UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Tesis previa a la obtención del Título de: Ingeniero Ambiental

TEMA:

"OPTIMIZACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA LEÑA (*EUCALYPTUS GLOBULUS)* COMO COMBUSTIBLE EN UN MODELO DE HORNO DE LADRILLO ARTESANAL, A TRAVÉS DEL ANÁLISIS Y MODIFICACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL COMBUSTIBLE".

AUTORES:
GABRIELA ELIZABETH GARCÍA PACHECO
LORGIA XIMENA PAÑI RIERA

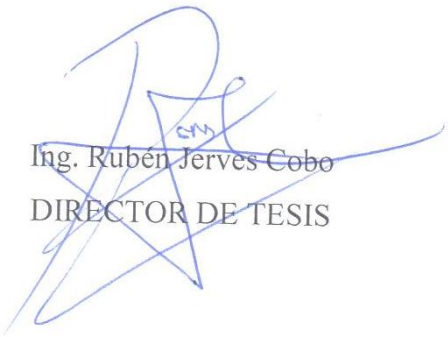
DIRECTOR:
INGENIERO CIVIL RUBÉN JERVES COBO

Cuenca, Septiembre de 2013

CERTIFICACION

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Gabriela Elizabeth García Pacheco con CI.: 0106001001 y Lorgia Ximena Pañi Riera con CI.: 1400694277, bajo mi supervisión.

Cuenca, Septiembre de 2013

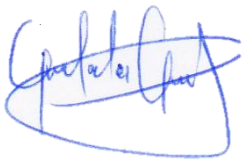


DIRECTOR DE TESIS

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

"La responsabilidad del contenido de esta tesis de grado, corresponde a las Autoras exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la Universidad Politécnica Salesiana"

Cuenca, septiembre de 2013



Gabriela García P. *Ximena Pañi R.*

AGRADECIMIENTO

Nuestros sinceros agradecimientos especialmente a Dios por bendecirnos, quien con su infinito amor no has dado la sabiduría suficiente para estudiar, prepararnos y concluir nuestra carrera universitaria. Este triunfo profesional y la realización de la tesis, fue posible gracias al apoyo decidido de las siguientes personas:

Nuestros padres y hermanos, personas incondicionales quienes nos han brindado su aporte en todo sentido para poder alcanzar uno de los proyectos de vida que nos propusimos cuando ingresamos a la Universidad.

Agradecemos de manera muy especial por su dedicación, colaboración, conocimiento y experiencia para formarnos como profesionales de éxito, al ing. Rubén Jerves Cobo, director de tesis, quien depósito su confianza en nosotras, sus orientaciones, consejos y asesoramiento indispensable en el desarrollo de este trabajo de investigación.

A la Universidad Politécnica Salesiana, a sus autoridades, profesores y más colaboradores, por abrirnos sus puertas y darnos la confianza necesaria para poder triunfar en la vida, compartir conocimientos y valores, para nuestra formación profesional como personas de bien.

Gabriela García P. *Ximena Pañi R.*

DEDICATORIA

Dedicamos la presente tesis a Dios nuestro creador, pues es él quien permitió que sigamos este plan de vida, guiándonos por un camino a seguir sin desfallecer, alcanzamos esta meta con fe, paciencia, sabiduría y amor.

A nuestros padres y hermanos, que nunca dejaron de apoyarnos en todo momento en forma incondicional, siempre tuvieron palabras de aliento en momentos de flaqueza, quienes con sus sabios consejos nos han formado personas con valores y virtudes para desenvolvernos correctamente ya sea como: hijas profesionales, hermanas y amigas sinceras.

Gabriela García P. *Ximena Pañi R.*

RESUMEN

Las ladrilleras artesanales ocupan en la ciudad de Cuenca el segundo lugar en emisiones de PM10 después del tránsito vehicular y el primer lugar de emisiones de PM 2,5 con un porcentaje correspondiente al 40,7%, según el inventario de emisiones de Cuenca año 2009 realizado por la EMOP-EP.

Esta actividad utiliza combustibles con alto impacto ambiental en hornos de baja eficiencia energética. Tal es el uso de la leña (*Eucalyptus Globulus*), utilizado como principal materia prima para la cocción de ladrillos, que contribuye significativamente a la deforestación, incrementando las causas del cambio climático y degradación del medio ambiente por la falta de un manejo sustentable de los recursos naturales.

Por tal razón con el presente trabajo, queremos determinar el tamaño y grado de humedad óptimos de la leña para alcanzar la mayor eficiencia energética en la industria del ladrillo, basados específicamente en el consumo de combustible y tiempo de quema.

De esta manera se realizaron seis quemas para la determinación de la humedad óptima, clasificándola a la humedad en rangos de 20% – 30% (3 quemas) y 10% – 15% (3 quemas). Con los resultados de las seis primeras quemas se construyeron curvas de comportamiento en función del tiempo de quema (horas) y las temperaturas alcanzadas (°C).

En cuanto al tamaño se usaron 3 tamaños de leña, un tronco (1), medio tronco (½) y un cuarto de tronco (¼), tamaños que fueron tomados al azar fundamentados en que la leña más troceada mejora la combustión. Se efectuaron seis quemas con dos

repeticiones por cada tamaño, el grado de humedad para dichas quemas fue del 10% al 15%.

Así, los mejores resultados que se consiguieron corresponden a una humedad de la leña entre el 10% y 15% y el tamaño de un cuarto de tronco, con estas características del combustible se obtuvo un menor consumo del mismo y menor tiempo de cocción, reduciéndose en un 10,84% el consumo de este combustible y 2 horas referente al tiempo.

INDICE GENERAL

CAPÍTULO I 8

1. GENERALIDADES 8

1.1. JUSTIFICACIÓN 8

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 10

1.3. PROPUESTA DE INTERVENCIÓN 11

1.4. OBJETIVOS 12

1.5. HIPÓTESIS 13

CAPÍTULO II 14

2. MARCO TEÓRICO 14

2.1. DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD LADRILLERA ARTESANAL 14

2.1.1. RETROESPECTIVA HISTÓRICA 14

2.1.2. SITUACIÓN ACTUAL 15

2.1.3. ASPECTO AMBIENTAL 16

2.1.4. PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LOS LADRILLOS 18

2.2. EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA PRODUCCIÓN DE LADRILLOS ARTESANALES 26

2.2.1. DEFINICIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA 26

2.2.2. EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA PRODUCCIÓN DE LADRILLOS ARTESANALES 26

2.2.3. TIPO DE COMBUSTIBLE 27

2.2.4. TIPO DE HORNO 53

CAPÍTULO III 65

3. DESARROLLO EXPERIMENTAL 65

3.1. QUEMA DE LADRILLOS EN EL CAMPO 65

3.2. LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN 65

3.3. ELABORACIÓN DEL HORNO A ESCALA 67

3.4. OBTENCIÓN DEL LADRILLO A UTILIZAR EN LAS PRUEBAS 71

3.5. OBTENCION DE LA LEÑA A UTILIZAR EN LAS PRUEBAS 71
3.6. QUEMA DEL HORNO 72
3.7. DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD DE LA LEÑA 78
3.8. VARIACIÓN DEL TAMAÑO DE LA LEÑA 79
3.9. PRUEBA DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS LADRILLOS. ... 80
3.9.1. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS 82
3.10. PRUEBAS DE ANÁLISIS DE GASES 83
CAPÍTULO IV 84
4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS 84
4.1. DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD ÓPTIMA 84
4.2. DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO ÓPTIMO 86
4.3. PRUEBAS DE COMPRESIÓN 89
4.4. DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL HORNO DE LADRILLO 91
4.4.1. POTENCIA CALORÍFICA DEL HORNO 91
CAPÍTULO V 134
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 134
5.1. CONCLUSIONES 134
5.2. RECOMENDACIONES 136
BIBLIOGRAFÍA 137
ANEXOS 140

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Mapa de ubicación del sector ladrillero, Sinincay. 10

Ilustración 2. Proceso de Producción de Ladrillos 18

Ilustración 3. Extracción de materia prima 19

Ilustración 4. Mezclado de la pasta con ayuda de la fuerza animal 20

Ilustración 5. Moldeo mecánico 21

Ilustración 6. Moldeo y eliminación de sobrante. 22

Ilustración 7. Moldeo a máquina (extrusora) 23

Ilustración 8. Secado de forma natural en galpones 24

Ilustración 9. Cocción de ladrillos en horno intermitente circular 25

Ilustración 10. Composición Química de la Madera, según el elemento 36

Ilustración 11. Composición química de la leña de Eucalipto, según el elemento 36

Ilustración 12. Composición química de la leña 37

Ilustración 13. Reacción de la combustión de la leña 46

Ilustración 14. Secado de la Madera 47

Ilustración 15. Gasificación y Oxidación de la materia volátil 49

Ilustración 16. Quemado del carbón residual 50

Ilustración 17. Esquema del Proceso de Combustión de la Leña 50

Ilustración 18. Etapas típicas de la combustión de la Leña 51

Ilustración 19. Encuestas a miembros del "Comité de Artesanos del Sector de Sinincay" ... 66

Ilustración 20. Toma de medidas de horno real (horno redondo) 66

Ilustración 21. Proceso de construcción del horno a escala (formación de los arcos) 68

Ilustración 22. (a) Formación de las bocas (b) Horno Real a escala 1:25 69

Ilustración 23. Realización de agujeros (mirillas) en las paredes del horno para toma de temperatura 69

Ilustración 24. Partes del Horno a Escala 70

Ilustración 25. Leña colocada en estantes para el secado. 72
Ilustración 26. (a) Pesaje de la madera y la masa (ladrillo). 73
Ilustración 27. Forma de trozar la madera (30cm) 73
Ilustración 28. Forma de llenar el horno con el ladrillo. 74
Ilustración 29. Colocado de tapas (pachilla) 74
Ilustración 30. Madera en el proceso de combustión 75
Ilustración 31. Acumulación de ceniza en el cenicero (bloquea la entrada de aire) 75
Ilustración 32. Quema completa "las partes blancas indican que el fuego salió a la parte superior del horno" 76
Ilustración 33. Toma de temperatura externa de la bomba con la ayuda del pirómetro 77
Ilustración 34. Toma de temperatura interna con la ayuda de la termocupla 77
Ilustración 35. Tapado de las bocas una vez culminada la quema. 78
Ilustración 36. Determinación de la Humedad en el Medidor Halógeno de Humedad 79
Ilustración 37. Tamaños de leña 80
Ilustración 38. Tipos de tamaños utilizados. 80
Ilustración 39. Prueba de compresión del ladrillo 82
Ilustración 40. Análisis de Gases 83
Ilustración 41. Quemas uno, dos y tres. Rango de humedad 20% - 30% 85
Ilustración 42. Quemas cuatro, cinco, seis. Rango de humedad 10% - 15% 85
Ilustración 43. Cantidad consumida de leña 87
Ilustración 44. Curvas de temperatura con el tamaño uno (tronco entero) 88
Ilustración 45. Curvas de temperatura con el tamaño dos (1/2 tronco) 88
Ilustración 46. Curvas de temperatura con el tamaño dos (1/4 tronco) 89
Ilustración 47. Prueba de Compresión 90

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Contaminantes que genera el proceso productivo del ladrillo. 17

Tabla 2. Principales características energéticas de las leñas 30

Tabla 3. Composición química de la madera 35

Tabla 4. Composición química de la leña de Eucalipto 36

Tabla 5. Modelo simplificado de combustión de la madera 41

Tabla 6. Características de la Maquina 81

Tabla 7. Humedades, tiempos de quema y días de secado. 84

Tabla 8. Consumo de leña 86

Tabla 9. Masa de combustible seca 97

Tabla 10. Combustible en masa molar 98

Tabla 11. Humedad de la madera empleada 99

Tabla 12. Porcentaje del combustible en Masa Aprovechable 99

Tabla 13. Masa combustible 101

Tabla 14. Potencia Calorífica del Horno 133

CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES

1.1. JUSTIFICACIÓN

La industria se ha convertido en un motor fundamental del desarrollo, al ser el sector que aporta una gran cantidad de recursos al país, sin embargo es la actividad que más contaminantes genera, como es el caso de la industria ladrillera, actividad productiva que además de ser una fuente de empleo, genera un insumo básico para la industria de la construcción.

Las ladrilleras artesanales en la ciudad de Cuenca utilizan combustibles con alto impacto ambiental en hornos de baja eficiencia energética. Tal es el uso de la leña (*Eucalyptus Globulus*), utilizado como principal materia prima para la cocción de ladrillos, que contribuye significativamente a la deforestación, incrementando las causas del cambio climático y degradación del medio ambiente por la falta de un manejo sustentable de los recursos naturales.

El Municipio de Cuenca ha identificado 601 ladrilleras que funcionan en la urbe. De éstas, 499 son de tipo artesanal y 40 son semimecánicas de acuerdo a los registros levantados por el proyecto de la CGA; Eficiencia Energética en Ladrilleras Artesanales (EELA)[1].

[1] (Información preliminar aportada por la Swisscontact).

La presente investigación se fundamenta en el análisis de la baja eficiencia energética de la industria artesanal del ladrillo, y el exceso del consumo de leña, por consiguiente el incremento de la deforestación.

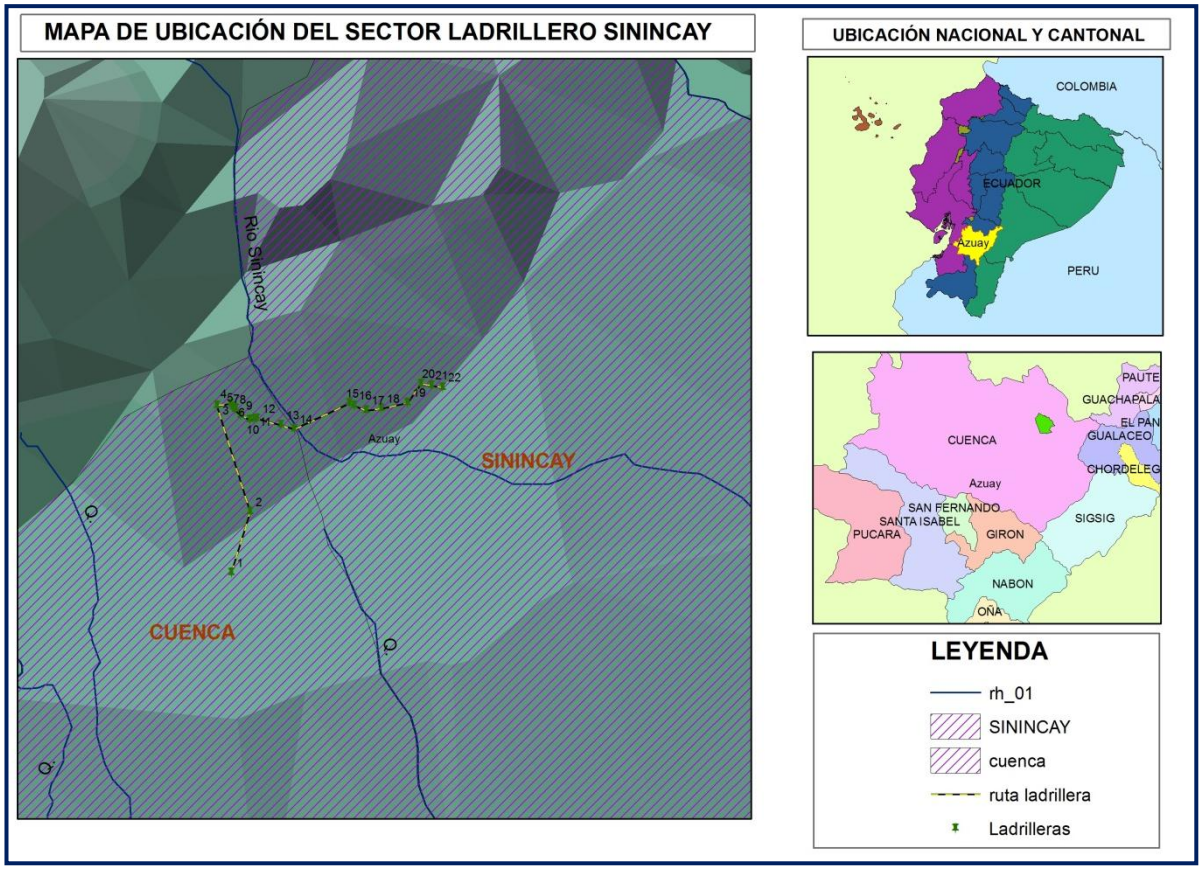
Dichas investigaciones requieren alternativas que nos permitan reducir los índices de deforestación que anualmente representan 61.800 hectáreas[2] disminuyendo así el cambio climático y un menor consumo de recursos energéticos naturales. Existen muchos caminos para llegar a dicho objetivo pero destacamos la utilización del combustible leña con modificaciones en su tamaño y grado de humedad que nos permitirá determinar las características óptimas para alcanzar una mayor eficiencia energética, a fin de presentar una propuesta que nos permita reducir la deforestación y el consumo de recursos energéticos a la colectividad ladrillera mejorando la presión hacia el medio ambiente y de manera particular a la explotación de masas boscosas e incremento de zonas degradadas.

1.1.1. DELIMITACIÓN

El presente trabajo de investigación se desarrollará en base a levantamiento de información que se obtendrá de un número representativo de ladrilleras artesanales, considerando así al Gremio de Artesanos del Sector de Sinincay; una vez contando con esta información se procederá a la construcción del horno a escala para seguidamente proseguir con la parte experimental en la que se realizará los diferentes análisis fundamentados en la optimización de la eficiencia energética de la leña (*Eucalyptus Globulus).*

[2] MINISTERIO DEL AMBIENTE, *"Línea Base de Deforestación del Ecuador Continental"*, Quito-Ecuador, 2012, p. 6

Ilustración 1. Mapa de ubicación del sector ladrillero, Sinincay.



Fuente: Las autoras

Elaborado por: Las autoras

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Una de las etapas y que forma parte de la producción artesanal de ladrillos es la cocción, para la cual se utiliza como combustible principal la leña de eucalipto, la misma que es empleada en hornos con baja eficiencia energética y en grandes volúmenes; procedente de la tala indiscriminada de los bosques, lo que trae consigo la deforestación, una de las principales causas del cambio climático a nivel global, por lo que son estos los fundamentos en los que está basada la problemática planteada.

1.3. PROPUESTA DE INTERVENCIÓN

Para iniciar con la investigación se levantará información con la ayuda de herramientas de trabajo (la encuesta), con lo que se determinará qué tipo de horno y combustible es más usado, que tiempo se demora en realizar una quema, que tiempo dejan secar la leña, entre otros parámetros que nos servirán para conocer las condiciones reales con las que se desarrolla la producción artesanal de ladrillos.

Una vez levantada la información se construirá un horno a escala para proceder con la parte experimental que se basa principalmente en jugar con las características del combustible leña teniendo en consideración su tamaño y grado de humedad, para optimizar su uso.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. GENERAL

Determinar el tamaño y grado de humedad óptimos de la leña, como combustible en los hornos de ladrillos artesanales para alcanzar la mayor eficiencia energética.

1.4.2. ESPECÍFICOS

- ♣ Conocer y establecer las principales características a modificarse del combustible leña dentro del proceso de quemado de ladrillos en el modelo del horno artesanal.

- ♣ Evaluar el comportamiento de la leña durante los distintos procesos de quemado.

- ♣ Determinar la eficiencia energética de la leña como combustible para hornos de ladrillo artesanales.

1.5. HIPÓTESIS

- **H0** = No se puede alcanzar una eficiencia energética con la modificación del tamaño y grado de humedad del combustible leña.

- **H1 =** Se puede alcanzar una eficiencia energética con la modificación del tamaño y grado de humedad del combustible leña.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1.DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD LADRILLERA ARTESANAL

2.1.1. RETROESPECTIVA HISTÓRICA

La aparición del ladrillo en la antigüedad, se da en aquellos países donde escaseaba la piedra pero abundaba la arcilla, su empleo se hizo bien en forma constructiva con modelos propios o asimilando la forma de las piedras, su constitución era en base a una pasta de arcilla secada al sol, dicha mezcla consistía en porciones de arcilla, arena y paja, después se constituyeron ladrillos a base de pasta cocida a fuego.

Esta técnica fue desarrollada por los egipcios, en base a la cerámica fina, y los griegos, asirios, y babilonios desarrollaron técnicas propias de producción de ladrillo. Pero fueron los romanos, que apremiados por las necesidades crecientes de la construcción en sus grandes ciudades los que primero establecieron una fabricación racional de los ladrillos; es decir; como actividad industrial con desarrollo propio.[3]

La utilización de ladrillo sigue siendo tan importante como en la antigüedad pues es la base de la mayoría de las construcciones existentes, y a pesar de las progresos en la industria cerámica, se siguen utilizando mayoritariamente.

[3] **ROBUSTÉ, Eloy.** *Técnica y práctica de la Industria Ladrillera II.* Barcelona : CEAC, 1963, p. 311

La aparición de la primera máquina moldeadora de ladrillos tuvo lugar entre los años 1850 y 1860. La construyó el constructor mecánico Carlos Federico Schlikeysen y era accionada por un caballo, daba un rendimiento de 1500 ladrillos por día. Esta situación cambio, naturalmente cuando se introdujo la fuerza motriz de vapor, dando un giro a la industria ladrillera, sin embargo, las ladrilleras artesanales seguirán existiendo debido a que sus productos tienen mucha acogida en el sector de la construcción.

2.1.2. SITUACIÓN ACTUAL

Desde hace varias generaciones, la actividad ladrillera artesanal se desarrolla en nuestro país con poca inversión y trabajo intensivo, utiliza tecnologías sencillas que en algunos casos llegan a la semi-mecanización.

Las ladrilleras artesanales presentan un alto grado de informalidad, en proceso de regularización y excluidas de las políticas públicas sociales, económicas y ambientales, pese a constituirse en una actividad que contribuye al fortalecimiento de la industria de la construcción y a la generación de empleos.

En la parroquia de Sinincay provincia del Azuay, la fabricación de ladrillos artesanales son actividades generalmente de tipo familiar, emplean hornos artesanales de tipo intermitentes circulares según el autor Eloy Robusté, en el que el proceso de cocción se realiza depositando el combustible en la parte interna de la cámara de combustión sin ningún tipo de control de la temperatura con un proceso de fabricación primario al igual que las herramientas empleadas y en algunos casos utilizan maquinaria como la extrusora (formación y moldeado de los ladrillos). Pese a que en algunas fábricas se utiliza la extrusora, no deja de ser fabricación de tipo artesanal ya que en el proceso de quema se sigue utilizando el horno intermitente circular o cuadrado.

Las herramientas que se usan en la actividad de fabricación de ladrillos son herramientas rudimentarias, generalmente las empleadas en el sector agrícola, las cuales son: carretillas, machetes, picos, palas, moldes de madera (gradillas o gaveras), barretas, cubetas y baldes.

2.1.3. ASPECTO AMBIENTAL

Como ya se menciona anteriormente las ladrilleras artesanales utilizan combustibles con alto impacto ambiental en hornos de baja eficiencia energética.

El uso de leña, aserrín, llantas y plásticos, entre otros combustibles para la cocción de ladrillos contribuye significativamente a la contaminación del aire, la deforestación, la disponibilidad de agua, desaparición de sumideros de dióxido de carbono reduciéndose la capacidad del medio de absorber las enormes cantidades de este gas, y agravando el problema del calentamiento global.

Tabla 1. Contaminantes que genera el proceso productivo del ladrillo.

Etapas	Actividades que generan contaminantes	Tipo de contaminantes
Extracción de materia prima (arcilla y tierras)	- Extracción con herramientas manuales * Extracción con maquinaria pesada.	- Escasas partículas en suspensión * Abundantes partículas en suspensión. * Cambios en la morfología del terreno.
Mezclado	- Tamizado y selección - Mezcla de arcillas con agua y arena	- Partículas en suspensión
Moldeado o labranza	- No generan contaminantes	- Ninguno
Secado	- Durante el secado de los ladrillos al aire libre solo se desprende vapor de agua, el cual es en principio inocuo para la salud. Los ladrillos defectuosos son reciclados para reinsertarles a la etapa de moldeado.	- Ninguno
Cocción	- Uso de combustibles en la cocción de ladrillos: leña de eucalipto, aserrín de madera.	- Dióxido de carbono - Monóxido de carbono - Óxidos de nitrógeno - Dióxido de azufre - Partículas en suspensión
Clasificación y despacho	- Descarte de productos rotos, fisurados, mal cocidos.	- Residuos sólidos inertes

Fuente: SWISSCONTACT, MINISTERIO DEL AMBIENTE PERÚ. *Guía de Buenas Prácticas Ambientales Para Ladrilleras Artesanales.* Perú : s.n., 2009.

Elaborado por: Las autoras

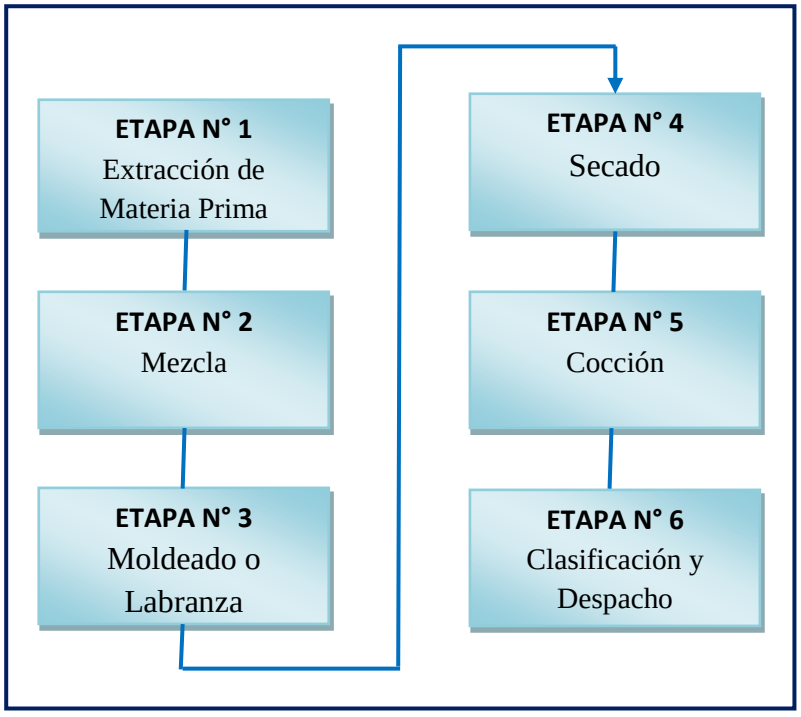
2.1.4. PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LOS LADRILLOS

El proceso de producción de ladrillos de cerámica roja se resume en las siguientes etapas:

1. Extracción materia prima (arcilla y tierras)
2. Mezcla
3. Moldeado o labranza
4. Secado
5. Cocción
6. Clasificación y Despacho

El Diagrama de Flujo de la producción de ladrillos se muestra en la siguiente ilustración:

Ilustración 2. Proceso de Producción de Ladrillos



Fuente: Las autoras

Elaborado por: Las autoras

♣ EXTRACCIÓN DE LA MATERIA PRIMA (ARCILLA Y TIERRAS)

La extracción de materia prima para la fabricación de ladrillos (arcillas y tierras arenosas) se realiza en lugares cercanos a las instalaciones de la fábrica o en su defecto se extrae de lugares alejados a la misma. La industria artesanal para la extracción de materia prima ocupa herramientas manuales tales como palas, picos, barretas, carretillas, etc. La mediana y gran industria ladrillera hace la adquisición de dicha materia a canteras que utilizan equipo pesado para remoción de tierras. El material tal como es extraído se carga en camiones y se transporta a la zona donde están los hornos de cocción.

Ilustración 3. Extracción de materia prima

Fuente: ladrilloscemesa.blogspot.com

♣ MEZCLA

El proceso de mezcla o preparación de la pasta se puede realizar de forma manual o mecánica, siendo la forma manual característico de la industria artesanal.

- **MEZCLADO A MANO**

El proceso de mezclado o preparación de la pasta se realiza con ayuda de una pala o lampa, se prepara en fosas en el suelo llamado también Noque; esta fosa contiene una premezcla de arcilla y arena humedecidas las cuales se van amasando con manos y pies hasta que desaparezcan los terrones más grandes de arcilla. Las impurezas de la arcilla y tierra como raíces de plantas, restos de arbustos y piedras son separadas manualmente.

También se utiliza la fuerza animal como bueyes o caballos para batir la mezcla, dicho proceso se da más o menos por 8 horas laborables hasta que la mezcla se disgregue y homogenice.

Ilustración 4. Mezclado de la pasta con ayuda de la fuerza animal

Fuente: Las autoras

- **MEZCLADO MECÁNICO**

Se realiza con la ayuda de una mezcladora o batidora accionada por energía eléctrica, lo que elimina el amasado a mano, reduciendo el tiempo de amasado y elevando el rendimiento.

Ilustración 5. Moldeo mecánico

Fuente: Las autoras

La premezcla de arcilla y arena humedecidas, se vierte en el acceso o tolva de entrada de la mezcladora donde se amasa hasta obtener la consistencia requerida; la mezcla obtenida se puede volver a pasar cuantas veces sea necesaria agregando arcilla, arena o agua.

- **MOLDEO O LABRANZA**

En esta etapa se le da a la arcilla la forma que se requiera; se puede hacer de forma manual o también con extrusoras mecánicas. En ambos casos hay que dar al molde mayores dimensiones, puesto que las pastas experimentan una contracción en la etapa de secado y cocción.

Las técnicas de moldeado que más frecuentemente se utilizan para la conformación de los ladrillos son las siguientes:

- **MOLDEO A MANO**

Se desarrolla con moldes metálicos o de madera llamados gradillas o gaveras, el proceso consiste en colocar el molde previamente humedecido en una superficie plana, se vierte la mezcla y se nivela hasta dejar una superficie uniforme, el operario comprime la masa con las manos y con un machete o paleta procede a quitar el exceso o sobrante de material, seguidamente es desmoldado para continuar con el secado.

Cada vez que va a moldearse se esparce arena fina en el fondo que viene constituido por el fondo de la explanada y por las paredes interiores del armazón del molde, con el objeto de que la pasta no se adhiera ni en el suelo ni en las maderas del molde.

Ilustración 6. Moldeo y eliminación de sobrante.

Fuente: GONZÁLEZ, María. *Determinar los Perfiles de Temperatura de un Horno para Ladrillos del Sector Chambo*, Tesis. ESPOCH. Facultad de Mecánica. Riobamba, 2011.

- **MOLDEO A MÁQUINA**

El moldeo mecánico permite incrementar la densidad del ladrillo y por tanto su resistencia.

Ilustración 7. Moldeo a máquina (extrusora)

Fuente: Las autoras

La extrusora es una máquina accionada eléctricamente o por motor a diesel o gasolina, que se compone de cuatro partes principales:

- Manivela y mecanismo de empuje;
- Tanque para llenado de la mezcla,
- Molde extrusor que es intercambiable según el tipo de ladrillo a fabricar,
- Mesa de corte de ladrillos

Cuando el moldeo se realiza con esta máquina extrusora, el moldeado sale directamente para el secado.

- **SECADO**

La etapa de secado en ladrilleras artesanales se realiza por medios naturales más no artificiales, esta etapa se efectúa principalmente para eliminar parte del agua que trae el ladrillo y que fue incorporado principalmente en la etapa de mezcla.

Los ladrillos crudos recién moldeados se depositan en canchas de secado o tendales, que son espacios de terreno plano habilitados para este fin generalmente lo más cerca posible a la zona de moldeo.

Ilustración 8. Secado de forma natural en galpones

Fuente: Las autoras

Los ladrillos se secan aprovechando la acción natural del sol y el viento. Cuando llueve y no están bajo sombra, se cubren con lonas plásticas para protegerlos aunque esto no siempre evita que se dañen por lo que es más recomendable construir cobertizos techados para el secado.

El tiempo que se requerirá para el secado de los ladrillos estará en función del clima y del tipo de ladrillo a secarse pudiendo variar entre cinco a siete días promedio en los ladrillos industriales (con huecos) y entre quince a treinta días promedio en los ladrillos artesanales (macizo).

La etapa de secado es de vital importancia en la industria ladrillera debido a que en esta etapa del proceso es donde se produce el mayor porcentaje de pérdidas de producción debidas a fisuras, contracciones, demoras de producción, deformaciones. Puede decirse que la producción de una industria ladrillera depende del secado.

♣ COCCIÓN

La cocción es la fase más importante y delicada del proceso de fabricación de ladrillos. En esta etapa se le da a la pieza las propiedades deseadas, al mismo tiempo que pone de manifiesto si las etapas precedentes, preparación, moldeo y secado se han llevado correctamente o no. Los materiales que son sometidos a cocción pasan durante este proceso por diversos estados, ocurriendo complejas reacciones, regidas por su composición mineralógica, química y granulométrica.

El proceso de cocción se lleva a cabo en hornos intermitentes de tipo circular o cuadrado a cielo abierto, es decir sin que los hornos sean cubiertos, sólo se tapan al final para dejarlos enfriar cerrados y evitar la formación de fisuras en los ladrillos por disminución brusca de temperatura.

Ilustración 9. Cocción de ladrillos en horno intermitente circular

Fuente: Las autoras

El tiempo de quema varía según el tipo de producto a quemarse (ladrillo macizo o ladrillo con huecos) y la capacidad de cada horno (2000 a 13000 ladrillos), puede ser entre 15 y 20 horas. La frecuencia con la que se efectúan las quemas es cada dos a tres meses ya que dependerá de la mano de obra disponible, condiciones climáticas favorables para la etapa de secado y la demanda del producto.

2.2. EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA PRODUCCIÓN DE LADRILLOS ARTESANALES

2.2.1. DEFINICIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

La eficiencia energética es el conjunto de acciones que permiten consumir menos energía o recursos en la obtención de un producto o servicio. Se puede lograr implementando diversas medidas de gestión, buenas prácticas o inversiones a nivel tecnológico.

2.2.2. EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA PRODUCCIÓN DE LADRILLOS ARTESANALES

Las industrias de la cerámica en general, y de ladrillos en particular se encuentran entre los grandes consumidores de combustibles, tanto fósiles como alternativos. Lograr la eficiencia energética en este sector no resulta fácil debido a la disparidad de los niveles tecnológicos del proceso productivo: los ladrillos se producen tanto a nivel artesanal como a escala industrial, en pequeñas, medianas y grandes empresas; en los países del primer mundo estas últimas llegan hasta la automatización de los procesos con la consiguiente eficiencia productiva y energética del proceso integral.

En la ciudad de Cuenca la industria del ladrillo utiliza mayoritariamente procesos productivos artesanales de baja eficiencia, la producción de ladrillos se realiza con combustibles y hornos ineficientes lo que implica un mayor coste de producción, desperdicio de energía con la consiguiente agresión al medio ambiente, pues la eficiencia energética en la producción de ladrillos representa un consumo mínimo de combustible y con bajas emisiones de contaminantes hacia la atmósfera.

De lo anterior se concluye entonces que la eficiencia energética de la industria depende de:

- El tipo de combustible empleado,
- La tecnología de producción y dentro de este punto y muy importante el tipo de horno, pues en esta etapa de cocción es donde se materializa el concepto de eficiencia energética.

Las ladrilleras artesanales atraviesan un retraso considerable con respecto a los estándares energéticos por lo cual se cree necesario promover alternativas que garanticen el uso eficiente de los recursos empleados en el proceso productivo de ladrillos.

Una de las alternativas que se plantea en la investigación es el análisis de las características del combustible leña *(Eucalyptus Globulus)*, considerando el grado de humedad y el tamaño del mismo, para de esta forma aprovechar de la manera más eficiente el combustible y disminuir su consumo.

2.2.3. TIPO DE COMBUSTIBLE

En la industria ladrillera artesanal se emplean múltiples y diversos tipos de combustibles, a continuación se describen brevemente los más usados. Sin embargo varios autores coinciden en que los combustibles líquidos son los más eficientes en cuanto al aprovechamiento de la energía.

2.2.3.1. ARTÍCULOS DE PLÁSTICO Y LLANTAS USADAS

Se utilizan fundas plásticas, botellas de PET, llantas (neumáticos) y en general cualquier material plástico disponible como complemento para acelerar el encendido y también para "avivar" el fuego cuando la combinación combustible-oxígeno no tiene suficiente potencial calórico.

Las llantas usadas junto con los artículos de plástico son los más contaminantes de todos los usados como combustible puesto que su quema genera desde una elevada cantidad de partículas hasta humos altamente tóxicos de riesgo cancerígeno.

2.2.3.2. ASERRÍN Y VIRUTA DE MADERA

La viruta o aserrín es utilizada como complemento para acelerar el encendido y "avivar" el fuego, pero también se utiliza como combustible principal en todo el proceso de quema o cochura se va echando paulatinamente a medida que se consume con la ayuda de un dosificador.

Se adquieren en los aserraderos y depósitos de madera de la ciudad, los mismos que son vendidos por metro cúbico.

2.2.3.3. RAMAS Y HOJAS DE EUCALIPTO

Se utiliza en término medio entre seca y verde, son traídas desde lugares cercanos a la planta ladrillera ya que las mismas están cercanas a bosques de eucalipto, pero al mismo tiempo dichos bosques disminuyen ya que su uso y tala supera largamente la

capacidad de recuperación y los escasos esfuerzos de forestación. Se utiliza como combustible único para todo el proceso de cocción y algunas veces combinado con aserrín de madera, cáscara de arroz, o con carbón de piedra reemplazando la leña en el encendido.

2.2.3.4. LEÑA

Se utiliza en forma de tucos o troncos; usado como combustible principal en todo el proceso de cocción.

Se adquieren en depósitos existentes en las ciudades o en la misma zona de producción. El uso indiscriminado de leña ha estado poniendo en riesgo los bosques.

De todos los combustibles antes descritos el que más se utiliza es la leña de eucalipto, combustible que analizaremos para el desarrollo de la presente investigación.

- **DEFINICIÓN**

La leña es la "parte de los árboles y arbustos que, hecha trozos, se destina a uso energético". Al ser una parte del árbol y arbusto, está compuesta sobre todo por madera y corteza; pero también puede contener en pequeñas cantidades hojas, flores y frutos que no se han separado del tronco o de las ramas. [4]

[4] MARTÍN, Francisco y NUÑEZ, Ángel. *Biomasa Forestal: fuente energética.* Madrid, 2006.

♣ CARACTERÍSTICAS DE LA LEÑA

Para determinar las principales características energéticas de las leñas debemos considerar algunas de las variables físicas y químicas que las definen. Estas son:

Tabla 2. Principales características energéticas de las leñas

Físicas	1. Forma y tamaño 2. Aspecto 3. Densidades y peso del estéreo 4. Humedades 5. Superficie específica 6. Porcentaje de corteza
Químicas	1. Composición química elemental 2. Composición química por compuestos 3. Poder calorífico y energía del estéreo
Físico – químicas	1. Coeficiente de conductividad térmica 2. Combustibilidad: Temperaturas y tiempos de combustión 3. Inflamabilidad: Temperatura y tiempo de inflamación 4. Inflamabilidad: Temperatura máxima de llama 5. Potencia calorífica 6. Índices de calidad energética

Fuente: CAMPS, Manuel y MARTÍN, Francisco. *Los Biocombustibles.* Madrid-Barcelona-México : Ediciones Mundi-Prensa, 2008.

Elaborado por: Las autoras

♣ CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

▪ FORMA Y TAMAÑO

La forma de la leña es una variable física que influye de manera importante en su combustión. La forma de la leña es cilindro-cónica, si el diámetro de la leña y su densidad es pequeña la leña arderá muy deprisa. Por tanto, cuanto más gruesa y más densa es una leña más tarda en arder. Al tratarse la combustión de una reacción química en la que la superficie de contacto entre el combustible (en este caso las leñas) y el comburente (generalmente aire) juega un papel fundamental, la forma de la leña es importante, ya que la superficie específica de la leña depende directamente de su forma.

▪ ASPECTO

Esta característica se viene fijada por su forma y su color. El color de la leña es:

- En su parte lateral el color de la corteza, adquiere la coloración de los musgos, líquenes y/o de los áridos que han podido añadirse a la misma en el transporte. Cuando la leña procede de árboles urbanos o cercanos a carreteras tiene un color negruzco debido a las partículas contaminantes expulsadas por los vehículos y que se han adherido a la corteza.

- En su base baja o en su parte superior el color de la madera.

- **DENSIDADES Y PESO DEL ESTÉREO**

La densidad de la leña está en función de la humedad. Las leñas densas ocupan menor volumen en el transporte y por tanto son más baratas a la hora de transportarse.

Se denomina estéreo a una "agrupación de leñas que ocupa un metro cúbico de volumen aparente". A la relación entre lo que ocupan realmente las leñas (volumen real o sólido) y un estéreo (volumen aparente) se le denomina coeficiente de apilado. Es decir:

Metro cúbico real o sólido/metro cúbico aparente = coeficiente de apilado.[5]

- **HUMEDAD**

La humedad es una variable importante desde el punto de vista del aprovechamiento energético de las leñas, pues es una de las que más influye en el poder calorífico de las mismas. La humedad puede evaluarse en base seca o en base húmeda. Si denominamos **h** la humedad en base seca y **H** la humedad en base húmeda, las fórmulas para obtener h y H son:

$$\boldsymbol{h} = \frac{(\boldsymbol{P_h} - \boldsymbol{P_o})}{\boldsymbol{P_o}}$$

$$\boldsymbol{H} = \frac{(\boldsymbol{P_h} - \boldsymbol{P_o})}{\boldsymbol{P_h}}$$ [6]

[5] **CAMPS, Manuel y MARTÍN, Francisco.** *Los Biocombustibles.* Madrid-Barcelona-México : Ediciones Mundi-Prensa, 2008.

[6] **Idem., p. 113.**

donde P_h es el peso húmedo, es decir el peso a la humedad h y P_o es el peso de esa misma leña después de haber sido secada en estufa a 100+5 °C hasta haber perdido toda su humedad.

$$\text{Como } \boldsymbol{P_h \leq P_h} \quad \text{entonces } \mathbf{H \leq h}$$

$$\mathbf{H} = \frac{\boldsymbol{h}}{(\mathbf{1}+\boldsymbol{h})} \text{ , o lo que es lo mismo } \boldsymbol{h} = \frac{\boldsymbol{H}}{\mathbf{1}-\boldsymbol{H}}$$

Cuanto mayor es la humedad menor es el poder calorífico. El motivo de esta influencia es doble:

- Cuanto más humedad tiene la madera menos materia seca hay por unidad de masa y, como lo que proporciona calor al arder es la materia seca (no el agua), menor es el calor suministrado.

- Cuanto más humedad tiene la madera mayor cantidad de agua hay que evaporar, y en esta evaporación se consume calor, con lo que la reacción de combustión invierte parte del calor producido en evaporar agua.

- **SUPERFICIE ESPECÍFICA**

La superficie específica, que es función de la forma, tamaño y porcentaje de nudos y/o rugosidades, es un valor que condiciona el comienzo y continuación de la combustión. Cuanto mayor es la superficie específica, más rápida es la combustión.

La leña tiene forma de cilindro en la mayor parte de las ocasiones, por lo que arden bien si están secas, hay abundante aire y la corteza no es muy gruesa. Si una leña arde mal entonces hay que:

1. Secarla para eliminar el agua perjudicial.
2. Introducir aire para aumentar el contacto combustible-comburente.
3. Aumentar su superficie específica. Esto se consigue rompiendo o troceando la leña. De este modo se consigue que aumente:
    - la superficie de contacto entre el combustible y el comburente (aire).
    - la superficie de evaporación de agua, por lo que la leña se seca más deprisa y, al estar más seca, arde mejor.

- **PORCENTAJE DE CORTEZA**

Es un dato importante, pues el poder calorífico, la composición química y otras variables físicas y químicas son diferentes en la madera que en la corteza.

A lo largo del tronco el porcentaje de corteza es variable. Suele ser mayor en las partes bajas, para ir disminuyendo a medida que se sube a lo largo del árbol.

♣ CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

Las características químicas de la leña que más influyen en su comportamiento son la composición química elemental, la composición química por compuestos y los poderes caloríficos.

▪ COMPOSICIÓN QUÍMICA ELEMENTAL

Es función del material del que se obtiene la leña. Es caro para un laboratorio obtener la composición química de éstas, debido a su heterogeneidad ya que en las leñas hay tres elementos de composición química muy variable: madera, corteza e impurezas que quedan adheridas a la corteza en las operaciones de obtención de las mismas.
La leña está compuesta por madera y corteza. Una composición química de la madera ampliamente aceptada es:

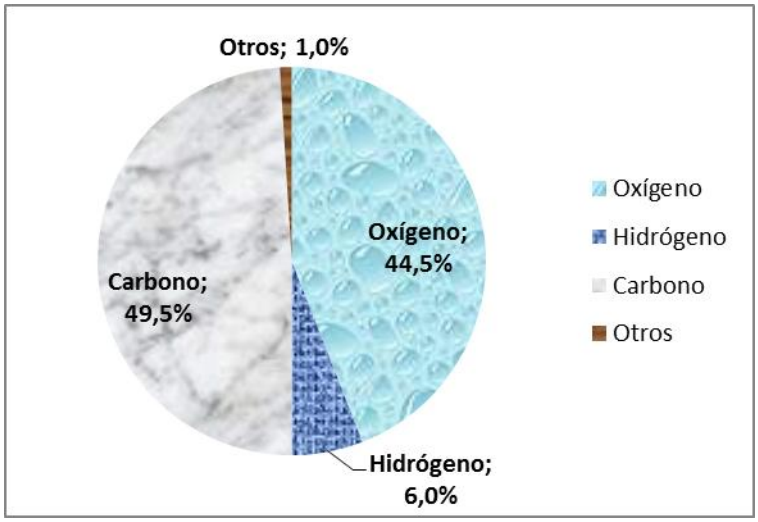
Tabla 3. Composición química de la madera

Elemento químico	Carbono	Oxígeno	Hidrógeno	Otros
Porcentaje en masa	49,5	44,5	6	1

Fuente: CAMPS, Manuel y MARTÍN, Francisco. *Los Biocombustibles.* Madrid-Barcelona-México : Ediciones Mundi-Prensa, 2008.

Elaborado por: Las autoras

Ilustración 10. Composición Química de la Madera, según el elemento



Elaborado por: Las autoras

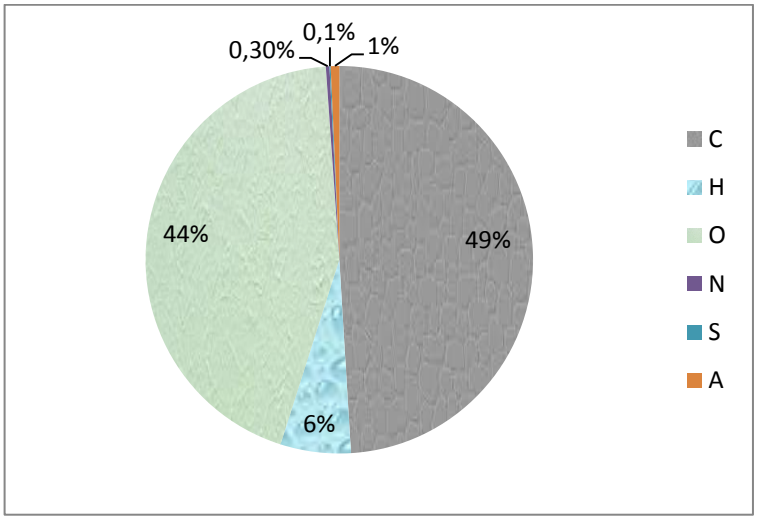
Tabla 4. Composición química de la leña de Eucalipto

Elemento químico	C Carbono	H Hidrógeno	O Oxígeno	N Nitrógeno	S Azufre	A Cenizas
Porcentaje en masa	49,04	5,87	43,97	0,3	0,1	0,72

Fuente: HORTA, Luiz y SILVA, Electo. *Dendroenergía: Fundamentos y Aplicaciones.* Río de Janeiro:Editorial Intercencia., 2003.

Elaborado por: Las autoras

Ilustración 11. Composición química de la leña de Eucalipto, según el elemento



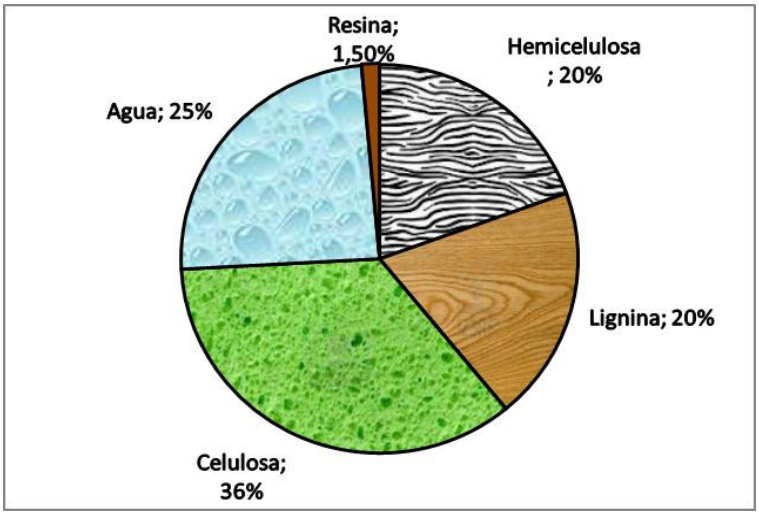
Elaborado por: Las autoras

La composición química elemental influye, a su vez, en: los poderes caloríficos, los gases emitidos en la combustión y la composición química de las cenizas.

- **COMPOSICIÓN QUÍMICA POR COMPUESTOS QUÍMICOS**

El combustible leña según su estructura química se encuentra formada por los siguientes componentes:

Ilustración 12. Composición química de la leña



- **Fuente: SANTANA, Cristihan.** "Contaminación a Leña", Ponencia presentada en el curso IQ588 Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Chile, 2004.

Elaborado por: Las autoras

El patrón de interés es la humedad o el agua que se encuentra en el interior de la madera, en la que se almacena en las cavidades de las células muertas, el agua en la madera fresca representa aproximadamente la mitad de su peso (50% en base húmeda).

Los compuestos orgánicos de la madera son principalmente celulosa, hemicelulosa y lignina. Una pequeña fracción corresponde a resinas. En el proceso de combustión la lignina se transforma principalmente en carbono fijo. Los otros compuestos se liberan como elementos volátiles, por lo cual el quemado de esta fracción se realiza con reacciones similares a las de un combustible gaseoso.

La composición química por compuestos, influye, a su vez, en los gases emitidos en la combustión y en la composición química de las cenizas.

- **PODERES CALORÍFICOS**

"Se entiende por poder calorífico de un combustible la cantidad de calor que se obtiene al quemar un kilogramo de combustible"[7]. El poder calorífico depende de las características químicas del combustible y se clasifica como poder calorífico superior (PCS) o poder calorífico bruto (PCB) mide la cantidad total de calor que producirá mediante la combustión. Sin embargo, una parte de ese calor permanecerá en el calor latente de la evaporación del agua existente en el combustible durante la combustión. El poder calorífico inferior (PCI), o poder calorífico neto (PCN), excluye el calor latente. Por consiguiente, el valor térmico más bajo es la cantidad de calor disponible realmente en el proceso de combustión para captarlo y utilizarlo. Cuanto mayor sea el contenido de humedad de un combustible mayor será la diferencia entre el PCB y el PCN y menor será la energía total disponible. Estos parámetros se expresan generalmente en megajulios (MJ/kg) o kilojulios por kg (kJ/kg).

[7] FAO, Depósito de documentos de la FAO, Terminología Unificada sobre Dendroenergía), 2003.

♣ CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS

▪ VARIABLES DE COMBUSTIBILIDAD

Las variables de combustibilidad más importantes son el coeficiente de conductividad térmica y las que se refieren a temperaturas y tiempos de inicio de combustión, de inflamación, temperatura máxima de llama y cenizas.
Se denomina coeficiente de conductividad térmica a una variable termodinámica que mide la rapidez de transmisión de calor por conducción.

El tiempo de combustión es el tiempo que tarda en comenzar la combustión de un combustible, variando en gran medida con la temperatura del horno a la que se realice la combustión. Se mide en décimas de segundo. La temperatura de combustión es la temperatura a la que un combustible comienza su combustión. Depende de la naturaleza del combustible (composición química, superficie específica, densidad, aspecto, coeficiente de conductividad térmica, humedad, forma y tamaño) pero no de la tecnología y temperatura del horno.

El tiempo de inflamación es el tiempo que tarda en comenzar la combustión de un combustible, emitiendo una llama y que depende de la temperatura del horno a la que se realice la combustión. Se mide en décimas de segundo. La temperatura de inflamación es la correspondiente al inicio de la combustión de un combustible emitiendo una llama. Depende en gran medida de la temperatura del horno a la que se realice la combustión. Se mide en grados centígrados (ºC).

El tiempo de llama es el tiempo en el que una muestra de madera o leña, en condiciones fijadas de temperatura del horno está emitiendo llama. Se mide en segundos. El tiempo de llama depende del coeficiente de conductividad térmica, de la relación combustible/comburente y de la temperatura del horno.

Temperatura máxima de llama. Es la temperatura máxima de la llama y su influencia es importante, pues condiciona el material del hogar donde se queman las leñas. Se mide en grados centígrados (ºC). Cuando la combustión se inicia en la corteza las temperaturas y tiempos de inicio de la combustión son diferentes en comparación a cuando la combustión se inicia por la madera. Dependiendo de la especie, hay maderas en las que se inicia antes la combustión en la madera que en la corteza (a igualdad de otros valores); en otras (las menos) ocurre lo contrario. Hay especies forestales que han desarrollado una corteza especialmente adaptada al fuego y que arden muy mal, como el alcornoque.

El comienzo de la combustión con llama se ve retardado por el contenido de humedad de la leña. Una vez que se ha evaporado el agua comienzan a escapar vapores combustibles que forman la llama.

Un esquema simplificado del modelo de combustión de la madera, en función de la temperatura de carbonización de la misma es el siguiente:

Tabla 5. Modelo simplificado de combustión de la madera

Temperatura °C	0-100	100-(190-210)	(190-210)-280	280-500	>500
Producto	Materia sólida*	Materia sólida Vapor de agua	Materia sólida Gases inflamables mezclados con vapor de agua	Materia sólida y carbonosa Gases inflamables	Carbón
Tipo energético de reacción	Endotérmica	Endotérmica	Endotérmica	Exotérmica	Exotérmica

*Se refiere a materia sólida no carbonosa.

Fuente: CAMPS, Manuel y MARTÍN, Francisco. *Los Biocombustibles.* Madrid-Barcelona-México : Ediciones Mundi-Prensa, 2008.

Elaborado por: Las autoras

La composición de los gases inflamables es variable y depende de la composición química de la madera, su temperatura y la velocidad o gradiente de temperatura en la combustión. En general, se puede afirmar que las maderas más densas tienen un coeficiente de conductividad térmica más elevado. Sin embargo, hay que tener en cuenta que al comenzar la combustión, la madera que se quema va produciendo un residuo sólido carbonoso llamado en inglés "char", cuyo coeficiente de conductividad térmica es muy pequeño. Por tanto, cuanto más densa es una madera produce un "char" de espesor mayor por tanto los tiempos de la combustión se hacen más largos. Como la madera de especies frondosas suele ser más densa que la de especies coníferas, las leñas de especies frondosas arderán más despacio, manteniendo más tiempo la combustión. Este es el motivo por el que se prefiere la leña de roble, encina, alcornoque, eucalipto y haya, frente a la de pino, para su uso en una chimenea.

Otro motivo que influye en la velocidad de la combustión es la existencia de materiales inflamables dentro de las propias leñas, como es el caso de la resina. Este material es más combustible que la pared celular que compone la madera; por esto

las maderas son canales resiníferos arden más deprisa. Para ciertos usos como los hornos cerámicos, hornos de panadería y usos industriales las leñas de especies resinosas pueden ser preferibles frente a las leñas de especies frondosas.

- **POTENCIA CALORÍFICA**

Se define la potencia calorífica como la cantidad de calor desprendida por un combustible por unidad de masa y unidad de tiempo.

Se mide en:

$$\frac{\text{KJ}}{Kg.s}, W.s, KW.s, \frac{\text{Kcal}}{Kg.s}, \quad \frac{\text{KJ}}{Kg.min}.$$

Dónde:

KJ = Kilo Julios
Kg = Kilogramo
W= Watios
KW= Kilo watios
Kcal: Kilo calorías
s = segundos
min = minutos

La potencia calorífica de un combustible es función de:

1. El poder calorífico del combustible, que es función de la composición química del mismo.
2. La forma del combustible.
3. La colocación del combustible con respecto al comburente (aire).
4. El coeficiente de conductividad térmica que, a su vez, depende de la densidad del mismo. A mayor densidad menor es su valor.
5. La tecnología de combustión, es decir, el correcto diseño del hogar donde se realiza la combustión de la leña.

Al comienzo de la combustión interesa que la potencia calorífica sea grande para encender con cierta rapidez la lumbre. Una vez que se ha conseguido el encendido lo que interesa es que la potencia calorífica se mantenga constante. La potencia calorífica es función no sólo del combustible sino también del lugar donde se realiza la combustión.

Resumiendo, la potencia calorífica de una leña aumenta con el poder calorífico, la superficie específica y el tiro de la chimenea, y disminuye cuando lo hace el coeficiente de conductividad térmica de la leña considerada.

- **ÍNDICES DE CALIDAD ENERGÉTICA**

La calidad energética está en función de diferentes variables: humedad, poder calorífico, superficie específica (relacionada con el tamaño), homogeneidad de tamaños y composición química elemental.

2.2.3.4.1. COMBUSTIÓN DE LA LEÑA

- **DEFINICIÓN DE COMBUSTIÓN**

De acuerdo con el Diccionario de la Real Academia Española, la combustión es la acción o efecto de arder o quemar, mediante una reacción química entre el oxígeno y un material oxidable, acompañado de desprendimiento de energía y que habitualmente se manifiesta por incandescencia o llama.

El material oxidable son todas las sustancias que al combinarse con el oxígeno del aire a ciertas temperaturas, se queman produciendo calor. A toda sustancia que se pueda quemar se llama combustible.

Para que haya combustión es necesario que exista un cuerpo que se queme llamado combustible, el oxígeno del aire que recibe el nombre de comburente y una fuente de calor que entregue la temperatura necesaria. Si uno de estos elementos falta, no puede haber combustión. Ahora, si están los tres elementos, la combustión puede ser mala o incompleta si:

- El combustible es inadecuado o de mala calidad.
- El aire es poco o insuficiente.
- La temperatura es baja.

Como el aire es el que da el oxígeno necesario para la combustión, siempre debe mantenerse una adecuada relación aire-combustible para que la combustión sea correcta o completa.

$$Combustible + Oxígeno\ O_2 \rightarrow Productos\ de\ combustión + Calor$$

En general todos los combustibles están constituidos por: carbono (C), hidrógeno (H_2), azufre (S), nitrógeno (N_2), oxígeno (O_2), humedad y cenizas. Los distintos combustibles tienen estos elementos pero en diferentes proporciones, siendo el carbono el elemento fundamental, ya que mientras mayor sea la proporción de carbono, el combustible al quemarse genera mayor calor.

La combustión depende de la cantidad de oxígeno. Según esto, la combustión puede ser completa o incompleta:

- **COMBUSTION COMPLETA:** Si la cantidad de oxígeno es suficiente, la combustión del carbono es completa y se obtiene anhídrido carbónico (CO_2). Se aprovecha en este caso la mayor cantidad de calor del combustible.

  El porcentaje mínimo de anhídrido carbónico que se recomienda es 12%, siendo el ideal 14,5%.

- **COMBUSTION INCOMPLETA:** Si el oxígeno que se entrega a la combustión es insuficiente, el combustible no se quema totalmente. En este caso se forma monóxido de carbono (CO) y la cantidad de calor que se aprovecha es mucho menor.

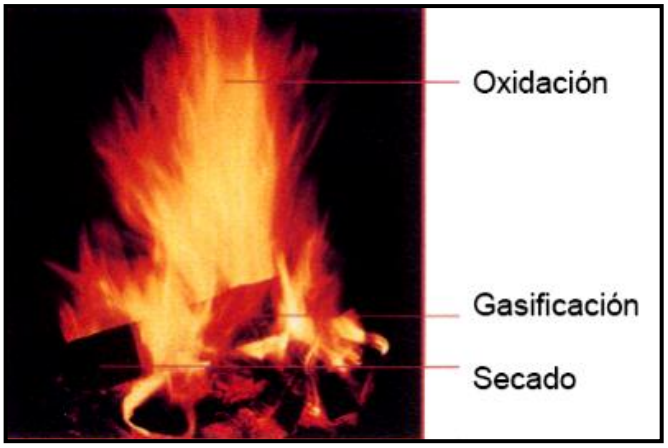
El monóxido de carbono no debe estar presente en la combustión. Además de significar un daño a la salud, significa que la combustión no es buena, lo que se manifiesta con gases oscuros en la chimenea.

La eliminación del monóxido de carbono en el proceso de combustión es de vital importancia. Esto se logra agregando aire (secundario) para convertir este CO en CO_2, antes que salga por la chimenea.

2.2.3.4.1.1. ETAPAS DE LA COMBUSTIÓN DE LA LEÑA

A medida que se combustiona la leña, se identifican las siguientes etapas: Secado, Gasificación y Oxidación.

Ilustración 13. Reacción de la combustión de la leña



Fuente: SANTANA, Cristihan. "Contaminación a Leña", Ponencia presentada en el curso IQ588 Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Chile, 2004.

♣ SECADO DE LA MADERA (LEÑA)

Las partes exteriores de la leña recibe calor por radiación de las llamas, calentando de esta forma el agua contenida en la leña por sobre su punto de evaporación. A partir de esto el proceso de secado inicia, perdiendo humedad en la leña en forma de vapor de agua.

En esta etapa de combustión de la leña se consume una fracción importante de la energía liberada en el proceso de combustión.

"Mientras mayor sea el contenido de agua inicial, una mayor cantidad de energía se consumirá en este proceso de secado y más lento se torna la primera etapa de calentamiento de la leña." [8]

Ilustración 14. Secado de la Madera

Fuente: Pepe García, 2011.

[8] **SANTANA, Cristihan.** "Contaminación a Leña", Ponencia presentada en el curso IQ588 Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Chile, 2004

♣ GASIFICACIÓN Y OXIDACIÓN DE LA MATERIA VOLÁTIL

Al calentarse la madera seca por encima del punto de ebullición del agua, se inicia la segunda fase de pirólisis con la liberación de la materia volátil. En esta etapa, la leña comienza a humear. El humo es el resultado visible de la descomposición térmica de la madera y se compone principalmente de una nube de gotitas combustibles de gases e hidrocarburos (alquitrán). Éstos se oxidan sólo bajo altas temperaturas y si además existe presencia de suficiente oxígeno. Este proceso de combustión con liberación de calor produce llamas largas y brillantes, que son características de la combustión de la leña seca.

Si la materia volátil no se quema por completo al interior del fogón, se emitirán gases no quemados, que condensarán sobre las paredes frías de los ductos de evacuación, formando los depósitos de creosota.[9] También estos compuestos no quemados serán emitidos posteriormente como humo de color visible con una fuerte contaminación atmosférica en el área.

El humo también representa una pérdida de eficiencia, porque contiene una gran parte de la energía presente en la madera.

[9] Creosota: sustancia que se origina en los procesos de combustión de la madera o el carbón. (J.A. Rodríguez Barreal, 2003).

Ilustración 15. Gasificación y Oxidación de la materia volátil

Fuente: www.gifsss.com

♣ QUEMADO DEL CARBÓN RESIDUAL

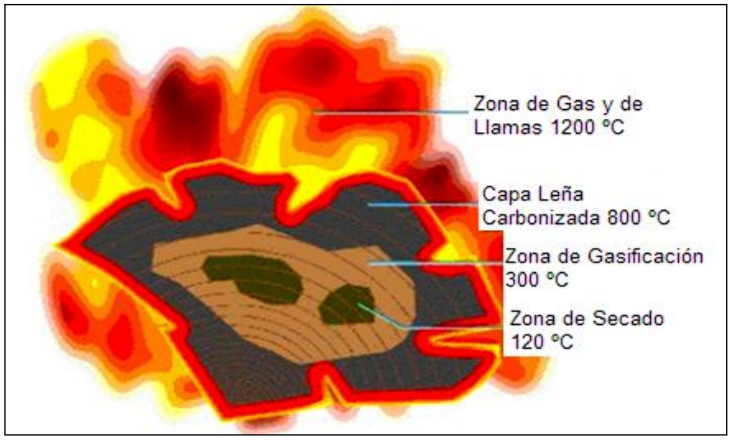
Al liberarse completamente la materia volátil de la leña, permanece como producto residual el carbón sólido junto a la ceniza no combustible. Este compuesto sólido equivale al carbón de madera y se caracteriza por su combustión superficial con un resplandor rojo y llama muy pequeña generando una alta temperatura entre 600 y 1.000 °C. El carbón es un combustible que se quema fácilmente con presencia de suficiente oxígeno sin generar humos.

En la práctica, las tres fases de combustión de leña anteriormente descritas ocurren simultáneamente. Esto significa que los gases de la materia volátil pueden estar quemándose con largas llamas mientras que sobre la superficie del combustible el carbón se quema con el característico resplandor rojo y el agua en el centro de la leña se evapora lentamente.

Ilustración 16. Quemado del carbón residual

Fuente: nomasde15.blogspot.com

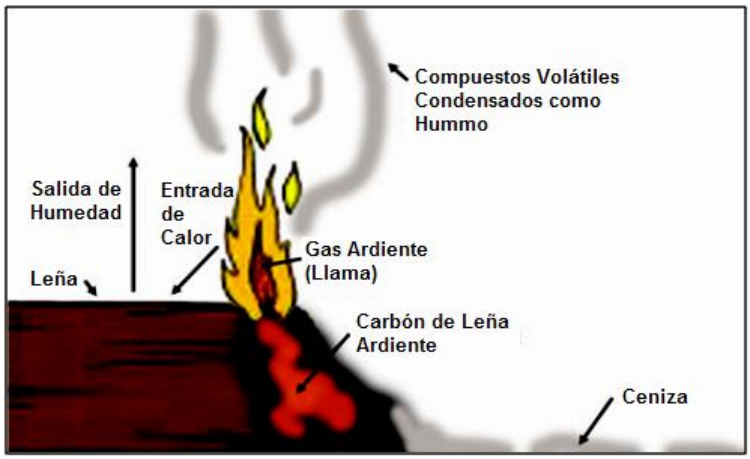
Ilustración 17. Esquema del Proceso de Combustión de la Leña



Fuente: SANTANA, Cristihan. "Contaminación a Leña", Ponencia presentada en el curso IQ588 Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Chile, 2004.

Estas tres etapas típicas de la combustión de Leña se producen simultáneamente tal como se indica en la ilustración 17.

Ilustración 18. Etapas típicas de la combustión de la Leña



Fuente: SANTANA, Cristihan. "Contaminación a Leña", Ponencia presentada en el curso IQ588 Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Chile, 2004.

Para lograr una combustión completa de los productos de la descomposición térmica de la leña se requieren las siguientes condiciones que se resumen en la regla "3T´s" conocida por los especialistas en combustión:

- **Temperatura.-** La temperatura mínima que se requiere mantener al interior de un hogar para garantizar la combustión completa de los productos gaseosos debe ser lo más alta posible, se indican valores promedios en la zona de combustión de mínimo 800 °C a máximo 1000 °C.

- **Tiempo.-** para lograr una combustión completa se debe garantizar un tiempo mínimo de residencia de los gases al interior del hogar.

- **Turbulencia:** La última condición necesaria para asegurar una combustión óptima se relaciona con una intensa turbulencia requerida para mezclar el oxígeno con la materia volátil en combustión.

Solamente si se cumple con estas tres reglas básicas de temperatura mínima, tiempo de residencia mínimo y alta turbulencia se puede generar las

condiciones para realizar una combustión óptima de la leña con la mínima emisión de contaminantes.

2.2.3.4.1.2. LEÑA Y EMISIÓN DE PARTÍCULAS

En función de cómo se realice la combustión, la calidad y el tamaño de la leña, son factores muy importantes en la emisión de partículas. Investigaciones específicas relacionadas con la combustión de leña[10], han demostrado que:

- La humedad y el tamaño son los factores más importantes.
- La humedad es un factor muy importante para aumentar las emisiones.
- Altos ritmos de combustión, con leña de elevado contenido en humedad (mayor del 20%), las emisiones de partículas pueden incrementarse 10 veces.
- Bajos ritmos de combustión, para leña con elevado contenido en humedad (mayor del 20%) las emisiones de partículas pueden incrementar 30 veces.
- La leña húmeda pero de menor tamaño, emite menos emisiones que la de mayor tamaño.
- A pesar de que la calidad de la leña sea buena, cuando el aporte de aire es reducido el nivel de emisiones puede ser alto.
- Las propiedades de la leña y las condiciones de la hoguera, deben adaptarse mutuamente.
- Para asegurar un nivel bajo de emisiones, se deben usar troncos secos y pequeños durante un período de encendido suficiente. (por lo menos 30 minutos).

[10]Proyecto QualityWood – EIE/06/178/SI2.444403 "Quality Wood", dentro el Programa "Energía Inteligente para Europa".

- Para encender el fuego se recomienda usar troncos de leña seca es decir con una humedad superior al 10% y menor al 20%.

2.2.4. TIPO DE HORNO

2.2.4.1. HORNOS USADOS EN LA INDUSTRIA LADRILLERA

Basados en la clasificación que presenta el autor Eloy Robusté[11] se tienen los siguientes tipos de horno:

1. Hornos intermitentes
2. Hornos semicontinuos
3. Hornos continuos

Según las indagaciones que se han realizado el tipo de horno usado en el desarrollo del proyecto corresponde a hornos intermitentes.

2.2.4.1.1. HORNOS INTERMITENTES

El interés que aborda a los hornos intermitentes es variado, pues se pueden cocer materiales como baldosín, loza, porcelana, arcilla, etc., pero tiene un gran inconveniente, su exagerado consumo de combustible y tiempo de cocción.

[11] **ROBUSTÉ, Eloy.** *Técnica y práctica de la Industria Ladrillera II.* Barcelona : CEAC, 1963.

El problema se da porque el ladrillo se vende a costos muy por debajo de su costo de producción total, por lo que reducir en insumos en la producción del mismo resulta necesario, un claro ejemplo es la disminución del consumo de combustible.

Los factores que permiten que este tipo de hornos sigan existiendo o apareciendo, son su bajo costo de instalación, facilidad de ubicarse, facilidad al llenado y de quema o cochura[12] en sí, aunque esto sea desproporcional con el consumo de calorías en cuestión de combustible para lograr una producción pequeña.

Tal vez uno de los factores más importantes que influye en la permanencia de este tipo de hornos es el combustible, pues es la leña en forma de ramas, se consigue con relativa facilidad, en determinados lugares donde se realiza limpieza de bosques o residuos de la industria de la madera, está resulta a precios accesibles.

Una característica especial del horno intermitente, es que necesita que el combustible tenga mucha llama, para que ardiendo con la máxima rapidez, pueda llegar a penetrar hacia arriba, y cocer los ladrillos situados en la parte más alta.

El mencionado horno, consiste en una cámara generalmente cuadrada, donde en la parte inferior se halla un hogar (cenicero), encima de la cual hay unos arcos de ladrillos, que sostienen el material a cocer. Estos van colocados convenientemente, dejando espacios libres por donde pueda elevarse la llama, hasta una altura de 3 o 4 metros.

[12] Cochura: terminología utilizada para definir la cocción

En estos hornos, pueden caber hasta 20000 piezas. El tiraje[13] se hace por sí solo, porque se deja libre el paso en la parte superior y el fuego o la llama tiende hacia la salida, como es lógico.

La experiencia que requiere la cochura de un horno intermitente es enorme, se necesita de una práctica constante ya que se deben controlar factores varios para obtener un producto uniforme en la deshornada, a pesar de los esfuerzos y de la experiencia que se puede tener siempre se tiene productos con diferencias notables al ser deshornados.

El llenado del horno es un paso de vital importancia, ya que debe prever el paso de la llama o calor para que se trasmita de igual forma (o lo más posible) a todos los ladrillos de la parte superior.

En realidad la cocción en dicho horno se hace a ciegas, puesto que el cocedor se guía únicamente por las señales exteriores que aparecen en la salida superior, que hace las veces de chimenea.

2.2.4.1.2. HORNOS CIRCULARES INTERMINTETES

La característica de estos hornos es obviamente su forma circular, ya que tiene las mismas características y a veces ofrece las mismas dificultades que los hornos cuadrados, aunque ciertas personas consideran que su rendimiento es mejor.

[13] el tiraje se refiere a la diferencia de presión que existe entre los gases del hogar y el aire ambiente, lo que permite el paso necesario de aire para la combustión.

Cuando estos tienen alturas mayores a las normales es preciso colocar capas de combustible sólido, en este caso carbón, el calor al encontrar el carbón permite que se alargue la llama hasta la salida superior cociendo gran parte de los ladrillos encañados[14].

Cuando los hornos circulares, se estrechan por la parte superior, se denominan hornos botella, ya que toman la forma de una botella, y en ellos el tiraje es mejor, pero el llenado tiene que ser muy bien estudiado, para evitar que queden zonas en el cuerpo más ancho del horno, con ladrillos crudos, ya que toda la dificultad está en que la llama pase, durante toda la duración de la cochura[15], por un igual en todas las zonas encañadas.

En dichos hornos no se puede gobernar el tiraje a voluntad, menos producir en la cocción, atmósfera oxidante o reductriz según la conveniencia de la cocción, y por ello el color de los ladrillos cocidos es tan diferente unos de otros.

La regulación del tiro no se puede controlar, ya que el calor tiende a ir por donde encuentra mayor facilidad de paso, donde encuentra menor resistencia, por lo que el encañe es de vital importancia pues de esto depende la homogeneidad de la quema. Si, por ejemplo en una zona determinada los materiales han salido faltos de cocción, es preciso separarlos un poco más hasta conseguir que las llamas y el calor pasen por allí. Si en otro lugar los materiales han salido demasiado cocidos, o vidriados, es preciso disminuir el paso de los gases calientes en aquel lugar, y entonces se logrará el punto apropiado, para que su cocción sea lo más correcta posible.

En realidad, parte de la técnica en la cocción, por caldeo, preparación, etc., lo más importante es el encañe, el cual debe corregir el tiraje, de por sí muy difícil en el

[14] Encañe: terminología utilizada para definir el llenado del horno.
[15] Cochura: terminología utilizada para definir la cocción

intermitente. Debe encañarse la obra de tal modo que sea tupida en zonas donde el tiraje sea más fuerte, y separarla en aquellas zonas donde el tiraje sea menos. Pero esta técnica, o habilidad, sólo se puede conseguir viendo los resultados de cocciones deficientes.

2.2.4.2.FORMA DE OPERACIÓN DEL HORNO

2.2.4.2.1. LA COCCIÓN

El producto a ser quemado, en este caso los ladrillos deben pasar por un proceso de quema que tiene varios estados, es decir las temperaturas que alcanzan paulatinamente[16]:

- de 150 a 200°C: el agua desaparece totalmente de la arcilla, en forma de vapor de agua.

- de 200 a 500°C: la arcilla pura se descompone y las materias orgánicas se queman

- de 500, 700 a 800°C: se forma una mezcla de silicatos y otros compuestos como alúmina, óxidos de hierro, de calcio y de magnesio,

- de 800 a 1000°C: tiene lugar la cochura o sea que los óxidos de hierro se unen a la alúmina y con la sílice, formándose una especia de vitrificación y la cochura está completa cuando la alúmina se ha transformando en silicato.

[16] **ROBUSTE, Eloy.** *TECNICAS Y PRACTICAS DE LA INDUSTRIA Tomo II.* Barcelona : CEAC, 1963.

La coloración de los ladrillos se debe a la composición de los materiales, pueden ser muy variados, pueden ir del blanco rojizo hasta el rojo oscuro, el color rojo oscuro lo proporciona el óxido férrico y así dependiendo de más componentes.

2.2.4.2.2. VITRIFICACIÓN

La vitrificación es el proceso en el cual la materia sufre un reblandecimiento de algunos componentes de la arcilla, depende de la cantidad de fundentes que se encuentran en la arcilla, los mismos que al llegar a la temperatura adecuada (cerca a los 1000°C) se compenetran y mezclan químicamente lo cual da al ladrillo la consistencia y dureza necesaria para resistir las condiciones atmosféricas adversas.

Esta vitrificación puede obtenerse de dos formas, aparentemente contrapuestas:

- **Tiempo Máximo con Temperatura Mínima:** Es la más adecuada porque el proceso de pérdida de humedad, secado y vitrificación se dan de forma paulatina sin alterar el producto.

- **Tiempo Mínimo con Temperatura Máxima:** Esta es técnica es utilizada en ciertos tipos de hornos túnel, ya que el material se encuentra en un estado de secado óptimo, sin embargo siempre existen peligros ya que la pieza pasa por contracción muy rápida y el excesivo reblandecimiento de sus componentes, por lo que puede llegar a perjudicar su integridad y forma.

Las características que debe presentar una cocción perfecta son las siguientes:

1. Velocidad máxima en el calentamiento de la pieza

2. Temperatura mínima de cocción en la fase de vitrificación, para que se efectúe sin perjuicio de la forma de la pieza.

3. Temperatura máxima para evitar deformaciones con duración variable, según las condiciones en que se opere.

"De estas características y consideraciones, puede determinarse la curva definitiva, es decir, la curva de las temperaturas del horno en función del tiempo."[17]

Lo antes expuesto nos indica acerca de lo que se debe hacer para obtener una curva óptima de cocción, se debe considerar importante los siguientes aspectos:

1. Subir rápidamente la temperatura en las fases donde no existen fenómenos peligrosos por contracción brusca.

2. Paso lento al fuego (siempre lo menos lento posible), en las fases peligrosas.

3. Máxima temperatura que puede soportar el producto a fin de disminuir el tiempo de vitrificación de la masa.

[17] **ROBUSTE, Eloy.** *TECNICAS Y PRACTICAS DE LA INDUSTRIA Tomo II.* Barcelona : CEAC, 1963.

Para las consideraciones descritas se debe considerar el tipo de ladrillo, pues coser ladrillos macizos es más complicado que ladrillos huecos, ya que estos al estar formados por una sola capa de material resulta más complicado el paso de calor.

Aspectos inherentes a la cocción:

- Composición de la pasta arcillosa
- Espesor de las piezas
- Manera de encañar o ahornar las piezas en el horno
- Diferencias de temperatura en las partes del horno

El aire mezclado en una proporción determinada, permite la combustión, y según dicha proporción se obtiene:

- **Atmósfera oxidante**: cuando todo el combustible (carbón) se transforma en ácido carbónico, el hidrogeno en vapor de agua, con exceso de oxígeno.

- **Atmósfera neutra**: cuando hay combustión completa sin excesos de oxígeno.

- **Atmósfera reductriz**: cuando el gas de combustión contiene carburos de hidrógeno u óxido de carbón.

La generación de humo se da por el desprendimiento de gases sin quemar, esto como resultado de mezclar combustible fresco con combustible ya ardiente en la cámara de gases.

El humo se da debido siempre al descenso de la temperatura por debajo de la temperatura necesaria para inflamar los hidrocarburos pesados, estos son

conducidos a la chimenea sin ser quemados lo que resulta en una pérdida de combustible y/o energía.

La forma de evitar la generación de humos es extender cada cargue en capas delgadas sobre la parrilla para que no se demore en calentarse.

El combustible adecuado para utilizar en la parte delantera es de llama larga, pues el de llama corta no permite que el calor llegue a las partes superiores, ya que los combustibles de llama alcanzan su máxima temperatura en la punta de la llama.

En la parte central de la zona de fuego, donde se procede propiamente a la cocción del ladrillo el carbón más adecuado es el de llama larga, inflamable, y que alcanza una temperatura a voluntad, evitando que contenga también exceso de cenizas y sobre todo de humedad.

En la parte de atrás se usa combustibles de llama larga o corta, pues como el calor ya se encuentra en su máximo potencial no es necesaria tanta fuerza en la llama, debido a que el calor existente se propaga al resto del horno.

2.2.4.2.3. CURVA DE COCCIÓN

La curva de cocción es la que nos indica el comportamiento de la temperatura en el horno, esta se obtiene dando al eje de las abscisas el valor en tiempo en horas y en el eje de las ordenadas, la temperatura en grados centígrados. La curva variará según el tipo de material, la potencia del horno y la temperatura requerida.

El ciclo térmico de cocción de este tipo de productos se divide en 4 periodos, descritos a continuación:

1. **Precalentamiento:** Como se mencionó anteriormente, en esta etapa se da la evaporación de la humedad en los ladrillos, este proceso se debe realizar de forma paulatina, ni rápida ni lenta, se da por lo general a temperaturas de 0 a 100°C.

2. **Pequeño fuego:** Se da la eliminación total de agua, es decir el principio de contracción más sensible, por lo que es recomendable que la duración debe ser larga, para dar lugar a que el agua salga del ladrillo, en 100°C y 800°C.

3. **Gran fuego:** A partir de los 800°C se inician los procesos de las reacciones entre los silicatos, pero la energía existente permite regular el desarrollo de la contracción de las piezas a quemarse.

4. **Cocción:** Cuando se ha superado los 800 °C es decir entre 900°C y 1000°C, se mantiene una temperatura constante de cocción, por lo que esto ayuda a la penetración del calor en el interior del material de forma homogénea.

2.2.4.2.4. ATMÓSFERA

La atmósfera adecuada será la neutra, si fuese oxidante significaría que hay exceso de aire, de forma contraria si fuese reductora la ausencia de aire resultaría como combustible no aprovechable.

De una u otra forma cualquiera de las dos atmosferas mencionadas (oxidante o reductriz) presentarían defectos pues en la primera no se lleva a cabo el proceso de las reacciones de forma regular sino que aceleraría dichos procesos dando como

resultado fisuras o ampollas en el material, mientras que en la reductriz el producto que se obtiene da coloraciones oscuras, por la falta de aire.

2.2.4.2.5. TIRO

Tiene por objeto hacer llegar el aire al combustible, obligar a los gases de combustión a recorrer las distintas cámaras y conductos de los hornos y evacuar los humos en las capas altas de la atmósfera. El tiro depende de muchos factores: del tipo de horno, del combustible, del sistema de carga, de las condiciones atmosféricas, de la temperatura, etc.

La temperatura, la atmósfera del horno y, en general todo el funcionamiento, vienen profundamente influenciados por el valor del tiro, el cual determina también la presión existente en cada zona del horno; el tiro es, por tanto, uno de los más importantes factores que regulan el buen funcionamiento del horno.

2.2.4.2.6. TIEMPO DE COCCIÓN

La cochura exige un tiempo prolongado, es decir lo suficiente para que se realicen todas las reacciones a presentarse en el producto, se debe considerar que el material a calentar es poco conductor de calor, por lo que es necesario permitir que el calor se distribuya de manera uniforme a cada pieza a quemar.

El mayor potencial de ahorro se consigue al utilizar los hornos de túnel, pero al ser tecnologías difíciles de alcanzar por los artesanos, el proceso de cocción de ladrillos se lo realiza en hornos intermitentes, los cuales son muy ineficientes debido a la

cantidad de combustible utilizado para realizar una quema, y el tiempo que lleva quemar un horno pudiendo estar entre 15 a 20 horas de quema continua.

CAPÍTULO III

3. DESARROLLO EXPERIMENTAL

3.1.QUEMA DE LADRILLOS EN EL CAMPO

La forma en cómo se realiza las quema artesanal de ladrillos y particularidades propias de los hornos no nos permite realizar estudios y análisis in-situ, por lo que se hace necesario la construcción de un horno a escala y con características similares a la realidad, para poder desarrollar las pruebas de quema basadas en alcanzar una eficiencia energética objetivo de nuestro proyecto.

La materia prima (ladrillos y combustible leña) a utilizarse en las diferentes quemas, fueron obtenidas directamente de las ladrilleras artesanales con el objeto de mantener las características reales y poder determinar las variaciones que se dan, considerando solamente como variables el grado de humedad y tamaño de la leña.

3.2.LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN

Con el propósito de identificar aspectos relevantes en el desarrollo de la presente investigación, se levantó información con la ayuda de una herramienta de trabajo, la encuesta para lo cual se diseñó un formato (ver anexo 1), en el que consta que tipo de combustible y horno utiliza, el tiempo de secado de la leña, la producción de ladrillos, duración del proceso de quema, tipo de actividad, etc.,
La metodología se sustenta en lo siguiente:

- Preparación de formatos para el levantamiento de información.
- Socialización del proyecto con el Gremio de Artesanos de Sinincay.
- Aplicación de las encuestas al Gremio de Artesanos, que se tomó como muestra representativa de las ladrilleras artesanales existentes.
- Tabulación de datos y conclusiones.

Ilustración 19. Encuestas a miembros del "Comité de Artesanos del Sector de Sinincay"

Fuente: Las autoras

Ilustración 20. Toma de medidas de horno real (horno redondo)

Fuente: Las autoras

Para poder construir el horno prototipo a escala se tomó medidas de 6 hornos indistintamente en el trayecto del levantamiento de información con lo que concluimos que la mayoría de artesanos ocupan hornos redondos, las medidas más comunes son:

- Altura del horno: 6m.
- Diámetro del horno:3m
- Hogar inferior (boca del cenicero): 0,75m x 0,60m
- Hogar superior (boca de la cámara de combustión): 0,75m x 0,60m.
- Arcos: 4 arcos con una elevación de 30°
- Altura entre los arcos y la cámara de carga: 3 m.

3.3.ELABORACIÓN DEL HORNO A ESCALA

Para la elaboración del horno se consideró la información levantada en las encuestas, en lo que se determinó que tipo de horno era el más utilizado y que medidas eran las más comunes, convirtiéndolo así a una escala 1:25. Ver Anexo I.

Se consideró necesario contratar a un maestro albañil con experiencia en construcción de hornos, quien construyo el horno a escala, el mismo que consta de base cuadrada, 2 bocas, (para la parrilla y para la cámara de combustión), 4 arcos, bomba (cámara de carga). La construcción del horno tomó aproximadamente 5 días, pues se construyó también una base de concreto para soporte del mismo.

También se presentaron ciertas complicaciones, debido al tamaño del mismo, pues la construcción de los arcos fue lo más laborioso, debido a la inclinación que estos debían tener para soportar la máxima cantidad en peso, en este caso soportaría un peso máximo de 550 kg.

El material utilizado para la construcción del mismo se lista a continuación:

- Base cuadrada de cemento
- 200 ladrillos panelones entre secos y caldeados
- Barro especialmente preparado para la fabricación de los hornos
- 4 horizontales de madera
- Cinta metálica
- Fibra cerámica (chimenea)
- Estructura metálica (chimenea)
- Tubo de 15 cm de diámetro.
- Equipo de Protección Personal (gafas, guantes, mascarillas, mandil)

Ilustración 21. Proceso de construcción del horno a escala (formación de los arcos)

Fuente: Las autoras

Ilustración 22. (a) Formación de las bocas (b) Horno Real a escala 1:25

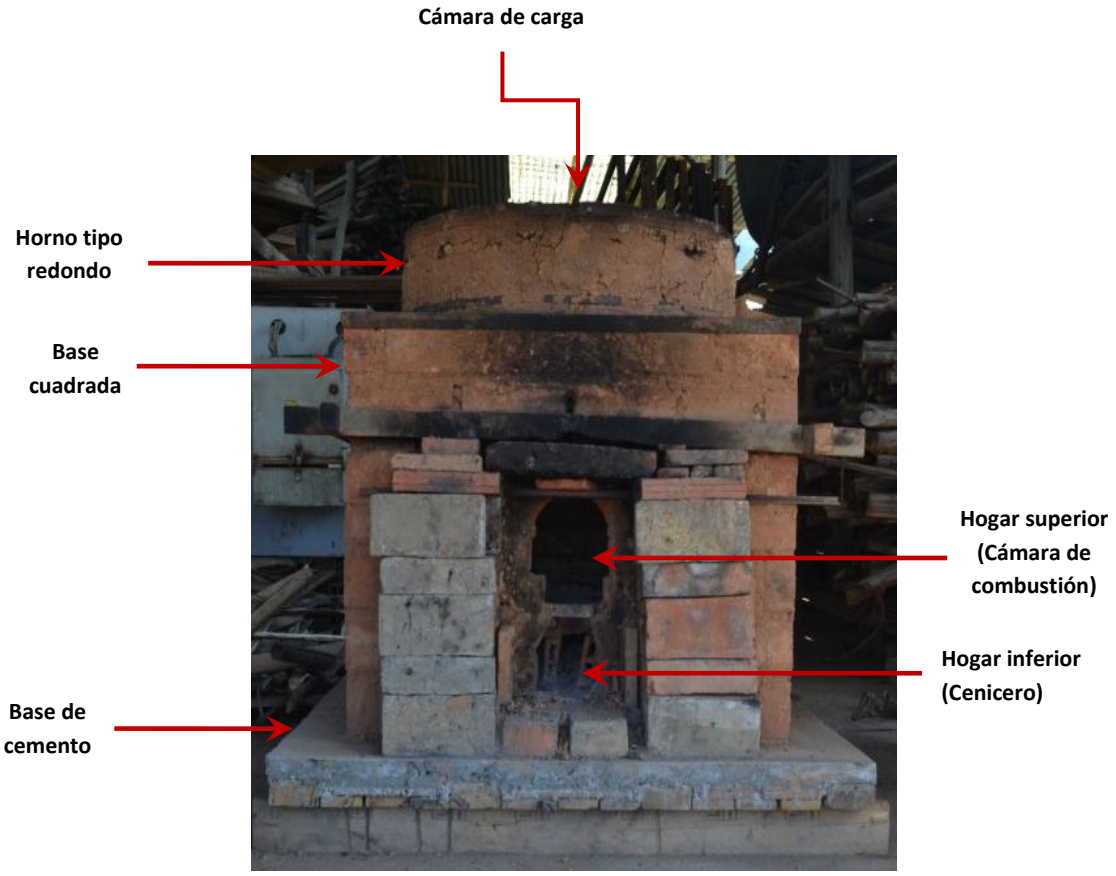
(a) *(b)*

Fuente: Las autoras

Ilustración 23. Realización de agujeros (mirillas) en las paredes del horno para toma de temperatura

Fuente: Las autoras

Ilustración 24. Partes del Horno a Escala



Fuente: Las autoras

Las medidas del horno a escala se adjuntan en el Anexo II.

La capacidad del horno variará dependiendo del tamaño del ladrillo a quemarse en cuanto a unidades de ladrillos se refiere, pero en masa soporta una capacidad de 550 kg.

El horno cuenta con hogar inferior llamado también cenicero dónde se depositarán las cenizas producto de la quema de la leña, y hogar superior o cámara de combustión formado entre el parrillado del cenicero que sirve de soporte para la leña y los arcos que sirve de soporte para los ladrillos a quemarse.

La leña a utilizarse como combustible de todas las quemas es introducida por la boca de la cámara de combustión, y el ladrillo a quemarse es acomodado o encañado por la parte superior de la bomba o cámara de carga.

Para la toma de temperaturas dentro de la cámara de combustión se creó unas mirillas en la parte posterior y los dos laterales perforando la base y llegando así a la parte interna de la cámara, y para la toma de los otros puntos se los hace directamente ya que son puntos de fácil acceso.

Para la medición de gases y material particulado se colocó en la parte superior del horno una chimenea que nos permitió evacuar los gases, resultado del proceso de combustión de la quema de los ladrillos.

3.4. OBTENCIÓN DEL LADRILLO A UTILIZAR EN LAS PRUEBAS

Como nuestro proyecto se basa principalmente en ladrilleras artesanales, se optó por quemar ladrillo artesanal, el cual fue proporcionado por un artesano del sector de Sinincay, en la fábrica del señor José Shinin, se adquirió un total de 6000 ladrillos panelón miniatura (14x7x4).

3.5. OBTENCION DE LA LEÑA A UTILIZAR EN LAS PRUEBAS

La leña se compró a una fábrica del sector, se tomó a consideración comprar 6 metros cúbicos de leña verde (eucalipto), una vez lista la leña, se procedió a hacer chozas o relajes al aire libre y tapadas con lonas plásticas para que no se humedezcan con la lluvia y se vayan secando de forma natural, la leña se iba utilizando de forma

paulatina conforme se realizaban las quemas y de igual manera la humedad de la misma, disminuía.

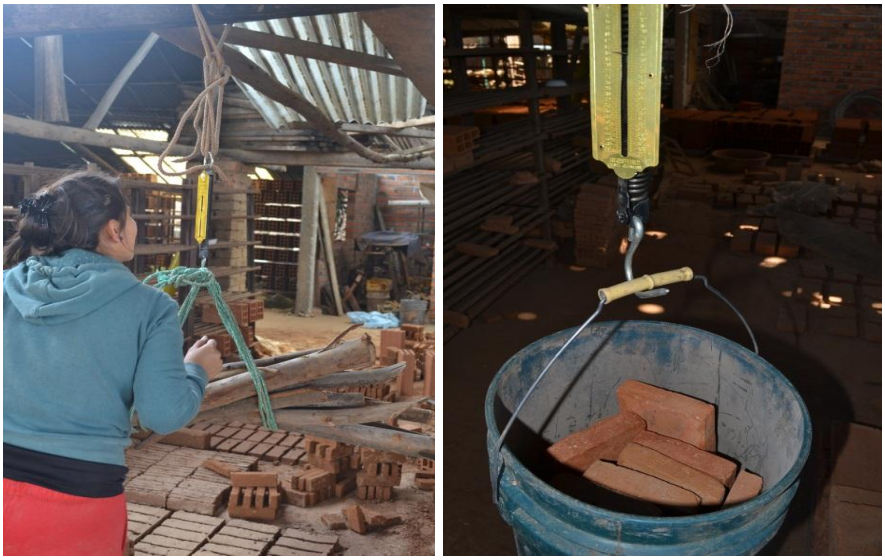
Ilustración 25. Leña colocada en estantes para el secado.

Fuente: Las autoras

3.6.QUEMA DEL HORNO

Para iniciar con el proceso de quema se cuantifico la masa que entra a ser cocida y la cantidad de leña utilizada. Pesos que fueron tomados con la ayuda de una balanza romana de 25 kg. Ver Anexo III.

Ilustración 26. (a) Pesaje de la madera y la masa (ladrillo).



(a) *(b)*

Fuente: Las autoras

Previo a este paso, se trozó la leña, la misma que se rompió en tres pedazos, lo cual nos proporciona piezas de aproximadamente 30 a 35 cm de longitud, de esta forma se acumula alrededor de 60cm^3 de leña con este tamaño.

Ilustración 27. Forma de trozar la madera (30cm)

Fuente: Las autoras

Se llenó el horno con el material a ser cocido y se colocó las tapas (pachilla), posteriormente se procede a armar la parrilla en la parte inferior del horno, lugar donde se deposita la leña la misma que sirve para dejar caer la ceniza.

Ilustración 28. Forma de llenar el horno con el ladrillo.

Fuente: Las autoras

Ilustración 29. Colocado de tapas (pachilla)

Fuente: Las autoras

Una vez lista la leña a utilizar y con el horno lleno, se procede a calentarlo, este proceso se realiza con pedazos de leña pequeños como astillas o papel mientras la llama toma fuerza, una vez que la leña se haya encendido se empieza agregar poco a poco más leña, para que el horno se caliente de forma gradual, y el contacto de la llama directa con el ladrillo frío no cause resquebrajaduras.

Ilustración 30. Madera en el proceso de combustión

Fuente: Las autoras

El horno se calienta en el transcurso de una hora aproximadamente, ya caliente se proceden a hacer los cargues de leña con más frecuencia (cada 15 – 20 minutos), ya que se debe mantener la temperatura del horno lo más constante que se pueda.

Los cargues de leña son ubicados en la parte delantera del horno, debido a que el fuego o la llama larga debe llegar primero a la parte frontal superior, y de ahí distribuirse al resto del horno, esto se logra colocando la leña en forma de zigzag distribuyéndolo por los laterales delanteros del horno, luego se prosigue a tapar la boca, utilizando una pieza de metal lo que permite que la combustión se dé primero en la parte delantera, ya que no admite el ingreso directo del aire que lleve la llama a la parte trasera del horno.

Ilustración 31. Acumulación de ceniza en el cenicero (bloquea la entrada de aire)

Fuente: Las autoras

Se conoce por los quemadores de hornos artesanales que el fuego sale, cuando la llama llega a la parte superior del horno, es decir en las tapas; y empieza a dar una coloración blanca al ladrillo dejando de ser negra por la acumulación de gases.

Ilustración 32. Quema completa "las partes blancas indican que el fuego salió a la parte superior del horno"

Fuente: Las autoras

Cuando el fuego ha salido en la parte delantera, se retira la tapa de metal y se continúa realizando los cargues de leña, así el aire entrará directo y empezará a combustionar las partes laterales traseras y la trasera en sí.

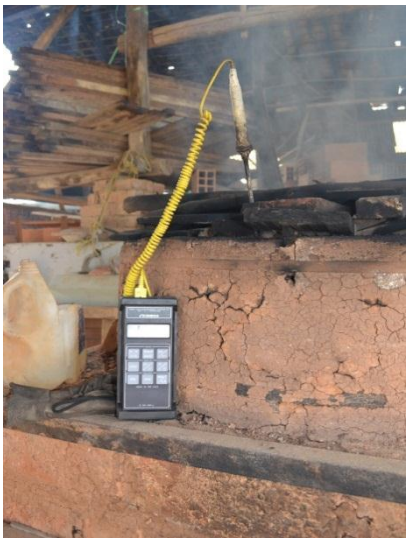
Durante todo el proceso de quema se toman medidas de la temperatura tanto en la parte exterior del horno (paredes) y en la parte interna (cámara de combustión) con la ayuda de los equipos; el pirómetro y la termocupla respectivamente. Ver Anexo IV.

La toma de medidas de temperatura se realizó cada hora, ya que la misma al ser tomada con la termocupla tarda entre 5 minutos hasta estabilizarse.

Ilustración 33. Toma de temperatura externa de la bomba con la ayuda del pirómetro

Fuente: Las autoras

Ilustración 34. Toma de temperatura interna con la ayuda de la termocupla



Fuente: Las autoras

El proceso de quema lleva por lo general el mismo ritmo durante 5 a 6 horas, dependiendo de factores como: humedad de la leña, tamaño de la misma, aire presente en el ambiente, etc., hasta que el fuego salga también en la parte trasera, el fuego en esta etapa se consigue en menor tiempo que en la parte delantera.

Cuando se ha dado por terminada la cochura, es decir que el fuego ha salido por toda la parte superior del horno, se prosigue a tapar la boca de alimentación.

El tapado de la boca se hace con pedazos de ladrillo, luego se cubre con una capa de lodo, quedando cubierto totalmente. El tapado se da con el fin que no haya cambios bruscos de temperatura y por consecuente daños a los ladrillos.

Ilustración 35. Tapado de las bocas una vez culminada la quema.

Fuente: Las autoras

3.7.DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD DE LA LEÑA

Para la determinación del grado de humedad de la leña se tomaba una muestra al azar de la leña pesada destinada para cada quema, a esta se le trozaba con la ayuda de un machete hasta obtener pedazos delgados (astillas), cuando se tenía una cantidad suficiente de leña (10 a 20 gramos) se envolvía en plástico film y se lo refrigeraba hasta el día siguiente para que no pierda humedad.

La prueba de humedad se realizó empleando el equipo Medidor Halógeno de Humedad, en los laboratorios de Ciencias de la Vida, de la Universidad Politécnica Salesiana.

La humedad se determinó realizando cinco pruebas para posteriormente sacar una media y así tener la humedad promedio de la leña. Cada prueba se hacía con un peso aproximado de 1.5 gramos de astillas, a una temperatura de 104°C basados *(**CAMPS, Manuel y MARTÍN, Francisco.** Los Biocombustibles)*[18], utilizando el método B en la aproximación 5, la cual tomaba un tiempo entre 10 a 15 minutos ya que esta aproximación registra datos más precisos. Ver Anexo V.

Ilustración 36. Determinación de la Humedad en el Medidor Halógeno de Humedad

Fuente: Las autoras

3.8.VARIACIÓN DEL TAMAÑO DE LA LEÑA

Contando con la humedad óptima, se comenzó a variar los tamaños de leña los mismos que iban de grandes a pequeños, estos tamaños se conseguía troceando cada vez más la leña fundamentados en la teoría que la leña más trozada aumenta su superficie específica, consecuentemente aumenta la superficie de contacto entre el combustible y el comburente (aire) y por ende mejora la combustión. (CAMPS, Manuel y MARTÍN, Francisco)[19].

[18] ***CAMPS, Manuel y MARTÍN, Francisco.*** *Los Biocombustibles*
[19] (CAMPS, Manuel y MARTÍN, Francisco)

Ilustración 37. Tamaños de leña

Fuente: Las autoras

Ilustración 38. Tipos de tamaños utilizados.

Fuente: Las autoras

3.9.PRUEBA DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS LADRILLOS.

Con el fin de determinar cuál fue la quema que mostró mejores resultados, se realizaron pruebas de compresión en los talleres de mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana, para el propósito se usaron 5 muestras de ladrillo de cada quema, para obtener un promedio. Ver Anexo VI.

La prueba se efectuó basándonos en la norma del INEN[20] "Ladrillos cerámicos determinación de la resistencia a la compresión", en la cual nos expone el método, instrumental, preparación de las muestras y el procedimiento para realizar dicha prueba.

El objetivo de la prueba es establecer el método del ensayo de ladrillos cerámicos que se emplean en albañilería para terminar su resistencia a la compresión. El alcance comprende a los ladrillos cerámicos fabricados en arcilla moldeada y cocida. No comprende a los ladrillos refractarios o fabricados con materiales sílico – calcáreos.

Como instrumental se puede usar cualquier máquina de compresión provista de plato con rótula de segmento esférico, siempre que las superficies de contacto de los apoyos sean iguales o mayores que las muestras de prueba.

Tabla 6. Características de la Maquina

Compresión Metro Com 3000KN matricula 11024			
Fecha de calibración: 29 de abril de 2008		**Calibración según norma UNI en 12390/4**	
Escala (KN)	**Incertidumbre %**	**Escala (KN)**	**Incertidumbre %**
300	0,41	1800	0,31
600	0,40	2100	0,30
900	0,33	2400	0,30
1200	0,31	2700	0,31
1500	0,30	3000	0,33

Elaborado por: Las autoras

[20] **NORMA INEN 294**, Ladrillos Cerámicos, Determinación de la Resistencia a la Compresión, 1977.

3.9.1. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

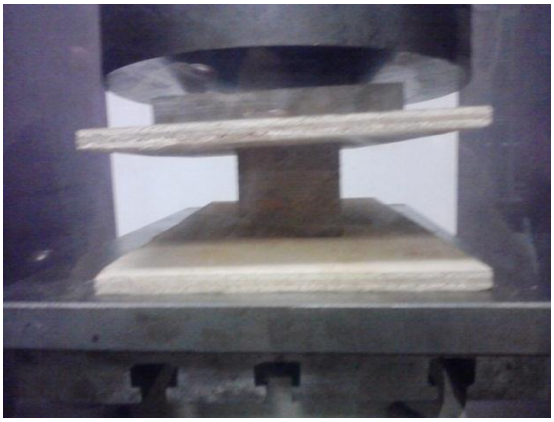
Las muestras a utilizarse consisten en mitades de ladrillos con caras planas y paralelas, obtenidas de 5 ladrillos secos, enteros y sin defectos apreciables, cortados mediante herramientas adecuadas, para evitar que se deterioren.

En caso de que las muestras presenten irregularidades de forma o sus caras tengas estrías o ranuras, se someterán al siguiente tratamiento de preparación:

- Se recubren las caras de la muestra, que van a estar en contacto con la máquina, con una capa compuesta por una mezcla de azufre, la mezcla se obtiene a partir de derretir el azufre (polvo), y colocarla en los moldes del ladrillo.

- Una vez aplicadas las capas de la mezcla, se deja enfriar, una vez que este rígido está listo para realizar la prueba.

Ilustración 39. Prueba de compresión del ladrillo



Fuente: Las autoras

3.10. PRUEBAS DE ANÁLISIS DE GASES

Una vez se obtuvo los estados óptimos de humedad y tamaño, se procedió a realizar dos pruebas de análisis de gases, la primera prueba se realizó en condiciones similares a las que se realizan en el campo, y otra en condiciones óptimas determinadas en las quemas anteriores, con el grado de humedad y tamaño óptimo.

Para dichos análisis se contó con el servicio de la empresa Trataaguas, el equipo empleado fue un Analizador de Gases de Combustión, marca Testo, modelo Testo 350.

Los parámetros que se midieron fueron: O_2, CO_2, CO, NOx, y SO_2; estos fueron medidos con una sonda que fue introducida en la parte superior de la chimenea, se calibró el equipo a la humedad del combustible utilizado durante el proceso de quema y mostró los valores de medición de manera inmediata. Ver Anexo VII.

Ilustración 40. Análisis de Gases

Fuente: Las autoras

CAPÍTULO IV

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1.DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD ÓPTIMA

La humedad óptima se determinó mediante la realización de seis quemas, las tres primeras se realizaron en un rango de humedad entre el 20% - 30% y las tres restantes en un rango del 10% - 15%. La humedad se clasifico en rangos, ya que la misma varía en función de los días de secado, humedad relativa, humedad ambiente y época del año.

Se determinó que la humedad óptima está en un rango de 10 -15%, presentando un menor tiempo de quema y temperaturas óptimas; los datos se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 7. Humedades, tiempos de quema y días de secado.

Humedad inicial: **34%**	Patrón	Quema 1	Quema 2	Quema 3	Quema 4	Quema 5	Quema 6
Humedad	30%	28,52%	24,15%	20,75%	14,36 %	13,48%	11,32%
Horas quema	8,5	8,00	7	6,00	5,00	5,00	5,00
Días de secado de la leña	10	15	20	27	41	62	74

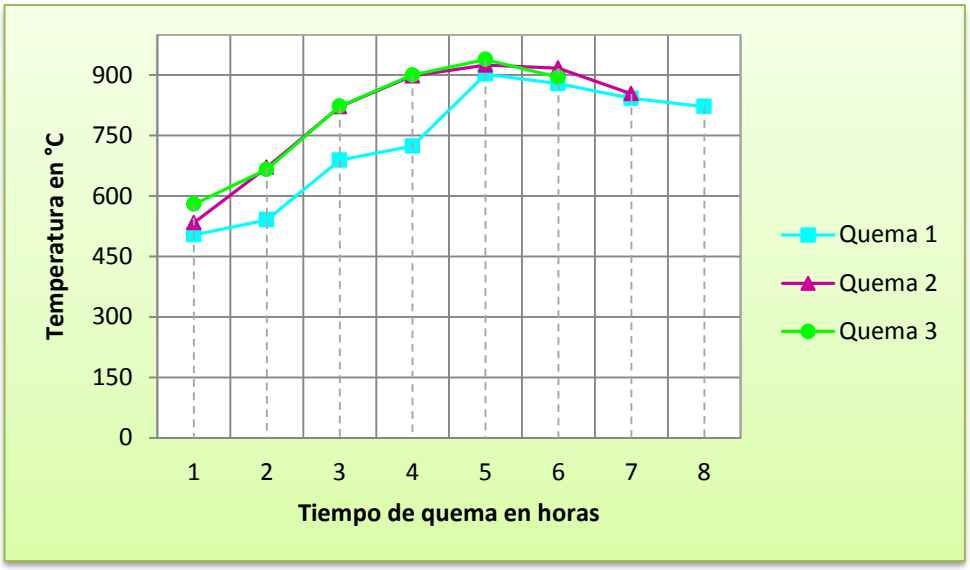
Fuente: Las autoras

Elaborado por: Las autoras

Se puede observar que en función del tiempo de quema, las quemas que mejores resultados muestran son las quemas 4, 5 y 6 obteniendo así la humedad óptima a ser

considerada en las siguientes quemas en las que se variará el tamaño. A continuación se presentan las curvas de comportamiento en las diferentes quemas.

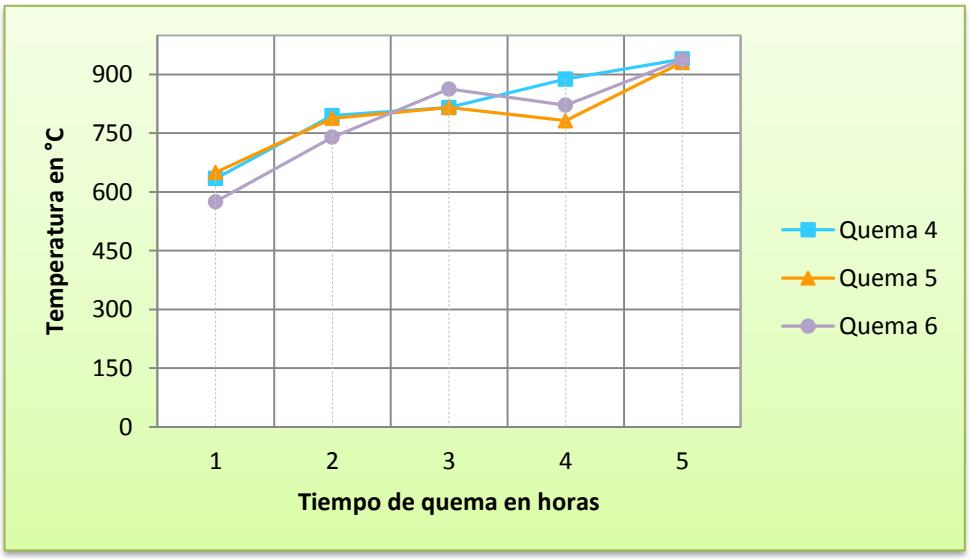
Ilustración 41. Quemas uno, dos y tres. Rango de humedad 20% - 30%



Fuente: Las autoras

Elaborado por: Las autoras

Ilustración 42. Quemas cuatro, cinco, seis. Rango de humedad 10% - 15%



Fuente: Las autoras

Elaborado por: Las autoras

4.2. DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO ÓPTIMO

Una vez establecida la humedad óptima, se procedió a buscar el tamaño óptimo de la leña, para esto se realizaron tres quemas con tres tamaños diferentes y cada una con su debida humedad.

Se comprobó que mientras más troceada esté la leña, es decir más pequeña sea la leña el consumo de la misma disminuye, los valores se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 8. Consumo de leña

Tamaño leña en función del tronco utilizado	Repetición 1 Peso leña(kg)	Repetición 2 Peso leña(kg)	Media (kg)
1	93	91,5	92,25
1/2	85	87	86
1/4	83,5	81	82,25

Fuente: Las autoras

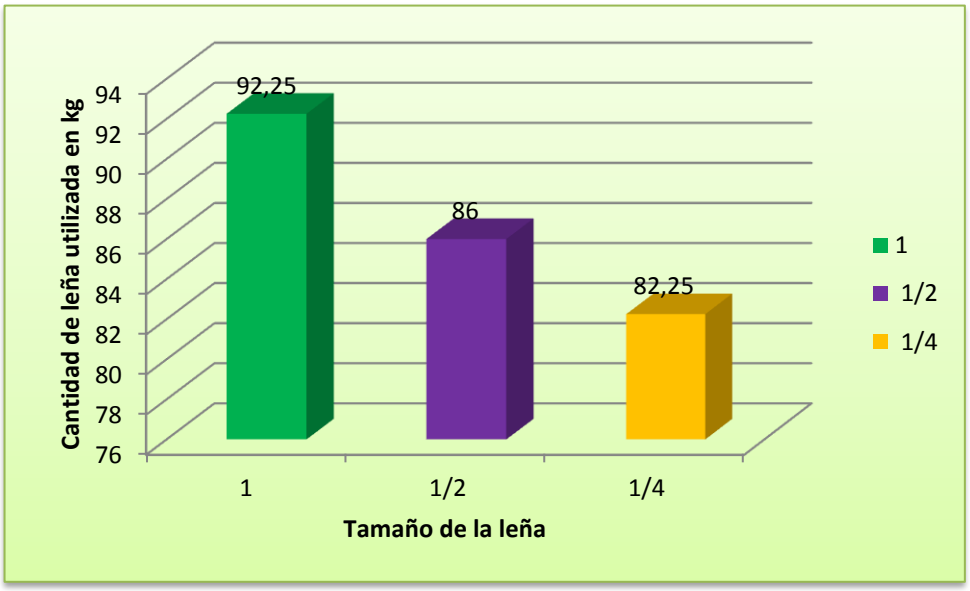
Elaborado por: Las autoras

Al reducir el tamaño de la leña la superficie específica de la misma aumenta y por consiguiente aumenta la superficie de contacto entre el combustible y el comburente, mejorando el proceso de combustión, por lo que la teoría según el autor CAMPS, Manuel y MARTÍN, Francisco se corrobora[21].

[21] CAMPS, Manuel y MARTÍN, Francisco. *Los Biocombustibles.* Madrid-Barcelona-México : Ediciones Mundi-Prensa, 2008.

A continuación se presenta el gráfico del promedio de los tamaños de leña usados**:**

Ilustración 43. Cantidad consumida de leña



Fuente: Las autoras

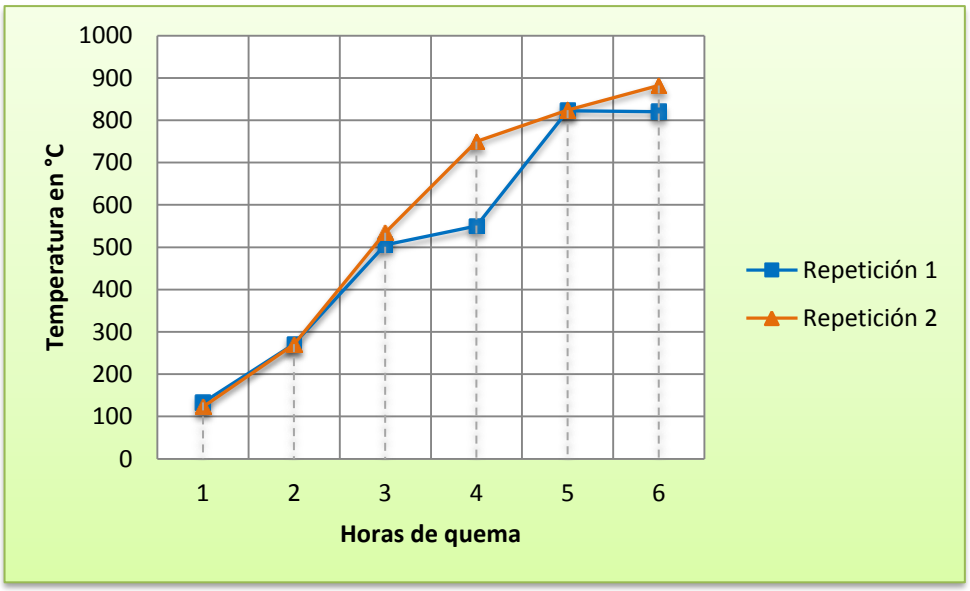
Elaborado por: Las autoras

En la gráfica podemos observar que el consumo de leña con el primer tamaño (tronco sin trozar) obtuvo un promedio de 92,25 kg, con el segundo (tronco trozado por la mitad) el consumo se redujo a 86 kg y el tercero (tronco trozado en cuatro partes) el consumo disminuyó aún más teniendo 82,25 kg.

Relacionando las tres quemas se determinó que el consumo disminuye en un 10,84% en relación de 1 a 1/4 del tamaño de un tronco lo que muestra que hay una reducción significativa del consumo de leña.

También se presenta las curvas de temperatura de las diferentes quemas que conservan el mismo rango de humedad entre el 10-15% pero con distintos tamaños.

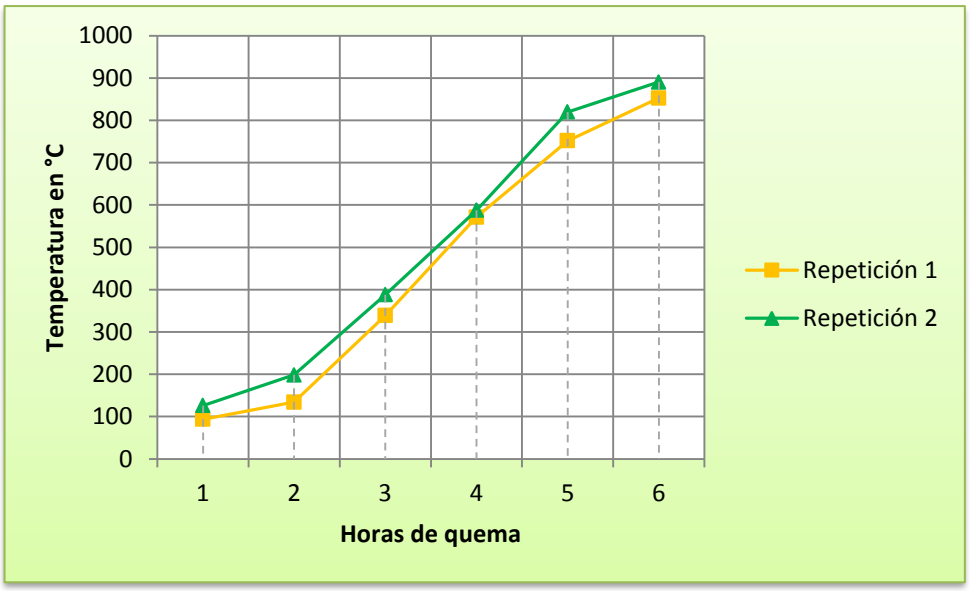
Ilustración 44. Curvas de temperatura con el tamaño uno (tronco entero)



Fuente: Las autoras

Elaborado por: Las autoras

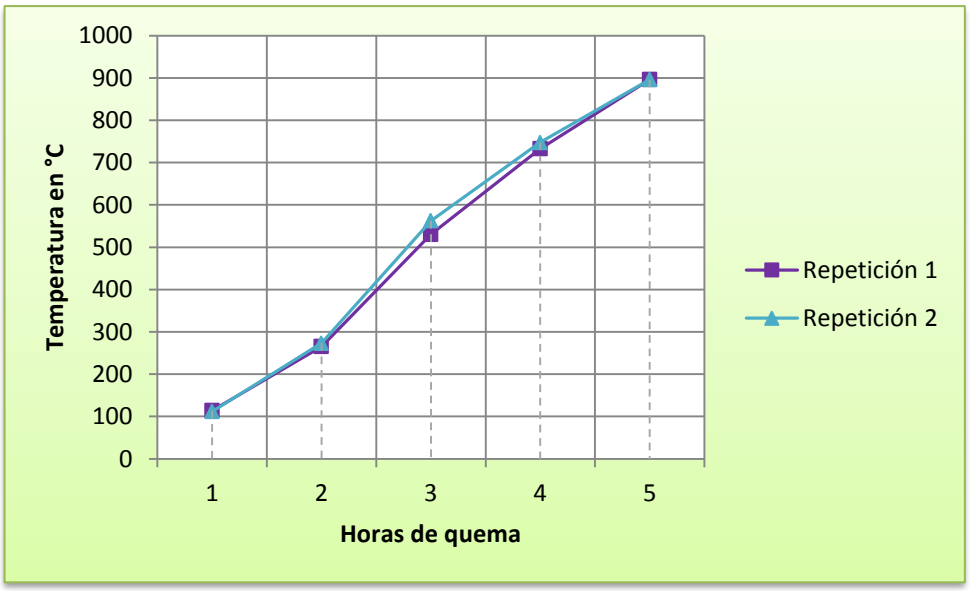
Ilustración 45. Curvas de temperatura con el tamaño dos (1/2 tronco)



Fuente: Las autoras

Elaborado por: Las autoras

Ilustración 46. Curvas de temperatura con el tamaño dos (1/4 tronco)



Fuente: Las autoras

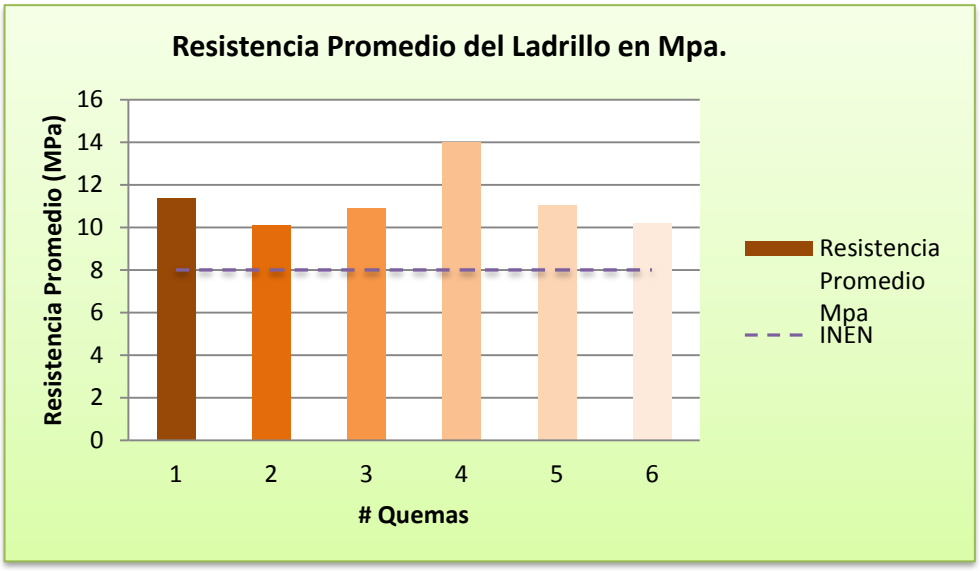
Elaborado por: Las autoras

En las gráficas se puede observar que las temperaturas no varían significativamente y se mantiene en todas las quemas, teniendo así un tiempo óptimo de quema de 5 horas con una humedad entre el 10-15%, pudiendo determinar el tamaño óptimo en función de la cantidad de leña consumida, (tamaño tres; ¼ de tronco).

4.3.PRUEBAS DE COMPRESIÓN

Como método de corroboración para la determinación de la humedad y tiempo óptimo, se realizaron las pruebas de compresión a los ladrillos resultantes de cada quema.

Ilustración 47. Prueba de Compresión



Fuente: Las autoras

Elaborado por: Las autoras

Se observa que todos los ladrillos cumplen con la norma INEN, evidenciando que la humedad y tiempo óptimo determinados con anterioridad están en función del tiempo de quema y consumo de leña.

4.4.DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL HORNO DE LADRILLO

4.4.1. POTENCIA CALORÍFICA DEL HORNO

Balance térmico del horno:

El balance térmico del horno corresponde a igualar la energía de entrada a la energía de salida.

$$\dot{Q}_{entrada} = \dot{Q}_{salida} \quad [1]$$

$$\dot{Q}_{combustibe} + \dot{Q}_{aire} = \dot{Q}_{perdido} + \dot{Q}_{neto} \quad [2]$$

El calor de entrada es producto del calor generado por el combustible y el aire de entrada, el calor de salida corresponde al calor perdido (de diferentes maneras) más el calor neto que es el valor de la energía utilizada en el horno (para la cocción de los ladrillos). Este calor neto en función del tiempo es la potencia calorífica del horno.

El calor perdido corresponde fundamentalmente a:

- El calor cedido a través de las paredes del horno.
- El calor que se llevan los gases de la chimenea.
- El calor por inquemados del combustible sólido (cenizas).
- El calor por aperturas del horno.

También existen otras razones dependiendo de la forma de desarrollo del proceso, para el cálculo de la potencia se calcula el calor cedido a través de las paredes y el calor que se llevan los gases de la chimenea y el 10% del total de este valor se considera para los demás perdidas por lo demorado del análisis.

En forma de potencia (de razón de transferencia de calor) la ecuación [2] queda como:

$$\dot{Q}_{combustible} + \dot{Q}_{aire} = \dot{Q}_{neto} \qquad [3]$$

- **Potencia entregada por el combustible:**

$$\dot{Q}_{combustible} = \dot{m}_{combustible} \times P_{c_{combustible}} \quad [4]$$

Denotación:

$\dot{Q}_{combustible} \rightarrow Potencia\ calorífica\ del\ combustible$

$\dot{m}_{combustible} \rightarrow Flujo\ másico\ del\ combustible$

$P_{c_{combustible}}$
$\rightarrow Poder\ calorífico\ del\ combustible, mismo\ que\ está\ en\ función\ del\ tipo\ de\ madera\ y\ de\ su\ humedad$

- **Potencia generada por el aire en el proceso de combustión:**

$$\dot{Q}_{aire} = \dot{m}_{aire} \times C_{p_{aire}} \times T_{aire} \qquad [5]$$

También puede expresarse de la siguiente manera:

$$\dot{Q}_{aire} = \dot{m}_{aire} \times h_{aire} \qquad [6]$$

Denotación:

$\dot{Q}_{aire} = Potencia\ calorífica\ del\ aire$

$\dot{m}_{aire} = Flujo\ másico\ del\ aire$

$C_{p_{aire}} = Calor\ específico\ del\ aire$

$T_{aire} = Temperatura\ del\ aire$

$h_{aire} = Entalpía\ del\ aire$

El flujo másico del aire se obtiene a partir de la relación aire y combustible de la ecuación estequiométrica.

- **Pérdidas de calor:**

  - **Pérdidas por las paredes:**

El calor se pierde a través de las paredes por conducción, por convección y por radiación. La transferencia de calor en análisis será por convección y por radiación debido al conocimiento de las temperaturas externas de las paredes.

$$\dot{Q}_{paredes} = \dot{Q}_{convección} + \dot{Q}_{radiación} \qquad [7]$$

$$\dot{Q}_{convección} = h \times A_s \times (T_s - T_\infty)$$

$$\dot{Q}_{radiación} = \varepsilon \times \sigma \times ({T_s}^4 - {T_{alrededor}}^4)$$

Denotación:

$\dot{\boldsymbol{Q}}_{\boldsymbol{paredes}} \rightarrow Transferencia\ de\ calor\ a\ través\ de\ las\ paredes$

$\dot{\boldsymbol{Q}}_{\boldsymbol{convección}} \rightarrow Transferencia\ por\ conveccion$

$\dot{\boldsymbol{Q}}_{\boldsymbol{radiación}} \rightarrow Transferencia\ de\ calor\ por\ radiación$

$\boldsymbol{h} \rightarrow coeficiente\ de\ convección\ del\ aire\ exterior\ a\ las\ paredes\ del\ horno$

$\boldsymbol{A_s} \rightarrow área\ de\ transferencia\ de\ calor\ de\ las\ paredes\ del\ horno$

$\boldsymbol{T_s} \rightarrow Temperatura\ de\ la\ superficie$

$\boldsymbol{T_\infty} \rightarrow Temperatura\ del\ fluido\ en\ contacto\ con\ la\ superficie\ (aire\ del\ ambiente)$

$\boldsymbol{\varepsilon} \rightarrow Emisividad\ del\ ladrillo$

$\boldsymbol{\sigma} \rightarrow Constante\ de\ Boltzman$

$\boldsymbol{T_{alrededor}}$
$\rightarrow Temperatura\ de\ los\ alrededores\ (aire\ del\ ambiente\ para\ este\ caso)$

- **Análisis de la convección:**

Para determinar h (el coeficiente de convección) es necesario obtener números adicionales según la orientación de la pared en cuestión y la temperatura.

Primero se determina estas propiedades obteniendo una temperatura llamada de película que es el resultado del promedio de temperaturas entre superficie y ambiente:

$$\boldsymbol{T_p = \frac{T_s + T_\infty}{2}} \qquad \textbf{[8]}$$

- ✓ Número de Rayleigh

$$R_a = \frac{g \times \beta (T_s - T_\infty) \times {L_c}^3}{v} \times P_r \qquad \textbf{[9]}$$

Con estas propiedades se obtiene el número adimensional de Rayleigh[22]. (Tabla A-15 del libro de Transferencia de Calor y Masa de Yunus A. Cengel).

$\boldsymbol{k} \rightarrow conductividad\ térmica$

$\boldsymbol{\beta} \rightarrow coeficiente\ de\ expansión\ volumétrica$

$\boldsymbol{v} \rightarrow viscosidad\ cinemática\ del\ fluido$

$\boldsymbol{P_r} \rightarrow representa\ el\ número\ de\ Prandtl$ (Número adimensional que depende de la temperatura de película del aire; tomado de la Tabla A-15)

$\boldsymbol{R_a} \rightarrow es\ el\ número\ de\ Rayleigh$

$\boldsymbol{g} \rightarrow gravedad$

$\boldsymbol{L_c} \rightarrow longitud\ característica\ de\ la\ superficie\ analizada\ (Tabla\ 9 - del\ libro\ de$ Transferencia de Calor y Masa de Yunus A. Cengel).

[22] **CENGEL, Yunus**; *Transferencia de Calor y Masa Un Enfoque Práctico*.Editorial McGraw-Hill, Tercera Edición, 2007.

Una vez obtenido el número de Rayleigh, obtenemos otro número adimensional Nusselt:

Para este caso el número de Nusselt es:

$$Nu = \left\{ 0,825 + \frac{0,387(R_a)^{\frac{1}{6}}}{\left[1+\left[\frac{0,492}{Pr}\right]^{\frac{9}{16}}\right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2 \quad [10]$$

De ahí el coeficiente de convección se despeja de la relación siguiente:

$$Nu = \frac{h \times L_c}{k} \quad [11]$$

- **Análisis de la radiación:**

Necesitamos solamente la emisividad del material, que tiene un valor de 0,93 a 0,96 para un ladrillo común.[23] según la tabla A-18.

- **Pérdida por los humos:**

$$\dot{Q}_{humos} = \dot{m}_{humos} \times C_{p_{humos}}(T_{humos} - T_{aire}) \quad [12]$$

[23] **CENGEL, Yunus**; *Transferencia de Calor y Masa Un Enfoque Práctico*.Editorial McGraw-Hill, Tercera Edición, 2007.

$\dot{m}_{humos}$

$\rightarrow$ *Flujo másico de los humos que se obtienen a partir de la relación estequiométrica en función con el flujo másico del combustible.*

$T_{aire} \rightarrow$ *la temperatura del aire es la temperatura ambiente*

$C_{p_{humos}} \rightarrow$ *el calor específico se obtiene de cada una de las componentes por sus fracciones*

4.4.1.1. ECUACIÓN ESTEQUIOMÉTRICA

Combustible en base seca:

Tabla 9. Masa de combustible seca

C	H	O	N	S	A
Carbono	Hidrógeno	Oxígeno	Nitrógeno	Azufre	Ceniza
49,04%	5,87%	43,97%	0,30%	0,1%	0,72%

Fuente: Horta Noguieira y Silva Lora. Dendroenergía Fundamentos y Aplicaciones (Tabla 3). Segunda Edición Río de Janeiro: Editorial Intercencia, 2003.

Tabla 10. Combustible en masa molar

Componente	% m/m	Peso molecular	Moles	Fracción molar
C **Carbono**	49,4	12	4,1167	0,3211
H **Hidrógeno**	5,91	1	5,91	0,461
O **Oxígeno**	44,29	16	2,7681	0,2159
N **Nitrógeno**	0,3	14	0,0214	0,0017
S **Azufre**	0,1	32	0,0031	0,0003
TOTAL	100%		12,8193	1

Elaborado por: Las autoras

Combustible en base molar:

$$0{,}3211C + 0{,}461H + 0{,}2159O + 0{,}0017N + 0{,}0003S$$

- **Transformación de la masa de combustible seca a masa aprovechable:**

$$\text{Factor} = \text{Componente x } \frac{100 - W^a}{100}$$

Ecuación 1. Porcentaje de masa aprovechable

Fuente: PANKRÁTOV,G. *"PROBLEMAS DE TERMOTECNIA (Tabla 1.1)"*, URSS: Editorial Mir Moscú, 1987,pág 8.

$W^a = \%\ de\ humedad\ de\ la\ madera$

Tabla 11. Humedad de la madera empleada

Humedad de la madera	Factor
10%	0,9
20%	0,8
30%	0,7

Fuente: Las autoras

Elaborado por: Las autoras

Tabla 12. Porcentaje del combustible en Masa Aprovechable

Componente	Porcentaje de humedad 10%	Porcentaje de humedad 20%	Porcentaje de humedad 30%
$\mathbf{C^a}$	44,136%	39,232%	34,328%
$\mathbf{H^a}$	5,283%	4,696%	4,109%
$\mathbf{O^a}$	39,573%	35,176%	30,779%
$\mathbf{N^a}$	0,27%	0,24%	0,21%
$\mathbf{S^a}$	0,09%	0,08%	0,07%
$\mathbf{A^a}$	0,648%	0,576%	0,504%
$\mathbf{W^a}$	10%	20%	30%

Fuente: Las autoras

Elaborado por: Las autoras

Poderes Caloríficos de las diferentes humedades de la leña

- **Poder Calorífico inferior del combustible:** Para combustibles sólidos

$$\boldsymbol{P_{ci} = 338 \times \%C^a + 1025 \times \%H^a - 108,5\,(O^a - S^a) - 25\%W^a \rightarrow P_{ci}: \frac{KJ}{kg}}$$

Ecuación 2. Poder Calorífico del Combustible

Fuente: PANKRÁTOV,G. *"PROBLEMAS DE TERMOTECNIA (Tabla 1.1)"*, URSS: Editorial Mir Moscú, 1987.

- **Humedad del 10%**

$$P_{ci} = 338\,(44{,}14) + 1025\,(5{,}28) - 108{,}5\,(39{,}57 - 0{,}09) - 25\,(10)$$

$$\boldsymbol{P_{ci} = 15797{,}74\ \frac{KJ}{Kg}}$$

- **Humedad del 20%**

$$P_{ci} = 338\,(39{,}23) + 1025\,(4{,}7) - 108{,}5\,(35{,}18 - 0{,}08) - 25\,(20)$$

$$\boldsymbol{P_{ci} = 13768{,}89\ \frac{KJ}{Kg}}$$

- **Humedad del 30%**

$$P_{ci} = 338\,(34{,}33) + 1025\,(4{,}11) - 108{,}5\,(30{,}78 - 0{,}07) - 25\,(30)$$

$$\boldsymbol{P_{ci} = 11734{,}15\ \frac{KJ}{Kg}}$$

- **Transformación a masa combustible desde masa seca**

$$Componente^c = Componente^s x\ \frac{100}{100 - A^s} \quad \rightarrow A^s\text{: ceniza en base seca.}$$

Ecuación 3. Porcentaje de masa combustible

Fuente: PANKRÁTOV,G. *"PROBLEMAS DE TERMOTECNIA (Tabla 1.1)"*, URSS: Editorial Mir Moscú, 1987,pág 8.

$$Factor = \frac{100}{100 - 0{,}72} = 1{,}0073$$

Tabla 13. Masa combustible

C	H	O	N	S
49,40%	5,91%	44,29%	0,3%	0,1%

Elaborado por: Las autoras

- **Ecuación estequiometria**

➢ **Combustión Completa**

$$(0{,}3211C + 0{,}461H + 0{,}2159O + 0{,}0017N + 0{,}0003S) + \text{at}\,(O_2 + 3{,}76N_2) \rightarrow \text{x}CO_2 + \text{y}\,H_2\text{O} + \text{z}SO_2 + \text{w}N_2$$

Ecuación 4. Ecuación estequiometria para la leña de eucalipto

Fuente: Yunus A. Cengel, "Termodinámica"

$(\mathbf{1})\ C \rightarrow 0.3211 = \text{x}$

$(\mathbf{2})\ H \rightarrow 0.461 = 2y$

$(\mathbf{3})\ O \rightarrow 0{,}2159 + 2at = 2\text{x} + \text{y} + \text{z}$

$(\mathbf{4})\ N \rightarrow 0{,}0017 + 2(3{,}76)at = 2w$

$(\mathbf{5})\ S \rightarrow 0.0003 = z$

Dónde:

$\boldsymbol{x} = 0{,}3211$

$\boldsymbol{y} = 0{,}2305$

$\boldsymbol{at} = 0{,}3287$

$\boldsymbol{w} = 1{,}2368$

$\boldsymbol{z} = 0{,}0003$

Ecuación Balanceada

$$0{,}3211C + 0{,}461H + 0{,}2159O + 0{,}0017N + 0{,}0003S + 0{,}3287(O_2 + 3{,}76N_2) \rightarrow 0{,}3211CO_2 + 0{,}2305H_2O + 0{,}0003SO_2 + 1{,}2368N_2$$

- **Combustión Incompleta:**

  - ✓ **Humedad del 10%**

$$x(0{,}3211C + 0{,}461H + 0{,}2159O + 0{,}0017N + 0{,}0003S) + a(O_2 + 3{,}76N_2) \rightarrow 4{,}91CO_2 + yCO + 15{,}66O + zN_2 + wSO_2 + vH_2O$$

x = un kilogramo-kilo mol de combustible

Por fracción volumétrica (molar) los productos secos suman el 100%.

$(\mathbf{1}) 4.91 + y + 15.66 + z + w = 100$

$(\mathbf{2})\ C \rightarrow 0.3211x = 4.91 + y$

$(\mathbf{3})\ H \rightarrow 0.461x = 2v$

$(\mathbf{4})\ S \rightarrow 0.0003x = w$

$(\mathbf{5})\ O \rightarrow 0.2159x + 2a = 2(4.91) + y + 2(15.66) + 2w + v$

$(\mathbf{6})\ N \rightarrow 0.0017x + 2(3.76)a = 2z$

Dónde:

$\boldsymbol{x} = 17{,}0013$

$\boldsymbol{y} = 0{,}5491$

$\boldsymbol{a} = 20{,}9738$

$\boldsymbol{w} = 0{,}0051$

$\boldsymbol{z} = 78{,}8758$

$\boldsymbol{v} = 3{,}9188$

Ecuación balanceada y dividida para x

$$(0{,}3211C + 0{,}461H + 0{,}2159O + 0{,}0017N + 0{,}0003S) + 1{,}2337(O_2 + 3{,}76N_2) \rightarrow 0{,}2888CO_2 + 0{,}0323CO + 0{,}9211O + 4{,}6394N_2 + 0{,}0003SO_2 + 0{,}2305H_2O$$

$$\text{Exceso de aire} = \frac{1{,}2337}{at} - 1 = \frac{1{,}2337}{0{,}3287} - 1 = 2{,}7533$$

$$\textbf{Exceso de aire} = \boldsymbol{275{,}33\%}$$

- ✓ **Humedad al 20%**

$$x(0{,}3211C + 0{,}461H_2 + 0{,}2159O_2 + 0{,}0017N_2 + 0{,}0003S) + \boldsymbol{a}(O_2 + 3{,}76N_2) \rightarrow 5.79CO_2 + \boldsymbol{y}CO + 14.87O_2 + \boldsymbol{z}N_2 + \boldsymbol{w}SO_2 + \boldsymbol{v}H_2O$$

$(\mathbf{1}) 5.79 + \mathrm{y} + 14.87 + \mathrm{z} + \mathrm{w} = 100$

$(\mathbf{2})\ C \rightarrow 0.3211x = 5.79 + \mathrm{y}$

$(\mathbf{3})\ H \rightarrow 0.461x = 2v$

$(\mathbf{4})\ S \rightarrow 0.0003x = w$

$(\mathbf{5})\ O \rightarrow 0.2159x + 2a = 2(5.79) + y + 2(14.87) + 2w + v$

$(\mathbf{6})\ N \rightarrow 0.0017x + 2(3.76)a = 2z$

Dónde:

$x = 19.2077$

$y = 0.3776$

$z = 78.9567$

$w = 0.0058$

$a = 20.9948$

$v = 4.4274$

Ecuación balanceada y divida entre x

$$(0{,}3211C + 0{,}461H_2 + 0{,}2159O_2 + 0{,}0017N_2 + 0{,}0003S) + 1.093\,(O_2 + 3{,}76N_2) \rightarrow 0.3014CO_2 + 0.0197CO + 0.07742O_2 + 4.1107N_2 + 0.0003SO_2 + 0.2305H_2O$$

$$\text{Exceso de Aire} = \frac{1.093}{at} - 1 = \frac{1{,}093}{0{,}3287} - 1 = 2{,}3252$$

$$\textbf{Exceso de Aire} = \mathbf{232{,}52}\%$$

- ✓ **HUMEDAD AL 30%**

$$x(0{,}3211C + 0{,}461H_2 + 0{,}2159O_2 + 0{,}0017N_2 + 0{,}0003S) + a(O_2 + 3{,}76N_2) \rightarrow 13.45CO_2 + yCO + 6.64O_2 + \boldsymbol{z}N_2 + wSO_2 + vH_2O$$

$(\mathbf{1}) 13.45 + \mathrm{y} + 6.64 + \mathrm{z} + \mathrm{w} = 100$

$(\mathbf{2})\ C \rightarrow 0.3211x = 13.45 + \mathrm{y}$

$(\mathbf{3})\ H \rightarrow 0.461x = 2v$

$(\mathbf{4})\ S \rightarrow 0.0003x = w$

$(\mathbf{5})\ O\ \rightarrow 0.2159x + 2a = 2(13.45) + \ y + 2(6.64) + \ 2w + v$

$(\mathbf{6})\ N\ \rightarrow 0.0017x + 2(3.76)a = 2z$

Dónde:

$x = 45.1628$

$y = 1.0518$

$z = 78.8447$

$w = 0.0136$

$a = 20.9591$

$v = 10.41$

Ecuación balanceada y divida entre x

$$(0{,}3211C\ +\ 0{,}461H_2\ +\ 0{,}2159O_2\ +\ 0{,}0017N_2\ +\ 0{,}0003S) + 0.4641\ (O_2\ +\ 3{,}76N_2) \rightarrow\ 0.2978CO_2 + 0.0233CO + 0.1472O_2 + 1.7458N_2 + 0.0003SO_2 + 0.2305H_2O$$

$$\text{Exceso de Aire} = \frac{0{,}4641}{at} - 1 = \frac{0{,}4641}{0{,}3287} - 1 = 0{,}41193$$

$$\mathbf{Exceso\ de\ Aire = 41.19\%}$$

4.4.1.2.BALANCE DE ENERGÍA

AL 10% DE HUMEDAD

$$\dot{Q}_{entra} = \dot{Q}_{sale} \rightarrow \dot{Q}_{comb} + \dot{Q}_{aire}$$

$$\dot{Q}_{sale} = \dot{Q}_{paredes} + \dot{Q}_{aberturas} + \dot{Q}_{inquemados} + \dot{Q}_{chimenea} + \dot{Q}_{neto} \quad \textbf{[13]}$$

Ecuación 13. Potencia calorífica del horno

Fuente: E.A. Auces y J.A.Rodríguez; Revista Ciencia e Ingeniería Vol. 24 No.3 **"***Cálculo de las necesidades de energía en un horno de relevo de esfuerzos***";** Universidad de Monterrey; México, 2003.

- ✓ **Calor del combustible**

$$\boldsymbol{\dot{Q}_{comb} = \dot{m}_{comb} \times P_{cinferior}} \quad \textbf{[14]}$$

Ecuación 14. Calor del combustible

Fuente: E.A. Auces y J.A.Rodríguez; Revista Ciencia e Ingeniería Vol. 24 No.3 **"***Cálculo de las necesidades de energía en un horno de relevo de esfuerzos***";** Universidad de Monterrey; México, 2003.

$$\dot{m}_{comb} = \dot{V}_{comb} \times \dot{\rho}_{comb}$$

$$\dot{m}_{comb} = 0{,}0375 \frac{m^3}{h} \times 780 \frac{Kg}{m^3}$$

$$\dot{m}_{comb} = 29{,}25 \frac{Kg}{h} = \boldsymbol{0{,}008125 \frac{Kg}{seg}}$$

$$\dot{Q}_{comb} = \left(0{,}008125 \frac{Kg}{seg}\right) * \left(15799{,}1375 \frac{KJ}{Kg}\right)$$

$$\boldsymbol{\dot{Q}_{comb} = 128{,}368\ KW}$$

✓ **Calor del aire**

$$\dot{\boldsymbol{Q}}_{\boldsymbol{aire}} = \dot{\boldsymbol{m}}_{\boldsymbol{aire}} \times \boldsymbol{h}_{\boldsymbol{aire}} \qquad \textbf{[15]}$$

Ecuación 15. Potencia calorífica del horno

Fuente: E.A. Auces y J.A.Rodríguez; Revista Ciencia e Ingeniería Vol. 24 No.3 **"***Cálculo de las necesidades de energía en un horno de relevo de esfuerzos***";** Universidad de Monterrey; México, 2003.

$$h_{aire} = 289{,}658 \ \frac{KJ}{Kg}$$

$\rightarrow$ *Entalpía del aire a Tempertura ambiente de quema* (16,5°), *tomado de la Tabla* $A-17$; $Cengel, Yanus$, "Termodinámica".

$$\dot{m}_{aire} = \textit{Flujo másico del aire a partir de la relación aire} - \textit{combustible}$$

$$R_{a-c} = \frac{aire}{combustible} = \frac{1{,}2337\ (4{,}76) mol \left(29 \frac{Kg}{mol}\right)}{1 mol \left(7{,}8884 \frac{Kg}{mol}\right)}$$

$$\boldsymbol{R_{a-c} = 21{,}5887}$$

$$\dot{m}_{comb_c} = \dot{m}_{comb} \times 0{,}89352$$

$$\dot{m}_{comb_c} = 0{,}008125 \frac{Kg}{seg} \times 0{,}89352$$

$$\boldsymbol{\dot{m}_{comb_c} = 0{,}00725985 \frac{Kg}{seg}}$$

$$\dot{m}_{aire} = \dot{m}_{comb_c} \times R_{a-c} = 0{,}00725985 \frac{Kg}{seg} \times 21{,}5887$$

$$\boldsymbol{\dot{m}_{aire} = 0{,}1568 \frac{Kg}{seg}}$$

$$\dot{Q}_{aire} = 0{,}1568\frac{Kg}{seg} \times 289{,}658\frac{KJ}{kg}$$

$$\boldsymbol{\dot{Q}_{aire} = 45{,}4184KW}$$

- ✓ **Calor de entra al horno**

$$\dot{Q}_{entra} = \dot{Q}_{comb} + \dot{Q}_{aire} = 128{,}368KW + 45{,}4184KW$$

$$\boldsymbol{\dot{Q}_{entra} = 173{,}7864KW}$$

- ✓ **Pérdida de Calor por las Paredes**

$$\boldsymbol{\dot{Q}_{paredes} = \dot{Q}_{p,convección} + \dot{Q}_{p,radiación}}$$

Ecuación 7. Potencia calorífica del horno

Fuente: E.A. Auces y J.A.Rodríguez; Revista Ciencia e Ingeniería Vol. 24 No.3 **"***Cálculo de las necesidades de energía en un horno de relevo de esfuerzos***";** Universidad de Monterrey; México, 2003.

$$\boldsymbol{h_{convección}} = A_s \times (T_{ep} - T_\infty) + \in \times \sigma \times ({T_{ep}}^4 - {T_{alr}}^4)$$

$\boldsymbol{h_{convección}} \rightarrow coeficiente\ de\ convección$

$\boldsymbol{T_{ep}} \rightarrow Temperatura\ externa\ de\ la\ pared$

$T_\infty \rightarrow Temperatura\ del\ fluido\ (aire\ del\ ambiente)$

$\boldsymbol{A_s} \rightarrow Area\ transversal\ de\ la\ paredes$

$\in \rightarrow Emisividad\ del\ ladrillo\ común, (0{,}96)$

$\boldsymbol{\sigma} \rightarrow Constante\ de\ Stefan - Boltzman\ \left(5{,}67x10^{-8}\frac{W}{m^2k^4}\right)$

$\boldsymbol{T_{alr}} \rightarrow Temperatura\ de\ los\ alrededores\ (en\ este\ caso\ del\ aire)$

- ✓ **Pérdida de Calor por Convección ($\dot{Q}_{p,convección}$) paredes laterales**

$$T_p = \frac{T_{ep} + T_\infty}{2}$$

Ecuación 8. Temperatura de película
Fuente: Yunus A. Cengel. "Transferencia de Calor; Tabla A-15"

$T_p \rightarrow Temperatura\ de\ película$

$$T_p = \frac{40{,}9 + 16{,}5}{2}$$

$$\boldsymbol{T_p = 28{,}7°C}$$

- ✓ **Número de Rayleigh**

$$\boldsymbol{R_a = \frac{g \times \beta(T_{ep} + T_\infty) \times Lc^3}{v^2} \times P_r}$$

$\boldsymbol{\beta} = 0{,}00331455K^{-1}$

$\boldsymbol{k} = 0{,}025769\frac{W}{mk}$

$\boldsymbol{v} = 1{,}5907x10^{-5}\frac{m^2}{seg}$

$\boldsymbol{P_r} = 0{,}72862$

$$R_a = \frac{\left(9{,}81\frac{m}{seg^2}\right)(0{,}00331455K^{-1})(40{,}9-16{,}5)°K(1m^3)}{\left(1{,}5907x10^{-5}\frac{m^2}{seg}\right)^2} \times 0{,}72862$$

$$\boldsymbol{R_a = 2284588{,}227}$$

- ✓ **Número de Nusselt**

$$\boldsymbol{Nu = \left\{0{,}825 + \frac{0{,}387(R_a)^{\frac{1}{6}}}{\left[1+\left[\frac{0{,}492}{P_r}\right]^{\frac{9}{16}}\right]^{\frac{8}{27}}}\right\}^2}$$

Ecuación 10. Número de Nuselt
Fuente: Yunus A. Cengel; "Transferencia de Calor y Masa; Ecuación 9-21"

$$\boldsymbol{Nu = 159{,}2977}$$

$$\boldsymbol{Nu = \frac{h \times L_c}{k} \rightarrow h = \frac{N_u \times k}{L_c}}$$

$$h = \frac{159{,}2977\left(0{,}025769\frac{W}{mk}\right)}{1m}$$

$$\boldsymbol{h = 4{,}1045\frac{W}{m^2k}}$$

$$\boldsymbol{\dot{Q}_{p,convección} = h \times A_s \times (T_{ep-}T_\infty)}$$

$$\dot{Q}_{p,convección} = 4{,}1045\frac{W}{m^2k} \times (1m \times 1m)(40{,}9-16{,}5)°K$$

$$\boldsymbol{\dot{Q}_{p,convección} = 100{,}1498W}$$

- ✓ **Pérdidas de Calor por Radiación**($\dot{Q}_{p,radiación}$)

$$\dot{\boldsymbol{Q}}_{\boldsymbol{p,radiación}} = \boldsymbol{\varepsilon} \times \boldsymbol{\sigma} \times \boldsymbol{A_s} \times (\boldsymbol{T_{ep}}^{\boldsymbol{4}} - \boldsymbol{T_{alr}}^{\boldsymbol{4}}) \qquad \textbf{[16]}$$

Ecuación 16. Pérdidas de calor por radiación

Fuente: E.A. Auces y J.A.Rodríguez; Revista Ciencia e Ingeniería Vol. 24 No.3 **"***Cálculo de las necesidades de energía en un horno de relevo de esfuerzos***";** Universidad de Monterrey; México, 2003.

$$\dot{Q}_{p,radiación} = 0{,}96 \times \left(5{,}67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 k^4}\right) \times (1m^2) \times (313{,}9^4 - 289{,}5^4)$$

$$\dot{\boldsymbol{Q}}_{\boldsymbol{p,radiación}} = \boldsymbol{146{,}1301W}$$

- ✓ **Pérdidas de Calor por Convección** ($\dot{Q}_{ps,convección}$)**, pared superior** → orientación distinta.

$$\boldsymbol{L_c = \frac{A_s}{P}} \qquad \textbf{[17]}$$

Ecuación 17. Longitud característica de la superficie

Fuente: Yunus A. Cengel; "Transferencia de Calor y Masa"; Ecuación 9-19

$\boldsymbol{A_s} \rightarrow Area\ superficial$

$\boldsymbol{P} \rightarrow Perímetro$

$$L_c = \frac{1m^2 - \pi \times \left(\frac{0{,}75m}{2}\right)^2}{4m}$$

$$\boldsymbol{L_c = 0{,}1396m}$$

$$R_a = \frac{\left(\frac{9{,}81m}{seg^2}\right) \times (0{,}00331455K^{-1})(40{,}9 - 16{,}5)°K(0{,}1396)^3}{\left(\frac{1{,}5907x10^{-5}m^2}{seg}\right)^2} \times 0{,}72862$$

$$\boldsymbol{R_a = 6215329{,}957}$$

- ✓ **Número de Nusselt**

$$\boldsymbol{Nu = 0{,}54{R_a}^{1/4}} \quad \textbf{[18]}$$

Ecuación 18. Número de Nusselt, convección natural de superficies
Fuente: Yunus A. Cengel; "Transferencia de Calor y Masa"; Ecuación 9-22.

$$\boldsymbol{Nu = 26{,}9625}$$

$$h = \frac{Nu \times k}{L_c}$$

$$h = \frac{26{,}9625 \times \left(\frac{0{,}025769W}{mk}\right)}{0{,}1396m}$$

$$\boldsymbol{h = \frac{4{,}9771W}{m^2k}}$$

$$\boldsymbol{\dot{Q}_{ps,convección} = h \times A_s \times (T_{ep} - T_\infty)}$$

$$\dot{Q}_{ps,convección} = 4{,}9771\frac{W}{m^2k} \times (0{,}5584m^2) \times (40{,}9 - 16{,}5)°K$$

$$\boldsymbol{\dot{Q}_{ps,convección} = 67{,}8128W}$$

$$\dot{\boldsymbol{Q}}_{\boldsymbol{paredes}} = \boldsymbol{4}\dot{\boldsymbol{Q}}_{\boldsymbol{plconvección}} + \dot{\boldsymbol{Q}}_{\boldsymbol{psconvección}} + \boldsymbol{5}\dot{\boldsymbol{Q}}_{\boldsymbol{p,radiación}}$$

$$\dot{Q}_{paredes} = 4(100{,}1498W) + 67, +5(146{,}1301W)$$

$$\dot{Q}_{paredes} = 1199{,}0625W$$

$$\dot{\boldsymbol{Q}}_{\boldsymbol{paredes}} = \boldsymbol{1{,}2KW}$$

- ✓ **Determinación de la Temperatura interna de la pared**

$$\dot{\boldsymbol{Q}}_{\boldsymbol{pared}} = \dot{\boldsymbol{Q}}_{\boldsymbol{convección}} + \dot{\boldsymbol{Q}}_{\boldsymbol{radiación}}$$

$$\dot{\boldsymbol{Q}}_{\boldsymbol{pared}} = \boldsymbol{246{,}28W}$$

$$\dot{Q}_{conducción} = \frac{k \times A}{L} \times (T_{ip} - T_{ep})$$

$k \rightarrow 0{,}72\frac{W}{mk}, tomado\ de\ la\ Tabla\ A-5\ Yunus.A\ Cengel; "Transferencia\ de\ Calor\ y\ Masa"$

$L \rightarrow 0{,}15m; espesor\ del\ ladrillo$

$$\boldsymbol{T_{ip}} = \frac{\boldsymbol{L} \times \dot{\boldsymbol{Q}}_{\boldsymbol{conducción}}}{\boldsymbol{K} \times \boldsymbol{A}} + \boldsymbol{T_{ep}}$$

$$T_{ip} = \frac{(0{,}15m) \times (246{,}28W)}{\left(\frac{0{,}72W}{mk}\right) \times 1m^2)} + 313{,}9°K$$

$$T_{ip} = 365{,}2084°K$$

$$\boldsymbol{T_{ip}} = \boldsymbol{92{,}2084°C}$$

✓ **Pérdida de Calor por las Aberturas**

$$\dot{\boldsymbol{Q}}_{\boldsymbol{aberturas}} = \boldsymbol{\sigma} \times \boldsymbol{A_s} \times (\boldsymbol{T_{ip}}^{\boldsymbol{4}} - \boldsymbol{T_{alr}}^{\boldsymbol{4}}) \qquad [19]$$

Ecuación 19. Pérdida de Calor por aberturas

Fuente: Fuente: E.A. Auces y J.A.Rodríguez; Revista Ciencia e Ingeniería Vol. 24 No.3 **"***Cálculo de las necesidades de energía en un horno de relevo de esfuerzos***";** Universidad de Monterrey; México, 2003.

$$\boldsymbol{A_s} \rightarrow \acute{a}rea\ de\ todas\ las\ aberturas \rightarrow (0{,}15)(0{,}3) + (0{,}15)(0{,}15) + \frac{\pi(0{,}75)^2}{4}$$

$$A_s = 0{,}5093m^2$$

$$\dot{Q}_{aberturas} = \left(5{,}67x10^{-8}\frac{W}{m^2k}\right) \times 0{,}5093m^2 \times (365{,}2084^4 - 289{,}5^4)k^4$$

$$\dot{\boldsymbol{Q}}_{\boldsymbol{aberturas}} = \mathbf{310{,}8733\ W = 0{,}3108733KW}$$

✓ **Pérdida de Calor por los Inquemados (cenizas)**

$$\dot{\boldsymbol{Q}}_{\boldsymbol{inquemados}} = \boldsymbol{Cantidad\ de\ ceniza} \times \boldsymbol{P_{ci}} \qquad \textbf{[20]}$$

Ecuación 20. Pérdida de Calor por Inquemados

Fuente: E.A. Auces y J.A.Rodríguez; Revista Ciencia e Ingeniería Vol. 24 No.3 **"***Cálculo de las necesidades de energía en un horno de relevo de esfuerzos***";** Universidad de Monterrey; México, 2003.

$$\dot{Q}_{inquemados} = \frac{1{,}2kg}{5horas} = \frac{0{,}24kg}{h} = \frac{0{,}0000667kg}{seg} \times \frac{15799{,}375KJ}{kg}$$

$$\dot{\boldsymbol{Q}}_{\boldsymbol{inquemados}} = \mathbf{1{,}0533}\boldsymbol{KW}$$

✓ **Pérdida de Calor por la chimenea: (**CO_2, CO, N_2, SO_2 y H_2O→Vapor)

$$\dot{Q}_{chimenea} = \dot{m}_{comb} \times \Delta T \times \sum(\frac{Rgas}{Rcomb} \times Cp\ gas) \qquad [21]$$

Ecuación 21. Pérdida de Calor por la chimenea

Fuente: E.A. Auces y J.A.Rodríguez; Revista Ciencia e Ingeniería Vol. 24 No.3 **"***Cálculo de las necesidades de energía en un horno de relevo de esfuerzos***";** Universidad de Monterrey; México, 2003.

$$\Delta T = (T_{chimenea} - T_{ambiente})$$

✓ **Calor perdido por los siguientes gases**

$$\frac{RCO_2}{R_{comb}} = \frac{0{,}2888kmol\left(\frac{44kg}{Kmol}\right)}{1Kmol\left(7{,}8884\frac{Kg}{Kmol}\right)} = 1{,}6109$$

$$\frac{RCO}{R_{comb}} = \frac{0{,}0323kmol\left(\frac{28kg}{Kmol}\right)}{1Kmol\left(7{,}8884\frac{kg}{Kmol}\right)} = 0{,}1147$$

$$\frac{RN_2}{R_{comb}} = \frac{4{,}6394kmol\left(\frac{28kg}{Kmol}\right)}{1Kmol\left(7{,}8884\frac{kg}{Kmol}\right)} = 16{,}4676$$

$$\frac{RO_2}{R_{comb}} = \frac{0{,}9211kmol\left(\frac{32Kg}{Kmol}\right)}{1Kmol\left(7{,}8884\frac{Kg}{Kmol}\right)} = 3{,}7365$$

$$\frac{RSO_2}{R_{comb}} = \frac{0{,}0003kmol\left(\frac{64Kg}{Kmol}\right)}{1Kmol\left(7{,}8884\frac{Kg}{Kmol}\right)} = 0{,}0025$$

$$\frac{RH_2O}{R_{comb}} = \frac{0{,}2305kmol\left(\frac{18Kg}{Kmol}\right)}{1Kmol\left(7{,}8884\frac{Kg}{Kmol}\right)} = 0{,}526$$

Calor Específico de los gases según la Tabla A-2 "Termodinámica" de Yunus, A. Cengel.

$$CO_2 \rightarrow C_p = \frac{0{,}846kJ}{kg.K}$$

$$CO \rightarrow C_p = \frac{1{,}04kJ}{kg.K}$$

$$N_2 \rightarrow C_p = \frac{1{,}039kJ}{kg.K}$$

$$O_2 \rightarrow C_p = \frac{0{,}918kJ}{kg.K}$$

$$SO_2 \rightarrow C_p = \frac{0{,}632kJ}{kg.K}$$

$$H_2O \rightarrow C_p = \frac{1{,}8723kJ}{kg.K}$$

$$\dot{Q}_{chimenea} = \frac{0{,}00725985kg}{seg} \times (423{,}1 - 16{,}5)°K \times (1{,}6109 \times 0{,}846 + 0.1147 \times 1{,}04 + 16{,}4676 \times 1{,}039 + 3{,}7365 \times 0{,}918 + 0{,}0025 \times 0{,}632 + 0{,}526 \times 1{,}8723)$$

$$\dot{Q}_{chimenea} = 2{,}95185501(23{,}0084626)$$

$$\boldsymbol{\dot{Q}_{chimenea} = 67{,}9177KW}$$

- ✓ **Calor Neto**

$$\boldsymbol{\dot{Q}_{neto} = \dot{Q}_{entra} - \dot{Q}_{pérdidas}}$$

$$\dot{Q}_{neto} = 173{,}7864KW - (1{,}2KW + 0{,}311KW + 1{,}0533KW + 67{,}9177KW)$$

$$\boldsymbol{\dot{Q}_{neto} = 103{,}3044KW \rightarrow Potencia\ Calórica\ del\ Horno}$$

Para las humedades del 20 y 30% se emplea el mismo proceso y las fórmulas citadas anteriormente.

AL 20% DE HUMEDAD

$$\dot{Q}_{entra} = \dot{Q}_{sale} \rightarrow \dot{Q}_{comb} + \dot{Q}_{aire} = \dot{Q}_{paredes} + \dot{Q}_{aberturas} + \dot{Q}_{inquemados} + \dot{Q}_{chimenea} + \dot{Q}_{neto}$$

- ✓ **Calor del Combustible**

$$\boldsymbol{\dot{Q}_{comb} = \dot{m}_{comb} \times P_{cinferior}}$$

$$\dot{m}_{comb} = \dot{V}_{comb} \times \dot{\rho}_{comb}$$

$$\dot{m}_{comb} = 0{,}0375\,\frac{m^3}{h} \times 780\,\frac{Kg}{m^3}$$

$$\dot{m}_{comb} = 29{,}25\,\frac{Kg}{h} = 0{,}008125\,\frac{Kg}{seg}$$

$$\dot{Q}_{comb} = \left(0{,}008125\,\frac{Kg}{seg}\right) \times \left(11732{,}6625\,\frac{KJ}{Kg}\right)$$

$$\boldsymbol{\dot{Q}_{comb} = 95{,}3275\ KW}$$

- ✓ **Calor del aire**

$$\boldsymbol{\dot{Q}_{aire} = \dot{m}_{aire} \times h_{aire}}$$

$$h_{aire} = 290{,}16\,\frac{KJ}{Kg}$$

Entalpía del aire a Tempertura ambiente de quema (17°), *tomado de la Tabla A − 17; Cengel, Yanus,* "Termodinámica".

$$\dot{m}_{aire} = \ Flujo\ másico\ del\ aire\ a\ partir\ de\ la\ relación\ aire - combustible$$

$$R_{a-c} = \frac{aire}{combustible} = \frac{0{,}4641(4{,}76)mol(29\frac{Kg}{mol})}{1mol(7{,}8884\frac{Kg}{mol})}$$

$$\boldsymbol{R_{a-c} = 8{,}1213}$$

$$\dot{m}_{aire} = \ \dot{m}_{comb} \times 0{,}685$$

$$\dot{m}_{comb_c} = \ 0{,}008125\frac{k}{seg} \times 0{,}685$$

$$\boldsymbol{\dot{m}_{comb_c} = \ 0{,}00557\frac{kg}{seg}}$$

$$\dot{m}_{aire} = \ \dot{m}_{comb_c} \times R\ A/C = 0{,}00557\frac{Kg}{seg} \times 8{,}1213$$

$$\dot{m}_{aire} = 0{,}0452\frac{Kg}{seg}$$

$$\dot{Q}_{aire} = \ 0{,}0452\frac{Kg}{seg} \times 290{,}16\frac{KJ}{kg}$$

$$\boldsymbol{\dot{Q}_{aire} = \ 13{,}115KW}$$

- ✓ **Calor que entra en el horno**

$$\dot{Q}_{entra} = \ \dot{Q}_{comb} \ + \ \dot{Q}_{aire} \ = \ 95{,}3275\ KW + 13{,}115KW$$

$$\boldsymbol{\dot{Q}_{entra} = 108{,}4425KW}$$

- ✓ **Pérdida de Calor por las Paredes**

$$\boldsymbol{\dot{Q}_{paredes} \ = \ \dot{Q}_{p,convección} \ + \ \dot{Q}_{p,radiación}}$$

$$h_{convección} \ = A_s \times \left(T_{ep} - T_{\infty}\right) + \in \times \ \sigma \times \left({T_{ep}}^4 - \ {T_{alr}}^4\right)$$

✓ **Pérdidas de Calor por Convección** ($\dot{Q}_{p,convección}$)

$$T_p = \frac{T_{ep} + T_\infty}{2}$$

$$T_p = \frac{52{,}08 + 17}{2}$$

$$\boldsymbol{T_p = 34{,}54°C}$$

✓ **Número de Rayleigh**

$$\boldsymbol{R_a = \frac{g \times \beta(T_{ep} + T_\infty) \times Lc^3}{v^2} \times P_r}$$

$\beta = 0{,}003314K^{-1}$

$k = 0{,}02622\frac{W}{mk}$

$v = 2{,}2707x10^{-5}\frac{m^2}{seg}$

$P_r = 0{,}72693$

$$R_a = \frac{\left(9{,}81\frac{m}{seg^2}\right)(0{,}0033K^{-1})(52{,}08-17)°K(1m^3)}{(2{,}2707x10^{-5}\frac{m^2}{seg})^2} \times 0{,}72693$$

$$\boldsymbol{R_a = 1601089481}$$

✓ **Número de Nusselt**

$$\boldsymbol{Nu = \left\{ 0,825 + \frac{0,387(R_a)^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left[\frac{0,492}{P_r}\right]^{\frac{9}{16}}\right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2}$$

$$Nu = 142,58$$

$$Nu = \frac{h \times L_c}{K} \rightarrow h = \frac{N_u \times K}{L_c}$$

$$h = \frac{142,58(0,02622\,\frac{W}{mk})}{1m}$$

$$\boldsymbol{h = 3,738\frac{W}{m^2 k}}$$

$$\dot{Q}_{p,convección} = h \times A_s \times (T_{ep} - T_\infty)$$

$$\dot{Q}_{p,convección} = 3,7385\frac{W}{m^2 k} \times (1m \times 1m)(52,08 - 17)°K$$

$$\boldsymbol{\dot{Q}_{p,convección} = 131,146W}$$

✓ **Pérdidas de Calor por Radiación**

$$(\dot{Q}_{p,radiación})$$

$$\dot{Q}_{p,radiación} = \in \times \sigma \times A_s \times ({T_{ep}}^4 - {T_{alr}}^4)$$

$$\dot{Q}_{p,radiación} = 0,96 \times (5,67 \times 10^{-8}\frac{W}{m^2 k^4}) \times (1m^2) \times (325,08^4 - 290^4)$$

$$\boldsymbol{\dot{Q}_{p,radiación} = 222,8892W}$$

- ✓ **Pérdidas de Calor por Convección** ($\dot{Q}_{ps,convección}$), **pared superior** → orientación distinta.

$$L_c = \frac{A_s}{P}$$

$A_s \rightarrow Area\ superficial$

$P \rightarrow Perímetro$

$$L_c = \frac{(1m^2 - \pi \times (\frac{0{,}75m}{2})^2}{4m}$$

$$\boldsymbol{L_c = 0,1396m}$$

$$R_a = \frac{\left(\frac{9{,}81m}{seg^2}\right) \times (0{,}0033) \times (52{,}08 - 17)°K \times (0{,}1396m)}{\left(2{,}2707x10^{-5}\frac{m^2}{seg}\right)^2} \times 0{,}72693$$

$$\boldsymbol{R_a = 223512091,6}$$

- ✓ **Número de Nusselt**

$$\boldsymbol{Nu = (0,15)(R_a)^{\frac{1}{3}}}$$

$$Nu = 91{,}0314$$

$$Nu = \frac{h \times L_c}{K} \rightarrow h = \frac{N_u \times K}{L_c}$$

$$h = \frac{91.0314(0{,}02622\frac{W}{mk})}{0{,}1396m}$$

$$\boldsymbol{h = 17,0977\frac{W}{m^2k}}$$

$$\dot{Q}_{p,convección} = 17{,}0977\frac{W}{m^2k} \times (0.1396m \times 4)(52{,}08 - 17)°K$$

$$\boldsymbol{\dot{Q}_{p,convección} = 334{,}9212W}$$

$$\dot{Q}_{paredes} = 4\dot{Q}_{p,convección} + \dot{Q}_{p,convección} + 5\dot{Q}_{p,radiación}$$

$$\dot{Q}_{paredes} = 1973{,}9512W$$

$$\boldsymbol{\dot{Q}_{paredes} = 1.97KW}$$

- ✓ **Determinación de la Temperatura interna de la pared**

$$\dot{Q}_{paredes} = \dot{Q}_{p,convección} + \dot{Q}_{p,radiación}$$

$$\dot{Q}_{paredes} = 244.12W$$

$$\dot{Q}_{p,conducción} = \frac{K \times A}{L} \times (Tip - Tep)$$

$K = 0.72\frac{W}{mk}$ (Constante tomada de la tabla A-5 de Transferencia de Calor de Cengel)

$L = 0.15m$ (Espesor del Ladrillo)

$$Tip = \frac{L \times \dot{Q}_{p,conducción}}{K \times A} + Tep$$

$$Tip = 398.8373°K$$

$$\boldsymbol{Tip = 125.8373℃}$$

- ✓ **Pérdida de Calor por las Aberturas**

$$\dot{Q}_{aberturas} = \sigma \times As\left(Tip^4 - {T_{alr}}^4\right)$$

$$\dot{Q}_{aberturas} = \left(\frac{5.76x10^{-8}\,W}{m^2k^4}\right) \times 0.5093m^2(398{,}8373^4 - 290^4)k^4$$

$$\boldsymbol{\dot{Q}_{aberturas} = 526.4574\,W}$$

$$\boldsymbol{\dot{Q}_{aberturas} = 0{,}5265\,KW}$$

- ✓ **Pérdida de Calor por los Inquemados**

$$\dot{Q}_{inquemados} = \frac{1.5\,Kg}{7\,horas} \rightarrow \frac{0.2142\,Kg}{h} \rightarrow \frac{0.0000595\,Kg}{s}$$

$$\dot{Q}_{inquemados} = 0.0000595Kg/s \times 11732.6625\,KJ/Kg$$

$$\boldsymbol{\dot{Q}_{inquemados} = 0.6984\,Kw}$$

- ✓ **Pérdida de Calor por la chimenea:**

Calor perdido por el vapor de los siguientes gases

$$CO_2 = 1{,}6611\,Kw \times \frac{0.846KJ}{Kg \times k}$$

$$CO = 0{,}0827Kw \times \frac{1.04KJ}{Kg \times k}$$

$$N_2 = 6{,}1968\,Kw \times \frac{1.039KJ}{Kg \times k}$$

$$O_2 = 0{,}5963\,Kw \times \frac{0.918KJ}{Kg \times k}$$

$$SO_2 = 0{,}0024\,Kw \times \frac{0.632KJ}{Kg \times k}$$

$$H_2O = 0.526\,Kw \times \frac{1{,}8723KJ}{Kg \times k}$$

$$\dot{Q}_{chimenea} = \dot{m}_{comb} \times \Delta T \times \sum (\frac{Rgas}{Rcomb} \times Cp\ gas)$$

$$\dot{Q}_{chimenea} = 0.00559 \times 220.5 \times 9{,}4633$$

$$\boldsymbol{\dot{Q}_{chimenea} = 11,6644KW}$$

Calor que entra:

$$\dot{Q}_{entra} = \dot{Q}_{pérdidas+}\, \dot{Q}_{neto}$$

$$\dot{Q}_{neto} = \dot{Q}_{entra} - \dot{Q}_{pérdidas}$$

$$\dot{Q}_{neto} = 108{,}4715kw - (11{,}6644kw + 1{,}974kw + 0{,}6984kw + 0{,}5265kw)$$

$$\boldsymbol{\dot{Q}_{neto} = 93,6082\ KW}$$

AL 30% DE HUMEDAD

$$\dot{Q}_{entra} = \dot{Q}_{sale} \rightarrow \dot{Q}_{comb} + \dot{Q}_{aire}$$
$$= \dot{Q}_{paredes} + \dot{Q}_{aberturas} + \dot{Q}_{inquemados} + \dot{Q}_{chimenea} + \dot{Q}_{neto}$$

- ✓ **Calor del combustible**

$$\boldsymbol{\dot{Q}_{comb} = \dot{m}_{comb} \times P_{cinferior}}$$

$$\dot{m}_{comb} = \dot{V}_{comb} \times \dot{\rho}_{comb}$$

$$\dot{m}_{comb} = 0{,}0375 \frac{m^3}{h} \times 780 \frac{Kg}{m^3}$$

$$\dot{m}_{comb} = 29{,}25 \frac{Kg}{h} = \boldsymbol{0,008125 \frac{Kg}{seg}}$$

$$\dot{Q}_{comb} = \left(0{,}008125\,\frac{Kg}{seg}\right) \times \left(13765{,}9\,\frac{KJ}{Kg}\right)$$

$$\boldsymbol{\dot{Q}_{comb} = 111{,}848\ KW}$$

- ✓ **Calor del aire**

$$\boldsymbol{\dot{Q}_{aire} = \dot{m}_{aire} \times h_{aire}}$$

$$h_{aire} = 289{,}859\ \frac{KJ}{Kg}$$

→ *Entalpía del aire a Tempertura ambiente de quema* (16,7°), *tomado de la Tabla A − 17; Cengel, Yanus,* "Termodinámica".

$$\dot{m}_{aire} = \textit{Flujo másico del aire a partir de la relación aire} - \textit{combustible}$$

$$R_{a-c} = \frac{aire}{combustible} = \frac{1{,}093\ (4{,}76)mol(29\,\frac{Kg}{mol})}{1mol(7{,}8884\,\frac{Kg}{mol})}$$

$$\boldsymbol{R_{a-c} = 19{,}1265}$$

$$\dot{m}_{comb_c} = \dot{m}_{comb} \times 0{,}79352$$

$$\dot{m}_{comb_c} = 0{,}008125\,\frac{Kg}{seg} \times 0{,}79352$$

$$\boldsymbol{\dot{m}_{comb_c} = 0{,}00644735\,\frac{Kg}{seg}}$$

$$\dot{m}_{aire} = \dot{m}_{comb_c} \times 19{,}1265 = 0{,}00644735 \frac{Kg}{seg} \times 19{,}1265$$

$$\boldsymbol{\dot{m}_{aire} = 0{,}1233 \frac{Kg}{seg}}$$

$$\dot{Q}_{aire} = 0{,}1233 \frac{Kg}{seg} \times 289{,}859 \frac{KJ}{kg}$$

$$\boldsymbol{\dot{Q}_{aire} = 35{,}7396 KW}$$

- ✓ **Calor que entra en el horno**

$$\dot{Q}_{entra} = \dot{Q}_{comb} + \dot{Q}_{aire} = 111{,}848KW + 35{,}7396KW$$

$$\boldsymbol{\dot{Q}_{entra} = 147{,}5876 KW}$$

- ✓ **Pérdida de Calor por las Paredes**

$$\boldsymbol{\dot{Q}_{paredes} = \dot{Q}_{p,convección} + \dot{Q}_{p,radiación}}$$

$$h_{convección} = A_s \times (T_{ep} - T_\infty) + \in \times \sigma \times (T_{ep}{}^4 - T_{alr}{}^4)$$

- ✓ **Pérdidas de Calor por Convección** ($\dot{Q}_{p,convección}$)

$$T_p = \frac{T_{ep} + T_\infty}{2}$$

$$T_p = \frac{40{,}9 + 16{,}7}{2}$$

$$\boldsymbol{T_p = 28{,}8°C}$$

- ✓ **Número de Rayleigh**

$$\boldsymbol{R_a = \frac{g \times \beta(T_{ep} + T_\infty) \times Lc^3}{v^2} \times P_r}$$

$\beta = 0{,}003314K^{-1}$

$k = 0{,}02579\frac{W}{mk}$

$v = 1{,}59316x10^{-5}\frac{m^2}{seg}$

$P_r = 0{,}728536$

$$R_a = \frac{\left(9{,}81\frac{m}{seg^2}\right)(0{,}003314K^{-1})(40{,}9 - 16{,}7)°K(1m^3)}{\left(1{,}59136x10^{-5}\frac{m^2}{seg}\right)^2} \times 0{,}728536$$

$$\boldsymbol{R_a = 2263207{,}806}$$

- ✓ **Número de Nusselt**

$$\boldsymbol{Nu = \left\{ 0{,}825 + \frac{0{,}387(R_a)^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left[\frac{0{,}492}{P_r}\right]^{\frac{9}{16}}\right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2}$$

$$\boldsymbol{Nu = 158{,}8316}$$

$$\boldsymbol{Nu = \frac{h \times L_c}{k} \rightarrow h = \frac{N_u \times k}{L_c}}$$

$$h = \frac{158{,}8316\left(0{,}025769\frac{W}{mk}\right)}{1m}$$

$$\boldsymbol{h = 4{,}0929\frac{W}{m^2k}}$$

$$\dot{Q}_{p,convección} = h \times A_s \times (T_{ep} - T_\infty)$$

$$\dot{Q}_{p,convección} = 4{,}0929\frac{W}{m^2k} \times (1m \times 1m)(40{,}9 - 16{,}7)°K$$

$$\boldsymbol{\dot{Q}_{p,convección} = 99{,}04818W}$$

- ✓ **Pérdida de Calor por Radiación**($\dot{Q}_{p,radiación}$)

$$\boldsymbol{\dot{Q}_{p,radiación} = \in \times \sigma \times A_s \times (T_{ep}{}^4 - T_{alr}{}^4)}$$

$$\dot{Q}_{p,radiación} = 0{,}96 \times (5{,}67 \times 10^{-8}\frac{W}{m^2k^4}) \times (1m^2) \times (313{,}9^4 - 289.7^4)$$

$$\boldsymbol{\dot{Q}_{p,radiación} = 145{,}0725W}$$

- ✓ **Pérdida de Calor por Convección** ($\dot{Q}_{ps,convección}$), **pared superior** → orientación distinta.

$$\boldsymbol{L_c = \frac{A_s}{P}}$$

$$\boldsymbol{L_c = 0{,}1396m}$$

$$R_a = \frac{\left(\frac{9{,}81m}{seg^2}\right) \times (40{,}9 - 16{,}7)°K \times (0{,}1396m)^3}{\left(1{,}5907x10^{-5}\frac{m^2}{seg}\right)^2} \times 0{,}72862$$

$$\boldsymbol{R_a = 6164384{,}63}$$

- ✓ **Número de Nusselt**

$$\boldsymbol{Nu = 0{,}54{R_a}^{1/4}}$$

$$\boldsymbol{Nu = 27{,}3155}$$

$$h = \frac{27{,}3155(0{,}02579\frac{W}{mk})}{0{,}1396m}$$

$$\boldsymbol{h = 5{,}0463\frac{W}{m^2k}}$$

$$\dot{Q}_{p,convección} = 5{,}0463\frac{W}{m^2k} \times (0.1396m \times 4)(40{,}9 - 16{,}7)°K$$

$$\boldsymbol{\dot{Q}_{paredes} = 4\dot{Q}_{plconvección} + \dot{Q}_{psconvección} + 5\dot{Q}_{p,radiación}}$$

$$\dot{Q}_{paredes} = 1189.74722W$$

$$\boldsymbol{\dot{Q}_{paredes} = 1.18kw}$$

- ✓ **Determinación de la Temperatura interna de la pared**

$$\boldsymbol{\dot{Q}_{paredes} = \dot{Q}_{p,convección} + \dot{Q}_{p,radiación}}$$

$$\boldsymbol{\dot{Q}_{paredes} = 244.12W}$$

$$\dot{Q}_{p,conducción} = \frac{K \times A}{L} \times (Tip - Tep)$$

$$\boldsymbol{Tip = \frac{L \times \dot{Q}_{p,conducción}}{K \times A} + Tep}$$

$$Tip = 364.7583°K$$

$$\boldsymbol{T_{ip} = 91.76℃}$$

- ✓ **Pérdida de Calor por las Aberturas**

$$\boldsymbol{\dot{Q}_{aberturas} = \sigma \times As(Tip^4 - T_{alr}{}^4)}$$

$$\dot{Q}_{aberturas} = \left(\frac{5.76x10^{-8}\,W}{m^2k^4}\right) \times 0.5093m^2(365.2084^4 - 289.7^4)k^4$$

$$\boldsymbol{\dot{Q}_{aberturas} = 310.3121\,W}$$

- ✓ **Pérdida de Calor por los Inquemados (cenizas)**

$$\boldsymbol{\dot{Q}_{inquemados} = Cantidad\ de\ ceniza \times P_{ci}}$$

$$\dot{Q}_{inquemados} = \frac{1.2\ Kg}{5\ horas} \rightarrow \frac{0.24\ Kg}{h} \rightarrow \frac{0.0000667\ kg}{seg} \times 13765.9\frac{KJ}{kg}$$

$$\boldsymbol{\dot{Q}_{inquemados} = 0.9181\ KW}$$

✓ **Pérdida de Calor por la chimenea: (**CO_2, CO, N_2, SO_2 y H_2O→Vapor)

$$\dot{\boldsymbol{Q}}_{\boldsymbol{chimenea}} = \dot{\boldsymbol{m}}_{\boldsymbol{comb}} \times \Delta\mathbf{T} \times \sum(\frac{\boldsymbol{Rgas}}{\boldsymbol{Rcomb}} \times \boldsymbol{Cp\ gas})$$

✓ **Calor perdido por los siguientes gases**

$$CO_2 = 1{,}6811\ Kw \times Calor\ Especifico$$

$$CO_2 = 1{,}6811\ Kw \times \frac{0.846KJ}{Kg \times k}$$

$$CO = 0{,}069Kw \times \frac{1.04KJ}{Kg \times k}$$

$$N_2 = 14{,}5909\ Kw \times \frac{1.039KJ}{Kg \times k}$$

$$O_2 = 3{,}14\ Kw \times \frac{0.918KJ}{Kg \times k}$$

$$SO_2 = 0{,}0024\ Kw \times \frac{0.632KJ}{Kg \times k}$$

$$H_2O = 0.526\ Kw \times \frac{1{,}8723KJ}{Kg \times k}$$

$$\dot{Q}_{chimenea} = 0.0064532 \times 426.4 \times 20.5227$$

$$\dot{\boldsymbol{Q}}_{\boldsymbol{chimenea}} = \mathbf{56.47\ KW}$$

- ✓ **Calor Neto**

$$\dot{Q}_{neto} = \dot{Q}_{entra} - \dot{Q}_{pérdidas}$$

$$\dot{Q}_{neto} = 147{,}5876KW - (1{,}18KW + 0{,}310KW + 0{,}9182KW + 56{,}47KW)$$

$$\dot{Q}_{neto} = \mathbf{88{,}70\ KW}$$

Con dicho análisis se determinará la potencia calórica del horno (calor neto); la misma que está en función de todos los parámetros tomados en cuenta en capítulos anteriores como son: humedad y tamaño; como parámetro base del estudio, consumo de combustible y análisis de gases.

Para obtener la potencia calórica del horno (calor neto) se consideró la teoría del balance de energía "que la cantidad de calor que entra al horno es igual a la cantidad de calor que sale" para lo cual se toma las pérdidas producidas en la quema, las cuales son pérdida de calor por la chimenea, paredes, aberturas e inquemados (cenizas).

Se calculó que con una humedad al 10% el calor neto del horno es de 103,3044 KW, al 20% es 93,6082 KW y al 30% es 88,4371 KW; por lo que se puede demostrar que a una menor humedad se obtiene una cantidad mayor de calor neto disponible-aprovechable en el proceso de combustión para obtener un producto de calidad, disminuyendo el tiempo de quema y el consumo de combustible.

Tabla 14. Potencia Calorífica del Horno

Calor que entra		Pérdidas de Calor				Potencia Calórica del horno
Humedad de la leña	$\dot{Q}_{entra}$	**Paredes**	**Chimenea**	**Inquemados (cenizas)**	**Aberturas**	$\dot{Q}_{neto}$ **Calor neto**
10%	173,7864KW	1,2KW	67,9177KW	1,0533KW	0,310KW	**103,3044**
20%	108,4715KW	1,974KW	11,6644KW	0,6984KW	0,5265KW	**93,6082KW**
30%	147,5876KW	1,18KW	56,47KW	0,9181KW	0,310KW	**88,70KW**

Fuente: Las autoras

Elaborado por: Las autoras

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.CONCLUSIONES

- Con una modificación del tamaño y grado de humedad del combustible leña se puede optimizar el uso del combustible en la quema de ladrillos, obteniendo resultados significativos por lo que la hipótesis H1: Se puede alcanzar una eficiencia energética con la modificación del tamaño y grado de humedad del combustible leña, es aceptada.

- Se comprobó que la humedad óptima de la leña se encuentra en un rango del 10 al 15%, si ésta se encuentra muy húmeda o verde contamina más, por el proceso de combustión incompleta que se da, esto provoca un mayor consumo de calorías para remover el agua que contiene para comenzar la combustión. Si la leña está seca, se pierde menos cantidad de calorías para iniciar el proceso de combustión, se emiten menos gases durante la combustión, disminuyendo el consumo de combustible.

- A mayor humedad de la leña, disminuye el calor neto o calor disponible. Con una humedad al 10% se dispone de 103,3044 KW de calor neto, al 20% de 93,6522 KW y al 30% de 88,4371 KW. Por lo que se concluye que se puede alcanzar una eficiencia energética controlando el grado de humedad de la leña.

- El tamaño de la leña es mejor mientras más troceado esté, se obtuvo que entre los tres tamaños utilizados: un tronco (1), un medio de tronco (1/2) y un cuarto de tronco (1/4); el mejor fue el un cuarto de tronco ya que al estar más troceado aumenta la superficie específica de la leña y éste a su vez aumenta la superficie de contacto entre el combustible y el comburente, mejorando la combustión.

- El consumo de leña en condiciones óptimas determinadas, es decir un rango de 10 al 15% de humedad en comparación con la leña empleada usualmente en la industria ladrillera 30 al 40%, se reduce en un 10,84%.

5.2. RECOMENDACIONES

- Para garantizar una mejor combustión, se recomienda emplear combustibles con bajo contenido de humedad, aprovechando así el máximo poder calorífico del combustible.

- Se recomienda que para nuevas investigaciones se tome en consideración el control de otros parámetros no sólo en la etapa de cocción sino también en las etapas de preparación de ladrillo crudo (mezcla y moldeo).

- Se puede alcanzar una eficiencia energética en la actividad ladrillera sólo con buenas prácticas ambientales, entre las que se puede considerar para futuras indagaciones es la forma de llenado del horno, la forma de parrillado, y suministro de aire por medios externos.

BIBLIOGRAFÍA

- **ROBUSTÉ, Eloy.** *Técnica y práctica de la Industria Ladrillera II.* Editorial: CEAC. Barcelona, 1963.

- **CAMPS, Manuel y MARTÍN, Francisco.** *Los Biocombustibles.* Ediciones Mundi-Prensa Madrid, 2008.

- **CENGEL, Yunus**; *Transferencia de calor y masa Un Enfoque Práctico*. Tercera Edición. Editorial McGraw-Hill. México, 2007.

- **CENGEL, Yunus y BOLES, Michael**; *Termodinámica.* Sexta Edición Editorial McGraw-Hill. México, 2009.

- **HORTA, Luiz y SILVA, Electo**. *Dendroenergía: Fundamentos y Aplicaciones.* Editorial Intercencia. Río de Janeiro., 2003.

- **SANTANA, Cristihan.** "Contaminación a Leña", Ponencia presentada en el curso IQ588 Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Chile, 2004.

REFERENCIAS WEB

- **MINISTERIO DEL AMBIENTE,** *"Línea Base de Deforestación del Ecuador Continental"*, Quito-Ecuador, 2012, p. 6, Recuperado Junio 2013 http://sociobosque.ambiente.gob.ec/files/Folleto%20mapa-parte1.pdf

- **SWISSCONTACT, MINISTERIO DEL AMBIENTE PERÚ.** *Guía de Buenas Prácticas Ambientales Para Ladrilleras Artesanales.* Perú : s.n., 2009. Recuperado en Mayo 2012. http://www.ucsm.edu.pe/SIAR/siar/images/Doc%20Tec%20pdf/090526%20GBPALadrilleras.pdf

- **MARTÍN, Francisco y NUÑEZ, Ángel.** *Biomasa Forestal: fuente energética.* Madrid, 2006. Recuperado en Agosto 2013. http://es.scribd.com/doc/53753911/Biomasa-Forestal-Fuente-Energetic-A.

- **E.A. Auces y J.A.Rodríguez**; Revista Ciencia e Ingeniería Vol. 24 No.3 **"***Cálculo de las necesidades de energía en un horno de relevo de esfuerzos***";** Universidad de Monterrey; México, 2003. Recuperado en Julio 2013. http://erevistas.saber.ula.ve/index.php/cienciaeingenieria/article/viewFile/375/385

- **FAO**, *Depósito de documentos de la FAO*, UWET – Unified Wood Energy Terminology (Terminología Unificada sobre Dendroenergía), 2003. Recuperado en Mayo 2013. http://www.fao.org/docrep/008/j0926s/J0926s06.htm.

- **NORMA INEN 294**, *Ladrillos Cerámicos, Determinación de la Resistencia a la Compresión*, 1977. Recuperado en Febrero 2013. http://www.inen.gob.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=206&Itemid=62

- Proyecto QualityWood – EIE/06/178/SI2.444403 “Quality Wood”, dentro el Programa “Energía Inteligente para Europa”,2009. http://efikosnews.com/proyecto-quality-wood-mejorar-la-calidad-de-la-lena-y-su-uso-respetuoso-con-el-medioambiente/

ANEXOS

ANEXO I. ENCUESTAS

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
ENCUESTA DIRIGIDA AL SECTOR LADRILLERO

"OPTIMIZACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA LEÑA (*EUCALYPTUS GLOBULUS*) COMO COMBUSTIBLE EN UN MODELO DE HORNO DE LADRILLO ARTESANAL, A TRAVÉS DEL ANÁLISIS Y MODIFICACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL COMBUSTIBLE".

FECHA: 9-04-2013 PARROQUIA: Sinincay

PROPIETARIO: Jose Efraín Sinchi.

1. Extensión del área que ocupa la actividad, y que tipo es?

   300 m^2

   - Artesanal ____
   - Semi-mecanizada X
   - Industrial ____

2. Qué tipo de combustible utiliza en las quemas?

   - Diesel ____
   - GLP ____
   - Leña X
   - Gasolina ____
   - Bunker ____
   - Otro Especifique viruta

3. Si utiliza leña, de dónde la obtiene?

   - Bosque natural ____
   - Bosque plantado ____
   - Compra de Residuos V

4. Tipo de leña que emplea:

   - Leña de Eucalipto X
   - Leña de pino ____
   - Leña de bosque nativo ____
   - Otro Especifique ____

5. Qué cantidad de leña utiliza por quema?

   - Carga 3 m^3

   Volumen (m^3)

6. Si compra cuánto le cuesta la carga de leña?
   1 viaje = 30

7. La leña que usted usa le deja que repose antes de ingresar al horno. Si es así que tiempo le deja a la leña.

   2 Días _____Semanas _____Meses

8. Qué tipo de horno utiliza?

   - Redondo ____
   - Cuadrado X
   - Ovalado ____

9. Cada qué tiempo realiza las quemas?

   - Cada semana ____
   - Cada 15 días: X
   - Cada mes: ____
   - Otros: ____

10. Qué tiempo se demora en realizar una quema?

    12 Horas

11. Cuántos ladrillos produce por quema?

    2000 Ladrillos
    5 000 tejas

FIRMA DEL ENCUESTADOR:_____

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
ENCUESTA DIRIGIDA AL SECTOR LADRILLERO

"OPTIMIZACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA LEÑA (*EUCALYPTUS GLOBULUS*) COMO COMBUSTIBLE EN UN MODELO DE HORNO DE LADRILLO ARTESANAL, A TRAVÉS DEL ANÁLISIS Y MODIFICACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL COMBUSTIBLE".

FECHA: 9-04-2012. PARROQUIA: Sinincay

PROPIETARIO: Gonzalo Montalvan.

1. Extensión del área que ocupa la actividad, y que tipo es?
   600. m^2
   - Artesanal ____
   - Semi-mecanizada X
   - Industrial ____

2. Qué tipo de combustible utiliza en las quemas?
   - Diesel ____
   - GLP ____
   - Leña X
   - Gasolina ____
   - Bunker ____
   - Otro Especifique ____

3. Si utiliza leña, de dónde la obtiene?
   - Bosque natural ____
   - Bosque plantado ____
   - Compra de Residuos X

4. Tipo de leña que emplea:
   - Leña de Eucalipto X
   - Leña de pino ____
   - Leña de bosque nativo ____
   - Otro Especifique ____

5. Qué cantidad de leña utiliza por quema?
   - Carga 10.

   Volumen (m^3)

6. Si compra cuánto le cuesta la carga de leña?
   15

7. La leña que usted usa le deja que repose antes de ingresar al horno. Si es así que tiempo le deja a la leña.

   3 Días ____Semanas ____Meses

8. Qué tipo de horno utiliza?

   - Redondo X
   - Cuadrado ____
   - Ovalado ____

9. Cada qué tiempo realiza las quemas?

   - Cada semana ____
   - Cada 15 días: ____
   - Cada mes: X
   - Otros: ____

10. Qué tiempo se demora en realizar una quema?

    11 Horas

11. Cuántos ladrillos produce por quema?

    1700. Ladrillos

FIRMA DEL ENCUESTADOR:_____

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
ENCUESTA DIRIGIDA AL SECTOR LADRILLERO

"OPTIMIZACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA LEÑA (*EUCALYPTUS GLOBULUS*) COMO COMBUSTIBLE EN UN MODELO DE HORNO DE LADRILLO ARTESANAL, A TRAVÉS DEL ANÁLISIS Y MODIFICACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL COMBUSTIBLE".

FECHA: _____ PARROQUIA: Sinincay

PROPIETARIO: Sonia Sinchi

1. Extensión del área que ocupa la actividad, y que tipo es?
   150 m²
   - Artesanal X
   - Semi-mecanizada ____
   - Industrial ____

2. Qué tipo de combustible utiliza en las quemas?
   - Diesel ____
   - GLP ____
   - Leña X
   - Gasolina ____
   - Bunker ____
   - Otro Especifique ____

3. Si utiliza leña, de dónde la obtiene?
   - Bosque natural ____
   - Bosque plantado ____
   - Compra de Residuos X

4. Tipo de leña que emplea:
   - Leña de Eucalipto X
   - Leña de pino ____
   - Leña de bosque nativo ____
   - Otro Especifique ____

5. Qué cantidad de leña utiliza por quema?
   - Carga 9
   Volumen (m^3)

6. Si compra cuánto le cuesta la carga de leña?
   12 → verde

7. La leña que usted usa le deja que repose antes de ingresar al horno. Si es así que tiempo le deja a la leña.

   ____Días ____Semanas 3 Meses

8. Qué tipo de horno utiliza?

   - Redondo X
   - Cuadrado ____
   - Ovalado ____

9. Cada qué tiempo realiza las quemas?

   - Cada semana ____
   - Cada 15 días: ____
   - Cada mes: ____
   - Otros: c/3 meses

10. Qué tiempo se demora en realizar una quema?

    20 Horas

11. Cuántos ladrillos produce por quema?

    4000 Ladrillos

FIRMA DEL ENCUESTADOR: _____

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
ENCUESTA DIRIGIDA AL SECTOR LADRILLERO

"OPTIMIZACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA LEÑA (*EUCALYPTUS GLOBULUS*) COMO COMBUSTIBLE EN UN MODELO DE HORNO DE LADRILLO ARTESANAL, A TRAVÉS DEL ANÁLISIS Y MODIFICACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL COMBUSTIBLE".

FECHA: 9-04-2013 **PARROQUIA:** Dolorosa

PROPIETARIO: Transito. Quinde. Quito.

1. **Extensión del área que ocupa la actividad, y que tipo es?**
   300 m^2
   - **Artesanal** x
   - **Semi-mecanizada** ____
   - **Industrial** ____

2. **Qué tipo de combustible utiliza en las quemas?**
   - **Diesel** ____
   - **GLP** ____
   - **Leña** x
   - **Gasolina** ____
   - **Bunker** ____
   - **Otro Especifique** ____

3. **Si utiliza leña, de dónde la obtiene?**
   - **Bosque natural** ____
   - **Bosque plantado** ____
   - **Compra de Residuos** x

4. **Tipo de leña que emplea:**
   - **Leña de Eucalipto** x
   - **Leña de pino** ____
   - **Leña de bosque nativo** ____
   - **Otro Especifique** ____

5. **Qué cantidad de leña utiliza por quema?**
   - **Carga** 0

Volumen (m^3)

6. Si compra cuánto le cuesta la carga de leña?
   15 $.

7. La leña que usted usa le deja que repose antes de ingresar al horno. Si es así que tiempo le deja a la leña.

   ____Días ____Semanas __2__Meses

8. Qué tipo de horno utiliza?

   - Redondo __X__
   - Cuadrado ____
   - Ovalado ____

9. Cada qué tiempo realiza las quemas?

   - Cada semana ____
   - Cada 15 días: ____
   - Cada mes: ____
   - Otros: c/3meses.

10. Qué tiempo se demora en realizar una quema?

    13 Horas

11. Cuántos ladrillos produce por quema?

    1000 Ladrillos

FIRMA DEL ENCUESTADOR:_____

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
ENCUESTA DIRIGIDA AL SECTOR LADRILLERO

"OPTIMIZACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA LEÑA (*EUCALYPTUS GLOBULUS*) COMO COMBUSTIBLE EN UN MODELO DE HORNO DE LADRILLO ARTESANAL, A TRAVÉS DEL ANÁLISIS Y MODIFICACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL COMBUSTIBLE".

FECHA: _____ PARROQUIA: San José Balzay

PROPIETARIO: Sra Leticia Contreras.

1. Extensión del área que ocupa la actividad, y que tipo es?
   300 m^2
   - Artesanal X
   - Semi-mecanizada ____
   - Industrial ____

2. Qué tipo de combustible utiliza en las quemas?
   - Diesel ____
   - GLP ____
   - Leña X
   - Gasolina ____
   - Bunker ____
   - Otro Especifique ____

3. Si utiliza leña, de dónde la obtiene?
   - Bosque natural ____
   - Bosque plantado ____
   - Compra de Residuos X

4. Tipo de leña que emplea:
   - Leña de Eucalipto X
   - Leña de pino ____
   - Leña de bosque nativo ____
   - Otro Especifique ____

5. Qué cantidad de leña utiliza por quema?
   - Carga 12
   Volumen (m^3)

6. Si compra cuánto le cuesta la carga de leña?
14 m3 (verde)

7. La leña que usted usa le deja que repose antes de ingresar al horno. Si es así que tiempo le deja a la leña.

____Días ____Semanas 1 Meses

8. Qué tipo de horno utiliza?

- Redondo ____
- Cuadrado X
- Ovalado ____

9. Cada qué tiempo realiza las quemas?

- Cada semana ____
- Cada 15 días: ____
- Cada mes: ____
- Otros: c/6 meses.

10. Qué tiempo se demora en realizar una quema?

48 Horas

11. Cuántos ladrillos produce por quema?

6000 Ladrillos

FIRMA DEL ENCUESTADOR:_____

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
ENCUESTA DIRIGIDA AL SECTOR LADRILLERO

"OPTIMIZACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA LEÑA (*EUCALYPTUS GLOBULUS*) COMO COMBUSTIBLE EN UN MODELO DE HORNO DE LADRILLO ARTESANAL, A TRAVÉS DEL ANÁLISIS Y MODIFICACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL COMBUSTIBLE".

FECHA: _____ PARROQUIA: Sayausí

PROPIETARIO: Gabriel García García

1. Extensión del área que ocupa la actividad, y que tipo es?
   300 m^2
   - Artesanal ____
   - Semi-mecanizada X
   - Industrial ____

2. Qué tipo de combustible utiliza en las quemas?
   - Diesel ____
   - GLP ____
   - Leña X
   - Gasolina ____
   - Bunker ____
   - Otro Especifique ____

3. Si utiliza leña, de dónde la obtiene?
   - Bosque natural ____
   - Bosque plantado ____
   - Compra de Residuos X

4. Tipo de leña que emplea:
   - Leña de Eucalipto X
   - Leña de pino ____
   - Leña de bosque nativo ____
   - Otro Especifique ____

5. Qué cantidad de leña utiliza por quema?
   - Carga 10

Volumen (m^3)

6. Si compra cuánto le cuesta la carga de leña?
   14.

7. La leña que usted usa le deja que repose antes de ingresar al horno. Si es así que tiempo le deja a la leña.

   ____Días ____Semanas 1 Meses

8. Qué tipo de horno utiliza?

   - Redondo X
   - Cuadrado ____
   - Ovalado ____

9. Cada qué tiempo realiza las quemas?

   - Cada semana ____
   - Cada 15 días: ____
   - Cada mes: ____
   - Otros: ____

10. Qué tiempo se demora en realizar una quema?

    18 Horas

11. Cuántos ladrillos produce por quema?

    4000 Ladrillos

FIRMA DEL ENCUESTADOR:_____

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
ENCUESTA DIRIGIDA AL SECTOR LADRILLERO

"OPTIMIZACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA LEÑA (*EUCALYPTUS GLOBULUS*) COMO COMBUSTIBLE EN UN MODELO DE HORNO DE LADRILLO ARTESANAL, A TRAVÉS DEL ANÁLISIS Y MODIFICACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL COMBUSTIBLE".

FECHA: _____ PARROQUIA: Sinincay

PROPIETARIO: Teofilo. Quizde.

1. Extensión del área que ocupa la actividad, y que tipo es?
   350 m^2
   - Artesanal X
   - Semi-mecanizada ____
   - Industrial ____

2. Qué tipo de combustible utiliza en las quemas?
   - Diesel ____
   - GLP ____
   - Leña X
   - Gasolina ____
   - Bunker ____
   - Otro Especifique ____

3. Si utiliza leña, de dónde la obtiene?
   - Bosque natural ____
   - Bosque plantado ____
   - Compra de Residuos X

4. Tipo de leña que emplea:
   - Leña de Eucalipto X
   - Leña de pino ____
   - Leña de bosque nativo ____
   - Otro Especifique ____

5. Qué cantidad de leña utiliza por quema?
   - Carga 10
   Volumen (m^3)

6. Si compra cuánto le cuesta la carga de leña?
16.

7. La leña que usted usa le deja que repose antes de ingresar al horno. Si es así que tiempo le deja a la leña.

____Días ____Semanas ___3_Meses

8. Qué tipo de horno utiliza?

- Redondo __X__
- Cuadrado ____
- Ovalado ____

9. Cada qué tiempo realiza las quemas?

- Cada semana ____
- Cada 15 días: ____
- Cada mes: ____
- Otros: c/2 1/2 meses

10. Qué tiempo se demora en realizar una quema?

26 Horas

11. Cuántos ladrillos produce por quema?

5000 Ladrillos

FIRMA DEL ENCUESTADOR:_____

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
ENCUESTA DIRIGIDA AL SECTOR LADRILLERO

"OPTIMIZACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA LEÑA (*EUCALYPTUS GLOBULUS*) COMO COMBUSTIBLE EN UN MODELO DE HORNO DE LADRILLO ARTESANAL, A TRAVÉS DEL ANÁLISIS Y MODIFICACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL COMBUSTIBLE".

FECHA: _____ **PARROQUIA:** San José Balzay

PROPIETARIO: Ignacio Calle Calderón

1. **Extensión del área que ocupa la actividad, y que tipo es?**

   350 m^2

   - Artesanal X
   - Semi-mecanizada ____
   - Industrial ____

2. **Qué tipo de combustible utiliza en las quemas?**

   - Diesel ____
   - GLP ____
   - Leña X
   - Gasolina ____
   - Bunker ____
   - Otro Especifique ____

3. **Si utiliza leña, de dónde la obtiene?**

   - Bosque natural ____
   - Bosque plantado ____
   - Compra de Residuos X

4. **Tipo de leña que emplea:**

   - Leña de Eucalipto X
   - Leña de pino ____
   - Leña de bosque nativo ____
   - Otro Especifique ____

5. **Qué cantidad de leña utiliza por quema?**

   - Carga 8
   - Volumen (m^3)

6. Si compra cuánto le cuesta la carga de leña?
   14 dólares

7. La leña que usted usa le deja que repose antes de ingresar al horno. Si es así que tiempo le deja a la leña.

   ____Días ____Semanas 2. Meses

8. Qué tipo de horno utiliza?

   - Redondo ✓
   - Cuadrado ____
   - Ovalado ____

9. Cada qué tiempo realiza las quemas?

   - Cada semana ____
   - Cada 15 días: ____
   - Cada mes: ____
   - Otros: 1 ½ meses.

10. Qué tiempo se demora en realizar una quema?

    17 Horas

11. Cuántos ladrillos produce por quema?

    7000 Ladrillos

FIRMA DEL ENCUESTADOR:_____

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
ENCUESTA DIRIGIDA AL SECTOR LADRILLERO

"OPTIMIZACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA LEÑA (*EUCALYPTUS GLOBULUS*) COMO COMBUSTIBLE EN UN MODELO DE HORNO DE LADRILLO ARTESANAL, A TRAVÉS DEL ANÁLISIS Y MODIFICACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL COMBUSTIBLE".

FECHA: _____ PARROQUIA: San José Balzay

PROPIETARIO: Sr. Onofre Contreras Arias.

1. Extensión del área que ocupa la actividad, y que tipo es?

   600 m^2

   - Artesanal X
   - Semi-mecanizada ____
   - Industrial ____

2. Qué tipo de combustible utiliza en las quemas?

   - Diesel ____
   - GLP ____
   - Leña X
   - Gasolina ____
   - Bunker ____
   - Otro Especifique ____

3. Si utiliza leña, de dónde la obtiene?

   - Bosque natural ____
   - Bosque plantado ____
   - Compra de Residuos X

4. Tipo de leña que emplea:

   - Leña de Eucalipto X
   - Leña de pino ____
   - Leña de bosque nativo ____
   - Otro Especifique ____

5. Qué cantidad de leña utiliza por quema?

   - Carga 12
   Volumen (m^3)

6. Si compra cuánto le cuesta la carga de leña?

@ 16. leña verde.

7. La leña que usted usa le deja que repose antes de ingresar al horno. Si es así que tiempo le deja a la leña.

____Días ____Semanas 2 Meses

8. Qué tipo de horno utiliza?

- Redondo X
- Cuadrado ____
- Ovalado ____

9. Cada qué tiempo realiza las quemas?

- Cada semana ____
- Cada 15 días: ____
- Cada mes: ____
- Otros: 4 mens.

10. Qué tiempo se demora en realizar una quema?

15. Horas

11. Cuántos ladrillos produce por quema?

6500. Ladrillos

FIRMA DEL ENCUESTADOR:_____

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
ENCUESTA DIRIGIDA AL SECTOR LADRILLERO

"OPTIMIZACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA LEÑA (*EUCALYPTUS GLOBULUS*) COMO COMBUSTIBLE EN UN MODELO DE HORNO DE LADRILLO ARTESANAL, A TRAVÉS DEL ANÁLISIS Y MODIFICACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL COMBUSTIBLE".

FECHA: _____ **PARROQUIA:** San José Balzay

PROPIETARIO: Sr. Luis Poma Mayancela

1. **Extensión del área que ocupa la actividad, y que tipo es?**
   300 m^2
   - **Artesanal** X
   - **Semi-mecanizada** _____
   - **Industrial** _____

2. **Qué tipo de combustible utiliza en las quemas?**
   - **Diesel** _____
   - **GLP** _____
   - **Leña** X
   - **Gasolina** _____
   - **Bunker** _____
   - **Otro Especifique** _____

3. **Si utiliza leña, de dónde la obtiene?**
   - **Bosque natural** _____
   - **Bosque plantado** _____
   - **Compra de Residuos** X

4. **Tipo de leña que emplea:**
   - **Leña de Eucalipto** X
   - **Leña de pino** _____
   - **Leña de bosque nativo,** _____
   - **Otro Especifique** _____

5. **Qué cantidad de leña utiliza por quema?**
   - **Carga** 16
   Volumen (m^3)

6. Si compra cuánto le cuesta la carga de leña?
   15 verde.

7. La leña que usted usa le deja que repose antes de ingresar al horno. Si es así que tiempo le deja a la leña.

   ____Días ____Semanas 3 Meses

8. Qué tipo de horno utiliza?

   - Redondo X
   - Cuadrado ____
   - Ovalado ____

9. Cada qué tiempo realiza las quemas?

   - Cada semana ____
   - Cada 15 días: ____
   - Cada mes: ____
   - Otros: 4 meses.

10. Qué tiempo se demora en realizar una quema?

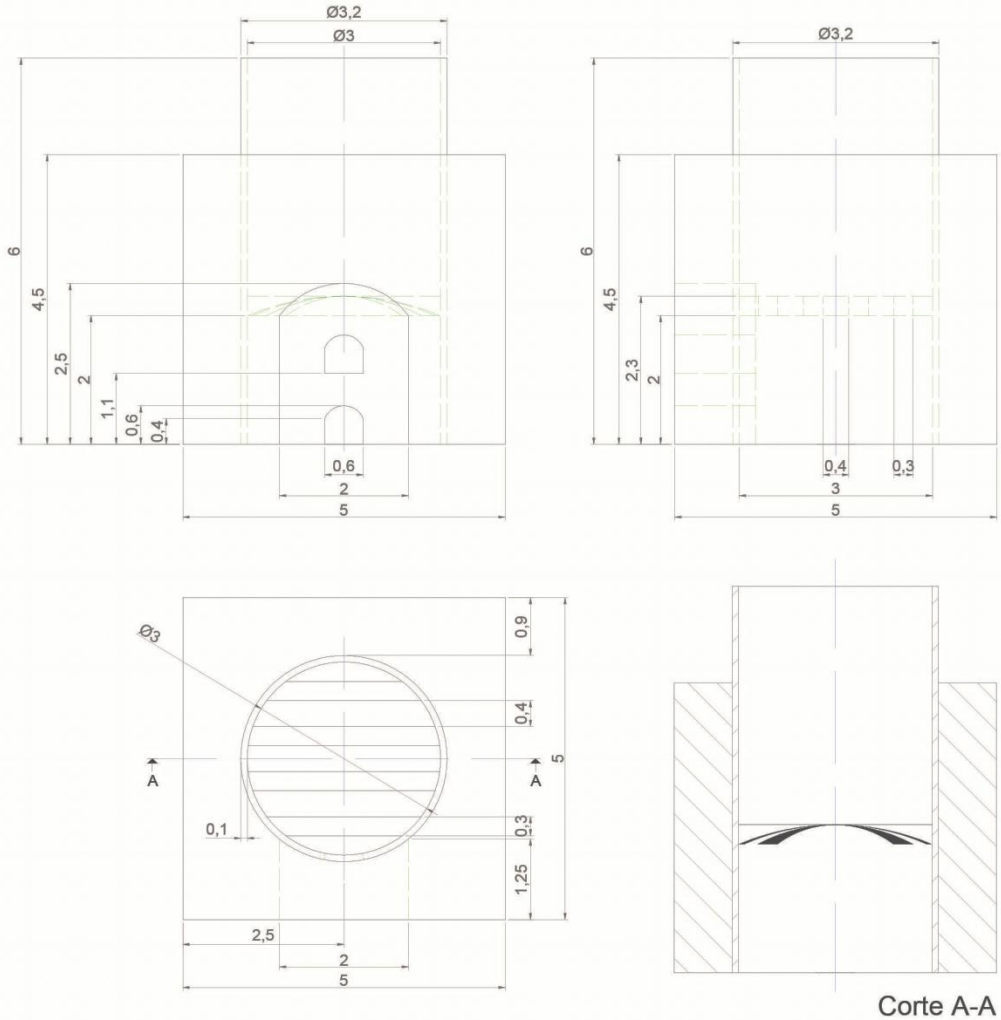
    28 Horas

11. Cuántos ladrillos produce por quema?

    8500 Ladrillos

FIRMA DEL ENCUESTADOR:_____

ANEXO II. HORNO A ESCALA



Corte A-A

Diseño Asistido por Computador CAD

	Fecha	Nombre		
Dibujado	Mayo 2012	Gabriela García Ximena Pañi		UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
Comprobado	Mayo 2012	Ing. Civil Rubén Jerves Cobo		

Escala 1:25		MODELO DE HORNO DE LADRILLO ARTESANAL	Carrera
			Ing. Ambiental

ANEXO III. PESO DE LA LEÑA UTILIZADA

Peso de leña usada en la determinación de la humedad.

Quema	Peso en kg
1	141
2	137,5
3	130
4	109,5
5	99,5
6	92

Peso de leña usada en la determinación del tamaño.

Quema	Peso en kg
1	93
2	91,5
3	85
4	87
5	83,5
6	81

ANEXO IV. TEMPERARATURAS DEL HORNO, PAREDES EXTERIOR E INTERIOR DE LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN

Cuadros de temperatura para la determinación de la humedad óptima.

Quema del Viernes 22 de junio 2012	
Leña usada	141
Tiempo cargue aprox.	10 – 15 min.

Temperaturas de la Cámara de Combustión					
Tiempo (horas)	**Horas**	**Este**	**Oeste**	**Norte**	**Temperatura promedio**
10:00	1	620,8	534	355	503,27
11:00	2	580,9	531,3	510,1	540,77
12:00	3	750	613,5	703,6	689,03
13:00	4	691	708,6	771,8	723,80
14:00	5	878	930,6	898	902,20
15:00	6	884	867,2	885	878,73
16:00	7	884,7	817,8	824,4	842,30
17:00	8	876	801,3	788,1	821,80

Quema del Martes 03 de julio 2012	
Leña usada	137,5
Tiempo cargue aprox.	10 – 15 min.

Temperaturas de la Cámara de Combustión					
Tiempo (horas)	**Horas**	**Este**	**Oeste**	**Norte**	**Temperatura promedio**
11:00	1	545,12	538	518,3	533,81
12:00	2	698,2	710,7	604	670,97
13:00	3	843	834,5	787,2	821,57
14:00	4	890,7	915,23	887,9	897,94
15:00	5	921,56	954	898,2	924,59
16:00	6	908	899,15	945,1	917,42
17:00	7	816,8	833,6	910,9	853,77

Quema del Martes 10 de julio 2012	
Leña usada	130
Tiempo cargue aprox.	10 – 15 min.

Temperaturas de la Cámara de Combustión					
Tiempo (horas)	**Horas**	**Este**	**Oeste**	**Norte**	**Temperatura promedio**
11:00	1	623,7	542	573,3	579,67
12:00	2	707,6	679,8	610,7	666,03
13:00	3	827,5	847,3	793,4	822,73
14:00	4	870	937	894	900,33
15:00	5	930,15	960,4	925,13	938,56
16:00	6	880,7	899,1	904	894,60

Quema del Martes 24 de julio 2012	
Leña usada	109,5
Tiempo cargue aprox.	10 – 15 min.

Temperaturas de la Cámara de Combustión					
Tiempo (horas)	**Horas**	**Este**	**Oeste**	**Norte**	**Temperatura promedio**
10:00	1	742,1	709,9	451,3	634,43
11:00	2	812,7	841,7	730,7	795,03
12:00	3	829,3	805	812,2	815,50
13:00	4	879,2	903	882,2	888,13
14:00	5	967,7	920	930	939,23

Quema del Lunes 13 de agosto 2012	
Leña usada	99,5
Tiempo cargue aprox.	10 – 15 min.

Temperaturas de la Cámara de Combustión					
Tiempo (horas)	**Horas**	**Este**	**Oeste**	**Norte**	**Temperatura promedio**
11:00	1	664,5	699,5	585,5	649,83
12:00	2	829,2	786,4	748,4	788,00
13:00	3	855	873	720	816,00
14:00	4	779,6	859	706,9	781,83
15:00	5	876	979,7	936,6	930,77

Quema del Viernes 24 de agosto 2012	
Leña usada	92
Tiempo cargue aprox.	10 – 15 min.

Temperaturas de la Cámara de Combustión					
Tiempo (horas)	**Horas**	**Este**	**Oeste**	**Norte**	**Temperatura promedio**
10:30	1	616	579,6	529,5	575,03
11:30	2	726,9	706	786,1	739,67
12:30	3	825	899	865	863,00
13:30	4	840	752,2	872	821,40
14:30	5	934,7	947	930,7	937,47

Cuadros de temperatura para la determinación de tamaño óptimo.

Quema Viernes 5 de abril 2013	
Leña usada	93
Tiempo cargue aprox.	20 – 25min

Temperaturas de la Cámara de Combustión					
Tiempo (horas)	**Horas**	**Norte**	**Este**	**Oeste**	**Temperatura promedio**
12:30	1	68	161,7	170	133,2
13:30	2	193,7	280	340	271,2
14:30	3	371,7	532	613,8	505,7
15:30	4	698,2	773,3	778,8	550,1
16:30	5	795,2	833	840	822,7
17:30	6	793	720	948	820,3

Quema Martes 9de abril 2013	
Leña usada	91,5
Tiempo cargue aprox.	20 – 25min

Temperaturas de la Cámara de Combustión					
Tiempo (horas)	**Horas**	**Norte**	**Este**	**Oeste**	**Temperatura promedio**
9:30	1	73	153,9	142,2	123,0
10:30	2	202,1	250,6	358,6	270,4
11:30	3	386	567	651,1	534,7
12:30	4	712,4	743,6	794,2	750,1
13:30	5	803,1	819,2	850,4	824,2
14:30	6	819	860,9	967,3	882,4

Quema Sábado 13 de abril 2013	
Leña usada	85
Tiempo cargue aprox.	15 – 20min

Temperaturas de la Cámara de Combustión					
Tiempo (horas)	**Horas**	**Norte**	**Este**	**Oeste**	**Temperatura promedio**
10:00	1	83,4	94,3	103,5	93,7
11:00	2	135,4	121,1	146	134,2
12:00	3	343,2	298,7	373,9	338,6
13:00	4	598,7	513,2	601,5	571,1
14:00	5	743,9	712,8	798,2	751,6
15:00	6	899,6	813,6	844,6	852,6

Quema Martes 16 de abril 2013	
Leña usada	87
Tiempo cargue aprox.	15 – 20min

Temperaturas de la Cámara de Combustión					
Tiempo (horas)	**Horas**	**Norte**	**Este**	**Oeste**	**Temperatura promedio**
11:00	1	156,8	106	115,1	126,0
12:00	2	265,2	174	156,4	198,5
13:00	3	489,9	299,3	374,6	387,9
14:00	4	594,7	554,6	613,6	587,6
15:00	5	860,3	794,8	804,6	819,9
16:00	6	891	878,6	902,3	890,6

Quema Lunes 22 de abril 2013	
Leña usada	83,5
Tiempo cargue aprox.	15 – 20min

Temperaturas de la Cámara de Combustión					
Tiempo (horas)	**Horas**	**Norte**	**Este**	**Oeste**	**Temperatura promedio**
10:30	1	117,6	121	103,7	114,1
11:30	2	278,4	223,2	294,4	265,3
12:30	3	523,5	503,8	564,2	530,5
13:30	4	749,9	683,1	765,4	732,8
14:30	5	898,1	878,9	911,2	896,1

Quema Jueves 25 de abril 2013	
Leña usada	81
Tiempo cargue aprox.	15 – 20min

Curva de Temperatura Cámara					
Tiempo (horas)	**Horas**	**Norte**	**Este**	**Oeste**	**Temperatura promedio**
11:30	1	109,9	113,5	112,1	111,8
12:30	2	278,6	257,4	284,3	273,4
13:30	3	583,5	517,5	587,1	562,7
14:30	4	761,1	697,1	784,2	747,5
15:30	5	894,4	893,1	901,2	896,2

ANEXO V. DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD DE LA LEÑA USADA EN LAS QUEMAS

Promedio de humedad para determinar la humedad óptima.

Quema	Humedad 1	Humedad 2	Humedad 3	Humedad 4	Humedad 5	Promedio
1	28,96	27,32	30,21	29,03	27,09	28,52
2	24,65	24,95	23,82	24,84	22,47	24,15
3	21,13	20,2	19,65	20,91	21,85	20,75
4	15,03	14,86	13,88	14,13	13,88	14,36
5	16,67	12,43	13,06	12,39	12,86	13,48
6	12,14	11,24	11,21	11,74	10,31	11,32

Promedio de humedad para determinar el tamaño óptimo

Quema	Humedad 1	Humedad 2	Humedad 3	Humedad 4	Humedad 5	Promedio
1	13, 37	13,75	11,90	12,49	12,34	10,96
2	10,02	11,03	11,95	12,98	13,5	11,89
3	11,02	12,4	12,5	13,8	14,2	12,78
4	10,9	14,3	10,4	14,6	11,01	12,24
5	12,6	10,95	11,35	12,46	10,4	11,55
6	13,1	12,01	12,42	13,52	14,3	13,07

ANEXO VI. PRUEBAS DE COMPRESIÓN

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR

REPORTE DEL ENSAYO

UPS LAB Nº 01 - 2013

CLIENTE: Gabriela Elizabeth García Pacheco. Lorgia Ximena Pañi Riera.

PRODUCTO: MUESTRAS DE LADRILLO ARTESANAL DE ARCILLA

FECHA: 14 de Enero del 2013

INGENIERÍA MECÁNICA - LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

Calle Vieja y Elia Liut • Casilla postal 2174 • PBX: (+ 593 7) 2862213 - 2866035 • Fax: 2869112
E - mail: vgavinelli@ups.edu.ec • ingmecanicacue@ups.edu.ec • Cuenca - Ecuador

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR

DATOS INFORMATIVOS

Cliente / Customer: Ingenieria Ambiental	Dirección / Address: Calle Vieja 12-30 y Elia Liut	Reporte / Report: 1
Producto / Job: Muestras de ladrillo artesanal de arcilla	Fecha de ensayo / Test date: 14 de Enero de 2013	Página / Page: 1 de 8

Tipo de Ensayo:
Test type: COMPRESION

Norma de Referencia:
Reference standard: INEN 1485

Identificación:
Identification

MODELO	TIPO DE ENSAYO
Orquidea	Compresión

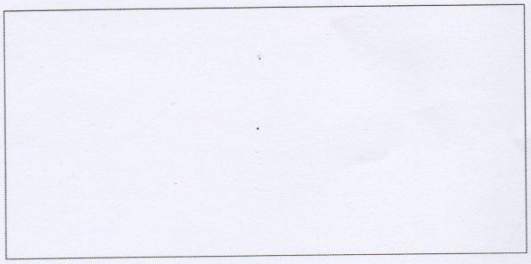
INGENIERÍA MECÁNICA - LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD
Calle Vieja y Elia Liut • Casilla postal 2174 • PBX: (+ 593 7) 2862213 - 2866035 • Fax: 2869112
E - mail: vgavinelli@ups.edu.ec • ingmecanicacue@ups.edu.ec • Cuenca - Ecuador

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR

DATOS INFORMATIVOS

Cliente / Customer: Ingenieria Ambiental	Dirección / Address: Calle Vieja 12-30 y Elia Liut	Reporte / Report: 1
Producto / Job: Muestras de ladrillo artesanal de arcilla	Fecha de ensayo / Test date: 14 de Enero de 2013	Página / Page: 2 de 8

MODELO 1: Orquidea
Area : 10199 mm²



Calle Vieja y Elia Liut • Casilla postal 2174 • PBX: (+ 593 7) 2862213 - 2866035 • Fax: 2869112
E - mail: vgavinelli@ups.edu.ec • ingmecanicacue@ups.edu.ec • Cuenca - Ecuador

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR

IUS INSTITUCIONES SALESIANAS DE EDUCACIÓN SUPERIOR

REPORTE DEL ENSAYO
ENSAYO DE COMPRESION

Solicitado por: Ingenieria Ambiental
Proyecto: Tesis de Grado
Fiscalización: Ing. Ruber Jerves Cobo
Localización: Calle Vieja 12-30 y Elia Liut
Contratista:
Página/Page: 3 de 8

MAQUINA DE ENSAYO

Compresión Metro Com 3000 kN matricula 11024			
Fecha de Calibración:	29 de Abril de 2008	**Calibración según** norma UNI EN 12390/4	
Escala (KN)	Incertidumbre %	Escala (KN)	Incertidumbre %
300	0,41	1800	0,31
600	0,40	2100	0,30
900	0,33	2400	0,30
1200	0,31	2700	0,31
1500	0,30	3000	0,33

DATOS DE LAS MUESTRAS

Norma de referencia:	INEN 1485	**Lote:**	Quema #1	**Fecha de Fabricación:**	10 de Julio del 2012
Forma:	Rectangular	**Fábrica:**	CERIG	**Fecha del ensayo:**	26 de Diciembre del 2012
Tipo:	Artesanal	**Color:**	Anaranjado	**Edad de la muestras:**	No especifica

RESULTADOS DEL ENSAYO

Muestra Nº	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Identificación Laboratorio	1	2	3	4	5					
Espesor (mm)	40	40	40	40	40					
Area contacto (mm^2)	10199	10199	10199	10199	10199					
Volumen (cm^3)	407,96	407,96	407,96	407,96	407,96					
Masa (gr)	1250	1200	1200	1150	1150					
Densidad (gr/cm^3)	3,06	2,94	2,94	2,82	2,82					
Carga máxima (kN)	109	125	87	118	108					
Factor de corrección	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06					
Resistencia (Mpa)	11,3	13,0	9,0	12,3	11,2					

Resistencia característica	**fck=**	8,93 MPa	91,06 Kg/cm^2
Resistencia promedio	**fcm=**	11,37 MPa	115,98 Kg/cm^2
Desviación promedio	**s=**	1,49 MPa	15,19 Kg/cm^2

Notas:

El periodo de curado fue realizado por el cliente y las muestras fueron recibidas en el laboratorio.
La información respecto a la procedencia y edad de las muestras han sido proporcionadas por el cliente
Los valores únicamente representan los resultados correspondientes a las muestras proporcionadas por el cliente.
No es responsabilidad de la Universidad Politecnica Salesiana, que la muestra presentada, sea propiedad de la persona que solicito el analisis o de un tercero.

Operador/Operator

Ing. Christian Cobos

INGENIERÍA MECÁNICA - LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD
Calle Vieja y Elia Liut • Casilla postal 2174 • PBX: (+ 593 7) 2862213 - 2866035 • Fax: 2869112
E - mail: vgavinelli@ups.edu.ec • ingmecanicacue@ups.edu.ec • Cuenca - Ecuador

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
ECUADOR

IUS
INSTITUCIONES SALESIANAS DE EDUCACIÓN SUPERIOR

REPORTE DEL ENSAYO
ENSAYO DE COMPRESION

Solicitado por: Ingenieria Ambiental
Proyecto: Tesis de Grado
Fiscalización: Ing. Ruber Jerves Cobo
Localización: Calle Vieja 12-30 y Elia Liut
Contratista:
Página/Page: 4 de 8

MAQUINA DE ENSAYO

Compresión Metro Com 3000 kN matricula 11024			
Fecha de Calibración:	29 de Abril de 2008	**Calibración según** norma UNI EN 12390/4	
Escala (KN)	Incertidumbre %	Escala (KN)	Incertidumbre %
300	0,41	1800	0,31
600	0,40	2100	0,30
900	0,33	2400	0,30
1200	0,31	2700	0,31
1500	0,30	3000	0,33

DATOS DE LAS MUESTRAS

Norma de referencia:	INEN 1485	**Lote:**	Quema #2	**Fecha de Fabricación:**	10 de Julio del 2012
Forma:	Rectangular	**Fábrica:**	CERIG	**Fecha del ensayo:**	26 de Diciembre del 2012
Tipo:	Artesanal	**Color:**	Anaranjado	**Edad de la muestras:**	No especifica

RESULTADOS DEL ENSAYO

Muestra Nº	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Identificación Laboratorio	1	2	3	4	5					
Espesor (mm)	40	40	40	40	40					
Area contacto (mm^2)	10199	10199	10199	10199	10199					
Volumen (cm^3)	407,96	407,96	407,96	407,96	407,96					
Masa (gr)	1250	1250	1250	1200	1250					
Densidad (gr/cm^3)	3,06	3,06	3,06	2,94	3,06					
Carga máxima (kN)	124	85	105	90	83					
Factor de corrección	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06					
Resistencia (Mpa)	12,9	8,8	10,9	9,4	8,6					

Resistencia característica	fck=	7,19 MPa	73,38	Kg/cm^2
Resistencia promedio	fcm=	10,12 MPa	103,25	Kg/cm^2
Desviación promedio	s=	1,79 MPa	18,22	Kg/cm^2

Notas:

El periodo de curado fue realizado por el cliente y las muestras fueron recibidas en el laboratorio.
La información respecto a la procedencia y edad de las muestras han sido proporcionadas por el cliente
Los valores únicamente representan los resultados correspondientes a las muestras proporcionadas por el cliente.
No es responsabilidad de la Universidad Politecnica Salesiana, que la muestra presentada, sea propiedad de la persona que solicito el analisis o de un tercero.

Operador/Operator

Ing. Christian Cobos

INGENIERÍA MECÁNICA - LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD
Calle Vieja y Elia Liut • Casilla postal 2174 • PBX: (+ 593 7) 2862213 - 2866035 • Fax: 2869112
E - mail: vgavinelli@ups.edu.ec • ingmecanicacue@ups.edu.ec • Cuenca - Ecuador

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR

IUS INSTITUCIONES SALESIANAS DE EDUCACIÓN SUPERIOR

REPORTE DEL ENSAYO
ENSAYO DE COMPRESION

Solicitado por: Ingenieria Ambiental
Proyecto: Tesis de Grado
Fiscalización: Ing. Ruber Jerves Cobo
Localización: Calle Vieja 12-30 y Elia Liut
Contratista:
Página/Page: 5 de 8

MAQUINA DE ENSAYO

Compresión Metro Com 3000 kN matricula 11024			
Fecha de Calibración:	29 de Abril de 2008	**Calibración según** norma UNI EN 12390/4	
Escala (KN)	Incertidumbre %	Escala (KN)	Incertidumbre %
300	0,41	1800	0,31
600	0,40	2100	0,30
900	0,33	2400	0,30
1200	0,31	2700	0,31
1500	0,30	3000	0,33

DATOS DE LAS MUESTRAS

Norma de referencia:	INEN 1485	**Lote:**	Quema #3	**Fecha de Fabricación:**	10 de Julio del 2012
Forma:	Rectangular	**Fábrica:**	CERIG	**Fecha del ensayo:**	26 de Diciembre del 2012
Tipo:	Artesanal	**Color:**	Anaranjado	**Edad de la muestras:**	No especifica

RESULTADOS DEL ENSAYO

Muestra Nº	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Identificación Laboratorio	1	2	3	4	5					
Espesor (mm)	40	40	40	40	40					
Area contacto (mm^2)	10199	10199	10199	10199	10199					
Volumen (cm^3)	407,96	407,96	407,96	407,96	407,96					
Masa (gr)	1200	1200	1200	1200	1250					
Densidad (gr/cm^3)	2,94	2,94	2,94	2,94	3,06					
Carga máxima (kN)	100	98	107	112	108					
Factor de corrección	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06					
Resistencia (Mpa)	10,4	10,2	11,1	11,6	11,2					

Resistencia característica	**fck=**	9,92 MPa	101,17	Kg/cm^2
Resistencia promedio	**fcm=**	10,91 MPa	111,31	Kg/cm^2
Desviación promedio	**s=**	0,61 MPa	6,18	Kg/cm^2

Notas:

El periodo de curado fue realizado por el cliente y las muestras fueron recibidas en el laboratorio.
La información respecto a la procedencia y edad de las muestras han sido proporcionadas por el cliente
Los valores únicamente representan los resultados correspondientes a las muestras proporcionadas por el cliente.
No es responsabilidad de la Universidad Politecnica Salesiana, que la muestra presentada, sea propiedad de la persona que solicito el analisis o de un tercero.

Operador/Operator

Ing. Christian Cobos

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA — COORDINACIÓN DE LABORATORIOS

INGENIERÍA MECÁNICA - LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

Calle Vieja y Elia Liut • Casilla postal 2174 • PBX: (+ 593 7) 2862213 - 2866035 • Fax: 2869112
E - mail: vgavinelli@ups.edu.ec • ingmecanicacue@ups.edu.ec • Cuenca - Ecuador

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR

IUS INSTITUCIONES SALESIANAS DE EDUCACIÓN SUPERIOR

REPORTE DEL ENSAYO
ENSAYO DE COMPRESION

Solicitado por: Ingeniería Ambiental
Proyecto: Tesis de Grado
Fiscalización: Ing. Ruber Jerves Cobo
Localización: Calle Vieja 12-30 y Elia Liut
Contratista:
Página/Page: 6 de 8

MAQUINA DE ENSAYO

Compresión Metro Com 3000 kN matricula 11024			
Fecha de Calibración:	29 de Abril de 2008	**Calibración según** norma UNI EN 12390/4	
Escala (KN)	Incertidumbre %	Escala (KN)	Incertidumbre %
300	0,41	1800	0,31
600	0,40	2100	0,30
900	0,33	2400	0,30
1200	0,31	2700	0,31
1500	0,30	3000	0,33

DATOS DE LAS MUESTRAS

Norma de referencia:	INEN 1485	**Lote:**	Quema #4	**Fecha de Fabricación:**	10 de Julio del 2012
Forma:	Rectangular	**Fábrica:**	CERIG	**Fecha del ensayo:**	26 de Diciembre del 2012
Tipo:	Artesanal	**Color:**	Anaranjado	**Edad de la muestras:**	No especifica

RESULTADOS DEL ENSAYO

Muestra Nº	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Identificación Laboratorio	1	2	3	4	5					
Espesor (mm)	40	40	40	40	40					
Area contacto (mm^2)	10199	10199	10199	10199	10199					
Volumen (cm^3)	407,96	407,96	407,96	407,96	407,96					
Masa (gr)	1250	1200	1250	1250	1200					
Densidad (gr/cm^3)	3,06	2,94	3,06	3,06	2,94					
Carga máxima (kN)	177	119	117	121	139					
Factor de corrección	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06					
Resistencia (Mpa)	18,4	12,4	12,2	12,6	14,4					

Resistencia característica	**fck=**	9,68 MPa	98,75	Kg/cm^2
Resistencia promedio	**fcm=**	13,99 MPa	142,69	Kg/cm^2
Desviación promedio	**s=**	2,63 MPa	26,79	Kg/cm^2

Notas:

El periodo de curado fue realizado por el cliente y las muestras fueron recibidas en el laboratorio.
La información respecto a la procedencia y edad de las muestras han sido proporcionadas por el cliente
Los valores únicamente representan los resultados correspondientes a las muestras proporcionadas por el cliente.
No es responsabilidad de la Universidad Politecnica Salesiana, que la muestra presentada, sea propiedad de la persona que solicito el analisis o de un tercero.

Operador/Operator

Ing. Christian Cobos

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA — CONSTRUCCIÓN DE LABORATORIOS

INGENIERÍA MECÁNICA - LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

Calle Vieja y Elia Liut • Casilla postal 2174 • PBX: (+ 593 7) 2862213 - 2866035 • Fax: 2869112
E - mail: vgavinelli@ups.edu.ec • ingmecanicacue@ups.edu.ec • Cuenca - Ecuador

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR

IUS INSTITUCIONES SALESIANAS DE EDUCACIÓN SUPERIOR

REPORTE DEL ENSAYO
ENSAYO DE COMPRESION

Solicitado por: Ingenieria Ambiental
Proyecto: Tesis de Grado
Fiscalización: Ing. Ruber Jerves Cobo
Localización: Calle Vieja 12-30 y Elia Liut
Contratista:
Página/Page: 7 de 8

MAQUINA DE ENSAYO

Compresión Metro Com 3000 kN matricula 11024			
Fecha de Calibración:	29 de Abril de 2008	**Calibración según** norma UNI EN 12390/4	
Escala (KN)	Incertidumbre %	Escala (KN)	Incertidumbre %
300	0,41	1800	0,31
600	0,40	2100	0,30
900	0,33	2400	0,30
1200	0,31	2700	0,31
1500	0,30	3000	0,33

DATOS DE LAS MUESTRAS

Norma de referencia:	INEN 1485	**Lote:**	Quema #5	**Fecha de Fabricación:**	10 de Julio del 2012
Forma:	Rectangular	**Fábrica:**	CERIG	**Fecha del ensayo:**	26 de Diciembre del 2012
Tipo:	Artesanal	**Color:**	Anaranjado	**Edad de la muestras:**	No especifica

RESULTADOS DEL ENSAYO

Muestra Nº	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Identificación Laboratorio	1	2	3	4	5					
Espesor (mm)	40	40	40	40	40					
Area contacto (mm^2)	10199	10199	10199	10199	10199					
Volumen (cm^3)	407,96	407,96	407,96	407,96	407,96					
Masa (gr)	1250	1250	1250	1300	1200					
Densidad (gr/cm^3)	3,06	3,06	3,06	3,19	2,94					
Carga máxima (kN)	100	96	113	102	120					
Factor de corrección	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06					
Resistencia (Mpa)	10,4	10,0	11,7	10,6	12,5					

Resistencia característica	**fck=**	9,34 MPa	95,27	Kg/cm^2
Resistencia promedio	**fcm=**	11,04 MPa	112,58	Kg/cm^2
Desviación promedio	**s=**	1,04 MPa	10,56	Kg/cm^2

Notas:

El periodo de curado fue realizado por el cliente y las muestras fueron recibidas en el laboratorio.
La información respecto a la procedencia y edad de las muestras han sido proporcionadas por el cliente
Los valores únicamente representan los resultados correspondientes a las muestras proporcionadas por el cliente.
No es responsabilidad de la Universidad Politecnica Salesiana, que la muestra presentada, sea propiedad de la persona que solicito el analisis o de un tercero.

Operador/Operator

Ing. Christian Cobos

INGENIERÍA MECÁNICA - LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD
Calle Vieja y Elia Liut • Casilla postal 2174 • PBX: (+ 593 7) 2862213 - 2866035 • Fax: 2869112
E - mail: vgavinelli@ups.edu.ec • ingmecanicacue@ups.edu.ec • Cuenca - Ecuador

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR

IUS INSTITUCIONES SALESIANAS DE EDUCACIÓN SUPERIOR

REPORTE DEL ENSAYO
ENSAYO DE COMPRESION

Solicitado por:	**Fiscalización:**	**Contratista:**
Ingenieria Ambiental	Ing. Ruber Jerves Cobo	
Proyecto:	**Localización:**	**Página/Page:**
Tesis de Grado	Calle Vieja 12-30 y Elia Liut	8 de 8

MAQUINA DE ENSAYO

Compresión Metro Com 3000 kN matricula 11024			
Fecha de Calibración:	29 de Abril de 2008	**Calibración según** norma UNI EN 12390/4	
Escala (KN)	Incertidumbre %	Escala (KN)	Incertidumbre %
300	0,41	1800	0,31
600	0,40	2100	0,30
900	0,33	2400	0,30
1200	0,31	2700	0,31
1500	0,30	3000	0,33

DATOS DE LAS MUESTRAS

Norma de referencia:	INEN 1485	**Lote:**	Quema #6	**Fecha de Fabricación:**	10 de Julio del 2012
Forma:	Rectangular	**Fábrica:**	CERIG	**Fecha del ensayo:**	26 de Diciembre del 2012
Tipo:	Artesanal	**Color:**	Anaranjado	**Edad de la muestras:**	No especifica

RESULTADOS DEL ENSAYO

Muestra Nº	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Identificación Laboratorio	1	2	3	4	5					
Espesor (mm)	40	40	40	40	40					
Area contacto (mm^2)	10199	10199	10199	10199	10199					
Volumen (cm^3)	407,96	407,96	407,96	407,96	407,96					
Masa (gr)	1300	1250	1250	1250	1150					
Densidad (gr/cm^3)	3,19	3,06	3,06	3,06	2,82					
Carga máxima (kN)	83	99	95	108	106					
Factor de corrección	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06					
Resistencia (Mpa)	8,6	10,3	9,9	11,2	11,0					

Resistencia característica	**fck=**	8,50 MPa	86,74	Kg/cm^2
Resistencia promedio	**fcm=**	10,21 MPa	104,10	Kg/cm^2
Desviación promedio	**s=**	1,04 MPa	10,59	Kg/cm^2

Notas:

El periodo de curado fue realizado por el cliente y las muestras fueron recibidas en el laboratorio.
La información respecto a la procedencia y edad de las muestras han sido proporcionadas por el cliente
Los valores únicamente representan los resultados correspondientes a las muestras proporcionadas por el cliente.
No es responsabilidad de la Universidad Politecnica Salesiana, que la muestra presentada, sea propiedad de la persona que solicito el analisis o de un tercero.

Operador/Operator

Ing. Christian Cobos

UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA COORDINACIÓN

INGENIERÍA MECÁNICA - LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

Calle Vieja y Elia Liut • Casilla postal 2174 • PBX: (+ 593 7) 2862213 - 2866035 • Fax: 2869112
E - mail: vgavinelli@ups.edu.ec • ingmecanicacue@ups.edu.ec • Cuenca - Ecuador

ANEXO VII. PRUEBAS DE ANÁLISIS DE GASES

TRATAGUAS
BIENSTAR PARA LA INDUSTRIA

ANALISIS DE COMBUSTION DE HORNO DE LADRILLO

PARAMETRO	M-1 30 %	LIMITES RECOMENDADOS
Temperatura de chimenea °C	443.1	NA
O_2 %	14.87	4-6
CO_2 %	5.79	13.5 - 20
CO ppm	1734	50
NOx ppm	39	1100 mg/Nm^3
SO_2 ppm	15	1650 mg/Nm^3
Eficiencia de combustion %	47.5	> 86
Exceso de aire %	230.2	30 - 40

DIRECCION: GUAGULOMA 1-20 Y AVE. DE LAS AMERICAS TELEFONOS: 4087945
CEL: 082851855 - 091828789 e-mail: / cmaagua7-cablemodem.com.ec

CUENCA - ECUADOR

ANALISIS DE COMBUSTION DE HORNO DE LADRILLO

PARAMETRO	M-2 20 %	LIMITES RECOMENDADOS
Temperatura de chimenea °C	237.5	NA
O_2 %	6.64	4-6
CO_2 %	13.45	13.5 - 20
CO ppm	3353	50
NOx ppm	294	1100 mg/Nm^3
SO_2 ppm	215	1650 mg/Nm^3
Eficiencia de combustion %	78.8	> 86
Exceso de aire %	44,1	30 - 40

DIRECCION: GUAGUALOMA 1-80 Y AVE. DE LAS AMERICAS TELEFONOS: 4087945
CEL: 082851555 - 091828759 e-mail: / [illegible]-cablemodem.com.ec

CUENCA - ECUADOR

TRATAGUAS
BIENSTAR PARA LA INDUSTRIA

ANALISIS DE COMBUSTION DE HORNO DE LADRILLO

PARAMETRO	M-3 10 %	LIMITES RECOMENDADOS
Temperatura de chimenea °C	423.1	NA
O_2 %	15.66	4-6
CO_2 %	4.91	13.5 - 20
CO ppm	2132	50
NOx ppm	30	1100 mg/Nm^3
SO_2 ppm	68	1650 mg/Nm^3
Eficiencia de combustion %	42.2	> 86
Exceso de aire %	282.9	30 - 40

DIRECCION: GUAGULOMA 1-20 Y AVE. DE LAS AMERICAS TELEFONOS: 4027945
CEL: 022551555 - 091828759 e-mail: / cuaguaf-cablemodem.com.ec

CUENCA - ECUADOR