0.159	0.0146	0.798	0.711	1.92	2.48
80	0.0735	0.240	1.24	0.169	0.0152	0.855	0.708	1.85	2.09
100	0.0710	0.240	1.28	0.181	0.0156	0.919	0.703	1.79	1.76
150	0.0651	0.241	1.36	0.209	0.0167	1.06	0.698	1.64	1.22
200	0.0602	0.241	1.45	0.241	0.0179	1.24	0.694	1.52	0.840
250	0.0559	0.242	1.53	0.274	0.0191	1.42	0.690	1.41	0.607
300	0.0523	0.243	1.60	0.306	0.0203	1.60	0.686	1.32	0.454
400	0.0462	0.245	1.74	0.377	0.0225	2.00	0.681	1.16	0.264
500	0.0413	0.247	1.87	0.453	0.0246	2.41	0.680	1.04	0.163
600	0.0374	0.251	2.00	0.535	0.0270	2.88	0.680	0.944	79.4x10^3
800	0.0315	0.257	2.24	0.711	0.0303	3.75	0.684	0.794	50.6
1000	0.0272	0.263	2.46	0.906	0.0337	4.72	0.689	0.685	27.0
1500	0.0203	0.277	2.92	1.44	0.0408	7.27	0.705	0.510	7.96

Nota: Todas las propiedades de los gases son para presión atmosférica.

Tabla 2. Propiedades físicas del vapor de agua[1].

T ºF	ρ lb_m/ft^3	c_p Btu/lb_m ºF	μx10^5 lb_m/ft-seg	Vx10^3 ft^2/seg	k Btu/h-ft.-ºf	α ft^2/hr	P_r	βx10^3 1/ºF	gβρ^2/μ^2 1/ºF-ft^3
Vapor de agua.									
212	0.0372	0.493	0.870	0.234	0.0145	0.794	1.06	1.49	0.873x10^6
250	0.0350	0.483	0.890	0.254	0.0155	0.920	0.994	1.41	0.698
300	0.0327	0.476	0.960	0.294	0.0171	1.10	0.963	1.32	0.493
400	0.0289	0.472	1.09	0.377	0.0200	1.47	0.924	1.16	0.262
500	0.0259	0.477	1.23	0.474	0.0228	1.85	0.922	1.04	0.148
600	0.0234	0.483	1.37	0.585	0.0258	2.29	0.920	0.944	88.9x10^3
800	0.0197	0.498	1.63	0.828	0.0321	3.27	0.912	0.794	37.8
1000	0.0170	0.517	1.90	1.12	0.0390	4.44	0.911	0.685	17.2
1500	0.0126	0.564	2.57	2.05	0.0580	8.17	0.906	0.510	3.97

Tabla 3. Propiedades físicas del nitrógeno[1].

T ºF	ρ lb_m/ft^3	c_p Btu/lb_m ºF	μx10^5 lb_m/ft-seg	Vx10^3 ft^2/seg	k Btu/h-ft.-ºf	α ft^2/hr	P_r	βx10^3 1/ºF	gβρ^2/μ^2 1/ºF-ft^3
Nitrógeno									
0	0.0837	0.249	1.06	0.127	0.0132	0.633	0.719	2.18	4.38x10^6
30	0.0786	0.249	1.12	0.142	0.0139	0.710	0.719	2.04	3.29

60	0.0740	0.249	1.17	0.158	0.0146	0.800	0.716	1.92	2.51
80	0.0711	0.249	1.20	0.169	0.0151	0.853	0.712	1.85	2.10
100	0.0685	0.249	1.23	0.180	0.0154	0.915	0.708	1.79	1.79
150	0.0630	0.249	1.32	0.209	0.0168	1.07	0.702	1.64	1.22
200	0.0580	0.249	1.39	0.240	0.0174	1.25	0.690	1.52	0.854
250	0.0540	0.249	1.47	0.271	0.0192	1.42	0.687	1.41	0.616
300	0.0502	0.250	1.53	0.305	0.0202	1.62	0.685	1.32	0.457
400	0.0443	0.250	1.67	0.377	0.0212	2.02	0.684	1.16	0.263
500	0.0397	0.253	1.80	0.453	0.0244	2.43	0.683	1.04	0.163
600	0.0363	0.256	1.93	0.532	0.0252	2.81	0.686	0.944	0.108
800	0.0304	0.262	2.16	0.710	0.0291	3.71	0.691	0.794	0.507
1000	0.0263	0.269	2.37	0.901	0.0336	4.64	0.700	0.685	0.0272
1500	0.0195	0.283	2.82	4.45	0.0423	7.14	0.732	0.510	0.00785

Tabla 4. Propiedades físicas del monóxido de carbono[1].

T ºF	ρ lb_m/ft^3	c_p Btu/lb_m ºF	μx10^5 lb_m/ft-seg	Vx10^3 ft^2/seg	k Btu/h-ft.-ºf	α ft^2/hr	P_r	βx10^3 1/ºF	gβρ^2/μ^2 1/ºF-ft^3
Monóxido de carbono.									
30	0.0780	0.249	1.11	0.142	0.0134	0.691	0.744	2.04	3.32x10^6
80	0.0709	0.249	1.20	0.169	0.0146	0.828	0.737	1.85	2.09
150	0.0628	0.249	1.32	0.210	0.0163	1.04	0.730	1.64	1.19
250	0.0539	0.250	1.48	0.275	0.0183	1.36	0.722	1.41	0.604
400	0.0445	0.253	1.73	0.389	0.0217	1.92	0.726	1.16	0.248
600	0.0361	0.259	1.97	0.545	0.0253	2.71	0.726	0.944	0.101
800	0.0304	0.266	2.21	0.728	0.0288	3.57	0.735	0.794	48.2x10^3

Tabla 5. Propiedades físicas del oxigeno[1].

T ºF	ρ lb_m/ft^3	c_p Btu/lb_m ºF	μx10^5 lb_m/ft-seg	Vx10^3 ft^2/seg	k Btu/h-ft.-ºf	α ft^2/hr	P_r	βx10^3 1/ºF	gβρ^2/μ^2 1/ºF-ft^3
Oxigeno									
0	0.0955	0.219	1.22	0.128	0.0134	0.641	0.718	2.18	4.29X10^6
30	0.0897	0.219	1.28	0.143	0.0141	0.718	0.716	2.04	3.22
60	0.0845	0.219	1.35	0.160	0.0149	0.806	0.713	1.92	2.43
80	0.0814	0.220	1.40	0.172	0.0155	0.866	0.713	1.85	2.02
100	0.0785	0.220	1.43	0.182	0.0160	0.925	0.708	1.79	0.74
150	0.0720	0.221	1.52	0.211	0.0172	1.08	0.703	1.64	1.19
200	0.0665	0.223	1.62	0.244	0.0185	1.25	0.703	1.52	0.825
250	0.0618	0.225	1.70	0.276	0.0197	1.42	0.700	1.41	0.600
300	0.0578	0.227	1.79	0.310	0.0209	1.60	0.700	1.32	0.442
400	0.0511	0.230	1.95	0.381	0.0233	1.97	0.698	1.16	0.257
500	0.0458	0.234	2.10	0.458	0.0254	2.37	0.696	1.04	0.160
600	0.0414	0.239	2.25	0.543	0.0281	2.84	0.688	0.944	0.103
800	0.0349	0.246	2.52	0.723	0.0324	3.77	0.680	0.794	49.4X10^3
1000	0.0300	0.252	2.79	0.930	0.0366	4.85	0.691	0.685	25.6

Tabla 6. Propiedades físicas del bióxido de carbono[1].

T ºF	ρ lb_m/ft^3	c_p Btu/lb_m ºF	μx10^5 lb_m/ft-seg	Vx10^3 ft^2/seg	k Btu/h-ft.-ºf	α ft^2/hr	P_r	βx10^3 1/ºF	gβρ^2/μ^2 1/ºF-ft^3
Bióxido de carbono.									
0	0.132	0.193	0.865	0.0655	0.00760	0.298	0.792	2.18	16.3x140^6
30	0.124	0.198	0.915	0.0739	0.00830	0.339	0.787	2.04	12.0
60	0.117	0.202	0.965	0.0829	0.00910	0.387	0.773	1.92	9.00
80	0.112	0.204	1.00	0.0891	0.00960	0.421	0.760	1.85	7.45
100	0.108	0.207	1.03	0.0953	0.0102	0.455	0.758	1.79	6.33
150	0.100	0.213	1.12	0.113	0.0115	0.539	0.755	1.64	4.16
200	0.092	0.219	1.20	0.131	0.0130	0.646	0.730	1.52	2.86
250	0.0850	0.225	1.32	0.155	0.0148	0.777	0.717	1.41	2.04
300	0.0800	0.230	1.36	0.171	0.0160	0.878	0.704	1.32	1.45
400	0.0740	0.239	1.45	0.196	0.0180	1.02	0.695	1.16	1.11
500	0.0630	0.248	1.65	0.263	0.0210	1.36	0.700	1.04	0.485
600	0.0570	0.256	1.78	0.312	0.0235	1.61	0.700	0.944	0.310
800	0.0480	0.269	2.02	0.420	0.0278	2.15	0.702	0.794	0.143
1000	0.0416	0.280	2.25	0.540	0.0324	2.78	0.703	0.685	75x10^3
1500	0.0306	0.301	2.80	0.913	0.0340	4.67	0.704	0.510	19.6

Tabla 7. Propiedades físicas del hidrogeno[1]

T ºF	ρ lb_m/ft^3	c_p Btu/lb_m ºF	μx10^5 lb_m/ft-seg	Vx10^3 ft^2/seg	k Btu/h-ft.-ºf	α ft^2/hr	P_r	βx10^3 1/ºF	gβρ^2/μ^2 1/ºF-ft^3
Hidrógeno.									
0	0.00597	3.37	0.537	0.900	0.092	4.59	0.713	2.18	87000
30	0.00562	3.39	0.562	1.00	0.097	5.09	0.709	2.04	65700
60	0.00530	3.41	0.587	1.11	0.102	5.65	0.707	1.92	50500
80	0.00510	3.42	0.602	1.18	0.105	6.304	0.705	1.85	42700
100	0.00492	3.42	0.617	1.25	0.108	6.42	0.700	1.79	36700
150	0.00450	3.44	0.653	1.45	0.116	7.50	0.696	1.64	25000
200	0.00412	3.45	0.688	1.67	0.123	8.64	0.696	1.52	17500
250	0.00382	3.46	0.723	1.89	0.130	9.85	0.690	1.41	12700
300	0.00357	3.46	0.756	2.12	0.137	11.1	0.687	1.32	9440
400	0.00315	3.47	0.822	2.61	0.151	13.8	0.681	1.16	5470
500	0.00285	3.47	0.890	3.12	0.165	16.7	0.675	1.04	3430
600	0.00260	3.47	0.952	3.66	0.179	19.8	0.667	0.944	2270
800	0.00219	3.49	1.07	4.87	0.205	26.8	0.654	0.794	1080
1000	0.00189	3.52	1.18	6.21	0.224	33.7	0.664	0.685	571
1500	0.00141	3.62	1.44	10.2	0.265	51.9	0.708	0.510	158

[1] datos tomados del libro transferencia de calor aplicado a la ingeniería, James R.Welty 1994

Tabla 8. Factor de conversión de unidades.

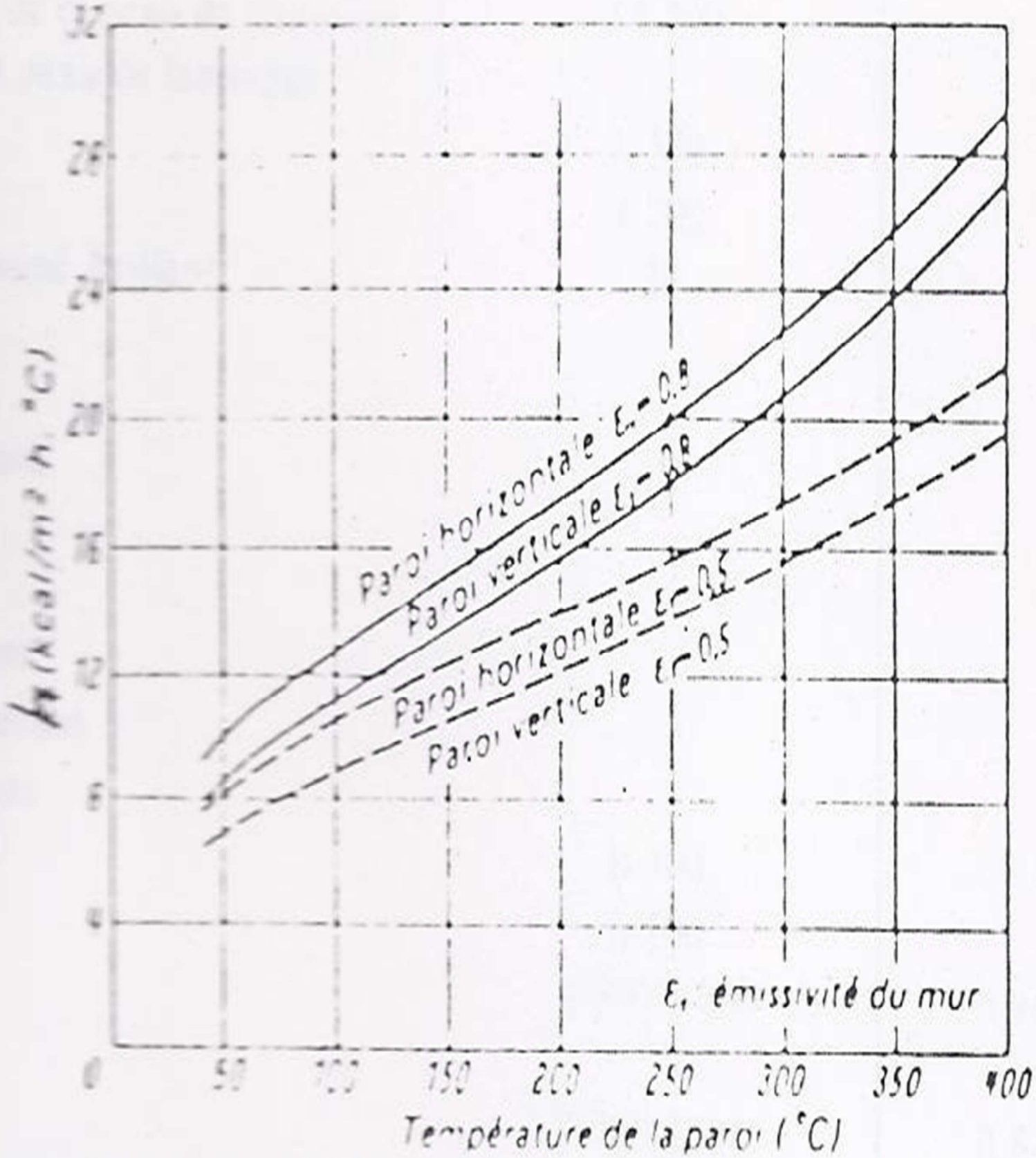
ENERGIA TERMICA.				
	Joules	caloría	Kcaloria	BTU
Joules	1	0.2389	$0.2389*E^{-3}$	$0.98*E^{-3}$
Caloría	4.1855	1	$1*E^{-3}$	$3.9683*E^{-3}$
Kcaloria	4.1855*E3	$1*E^{3}$	1	3.9683
BTU	$1.055*E^{3}$	252	0.252	1

FLUJO TERMICO				
	Watt	Cal/seg	Kcal/h	BTU/h
Watt	1	0.2389	0.860	3.4124
Cal/seg	4.1855	1	3.600	14.286
Kcal/h	1.1627	0.2778	1	3.968
BTU/h	0.29306	0.070	0.252	1

DENSIDAD			
	Kg/m^3	g/cm^3	Lb/ft^3
Kg/m^3	1	$1*E^{-3}$	$6.242*E^{-2}$
g/cm^3	$1*E^{3}$	1	62.42
Lb/ft^3	16.019	$16.019*E^{-3}$	1

Coeficiente de convección				
	w/m^2 * ºC	$Cal/cm^2*s*ºC$	$Kcal/m^2*h*ºC$	$BTU/ft^2*ºF$
w/m^2 * ºC	1	$2.89*E^{-5}$	0.806	0.17612
$Cal/cm^2*s*ºC$	$4.1855*E^{4}$	1	$3.6*E^{4}$	$7.3732*E^{3}$
$Kcal/m^2*h*ºC$	1.1627	$2.778*E^{-5}$	1	0.20476
$BTU/ft^2*ºF$	5.6780	$1.3562*E^{-4}$	4.8825	1

	J/Kg*ºc	Cal/g*ºc	Kcal/Kg*ºc	BTU/lb*ºF
J/Kg*ºc	2	$2.389*E^{-4}$	$2.389*E^{-4}$	$2.389*E^{-4}$
Cal/g*ºc	$4.1855*E^{3}$	1	1	1
Kcal/Kg*ºc	$4.1855*E^{3}$	1	1	1
BTU/lb*ºF	$4.1855*E^{3}$	1	1	1



Grafica 1. aporte calorifico radiacion-conveccion en paredes. tomado del libro "Industriel Characterises e Control"

Anexo E

. Imágenes del generador de calor en estudio

Patios en los que se realiza el secado del café de manera natural.

Fotografía del generador de calor.

Carcasa exterior

Maquina secadora y ductos de entrega de aire.

Ventilador proporcionador del aire a calentar calentar

Motor impulsor del ventilador.