



## **UNIVERSIDAD DE CUENCA**

Facultad de Ciencias Químicas

Carrera de Ingeniería Ambiental

### **“Análisis de las emisiones ambientales y de la eficiencia energética de los hornos de las ladrilleras de Cuenca. Propuesta de límites referenciales de emisiones ambientales”**

Trabajo de titulación previo a la  
obtención del título de Ingeniero  
Ambiental

#### **Autores:**

Adrián Fabián Cabrera Zuñiga

CI: 0106455546

Rómulo Arturo Faicán Zari

CI: 0104899513

#### **Director:**

Ing. Manuel Raúl Peláez Samaniego, PhD.

CI: 0301219309

**Cuenca - Ecuador**

11-septiembre-2019



## RESUMEN

Estudios previos han mostrado que la elaboración de ladrillos es uno de los sectores de mayores emisiones ambientales en el Cantón Cuenca. Una opción que se ha venido manejando desde el año 2010, es la implementación de hornos de tiro; proyecto impulsado por el GAD Municipal de Cuenca a través de la Comisión de Gestión Ambiental. Este tipo de hornos buscan reducir las emisiones de gases, mejorar el proceso de producción y la calidad de vida del sector ladrillero. Desde su implementación se generó una línea base de gases de combustión: monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y material particulado. Sin embargo, actualmente se desconoce el comportamiento de las concentraciones por lo que se requiere determinar si en el presente, se cumple con lo estipulado en la Normativa Ecuatoriana de emisiones. El presente trabajo tiene como objetivo determinar los contaminantes emitidos a la atmósfera y la eficiencia energética entre los hornos de tiro invertido y tradicional. Para ello se efectúa un balance de carbono, donde se relaciona la cantidad de contaminantes emitidos con la cantidad de combustible quemado. Las mediciones de las emisiones han sido efectuadas por el Departamento de Gestión Ambiental de la ciudad de Cuenca (CGA). El análisis de las emisiones de gases y el balance energético permitieron determinar una eficiencia superior al 10 % en hornos de tiro invertido. Se espera que estos resultados permitan expandir el uso de hornos más eficientes en la industria ladrillera del Cantón Cuenca.

**Palabras claves:** Hornos de tiro invertido. Emisión de gases. Eficiencia energética. Balance de carbono. Balance energético. Contaminantes emitidos.



## ABSTRACT

Previous studies have shown that brick making is one of the sectors with the highest environmental emissions in Canton Cuenca. One option that has been proposed since 2010, is the implementation of draft kilns; a project promoted by the GAD Municipal of Cuenca through the Environmental Management Commission. This type of kilns seeks to reduce gas emissions, improve the production process and the quality of life of the brick industry. Since its implementation, a baseline of combustion gases has been generated: carbon monoxide (CO), nitrogen oxides (NOX), sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>) and particulate material. However, at the momento the behavior of the concentrations is unknown and therefore it is necessary to determine if, presently, the stipulations of the Ecuadorian Norm for emissions regulations are met. The objective of this work is to determine the pollutants emitted into the atmosphere and the energy efficiency between inverted and traditional kilns. For this, a carbon balance is made, where the amount of pollutants emitted is related to the amount of fuel burned. The measurements of the emissions have been made by the Department of Environmental Management of the city of Cuenca (CGA). The analysis of the gas emissions and the energy balance allowed to determine an efficiency higher than 10% in inverted draft kilns. It is expected that these results will allow to expand the use of more efficient kilns in the Cantón Cuenca brick industry.

**Keywords:** Inverted draft furnaces. Gas emission. Energy efficiency. Carbon balance. Energy balance. Emitted pollutants.



## CONTENIDO

RESUMEN.....	2
ABSTRACT .....	3
AGRADECIMIENTO .....	13
DEDICATORIA.....	14
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	9
1.1 JUSTIFICACIÓN .....	20
1.2 OBJETIVOS .....	21
1.2.1 OBJETIVO GENERAL.....	22
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	22
CAPÍTULO 2: MARCO TEORICO .....	22
2.1 Antecedentes.....	23
2.2 Ladrillera artesanal.....	24
2.3 Ladrillera semi-industrial o semi-mecanizada .....	24
2.4 Ladrillera industrial .....	24
2.5 Ladrillo.....	25
2.5.1 Tipos de ladrillo de producción .....	25
2.6 Materia prima (arcilla) .....	27
2.6.1 Composición de la arcilla .....	27
2.7 Tipo de combustible usado para la producción de ladrillos.....	28
2.7.2 Composición de la madera .....	29
2.8 El horno .....	30
2.8.1 Horno de tiro invertido .....	30
2.8.2 Descripción técnica.....	31
2.8.3 Sistema de combustión.....	32
2.8.4 Función de la cúpula del horno de tiro invertido. ....	32
2.8.5 Capacidad del horno de tiro invertido replicado.....	32
2.9 Implementación de horno de tiro invertido en Cuenca - Ecuador .....	33
2.10 Área de estudio .....	34
2.11 Metodología de análisis de hornos tradicionales .....	36
CAPÍTULO 3: ANALISIS DE EMISIONES Y PROPUESTA DE LA NORMATIVA .....	41



<b>3.1 Generación de emisiones.....</b>	<b>41</b>
<b>3.2 Evaluación de las mediciones de los gases.....</b>	<b>43</b>
3.2.1 Emisiones de los hornos de tiro invertido.....	43
<b>3.3 Evaluación de normativas.....</b>	<b>45</b>
3.3.1 Estados Unidos .....	45
3.3.3 Bolivia.....	46
3.3.4 Colombia.....	47
3.3.5 Perú.....	47
3.3.6 España.....	47
3.3.7 Ecuador.....	48
<b>3.4 Propuesta de límites permisibles para hornos de tiro invertido .....</b>	<b>50</b>
3.4.1 Material particulado. ....	50
3.4.2 Dióxido de Azufre $SO_2$ . ....	51
3.4.3 Óxidos de Nitrógeno, $NO_x$ .....	52
3.4.4 Monóxido de carbono, CO .....	54
<b>CAPÍTULO 4: BALANCE TÉRMICO EN HORNOS DE LADRILLERAS.....</b>	<b>56</b>
<b>4.1 Balance térmico .....</b>	<b>56</b>
4.1.1 Cálculo de calor total suministrado al horno.....	58
4.4.2 Calor aprovechado para la cocción ( $Q_1$ ) .....	59
4.4.1.....	60
4.4.2 La pérdida con los gases de escape ( $Q_2$ ) .....	60
4.4.3 Pérdida debido a reacciones químicamente incompletas ( $Q_3$ ) .....	64
4.4.4 Pérdidas de calor debido a la combustión mecánicamente incompleta ( $Q_4$ ). 66	
4.4.5 Pérdidas al medio ambiente por las paredes del horno ( $Q_5$ ). ....	66
4.4.6 Calor perdido por las reacciones endotérmicas de las arcillas ( $Q_6$ ) .....	69
4.4.7 Calor perdido por la descomposición del carbonato ( $Q_7$ ) .....	70
4.4.8 Calor perdido en la evaporación de la humedad ( $Q_8$ ).....	71
4.4.9 Calor perdido por conducción en el suelo.....	73
<b>CAPÍTULO 5: EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LOS HORNOS DE LAS LADRILLERAS .....</b>	<b>75</b>
<b>5.2 Cálculo de eficiencia de los hornos .....</b>	<b>75</b>
5.2.1 Eficiencia en hornos de tiro invertido .....	75
5.2.2 Eficiencia de hornos tradicionales.....	76



5.4 Comparación de las eficiencias .....	79
<b>CAPÍTULO 6: COSTO DE PRODUCCIÓN.....</b>	<b>81</b>
6.1 Producción ladrillera.....	81
6.2 Comercialización .....	81
6.3 Cálculo de costos y utilidad aproximados de ladrillo tochano rugoso (ladrilleras artesanales) .....	82
6.4 Cálculo de costos y utilidad aproximados de ladrillo tochano rugoso (ladrilleras semi-industrial). ....	85
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>88</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>90</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>91</b>



Índice de Figuras

Figura 1 Caras y vistas del ladrillo .....	27
Figura 2 Distribución de combustible utilizados en el encendido del horno en países de Latinoamérica .....	29
Figura 3 Horno de tiro invertido .....	30
Figura 4 Composición de horno de tiro invertido.....	31
Figura 6 Área de estudio del presente trabajo. ....	34
Figura 5 Mapa de ubicación de la parroquia Sinincay.....	35
Figura 7 Flujo de la fabricación de ladrillos .....	41
Figura 8 Emisiones material particulado.....	51
Figura 9 Comparación de límites permisibles para material particulado. ....	51
Figura 10 Emisiones de $SO_2$ .....	52
Figura 11 Comparación de límites permisibles para $SO_2$ .....	52
Figura 12 Emisiones de $NO_x$ .....	53
Figura 13 Comparación de límites permisibles para $NO_x$ . ....	53
Figura 14 Emisiones de CO .....	54
Figura 15 Comparación de límites permisibles para CO .....	55
Figura 16. Ejemplo del peso de un ladrillo previo a ser cargado en el horno.....	57
Figura 17 Flujo de gases en el horno y pérdidas de calor .....	64
Figura 18 Fotografía de leña usada en los hornos de tiro invertido. ....	66
Figura 19 imagen frontal tomado con la cámara termográfica .....	68
Figura 20 imagen lateral tomado con la cámara termográfica.....	68



## Índice de Tablas

Tabla 1 Tipo de punto georreferenciado. ....	23
Tabla 2 Dimensiones de ladrillos cerámicos en cm.....	25
Tabla 3 Propiedades térmicas de algunos materiales de construcción y aislantes.....	28
Tabla 4 Ubicación georreferenciada de los hornos de tiro invertido. ....	35
Tabla 5 Tamaño muestral de las ladrilleras en el sector de Racar. ....	36
Tabla 6 Información general de las ladrilleras artesanales (una quema).....	37
Tabla 7 Variables para la determinación de la cantidad de combustible. ....	38
Tabla 8 Factores de emisión en ladrilleras en EEUU. ....	38
Tabla 9 Resultado de las emisiones de gases CO, NO, SO <sub>2</sub> , COV's. ....	39
Tabla 10 Contaminantes que genera el proceso productivo en hornos de ladrillos. ....	42
Tabla 11 Resultados de las mediciones Horno 1. ....	43
Tabla 12 Resultados de las mediciones Horno 2. ....	44
Tabla 13 Resultados de las mediciones Horno 3. ....	44
Tabla 14 Resultados de las mediciones Horno 4. ....	45
Tabla 15 Límites permisibles IFC.....	46
Tabla 16 Límites permisibles Bolivia. ....	46
Tabla 17 Límites permisibles Colombia.....	47
Tabla 18 Límites permisibles España. ....	48
Tabla 19 límites permisibles Ecuador. ....	49
Tabla 20 Comparación de normativas ....	50
Tabla 21 Costos Directos de ladrillera artesanal. ....	82
Tabla 22. Mano de obra en ladrilleras artesanales.....	83
Tabla 23 Costos indirectos en ladrilleras artesanales ....	84
Tabla 24 Costos Directos de ladrillera semi- mecanizada.....	85
Tabla 25 Costo de mano de obra en ladrillera semi-mecanizada.....	86
Tabla 26. Costos indirectos en ladrilleras semi-mecanizadas. ....	86
Tabla 27. Estructura de producción del ladrillo tochano rugoso. ....	87





### Cláusula de Propiedad Intelectual

---

Adrián Fabián Cabrera Zúñiga en calidad de autor del trabajo de titulación "Análisis de las emisiones ambientales y de la eficiencia energética de los hornos de las ladrilleras de Cuenca. Propuesta de límites referenciales de emisiones ambientales", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, Julio de 2019

---

Adrián Fabián Cabrera Zúñiga

C.I: 0106455546



### Cláusula de Propiedad Intelectual

---

Rómulo Arturo Faican Zari en calidad de autor del trabajo de titulación "Análisis de las emisiones ambientales y de la eficiencia energética de los hornos de las ladrilleras de Cuenca. Propuesta de límites referenciales de emisiones ambientales", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, Julio de 2019

---

Rómulo Arturo Faican Zari

C.I: 0104899513



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio  
Institucional

---

Adrián Fabián Cabrera Zúñiga en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Análisis de las emisiones ambientales y de la eficiencia energética de los hornos de las ladrilleras de Cuenca. Propuesta de límites referenciales de emisiones ambientales", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, Julio de 2019

Adrián Fabián Cabrera Zúñiga

C.I: 0106455546



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio  
Institucional

Rómulo Arturo Faican Zari en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Análisis de las emisiones ambientales y de la eficiencia energética de los hornos de las ladrilleras de Cuenca. Propuesta de límites referenciales de emisiones ambientales", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, Julio de 2019

Rómulo Arturo Faican Zari

C.I: 0104899513



## **AGRADECIMIENTO**

A nuestros familiares, Juan Cabrera e Irene Zúñiga; Rómulo Faicán y Yolanda Zari, por el apoyo incondicional brindado en toda la etapa académica.

Al Ing. Raúl Peláez Samaniego, PhD por habernos dado la oportunidad de poner en práctica los conocimientos adquiridos en la universidad, por enseñarnos nuevas técnicas para el desarrollo profesional, brindar su experiencia, motivación, apoyo y guía.

A la Comisión de Gestión Ambiental de la Municipalidad de Cuenca CGA, al Ing. Gerardo Cordero gerente UCuenca-EP por facilitar el uso de equipos para la toma de datos para el presente estudio y de manera puntual a los propietarios de los hornos de tiro invertido que nos permitieron realizar, las diversas pruebas y toma de datos para nuestro proyecto de titulación.



## DEDICATORIA

Dedicamos este trabajo a todos nuestros familiares y amigos. Que brindaron apoyo incondicional en todo momento.

A nuestros seres queridos que por asares de la vida ya no se encuentran con nosotros presentes y siempre estuvieron aconsejándonos tanto en nuestra etapa educativa como en el desarrollo personal.



## REFERENCIA DE SIGLAS Y ABREVIATURAS

Abreviatura	Término
C:	Porcentaje de carbón presente en la leña.
C.Combustible:	Consumo del combustible total en un año de producción.
$C_d$ :	Calor de deshidratación.
$C_{desc}$ :	Constante de descomposición.
Ce:	Constante de evaporación de humedad para los ladrillos.
CGA:	Comisión de gestión ambiental.
CO:	Dióxido de carbono.
CO <sub>2</sub> :	Monóxido de carbono.
Cp:	Calor específico.
CP:	Costo de producir 1 unidad.
$C_{pa}$ :	Capacidad calorífica volumétrica.
CN:	Condiciones normales.
C:	Contenido de carbono de la leña (%).
( $c\vartheta$ )CO <sub>2</sub> :	Entalpía de 1 m <sup>3</sup> para CO <sub>2</sub> .
( $c\vartheta$ )N <sub>2</sub> :	Entalpía de 1 m <sup>3</sup> para N <sub>2</sub> .
( $c\vartheta$ ) H <sub>2</sub> O:	Entalpía de 1 m <sup>3</sup> para el agua.
( $c\vartheta$ )a:	Entalpía para 1 m <sup>3</sup> del aire.
e:	límite aceptable del error muestral.
Ec:	Emisión del contaminante.
EELA:	Eficiencia energética en ladrilleras artesanales.
ET:	Emisiones totales.
ER:	Eficiencia de reducción de emisiones del equipo control.
Fe:	Factor de emisión.
GAD:	Gobierno autónomo descentralizado.



GEI:	Gases de efecto invernadero.
CGA:	Comisión de gestión ambiental.
H:	Contenido de hidrógeno (%).
$I_a$ :	Entalpía del aire.
$I_{a. f.}$ :	Entalpía del aire que entra al horno.
$I_g$ :	Entalpía de los productos de combustión cuando.
$I_{g. e.}$ :	Entalpía de los gases.
k:	Conductividad térmica.
m:	Masa del ladrillo.
Masa:	Masa de la leña
$m_{CaCO_3}$ :	Masa de los carbonatos presente en la arcilla.
$m_{H_2O}$ :	Masa de agua que poseen los ladrillos antes de la cocción.
N:	Porcentaje de nitrógeno en la leña.
N':	Tamaño de la población.
NO:	Monóxido de nitrógeno.
NO <sub>2</sub> :	Dióxido de nitrógeno.
NA:	Producción total de unidades en un año de producción.
n:	El tamaño mínimo de muestra a levantar en la población.
$\eta_{cocción}$ :	Eficiencia.
PCI:	Poder calorífico inferior.
PCS:	Poder calorífico superior.
PM <sub>10</sub> :	Material particulado.
PV:	Precio de venta fijado por el productor.
$\delta$ :	Densidad de la madera.
$\rho$ :	Densidad de la arcilla.
RO <sub>2</sub> :	Contenido de gases triatómicos.
SO <sub>2</sub> :	Dióxido de azufre.
S:	Contenido de azufre (%).





$S_{vol}$ :	Cantidad de azufre en la leña.
$\alpha$ :	Difusividad térmica.
$t_a$ :	Temperatura ambiente.
$t$ :	Tiempo.
$V$ :	Volumen de la leña.
$V_{RO_2}$ :	Volumen de gases triatómicos.
$V^\circ$ :	Volumen teórico de gases de combustión.
$V^\circ_{N_2}$ :	Volumen teórico de nitrógeno.
$V^\circ_{H_2O}$ :	Volumen teórico del vapor de agua en los gases de combustión.
$V_c$ :	Volumen total de combustible utilizado en un año de producción.
$W$ :	Porcentaje de humedad en la leña.
$Z$ :	Distribución normal para un nivel de confianza de 95 %.

#### Unidades

Abreviatura	Término
cm:	Centímetro.
°C:	Grado Celsius.
K:	Grados Kelvin.
kcal:	Kilocaloría.
kcal/kg:	Kilocaloría por kilogramo.
kJ:	Kilojoule.
kJ/kg:	Kilojoule por kilogramo.
Kg:	Kilogramo.
kW:	Kilowatt.
m:	Metro.
mm:	Milímetro.
m <sup>3</sup> :	Metro cúbico.



m/s:	Metro por segundo.
msnm:	Metros sobre el nivel del mar.
mg/m <sup>3</sup> :	Miligramo por metro cúbico.
mg/Nm <sup>3</sup> :	Miligramo por metro cúbico en condiciones normales.
m <sup>3</sup> /kg:	Metro cúbico por kilogramo.
MJ/kg:	Millijoule por kilogramo.
s:	Segundo.
t/año:	Toneladas por año.



## CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

En Ecuador, como en otros países en vías de desarrollo, la industria es importante para el progreso del país. La generación de aspectos positivos y negativos son percibidos por el desarrollo de la actividad industrial, donde la población es la parte beneficiada y el medio natural soporta el impacto directo generado (ONUDI, 2015). En muchos países la producción de ladrillos se realiza en hornos artesanales alimentados con carbón, madera y otros materiales de biomasa. Como resultado, se emiten grandes cantidades de gases de efecto invernadero que generan contaminación al ecosistema afectado el aire, agua y la tierra (González, 2014).

La manufactura de ladrilleras artesanales es una actividad significativa en Ecuador. Según el Instituto de Estadísticas y Censos, en el año 2010 se registraron 1 730 micro empresas donde laboran menos de 10 empleados dedicados a la producción de ladrillos (ALTIOR, 2013). La elaboración del producto no cuenta con un control de calidad y el uso no técnico de los combustibles (especialmente madera) generan contaminación.

Estudios muestran que la implementación de tecnologías más eficientes, principalmente durante la cocción de ladrillos, puede resultar la reducción de emisiones contaminantes del 10 al 50 %, dependiendo del proceso, escala y combustible utilizado (EELA, 2017). De acuerdo con un informe de EELA (Eficiencia Energética en Ladrilleras Artesanales, 2011) la emisión de gases de efecto invernadero por tonelada de ladrillo producido se aproxima a los 300 kg de dióxido de carbono equivalente ( $\text{CO}_{2\text{eq}}$ ), problema que tiene afección directa en la salud de la población.

Para solucionar el problema mencionado, en la ciudad de Cuenca se implementó en año 2010 el proyecto EELA, que tiene como objetivo contribuir a la mitigación del cambio climático a través de la reducción de las emisiones de efecto invernadero (GEI) generado por las ladrilleras artesanales en América Latina (CGA, 2013). La implementación del horno de tiro invertido, cuyo funcionamiento necesita temperaturas de 1000 °C (que es superior a las de hornos tradicionales) es la principal modificación. En la presente tesis se va analizar las emisiones ambientales y eficiencia energética de los hornos de tiro invertido con respecto a los tradicionales con la finalidad de proponer límites referenciales de la actividad industrial.



## 1.1 JUSTIFICACIÓN

Dentro de las actividades productivas desarrolladas en el territorio azuayo se encuentran las ladrilleras artesanales, que operan desde hace mucho tiempo atrás, y han sido punto de análisis por parte de la Municipalidad de Cuenca debido al grado de contaminación que provocan al ambiente por la liberación de gases de efecto invernadero (GEI). Por este motivo, desde hace varios años se busca alternativas a los procesos de producción que generen menor impacto al ambiente.

El “Proyecto de Eficiencia Energética en Ladrilleras Artesanales”, liderado por el GAD Municipal de Cuenca, tiene como objetivo contribuir a mitigar el cambio climático a través de la reducción de gases de efecto invernadero y mejorar la calidad de vida del sector ladrillero, mediante la implementación de alternativas tecnológicas (Belli, 2015). Por medio de la implementación del horno de tiro invertido se prevé disminuir la contaminación generada por los hornos convencionales.

El horno de tiro invertido posee una estructura rectangular sin aislamiento térmico para la cocción de ladrillos y tejas, con una bóveda en la parte superior, que contiene varias aberturas a los lados en la parte inferior, para inyectar aire y combustible. Los gases son evacuados a través de una criba o emparrillado en su piso (solera). De acuerdo al manual de hornos eficientes, el total de ladrillos en Ecuador y Perú, es aproximadamente 10 millones, donde alrededor de 0,5 millones son producidos por los hornos de tiro invertido. Este horno presenta un diseño que mejora el rendimiento en quemado, secado, disminución de consumo de materia prima (arcilla y leña) mejorando los ingresos económicos de las familias dedicadas a esta actividad (EELA, 2015).

El proyecto EELA se viene ejecutando desde el año 2010, el mismo que no ha tenido un seguimiento de los gases de emisión: monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y material particulado. En conjunto con la Comisión de Gestión Ambiental (CGA) se ha visto la necesidad de realizar un análisis en el presente año, para determinar las concentraciones de los compuestos y verificar que en el transcurso tiempo el programa implementado está manteniendo su efectividad. La información recopilada podrá ser comparada con la normativa vigente, con el fin, de confirmar si las



concentraciones de gases derivados de los hornos se encuentran en los estándares establecidos de la normativa nacional y comparar con valores en normas internacionales. Además, los datos obtenidos serán usados para proponer una nueva normativa de emisiones únicamente para la actividad artesanal (ladrilleras). La ejecución del presente trabajo se justifica porque existe una necesidad evidente de: a) cuantificar los gases de efecto invernadero en los hornos de tiro invertido, para valorar su funcionamiento y proponer una normativa sobre las emisiones permisibles en este tipo de hornos; y, b) determinar la eficiencia energética de los hornos de tiro invertido y tradicionales para comparar el consumo de combustibles.

### **1.2 OBJETIVOS**



### **1.2.1 OBJETIVO GENERAL**

Realizar un análisis comparativo de las emisiones ambientales y la eficiencia energética de los hornos de tiro invertido y tradicionales empleados en las ladrilleras de Cuenca y, en base a la literatura, proponer límites referenciales sobre dichas emisiones.

### **1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Recopilar información de las emisiones de los gases de los hornos de tiro invertido y tradicionales en las bases de datos de la CGA, con énfasis en mediciones recientes.
2. Evaluar la información obtenida y proponer una normativa de límites de emisiones en los hornos de tiro invertido en base a la literatura y a parámetros sugeridos para este tipo de industria.
3. Realizar mediciones de parámetros los cuales son: calor desprendido, calor emitido a la atmósfera, calor en las paredes de los hornos, emisión de gases, velocidad de los gases y temperatura. Que permitan realizar un balance térmico tanto en hornos de tiro invertido como en los hornos tradicionales.
4. Determinar y comparar las eficiencias energéticas de los hornos de tiro invertido y tradicionales.
5. Cuantificar el consumo de combustible en cada tipo de horno y estimar su influencia en los costos de producción de la industria de elaboración de ladrillos artesanales.

## **CAPÍTULO 2: MARCO TEORICO**

## 2.1 Antecedentes

La producción y oferta de ladrillo artesanal es una actividad representativa en todo el país. De acuerdo al Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, en el año 2010 Ecuador contaba con 1 805 establecimientos dedicados a la actividad ladrillera, donde 1 730 corresponden a micro empresas conformados por menos de 10 empleados. Las provincias con mayor representatividad son Cotopaxi 16,4 %, Pichincha 15,6 % y Azuay con 12 %. Las cifras varían a nivel cantonal, en donde la ciudad de Cuenca cuenta con un 9,88 % de producción total de ladrillos del país (ALTIOR, 2013).

De acuerdo con el estudio de línea base elaborado por la Universidad del Azuay (IERSE, 2010) el número total de ladrilleras georreferenciados es de 601 puntos, donde la mayor representatividad proviene del sector ladrillero artesanal, seguido de semi-industrial e industrial. El total de los puntos georreferenciados, de acuerdo con la clasificación correspondiente, se muestra en la Tabla 1.

*Tabla 1 Tipo de punto georreferenciado.*

TIPO DE PUNTO GEORREFERENCIADO	TOTAL
Ladrilleras artesanales	449
Ladrilleras semi-industriales	40
Ladrilleras industriales	5
Hornos	53
Secaderos	4
Total de puntos	601

Fuente: (IERSE, 2010).



## **2.2 Ladrillera artesanal**

Las ladrilleras artesanales son aquellas dedicadas a la producción de ladrillos de forma manual, utilizando hornos simples para la quema, generalmente conformados por un grupo pequeño familiar. En este segmento, el ladrillo de mayor producción es de tipo panelón o macizo y de proporción menor el ladrillo hueco (Barranzuela, 2014). Por lo tanto, la producción de ladrilleras artesanales concentra sus recursos en la mano de obra y animales que facilitan el trabajo en la producción del ladrillo (ALTIOR, 2013).

## **2.3 Ladrillera semi-industrial o semi-mecanizada**

Este tipo de ladrilleras comparten procesos con artesanales e industriales, mediante el uso de maquinaria de pequeña escala como son la mezcladora, moledoras, molino y/o ventilador. La utilización de estos equipos permite la reducción del 60 % personal, 30 % de agregados orgánicos en la pasta del producto y tiempo de producción (Cabrera, 2010). Entre las características del ladrillo semi-industrial se encuentra su resistencia, calidad y aplicabilidad; presenta una superficie lisa obteniendo como resultado final el ladrillo macizo de calidad homogénea (Barranzuela, 2014).

## **2.4 Ladrillera industrial**

Es el ladrillo fabricado por maquinaria a grandes escalas y con poca presencia de personal. El sistema industrial permite amasar, moldear y prensar o extruir la pasta de arcilla para elaborar el producto final, el mismo que requiere espacio para la ubicación de equipos. Entre sus características presenta mejor uniformidad, calidad, durabilidad y resistencia comparado con algunos tipos de ladrillo artesanal (Barranzuela, 2014).



## 2.5 Ladrillo

El ladrillo es una pieza de arcilla moldeada y cocida, en forma de paralelepípedo o prisma regular que se emplea en albañilería, de acuerdo con la norma INEN-0293 (INEN, 1978). Posee una geometría homogénea de superficie plástica sin deformaciones ni fisuras, donde la uniformidad de color y textura indican una buena cocción (Bianucci, 2009). La aplicabilidad de este componente cerámico es principalmente para construcción de viviendas y edificios (Barranzuela, 2014). Usualmente posee las dimensiones mostradas en la Tabla 2.

*Tabla 2 Dimensiones de ladrillos cerámicos en cm.*

Tipo de ladrillo	Largo (L) cm	Ancho (a) cm	Alto (h) cm
Común de máquina	39	19	9
	39	19	9
Reprensado	29	19	9
	29	19	9
	29	19	9
Hueco	29	19	19
	29	19	14
	29	19	9

Fuente: (INEN, 1978).

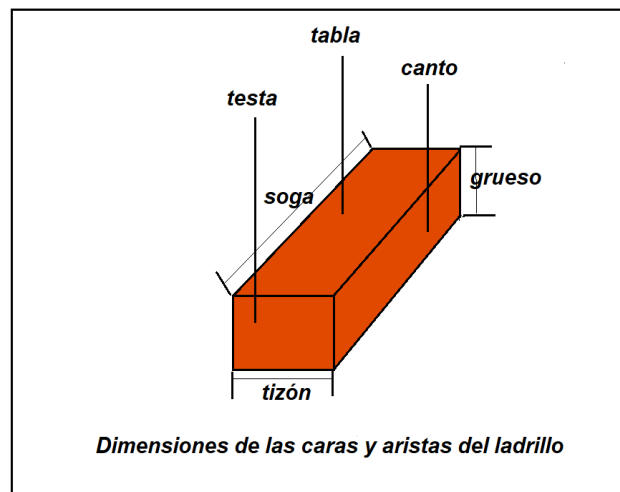
### 2.5.1 Tipos de ladrillo de producción

Según su forma, existen diferentes tipos de ladrillos producidos en la actividad artesanal:

- Ladrillos sólidos o macizo: Su producción es generalmente artesanal y son utilizados en obras de construcción, por los bajos costos del material, propiedad de aislamiento térmico y disponibilidad geográfica (Afanador , Guerrero , & Monroy, 2012). El ladrillo totalmente macizo o con taladros en tabla. A nivel nacional posee una participación no superior al 10 % sobre el volumen total de producción y ventas (Fernández, 2014). Se obtiene mediante extrusionado de la arcilla a través de una boquilla o por prensado sobre un molde.

- b) Ladrillos huecos: Son ladrillos con taladros en canto o testa, utilizados en la actividad de construcción. Por su capacidad de resistencia, durabilidad y calidad, con este producto se pueden formar muros de edificaciones. Para su producción se necesita la presencia de maquinaria para generar sus características como resistencia mecánica, aislamiento y protección contra intemperie (Manzano, 2018).
- c) Ladrillo tejar o manual: Este tipo de ladrillo presenta una apariencia tosca, con caras rugosa y buenas propiedades ornamentales. Poseen características físicas similares a los ladrillos de fabricación artesanal (Deleg, 2010). Actualmente el empleo más característico se lo realiza en revestimientos decorativos (Manzano, 2018).
- d) Ladrillo perforado: Estos elementos poseen perforaciones paralelas a cualesquiera aristas, cuyo volumen total de huecos es entre el 25 y 45 % del volumen total del ladrillo (Manzano, 2018). Comúnmente son utilizados en la ejecución de fachadas (Deleg, 2010).
- e) Ladrillo aplantillado: Son utilizados en diferentes elementos de construcción como muros, arcos o bóvedas. Este tipo de ladrillo surgió del molde, por lo que se lo denomina ladrillo aplantillado o moldeado (Manzano, 2018). Su estructura física es de perfil curvo.
- f) Ladrillo caravista: Estos ladrillos tienen una función estética, son empleados como elementos en la construcción de cerramientos, muros de carga, arcos, bóvedas; generalmente para un acabado especial (Manzano, 2018). Actualmente presentan gran demanda en el mercado nacional.
- g) Ladrillo refractario: Ladrillos que dentro de su estructura contienen arcilla, alúminas o sílice. Generalmente son utilizados en hornos, calderas, parrillas, etc., por su baja conductividad térmica. Estas piezas poseen una textura lisa y homogénea de alta densidad; soportan temperaturas elevadas y cambios bruscos en la misma (Varéz, Rabanal, & Levenfeld, 2008).

El ladrillo está conformado por distintas partes denominadas tabla, testo y canto. La tabla representa la cara mayor de la estructura, el canto constituye la cara mediana, parte intermedia y el testo la cara menor del ladrillo. Las aristas de los ladrillos reciben los nombres de: sogá la arista mayor, tizón la arista media y grueso la arista menor (HISPALYT, 1998). La denominación de las caras y aristas del ladrillo se puede observar en la Figura 1.



*Figura 1 Caras y vistas del ladrillo ( CM. DGAV, 2004)*

## 2.6 Materia prima (arcilla)

En el sector ladrillero, el material básico del ladrillo es la arcilla. La norma INEN-0293 establece que el ladrillo debe ser de arcilla o tierra arcillosa, donde se permite adicionar otros materiales con la finalidad de mejorar la plasticidad y consistencia del producto, para evitar la formación de grietas y deformaciones en el acabado (INEN, 1978). Las características físicas de este material permiten un fácil manejo por el contenido de humedad. Los ladrillos se fabrican por el procedimiento de cocción al rojo vivo, a una temperatura de 800 °C como mínimo. En estas condiciones se debe obtener un producto de color rojizo, homogéneo, resistencia uniforme y al ser golpeado debe emitir un sonido metálico (Ortiz & Tupaz, 2015). Es importante que el material no pueda causar eflorescencia de carácter destructivo o manchas permanentes en el acabado.

### 2.6.1 Composición de la arcilla

En estado natural, la arcilla contiene uno o varios minerales arcillosos, donde se puede encontrar silicatos de aluminio y productos hidratados provenientes de la descomposición natural de las rocas aluminosas y silicatadas. Diferentes autores proponen la fórmula molecular de la arcilla pura como  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , denominada caolín, en esta fórmula no incluye las impurezas que siempre están presentes (Barranzuela, 2014). La densidad de la arcilla y otros materiales de construcción se encuentran en la tabla 3.

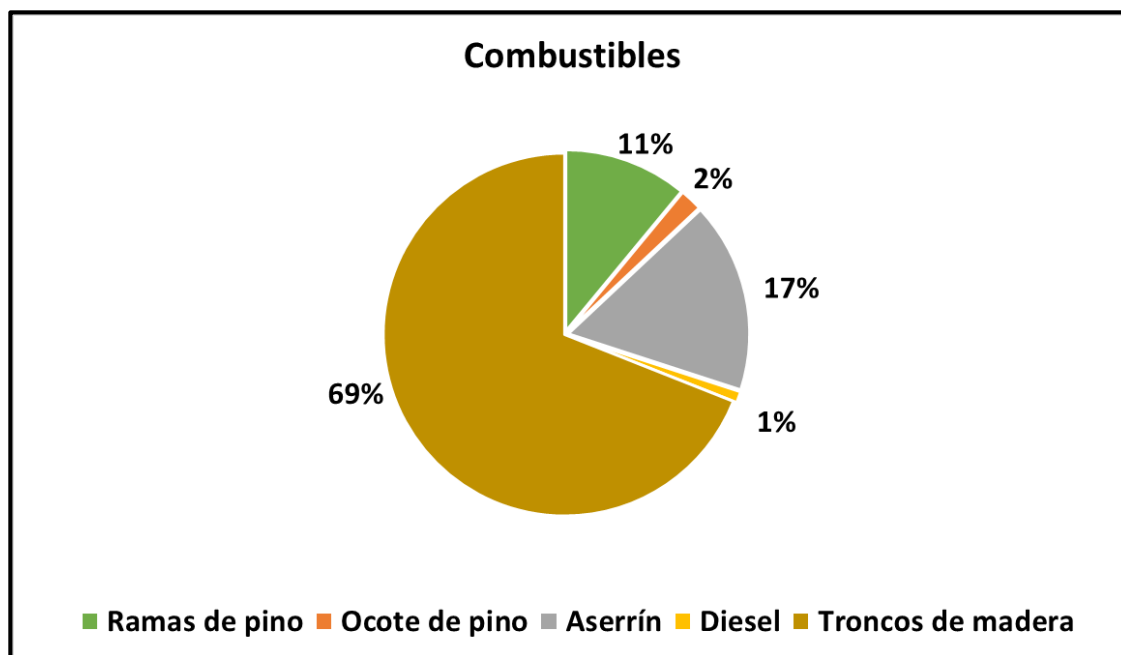
Tabla 3 Propiedades térmicas de algunos materiales de construcción y aislantes.

Material	Temperatura °C	Densidad $\rho$ $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	Calor específico Cp. Joules/kgK	Con. Térmica k W/mK	Difusividad Térmica $\alpha \times 5$ $\text{m}^2/\text{s}$
Ladrillo común	20	1800	840	0,38-0,52	0,028-0,034
Ladrillo de carborundum	600			18,5	
	1400			11,1	
Ladrillo de magnesita (50% MgO)	20	200		2,680	
	200		1,13	3,81	
	650			2,77	
	1200			1,9	
Arcilla refractaria, cocida a 1330°C	500	2000	0,84	1,04	0,054
	800			1,07	
	1100			1,09	
Arcilla refractaria, cocida a 1450°C	500	2300	0,96	1,28	0,04
	800			1,37	
	1100			1,4	

Fuente: (Hernández, 2014).

## 2.7 Tipo de combustible usado para la producción de ladrillos

De acuerdo a la información recopilada por el programa EELA, en el 2010, se determinó que en los países de América Latina el combustible utilizado en su mayoría corresponde a madera de pino (69 %) y sus derivados. La mayoría de productores usan las ramas de pino para encender el horno y material de baja capacidad calorífica para mantener la temperatura de la cámara de combustión al inicio de la quema (EELA, 2013). Entre los derivados se pudo determinar el uso de aserrín, troncos de madera, diésel y ocote de pino representados con sus porcentajes en la Figura 2.



*Figura 2 Distribución de combustible utilizados en el encendido del horno en países de Latinoamérica (EELA, 2013).*

#### 2.7.1 Poder calorífico de la madera

El poder calorífico de un combustible expresa la cantidad de energía liberada durante la combustión completa por unidad de masa del combustible. Una parte de la energía liberada se gasta en la evaporación de la humedad y no está disponible para ningún uso térmico. Para evaporar el agua se supone un consumo de 2,44 MJ/kg de H<sub>2</sub>O. Se distingue el poder calorífico inferior (PCI), en el que el agua liberada se trata como vapor; es decir, se resta la energía térmica para vaporizar el agua (calor latente de vaporización del agua a 25 °C) y el poder calorífico superior (PCS) donde el agua en los productos de combustión se trata como líquido (Francescato & Antonini, 2012).

En relación al poder calorífico superior de la madera, el valor varía en un rango de 18,5 a 19 MJ/kg. Cuando se tiene en cuenta los biocombustibles agrícolas este valor varía de 16 a 19 MJ/kg (Francescato & Antonini, 2012).

#### 2.7.2 Composición de la madera

La biomasa vegetal (madera) está compuesta por carbono (aproximadamente 50 %), oxígeno (aproximadamente 42 %), hidrógeno (alrededor de 6 %) y nitrógeno (alrededor de 0,2 %), principalmente, además de otros elementos inorgánicos como fósforo, sodio o calcio (Presa, 2015).

## 2.8 El horno

El horno es el elemento fundamental para las actividades relacionadas a la fabricación de tejas y ladrillos, su estructura es adobe; mismo material que utilizan en la fabricación del ladrillo (Hinojosa & Velasco, 2004). Por sus características físicas permite la construcción ladrillos espacios reducidos. En el caso de la fabricación artesanal de ladrillos, poseer un horno permite independencia para laborar a toda una familia dedicada a la fabricación de los mismos.

### 2.8.1 Horno de tiro invertido

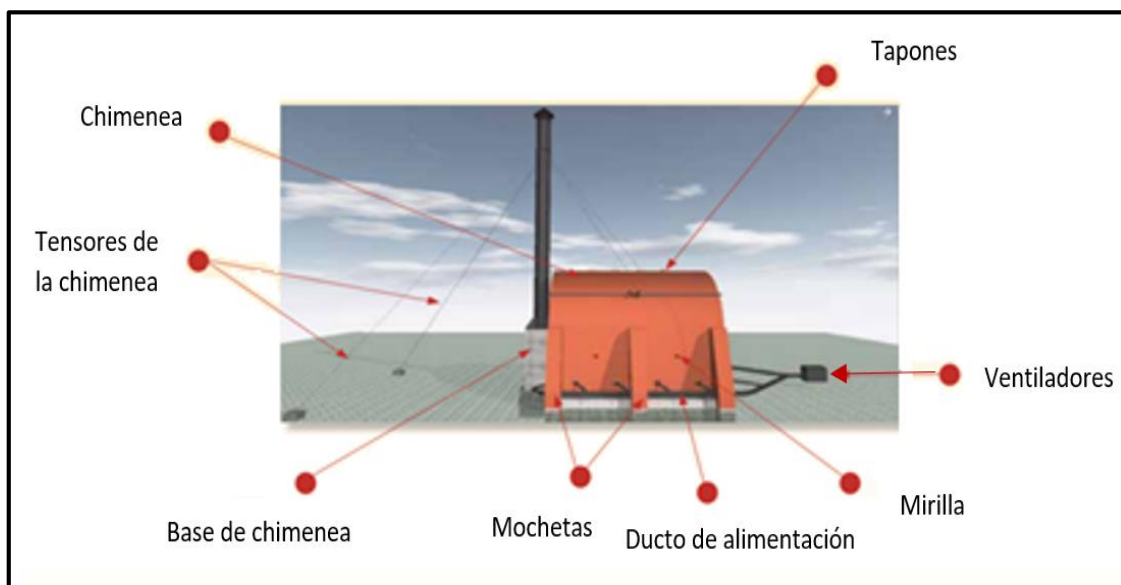
Estructuralmente, el horno de tiro invertido se encuentra construido de paredes de ladrillo, los cuales están adheridos con cemento o adobe, contiene columnas de hormigón y una chimenea edificada con planchas metálicas para la liberación de gases, tal como se aprecia en la Figura 3.



*Figura 3 Horno de tiro invertido (Belli, 2015).*

### 2.8.2 Descripción técnica

Composición del horno: En la Figura 4 se aprecian los implementos que se han incorporado al horno, como: cúpula, chimenea, entrada de la carga, ductos de purga, bocas de alimentación de combustible, ventilador, ductos de aire y termocuplas. La presencia de estos elementos hace que este tipo de horno sea, constructivamente, muy diferente a los hornos tradicionales usados en gran parte del Cantón Cuenca para la producción de ladrillos.



*Figura 4 Composición de horno de tiro invertido (EELA, 2013).*

Los ladrillos reciben el calor proveniente de la distribución de temperatura que se da en el techo del horno (cúpula), gracias al aire inyectado para el proceso de combustión por medio de ventiladores; donde los gases calientes cambian de dirección y bajan pasando por cada ladrillo y así producir el efecto de tiro invertido (EELA, 2013). Las bocas de alimentación de combustible se ubican a los costados, al frente y atrás del horno. El ventilador suministra aire por medio de los ductos hacia las bocas de combustión, de manera continua. Las termocuplas miden la temperatura en el interior del horno; una se encuentra en la parte media del horno y otra en la cúpula (Lema, 2015).



### 2.8.3 Sistema de combustión.

El sistema de combustión está formado por las bocas de alimentación de combustible, ductos de aire y ventilador. Las bocas de alimentación tienen forma abocinada, lo que favorece la combustión, y se ubican en las paredes laterales, frontales y traseras del horno. Normalmente se emplean 8 bocas distribuidas 4 para cada pared lateral, 2 en la parte frontal y 2 en la sección trasera del horno (Gavilanez, 2015).

El horno de tiro invertido utiliza combustible sólido, como madera de eucalipto, pino, residuos de construcción, aserrín, y su alimentación se realiza de forma lenta y gradual. El ventilador posee un regulador principal de aire que permite regular este flujo, que en promedio debe tener una velocidad de 3 m/s, lo que permite oxigenar la cámara del horno para producir una combustión completa (Gavilanez, 2005).

### 2.8.4 Función de la cúpula del horno de tiro invertido.

La función de la cúpula es la de permitir que los gases sean obligados a descender, puesto que al encontrarse a temperaturas elevadas por la combustión (tanto de las bocas de alimentación como de las paredes laterales, frontales y traseras) se acumulan y terminan en el ducto que conduce hacia la chimenea, manteniendo el mayor tiempo posible el calor al interior del horno (Lema, 2015).

### 2.8.5 Capacidad del horno de tiro invertido replicado.

El horno de tiro invertido en el que se ha realizado el presente trabajo posee un volumen total interno de 64,8 m<sup>3</sup>; sin embargo, el volumen a ocupar depende del tipo de pieza cerámica a quemar. En forma general, se debe dejar un espacio de 30 cm entre las paredes laterales y la carga, de 20 cm entre las paredes frontales y posteriores, y 0,8 m a 1 m entre la cúpula y la última fila de ladrillo. Con estas restricciones, el horno posee una capacidad aproximada de 5 000 ladrillos de tipo tochano. Las dimensiones de este ladrillo son 19,5 cm ancho, 38,5 cm de largo y 10 cm de alto (Lema, 2015).





## 2.9 Implementación de horno de tiro invertido en Cuenca - Ecuador

Desde el año 1997 funciona la CGA en el cantón Cuenca, siendo pionera en el control y gestión ambiental a nivel nacional. La CGA, entre otras, busca velar por el cumplimiento de la legislación ambiental vigente a nivel local y nacional por parte de entes públicos y privados que forman parte de la actividad cerámica y de productos de construcción, tanto a nivel industrial como artesanal (EELA, 2013).

La CGA del GAD Municipal de Cuenca ha intervenido en el sector ladrillero artesanal, con el fin de controlar las emisiones de gases (dióxido de carbono, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y material particulado), que afectan a la población. De acuerdo a la información disponible en el Inventario de Emisiones del Cantón Cuenca, el sector ladrillero es el segundo generador de CO, luego del tráfico vehicular, aportando 2 465 t/año. Además, conjuntamente con el tráfico vehicular, es el principal generador de material particulado (CGA, 2013).

El proyecto Eficiencia Energética en Ladrilleras Artesanales (EELA) contempla la implementación de tecnologías adecuadas, dirigidas a mejorar el proceso productivo. Dicho proyecto permite reducir la emisión de gases de efecto invernadero y contaminantes de vida corta, por medio de la incidencia en políticas públicas y el apoyo técnico, para lo cual cuenta con una inversión de aproximadamente \$ 100 000. EELA abarca a 100 ladrilleras ubicadas en las parroquias rurales de Sinincay, Sayausí y Chiquintad, con él se benefician aproximadamente 500 personas involucradas directamente en la actividad (CGA, 2013).

Las mejoras tecnológicas, que incluyen hornos eficientes, ventiladores, dosificadores de combustibles sólidos, extrusoras y batidoras, buscan mejorar la eficiencia energética, posibilitando la disminución del uso de combustibles y la emisión de GEI, buscando además acceder al mercado de carbono. La implementación de buenas prácticas en la producción, tales como la colocación adecuada de los ladrillos en los hornos o la alimentación del combustible, permite la reducción de emisiones, mejorar la calidad de los productos y facilitar su comercialización (EELA, 2013).

## 2.10 Área de estudio

El área de estudio se encuentra localizada al noroccidente de la ciudad de Cuenca, en el barrio Racar de la parroquia de Sinincay como se muestra en las Figuras 5 y 6. La zona posee una temperatura de 15 °C aproximadamente, con una pluviosidad anual de 700 a 1 100 mm y 75 % de humedad, velocidad de viento 4 m/s con vientos predominantes provenientes del noreste. El clima es variable, con épocas lluviosas normalmente en los meses de febrero a mayo y de octubre a noviembre. De la misma manera, existen temperaturas elevadas en los meses de junio a septiembre y disminución de intensidad en diciembre a enero (INAMHI, 2016). La zona ladrillera y tejera posee características similares, ubicada en la periferia de la ciudad a una altura entre 2 500 – 2 600 msnm. Los cinco hornos de tiro invertido existentes en la ciudad de Cuenca se encuentran ubicados en el territorio de la parroquia Sinincay, como se indica en la Tabla 4.



Figura 5 Área de estudio del presente trabajo.

### ÁREA DE ESTUDIO "HORNO DE TIRO INVERTIDO"

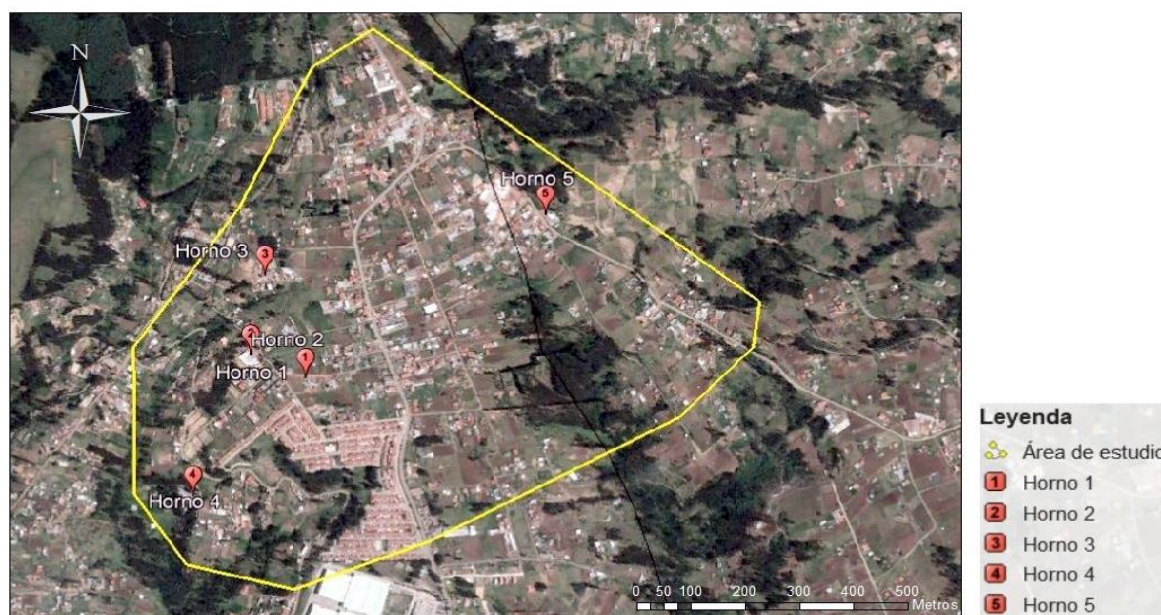


Figura 6 Mapa de ubicación de la parroquia Sinincay.

Tabla 4 Ubicación georreferenciada de los hornos de tiro invertido.

Hornos	Coordenadas UTM WGS 84 (17 S)
Horno 1	717866,43; 9683654,60
Horno 2	717744,45; 9683924,90
Horno 3	717716,67; 9683748,33
Horno 4	717570,38; 9683336,33
Horno 5	719436,31; 9685461,11

Fuente: Elaboración propia.

## 2.11 Metodología de análisis de hornos tradicionales

Para determinar las emisiones atmosféricas provenientes de los hornos tradicionales se aplicó la metodología del Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México 1998 (SEMARNAT, 1998), por medio de la ecuación 1:

$$ET = FE * Na (1 - (ER/100)) \quad (1)$$

Donde: ET son las emisiones totales (t/año); FE es el factor de emisión; Na es el nivel de actividad (consumo de combustible, producción de ladrillos); ER es la eficiencia de reducción de emisiones del equipo control (si no existe, ER=0)

Las emisiones de cada contaminante en el proceso de combustión se calculan por medio de la ecuación 2:

$$Ec = FE * C. \text{ Combustible} * Na \quad (2)$$

Para la obtención de los resultados del factor de emisión y emisión de los contaminantes, se requiere conocer el volumen del combustible y producción de ladrillos en una quema. Información obtenida mediante encuestas realizadas a un tamaño específico de la población ver Anexo 1.

Para el cálculo del número mínimo de muestras a levantar, por medio de las encuestas en el área de estudio, se procedió a realizar la metodología estadística señalada en la ecuación 3:

$$n = \frac{N * Z^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z^2 * p * q} \quad (3)$$

Atraves de información proporcionada por la municipalidad de Cuenca, del estudio de mercado del sector ladrillero artesanal en Ecuador del año 2013, se conoce que existe un total de 448 ladrilleras artesanales, donde el 35 % se encuentran en Racar. La tabla 5 detalla el tamaño muestral de la población artesanal actual.

*Tabla 5 Tamaño muestral de las ladrilleras en el sector de Racar.*

Población de Racar	
Tamaño de población (N')	448
Muestra mínima (n)	207
Probabilidad de que ocurra el evento (p)	0,5
Probabilidad de que no ocurra el evento (q)	0,5
Nivel de confianza (95 % Z)	1,96
Error aceptable (e)	0,05
Total de encuestas (35 %)	17

Fuente: (ALTIOR, 2013).

En total se aplicaron 27 encuestas para el estudio la actividad artesanal en toda la parroquia Racar, información detallada en la Tabla 6.

*Tabla 6 Información general de las ladrilleras artesanales (una quema).*

Datos Generales	Cantidad	Unidades
Número de quemas al mes	2	mes
Número de quemas al año	12	año
Total de quemas	24	año
Número de ladrilleras	43	-
Volumen de combustible	8	m <sup>3</sup>
Volumen Total	8 256	m <sup>3</sup>

Fuente: Autores.

La cantidad de combustible utilizado, en las ladrilleras artesanales se determina por medio de la ecuación 4 y el valor de las variables a utilizar se determina en la Tabla 7:

$$C. \text{ Combustible} = \frac{V_c * \delta \text{ madera}}{\text{Producción (Na)}} \quad (4)$$

Tabla 7 Variables para la determinación de la cantidad de combustible.

Variables	Cantidad	Unidades
Volumen total de combustible (año)	8 256	m <sup>3</sup> /año
Densidad de la madera	730	kg/m <sup>3</sup>
Producción (Na)	4'644 000	ladrillos/año tipo visto
C. Combustible	1,3	kg/ladrillo

Fuente: Autores.

Para la determinación de la emisión de los gases en las ladrilleras artesanales, se emplea la ecuación 2. Donde se utiliza cantidad total de combustible y producción de ladrillos previamente determinados en la tabla 7. Los factores de emisión de cada contaminante, se estipulan en la tabla 8, valores establecidos específicamente para la actividad ladrillera en Estados Unidos y utilizados en los últimos años para el cálculo de emisiones, sin tener cambios significativos hasta la actualidad (EPA, 1995).

$$E = FE * C. \text{ Combustible} * Na \quad (2)$$

Tabla 8 Factores de emisión en ladrilleras en EEUU.

Contaminante	Factor de emisión	Unidades
PM <sub>10</sub>	1.57x10 <sup>-5</sup>	t/kg
Monóxido de carbono	1.97x10 <sup>-5</sup>	t/kg
Dióxido de azufre	1.80x10 <sup>-7</sup>	t/kg
Óxido de nitrógeno	1.18x10 <sup>-6</sup>	t/kg
Compuestos orgánicos volátiles	2.10x10 <sup>-5</sup>	t/kg
Emisiones por ladrillo quemado	2.15x10 <sup>-5</sup>	t/kg

Fuente: (EPA, 1995).

Emisiones de Monóxido de carbono

$$E_{CO} = FE * C. \text{ Combustible} * Na$$

$$E_{CO} = (1,97 \times 10^{-5} \text{ t/kg}) (1,29 \text{ kg/ladrillo}) (4'644.000 \text{ ladrillos/año})$$

$$E_{CO} = 118,93 \text{ t/año}$$

Emisiones de Dióxido de azufre

$$E_{SO_2} = FE * C. \text{ Combustible} * Na$$



$$E_{SO_2} = (1,8 \times 10^{-7} \text{ t/kg}) (1,3 \text{ kg/ladrillo}) (4'644.000 \text{ ladrillos/año})$$

$$E_{SO_2} = 1,08 \text{ t/año}$$

Emisiones de Óxido de nitrógeno (NO<sub>x</sub>)

$$E_{NO_x} = FE * \text{Combustible} * Na$$

$$E_{NO_x} = (1,18 \times 10^{-6} \text{ t/kg}) (1,3 \text{ kg/ladrillo}) (4'644.000 \text{ ladrillos/año})$$

$$E_{NO_x} = 10,87 \text{ t/año}$$

Emisiones de Compuestos Orgánicos Volátiles

$$E_{COV_s} = FE * C. \text{ Combustible} * Na$$

$$E_{COV_s} = (2,01 \times 10^{-5} \text{ t/kg}) (1,3 \text{ kg/ladrillo}) (4'644.000 \text{ ladrillos/año})$$

$$E_{COV_s} = 121,35 \text{ t/año}$$

Emisiones totales

Donde: El factor de conversión para cada ladrillo es de 2,95 kg por ladrillo y el factor de emisión  $2,15 \times 10^{-5}$  t/kg. Las emisiones totales se determinan por la ecuación 1.

$$ET = FE * Na (1 - (ER/100))$$

$$FE = (2,15 \times 10^{-5} \text{ t/kg}) (3 \text{ kg/ladrillo})$$

$$FE = 6,45 \times 10^{-5} \text{ t/ladrillo}$$

$$ET = 6,45 \times 10^{-5} \text{ t/ladrillo} (4'644.000 \text{ ladrillos/año})$$

$$ET = 299,54 \text{ t/año}$$

Tabla 9 Resultado de las emisiones de gases CO, NO, SO<sub>2</sub>, COV's.

Gases de combustión	Emisiones	Unidades
Monóxido de Carbono (CO)	118,02	t/año
Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	1,08	t/año
Óxido de nitrógeno (NO)	7,12	t/año
Compuestos Orgánicos Volátiles (COV's)	121,35	t/año
Emisiones totales (ET)	299,54	t/año

Fuente: Elaboración propia.



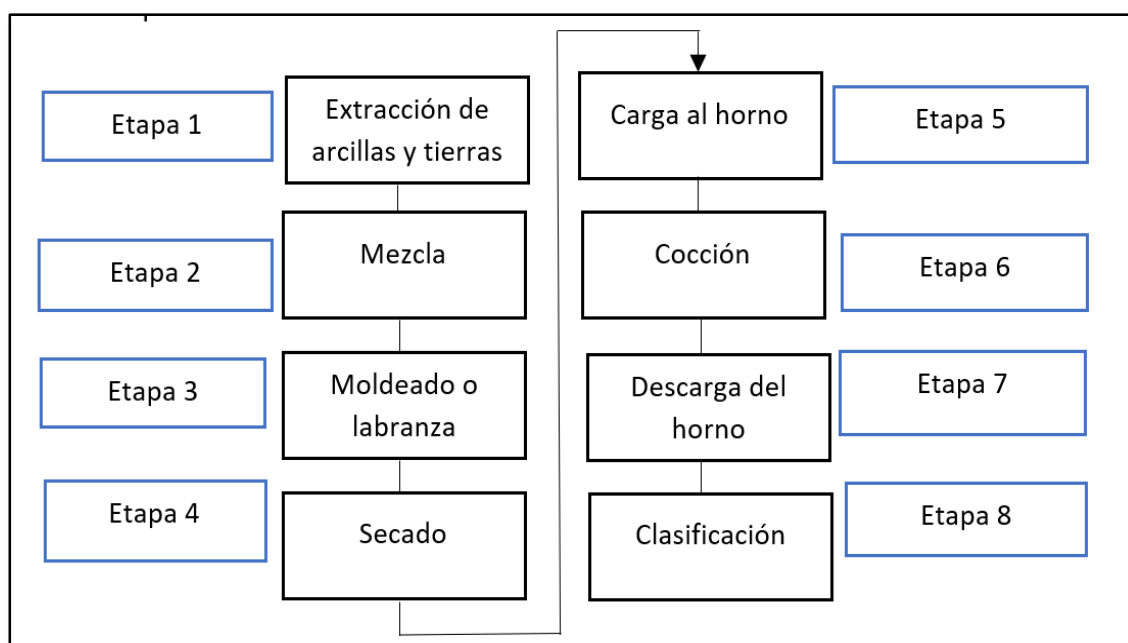
### Análisis de resultados

Conforme a los cálculos realizados, se pudo determinar que los valores de las emisiones de CO, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> y COV<sub>s</sub>, presentan cantidades elevadas en relación a estudios realizados en ciudad (Jaya & Gomezcuello, 2012). Estos resultados se deben, debido a que existe una mayor producción de ladrillos; para el año 2012 se elaboró 2'305 000 ladrillos/año y en la actualidad es de 4'644 000 ladrillos/año, variable que es directamente proporcional al valor de emisión de los contaminantes.



**CAPÍTULO 3: ANALISIS DE EMISIONES Y PROPUESTA DE LA NORMATIVA****3.1 Generación de emisiones**

El proceso de fabricación de ladrillos contempla varias etapas, como se muestra en la Figura 7, procesos que generan emisiones al ambiente procedente de los hornos. Los componentes que forman parte de estas emisiones se encuentran representadas por vapor de agua que proviene de desecación de los ladrillos en la fase de cocción y concentraciones de otros gases (Piñeiro, 2010).



*Figura 7 Flujo de la fabricación de ladrillos (Piñeiro, 2010).*

Durante la etapa de cocción se produce la mayor concentración de contaminantes. Esto se debe a la relación directa que existe entre el proceso y el combustible utilizado, que fundamentalmente consiste de troncos de madera de pino y eucalipto (Piñeiro, 2010). En la parroquia de Racar únicamente un productor utiliza aserrín como combustible para el proceso de cocción. La Tabla 10 muestra los contaminantes generados por la actividad proceso a proceso, donde la cocción es el responsable de la generación de los gases de efecto invernadero.

Tabla 10 Contaminantes que genera el proceso productivo en hornos de ladrillos.

Etapas	Actividades que generan contaminantes	Tipo de contaminantes
Extracción de Arcilla	Extracción con herramientas manuales	Escasas partículas en suspensión
Mezclado	Tamizado y selección	Partículas en suspensión
	Mezcla de arcillas con agua y arena	Consumo de agua
Moldeado	No generan contaminantes	Ninguno
Secado	El secado de los moldes al aire libre solo se desprende vapor de agua. Los moldes defectuosos son reciclados a la etapa de moldeado.	No es representativo
Carga del horno	No genera contaminantes.	Ninguno
Cocción	Uso de combustibles diversos: hidrocarburos líquidos, carbón de piedra, biomasa (aserrín de madera, cáscara de café, ramas y leña de eucalipto, llantas y aceite usado).	Material Particulado Dióxido de azufre Dióxido de nitrógeno Monóxido de Carbono Dióxido de Carbono
Descarga del horno	Apertura de horno, manipulación de ladrillos, limpieza de ceniza.	Partículas en suspensión
Clasificación	Descarte de productos rotos, fisurados, mal cocidos.	Residuos sólidos inertes

Fuente: (Piñeiro, 2010).

La capacidad actual de los hornos, se estima entre 5 000 y 7 000 unidades en un día de producción. Estos valores contemplan un elevado volumen de combustible y generación de concentraciones considerables de contaminantes.

### 3.2 Evaluación de las mediciones de los gases

#### 3.2.1 Emisiones de los hornos de tiro invertido

En las Tablas 11, 12, 13 y 14 se observan, los resultados de las mediciones, que se realizaron a los hornos de tiro invertido, por parte de la Comisión de Gestión Ambiental (CGA) medidos con base a los estatutos que estipula la normativa ecuatoriana. (TULSMA, 2015). Estos límites serán los analizados para formular una propuesta de límites permisibles.

*Tabla 11 Resultados de las mediciones Horno 1.*

Nombre de la empresa:		GAD CUENCA			
Fuente	Horno de ladrillo 1				
Nombre del laboratorio	AFH SERVICES CIA. LTDA.				
Parámetro		MP	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO
Unidad de medida		(mg/m <sup>3</sup> )	(mg/m <sup>3</sup> )	(mg/m <sup>3</sup> )	(mg/m <sup>3</sup> )
Valor	Fecha 5-feb-19	-	13	69	2944
Norma		100	1650	650	N/A
Cumplimiento		-	Si cumple	Si cumple	-

Tabla 12 Resultados de las mediciones Horno 2.

Nombre de la empresa: GAD CUENCA					
Fuente	Horno de ladrillo 2				
Nombre del laboratorio	AFH SERVICES CIA. LTDA.				
Parámetro		MP	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO
Unidad de medida		(mg/m <sup>3</sup> )	(mg/m <sup>3</sup> )	(mg/m <sup>3</sup> )	(mg/m <sup>3</sup> )
Valor	Fecha 12-mar-19	-	7	20	1008
Norma		100	1650	650	N/A
Cumplimiento		-	Sí cumple	Sí cumple	-

Tabla 13 Resultados de las mediciones Horno 3.

Nombre de la empresa: GAD CUENCA					
Fuente	Horno de ladrillo 3				
Nombre del laboratorio	AFH SERVICES CIA. LTDA.				
Parámetro		MP	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO
Unidad de medida		(mg/m <sup>3</sup> )	(mg/m <sup>3</sup> )	(mg/m <sup>3</sup> )	(mg/m <sup>3</sup> )
Valor	Fecha 12-mar-19	49	7	24	1450
Norma		100	1650	650	N/A
Cumplimiento		Sí cumple	Sí cumple	Sí cumple	-

Tabla 14 Resultados de las mediciones Horno 4.

Nombre de la empresa: GAD CUENCA					
Fuente	Horno de ladrillo 4				
Nombre del laboratorio	AFH SERVICES CIA. LTDA.				
Parámetro		MP	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO
Unidad de medida		(mg/m <sup>3</sup> )	(mg/m <sup>3</sup> )	(mg/m <sup>3</sup> )	(mg/m <sup>3</sup> )
Valor	Fecha 5-abr-19	-	8	28	2343
Norma		100	1650	650	N/A
Cumplimiento		-	Sí cumple	Sí cumple	-

### 3.3 Evaluación de normativas

#### 3.3.1 Estados Unidos

El primer referente de la legislación con respecto a factores de emisión en ladrilleras es del país de Estados Unidos, muchas normativas de países latinoamericanos basan su normativa con los factores de emisión que son proporcionados por la EPA, como se observó en la tabla 8 (EPA, 1995).

#### 3.3.2 Corporación Financiera Internacional (IFC)

El IFC cuenta con una referencia de límites permisibles para industrias o proyectos que financia el banco internacional, estos se muestran en la tabla 15. Dichos parámetros no contemplan el CO y se aplican para instalaciones pequeñas, y en nuestro caso se tomará los límites máximos, en base a que el entorno de trabajo de las ladrilleras no se encuentra en un sector ecológico sensible (IFC, 2007).

Tabla 15 Límites permisibles IFC.

Contaminante	Combustible	Límite $\text{mg/m}^3$ <sup>[1]</sup>
Partículas	Gas	No aplica
	Líquido	150
	Sólido	150
SO <sub>2</sub>	Gas	No aplica
	Líquido	2000
	Sólido	2000
NO <sub>x</sub>	Gas	320
	Líquido	460
	Sólido	650

Fuente: (IFC, 2007).

Nota:

<sup>[1]</sup>  $\text{mg/m}^3$ : miligramos por metro cúbico de gas, a condiciones normales de 1 013 mbar y temperatura de 0 °C.

### 3.3.3 Bolivia

El sector ladrillero en Bolivia, se rige al RASIM (reglamento ambiental del sector industrial manufacturero). En la Tabla 16 se aprecia los límites permisibles, que da la normativa boliviana de emisión para fuentes de combustión externa, que usan combustibles sólidos tales como: Leña, lignitos, turbas, antracita, carbón vegetal, carbón mineral (RASIM, 2002).

Tabla 16 Límites permisibles Bolivia.

Contaminante	Concentración en CN <sup>[1]</sup>	Unidades
Material particulado – PST	300	$\text{mg/m}^3$
Monóxido de carbono – CO	300	$\text{mg/m}^3$
Óxidos de nitrógeno - NO <sub>2</sub>	400	$\text{mg/m}^3$
Óxidos de azufre - SO <sub>2</sub>	600	$\text{mg/m}^3$
Metales pesados	0.8	$\text{mg/m}^3$

Fuente: (RASIM, 2002).

Nota:

<sup>[1]</sup> CN: hace referencia a condiciones normales de 1 013 mbar y temperatura de 0 °C.

### 3.3.4 Colombia

En este país el sector ladrillero es considerado como una actividad industrial contaminante. Según la resolución (909), de 2008, el país cuenta con normas y estándares admisibles de contaminante a la atmósfera por fuentes fijas. En la Tabla 17 podemos observar las concentraciones máximas permisibles, que dependen de si esta industria es nueva o existente (Ministerio De Ambiente, 2008).

*Tabla 17 Límites permisibles Colombia.*

Contaminante	Estándares de emisión admisibles de contaminantes		
	Actividades industriales existentes	Actividades industriales nuevos	Unidades
Material Particulado (MP)	250	150	mg/m <sup>3</sup>
Dióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> )	550	500	mg/m <sup>3</sup>
Óxidos de Nitrógeno (NO <sub>x</sub> )	550	500	mg/m <sup>3</sup>

Fuente: (Ministerio De Ambiente, 2008).

Nota:

<sup>[1]</sup> mg/m<sup>3</sup>: miligramos por metro cúbico de gas, a condiciones normales de 1 013 mbar y temperatura de 0 °C.

### 3.3.5 Perú

El país no posee normativa específica para el sector, toda actividad que se relacione con las ladrilleras, se rigen al reglamento de Protección Ambiental para el Desarrollo de Actividades de la Industria Manufacturera. Estatuto que toma de manera general a todas las industrias (PERÚ, 1997). Existe una propuesta para emisiones en ladrilleras, donde se considera la normativa de 1997 de este país, la cual no ha sido aprobada hasta la fecha (Piñeiro, 2010).

### 3.3.6 España

El país europeo contempla los límites máximos permisibles de emisiones, en el reglamento R.D. Nº 646/1991 de la Comunidad Económica Europea. Ley establecida específicamente para este tipo de actividades, donde no se establece límites para

partículas debido a que se pone a consideración de la legislación de cada país que cumplen con este estatuto. En la tabla 18 se aprecian los límites permisibles para el país (AMBIENTE, 1999).

Tabla 18 Límites permisibles España.

Contaminante	Límite de emisión (mg/Nm <sup>3</sup> )				
	Gas	Líquido			Carbón
		Fuel Pesado Carbón (PR-500)	Fuel BIA (PR- 5 o 6)	Gasoil (Diésel)	
Partículas sólidas	-	130			150
SO <sub>2</sub>	300	5200	2000	700	6000(lignitos) 2400(otros)
NO <sub>x</sub>	450	650	650	450	-
CO	100	500			500
Opacidad	-	4 (Índice Bacharach)			-

Fuente: (AMBIENTE, 1999)

Nota:

<sup>[1]</sup> mg/Nm<sup>3</sup>: miligramos por metro cúbico de gas, a condiciones normales de 1 013 mbar y temperatura de 0 °C.

### 3.3.7 Ecuador

La normativa ecuatoriana se encuentra en el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), Libro VI, Anexo 3; que determinan los límites permisibles de emisiones al aire proveniente de fuentes fijas. Límites expuestos, que no especifica valores para la industria ladrillera, por lo cual los límites máximos permisibles de emisiones al aire para fuentes fijas de combustión, que operan después de 2003, son elevados y no se establecen valores para el monóxido de carbono (CO) (TULSMA, 2015).



Tabla 19 límites permisibles Ecuador.

Contaminante emitido	Combustible utilizado	Valor	Unidades <sup>[1]</sup>
Partículas Totales	Sólido	150	mg/Nm <sup>3</sup>
	Líquido	150	mg/Nm <sup>3</sup>
	Gaseoso	No aplicable	No aplicable
Óxidos de Nitrógeno	Sólido	850	mg/Nm <sup>3</sup>
	Líquido	550	mg/Nm <sup>3</sup>
	Gaseoso	400	mg/Nm <sup>3</sup>
Óxidos de azufre	Sólido	1 650	mg/Nm <sup>3</sup>
	Líquido	1 650	mg/Nm <sup>3</sup>
	Gaseoso	No aplicable	No aplicable

Fuente (TULSMA, 2015).

Nota:

<sup>[1]</sup> mg/Nm<sup>3</sup>: miligramos por metro cúbico de gas, a condiciones normales de 1 013 mbar y temperatura de 0 °C.

### 3.3.8 Comparación de las normativas

En la tabla 20 se puede observar una comparativa entre las normas del IFC, con los países mencionados y la normativa ecuatoriana. En esta comparativa se puede apreciar que las normativas no contemplan el CO exceptuando el caso de Bolivia y España. A su vez se tiene que España es el país más permisible en relación al SO<sub>2</sub> esto debido a la actividad industrial del país. Para el NO<sub>x</sub> el Ecuador corresponde al país con un límite más alto para el valor mencionado.

Tabla 20 Comparación de normativas

Normativa	Combustible		Material particulado mg/m <sup>3</sup>	SO <sub>2</sub> mg/m <sup>3</sup>	NO <sub>x</sub> mg/m <sup>3</sup>	CO mg/m <sup>3</sup>	PAIS ORIGEN
Guías del IFC del banco mundial	Gas		NA	NA	320	-	Banco Mundial
	Líquido		150	2000	460	-	
	Sólido		150	2000	650	-	
RASIM 2002 Bolivia	Todos		300	600	400	300	Bolivia
Resolución (909) ministerio del ambiente Colombia	Actividades existentes (2008)	Todos	250	550	550	-	Colombia
	Actividades nuevas (2008)	Todos	150	500	500	-	
Decreto 319/1998 España	Gas		-	300	450	100	España
	Líquido		130	5200	650	500	
	Carbón		150	2400	-	500	
TULSMA, Libro VI, Anexo 3 Ecuador	Sólido		150	1650	850	-	Ecuador
	Líquido		150	1650	550	-	
	Gaseoso		-	-	400	-	

Fuente: Elaboración propia.

### 3.4 Propuesta de límites permisibles para hornos de tiro invertido

#### 3.4.1 Material particulado.

El material particulado como se observa en los valores referenciales, es de 150 mg/m<sup>3</sup>, representados en la Figura 9 al ser una única medición en los hornos se pudo ver que este valor es menor a 100 mg/m<sup>3</sup>, como se observa en la Figura 8. Lo cual haciendo una comparativa entre normativas y mediciones se tiene como un valor considerable de 100 mg/m<sup>3</sup> como límite máximo para los hornos de tiro invertido.

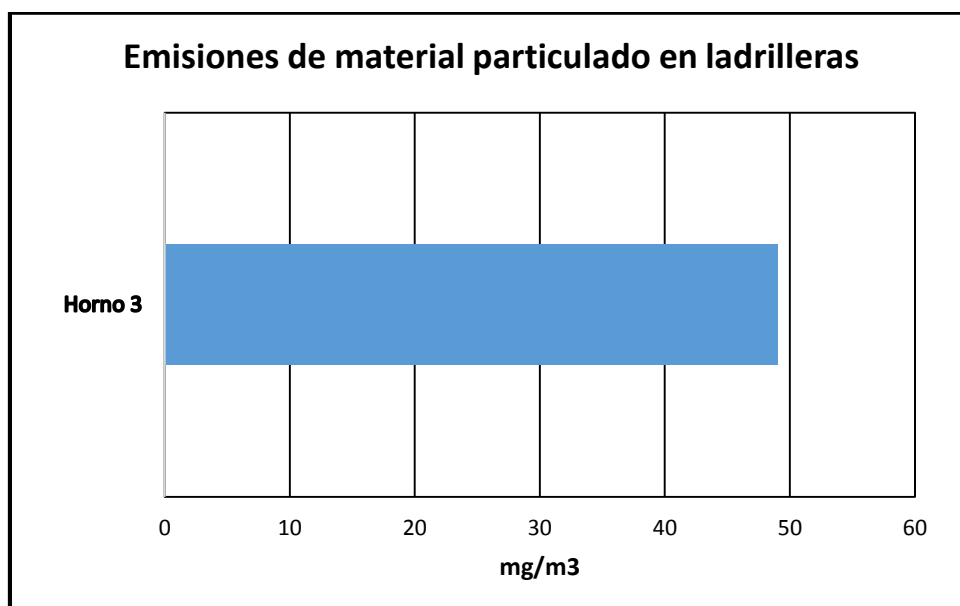


Figura 8 Emisiones material particulado

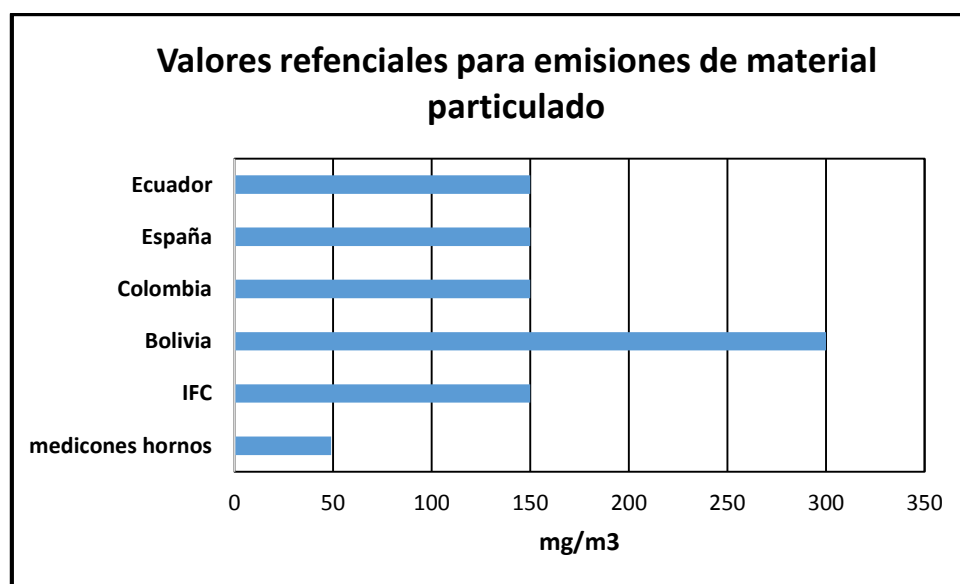


Figura 9 Comparación de límites permisibles para material particulado.

### 3.4.2 Dióxido de Azufre SO<sub>2</sub>.

Conforme a las normativas consideradas en la Figura 11, los valores de SO<sub>2</sub> son muy variables, debido a que el tipo de combustible utilizado en cada país es diferente para la actividad industrial. Tomando en cuenta que las mediciones realizadas, poseen valores muy bajos, representadas en la Figura 10; se propone que el límite máximo para dicho compuesto no supere los 50 mg/m<sup>3</sup>, debido a que el combustible utilizado (leña) contiene cantidades bajas de azufre.

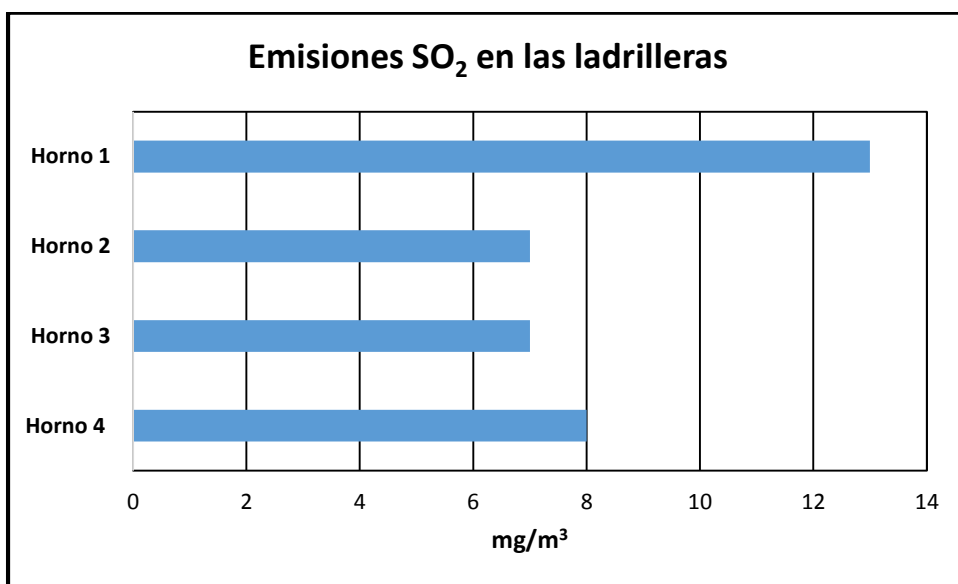


Figura 10 Emisiones de SO<sub>2</sub>.

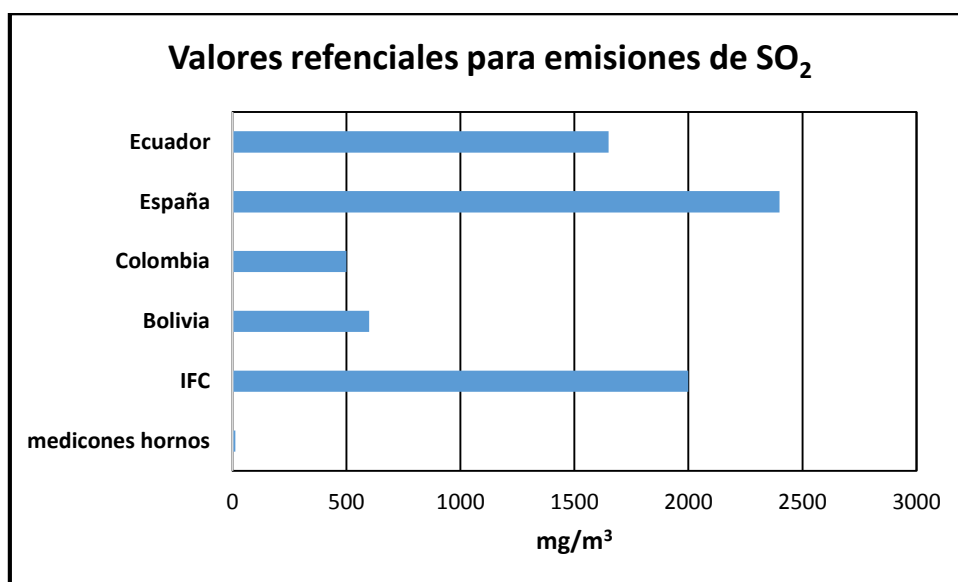


Figura 11 Comparación de límites permisibles para SO<sub>2</sub>.

### 3.4.3 Óxidos de Nitrógeno, NO<sub>x</sub>

Para los óxidos de nitrógeno las normativas de los diferentes países en estudio, tienden a variar entre 850 y 400 mg/m<sup>3</sup> como se observa en la Figura 13. De acuerdo a que las mediciones realizadas no superaron los 70 mg/m<sup>3</sup> representados en la Figura 12. En el presente estudio, se sugiere un valor de 100 mg/m<sup>3</sup>; con tendencia a disminuir la concentración del contaminante para evitar que esta aumente progresivamente en futuros años.

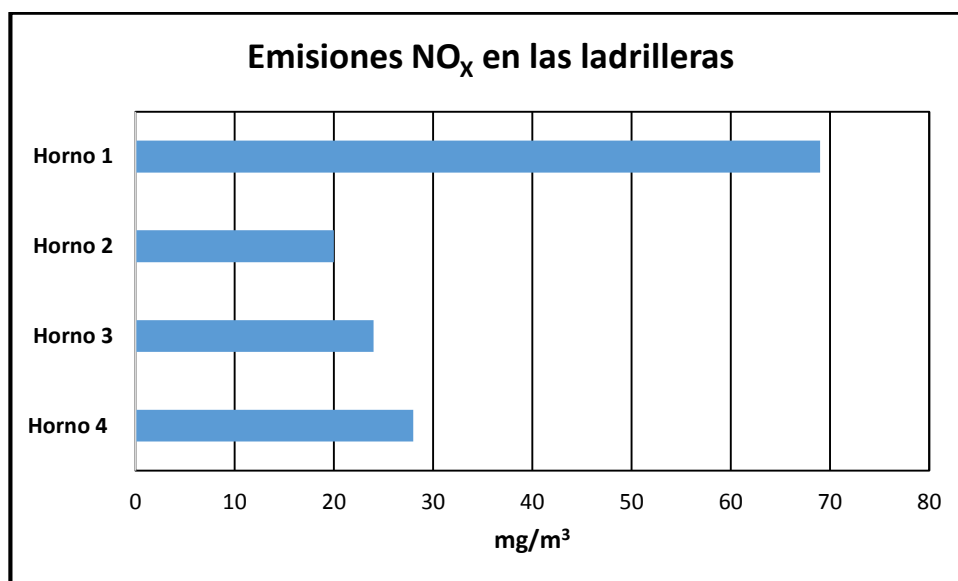


Figura 12 Emisiones de  $\text{NO}_x$ .

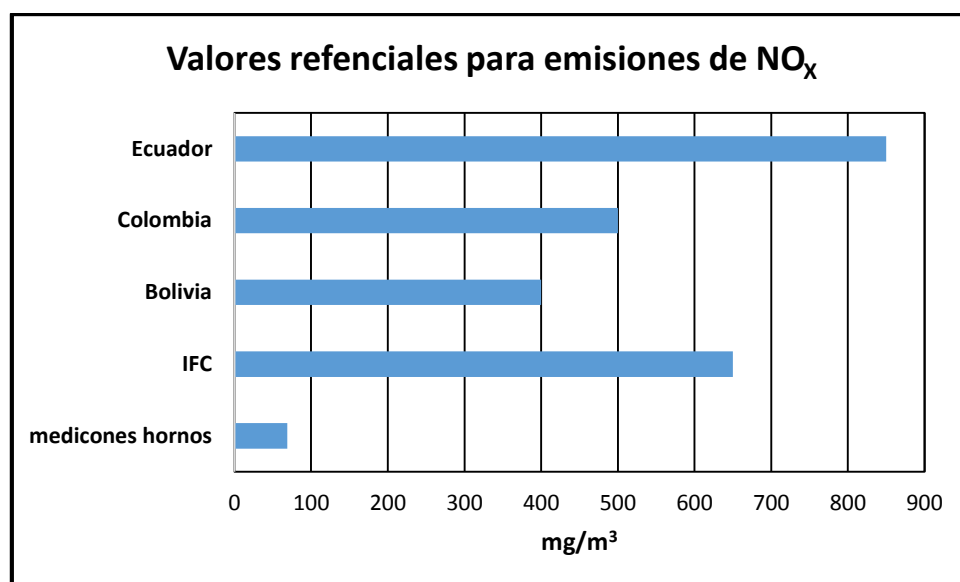


Figura 13 Comparación de límites permisibles para  $\text{NO}_x$ .

### 3.4.4 Monóxido de carbono, CO

Para el monóxido de carbono, se aprecia que solo dos países toman en cuenta dicho componente como se muestra en la Figura 15, en el caso de nuestro país no se ha tomado en cuenta este compuesto. En las normativas estudiadas se puede apreciar que los límites permisibles no superan los 500 mg/m<sup>3</sup>, pero las mediciones obtenidas en los hornos son variables, llegando a tener una concentración máxima de 2944 mg/m<sup>3</sup> y mínima de 1008 mg/m<sup>3</sup>. Por lo tanto, se sugiere un límite de 2500 mg/m<sup>3</sup> con el fin, de que los resultados máximos obtenidos en la actualidad sean disminuidos, en base a la aplicación de las recomendaciones y mejoramiento de los hornos.

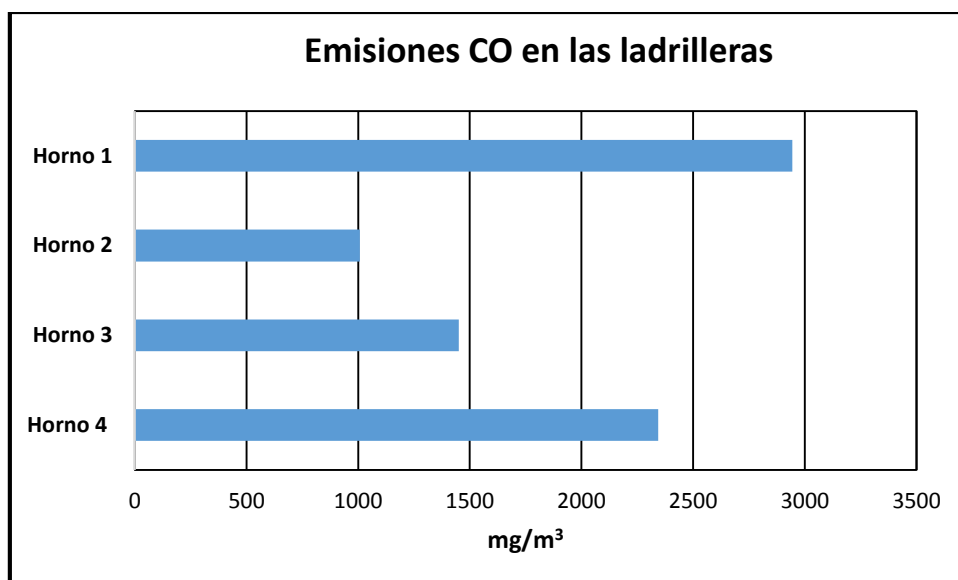
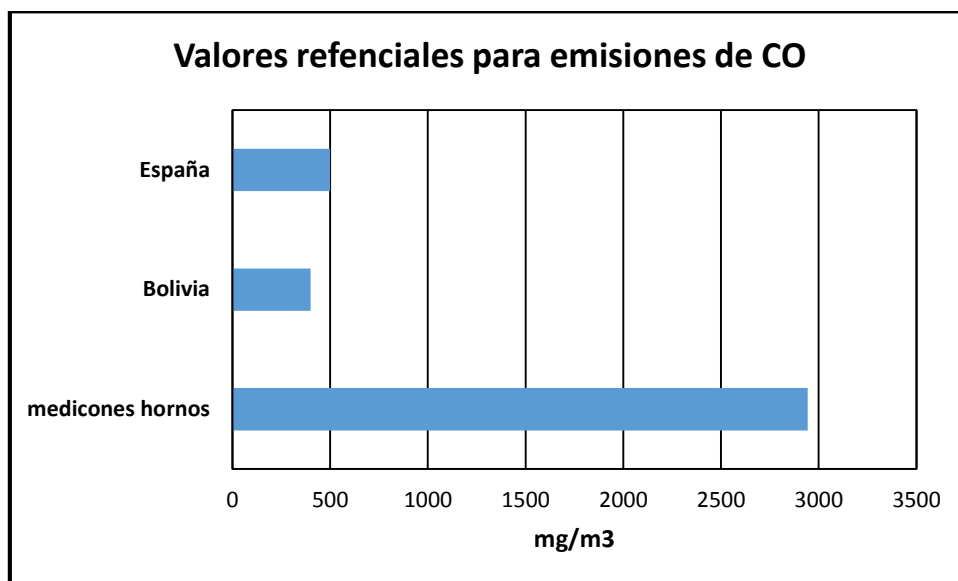


Figura 14 Emisiones de CO



*Figura 15 Comparación de límites permisibles para CO*

En la tabla 20 se puede apreciar los límites máximos permisibles sugeridos para la actividad ladrillera en los hornos de tiro invertido. Todos los compuestos deben ser representados en  $\text{mg/m}^3$ , como se determina en la normativa ecuatoriana.

*Tabla 20 Propuesta de estándares de emisiones admisibles en hornos de tiro invertido del cantón Cuenca.*

Contaminante	Estándares de emisión admisibles de contaminantes para hornos de tiro Invertido	Unidades
Material Particulado (MP)	100	$\text{mg/m}^3$
Dióxido de Azufre ( $\text{SO}_2$ )	50	$\text{mg/m}^3$
Óxidos de Nitrógeno ( $\text{NO}_x$ )	100	$\text{mg/m}^3$
Monóxido de Carbono (CO)	2500	$\text{mg/m}^3$

Fuente: Elaboración propia.



## CAPÍTULO 4: BALANCE TÉRMICO EN HORNOS DE LADRILLERAS

### 4.1 Balance térmico

El término “balance térmico” se refiere a la evaluación de todo el calor suministrado o disponible en un sistema y las pérdidas del calor o distribución en el interior del mismo; donde siempre la suma del calor disponible debe ser igual a la suma del calor perdido. Mediante el balance térmico es posible determinar los puntos donde existen mayores pérdidas de energía en un sistema y se pueden proponer estrategias para mejorar la eficiencia de los hornos.

En el presente trabajo, para la realización del balance térmico del horno de tiro invertido y de los hornos tradicionales de las ladrilleras, se aplicaron un conjunto de ecuaciones basadas en la metodología propuesta por Pankratov (Pankratov, 1986) para calderas, partiendo del hecho de que los hornos de las ladrilleras (al igual que otros tipos de hornos) comparten varios elementos con una caldera, como paredes, chimeneas y puertas. Adicionalmente, tanto hornos para ladrilleras como calderas para producir vapor que funcionan con biomasa lignocelulósica operan en condiciones cercanas de temperaturas y, con frecuencia, usan leña. A la metodología indicada se han adicionado detalles particulares a los hornos de las ladrilleras que se han reportado en estudios previos realizados con estos equipos (Hinojosa & Velasco, 2005).

Para realizar el balance térmico del horno de una ladrillera se toma en cuenta que el calor generado por la combustión de la leña es liberado en la cámara de combustión y que, en teoría, una parte de este calor es aprovechado para la cocción de los ladrillos (o tejas, de ser el caso). Sin embargo, una parte importante de este calor generado no es aprovechado ya que se pierde por las paredes del horno y en los gases de combustión que abandonan el horno a temperaturas relativamente altas (en muchos casos alrededor de 200 °C). Parte de la energía que aporta el combustible es también necesario para la evaporación de la humedad de la leña y la deshidratación de la arcilla (ladrillos frescos) o la descomposición de carbono en la arcilla (Hinojosa & Velasco, 2004). El calor es desplazado en todas las direcciones del horno en dependencia de la configuración interna y de los espacios entre ladrillos durante la cocción de los mismos.



Para los cálculos que se realizan en el balance térmico se tuvo en cuenta la masa de la leña por cada ciclo de cocción (7 300 kg), masa de ladrillos quemados (28 750 kg por carga) en relación con una quema de 5 000 ladrillos, con dimensiones de 60 x 10 cm. El peso promedio por ladrillo es de 5,8 kg con un previo secado al ambiente (sol) y se encuentran listos para la cocción como se observa en la Figura 12.



*Figura 16. Ejemplo del peso de un ladrillo previo a ser cargado en el horno.*

La ecuación general de balance térmico a ser aplicada para los hornos de las ladrilleras es la siguiente (Ecuación 6).

$$Q_{dis}^a = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8 + Q_9 \quad (6)$$

Donde

$Q_{dis}^a$  – Energía disponible en el combustible (leña) por cada carga [kW]

$Q_1$  – Calor aprovechado para la cocción de los ladrillos [kW]

$Q_2$  – Calor perdido por los gases de escape [kW]

$Q_3$  – Calor perdido debido a reacciones químicamente incompletas [kW]

$Q_4$  – Calor perdido debido a la combustión mecánicamente incompleta [kW]

$Q_5$  – Calor perdido al medio ambiente por las paredes del horno [kW]

$Q_6$  – Calor perdido por las reacciones endotérmicas de las arcillas [kW]



$Q_7$  – Calor perdido por la descomposición del carbonato [kW]

$Q_8$  – Calor perdido en la evaporación de la humedad [kW]

$Q_9$  – Calor perdido por conducción en el suelo [kW]

A partir de las ecuaciones 10 y 11 es posible determinar la eficiencia del proceso de cocción de los ladrillos para un tipo específico de horno, usando la ecuación 7.

$$\eta_{\text{cocción}} = Q_1 / Q_{\text{dis}}^a \quad (7)$$

#### 4.1.1 Cálculo de calor total suministrado al horno

El calor total que entra al horno ( $Q_{\text{dis}}^a$ ) se refiere a la cantidad de calor que el sistema tendrá durante un ciclo de trabajo. Este valor es igual al poder calorífico inferior de la madera, que en nuestro caso tomamos como 16 000 kJ/kg (Francescato & Antonini, 2012). Al trabajar con madera y basándonos en las condiciones de los hornos, en el que el combustible no se precalienta antes de entrar a funcionamiento, no se da la acción de soplado de vapor y no entra calor al horno junto con el aire (es decir, no se precalienta el aire), la energía total que entra al horno se calcula con la ecuación 8, y esta es en función de la cantidad de combustible en kg y el tiempo de la quema (Pankratov, 1986).

$$q_{\text{dis}}^a = Q_{\text{in}}^a \quad (8)$$

$Q_{\text{in}}^a$  es el poder calorífico de la leña (PCI)

PCI (leña) = 16 000 kJ/kg

En relación al peso del combustible y el tiempo

Masa (leña) =  $\delta \cdot V$

$\delta$  (leña) = 730 kg/m<sup>3</sup>

$V$  (leña) = 10 m<sup>3</sup>

Masa (leña) = 7 300 kg para cada ciclo de trabajo (en el horno de tiro invertido)



Tiempo = 48 600 s (es el tiempo total de un ciclo de trabajo del horno, medido en la planta)

$\frac{\text{Masa}}{\text{tiempo}} = 0,15 \text{ kg/s}$  (masa de combustible por unidad de tiempo de funcionamiento)

$$q_{\text{dis}}^a = \text{PCI} * \left( \frac{\text{Masa}}{\text{tiempo}} \right)$$

$$q_{\text{dis}}^a = 2\,403,29 \text{ kJ/s [kW]}$$

Debido a que la leña usada no se encuentra completamente seca, hay que descontar el contenido de humedad. Porcentaje de humedad (leña) = 21 %

Porcentaje leña seca = 79 %

$$Q_{\text{dis}}^a = \text{PCI} * \left( \frac{\text{Masa}}{\text{tiempo}} \right) * \% \text{ leña seca} \quad (9)$$

$$Q_{\text{dis}}^a = 1\,898,60 \text{ kW (por cada ciclo de trabajo del horno)}$$

#### 4.4.2 Calor aprovechado para la cocción (Q1)

Este término hace referencia a la cantidad de calor que se utiliza para la cocción de los ladrillos. Para su cálculo se tomará la masa sin humedad de los ladrillos. Con el fin de tener el porcentaje de humedad se tomó el peso tanto de ladrillos húmedos y secos que son procesados en la ladrillera. La cantidad de humedad obtenida fue de 13 %; por lo tanto, se utilizará el peso sin humedad de los ladrillos. Utilizaremos la ecuación 10 para realizar el cálculo.

$$q_1 = m * C_p(\text{arcilla}) * \Delta T \quad (10)$$

masa de los ladrillos (5 000 unidades de peso 5,8 kg) = 29 000 kg

$C_p(\text{arcilla}) = 0,84 \text{ kJ/kg}$  (Hernández, 2014)

Temperatura horno = 1 073 K (Valor de temperatura en el interior del horno)

Temperatura ambiente = 283 K

$$\Delta T = 790 \text{ K}$$

Con estos valores, el calor aprovechado para la cocción de los ladrillos es

$$q_1 = 19\,244\,400 \text{ kJ/kg}$$

En función de la masa y el tiempo

$Q_1 = q_1 \cdot \text{el porcentaje de masa sin humedad}$

$$Q_1 = 16'742\,628 \text{ kJ}$$

$$Q_1 = q_1 / \text{tiempo}$$

$$\text{Tiempo} = 48600 \text{ s}$$

$$Q_1 = 344,50 \text{ kW}$$

Porcentaje de pérdida

$$q'_1 = (Q_1 \cdot 100) / Q_{\text{dis}}^a \quad (11)$$

$$q'_1 = 18,1 \%$$

El resultado calculado de  $Q_1$  es referente a la cantidad de calor aprovechado para la quema. Como se observa, se obtiene un total de 344,50 kW que es usado para la cocción del ladrillo, con un porcentaje de 18,1 % de la cantidad de energía que es introducida en el horno con la leña. Este resultado representa también la eficiencia del horno de tiro invertido. Desde nuestra perspectiva, este porcentaje es relativamente alto para este tipo de hornos y podría considerarse que los hornos, a pesar de que su eficiencia podría ser mejorada, trabajan en condiciones de eficiencia energética que permiten ahorrar combustible si se compara con los hornos ladrilleros artesanales, como se verá posteriormente. Como referencia, del cálculo del balance térmico de un horno de fabricación de ladrillo artesanal realizado en Bolivia, el valor de eficiencia reportado es de 22,9 % (Hinojosa & Velasco, 2005).

A continuación, se efectúa el resto de cálculos relacionados con las pérdidas de calor, tomando en cuenta que estas pérdidas no corresponden a calor aprovechado (Pankratov, 1986).

#### 4.4.2 La pérdida con los gases de escape ( $Q_2$ )

El término  $Q_2$  hace referencia a la cantidad de calor que se pierde por las chimeneas con los gases de escape. La ecuación con la que se trabajará está basada en entalpías de los componentes de los gases de combustión en la chimenea. Para obtener estas entalpías se debe tener en cuenta los volúmenes teóricos de los gases



contenidos en los gases en la chimenea. Estos son CO, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O y gases triatómicos (CO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>, si existiera azufre en el combustible). Para el cálculo se emplea la ecuación 12:

$$q_2 = I_{g.e} - \left( \alpha_{g.e} * I_{a.f} \right) * \left( \frac{100-q_4}{100} \right) \quad (12)$$

Donde:

$I_{g.e}$  – Entalpía de los gases [kJ/kg]

$\alpha_{g.e}$  – Coeficiente de exceso de aire del horno

$I_{a.f}$  – Entalpía del aire que entra al horno [kJ/kg]

$q_4$  – Porcentaje de pérdida por combustión mecánica incompleta

Para proceder con el cálculo se determina primero el volumen teórico ( $V^\circ$ ) de gases de combustión. Para ello se usa la ecuación 9.

$$V^\circ = 0,089C + 0,266H + 0,033(S_{vol} - O) \quad (13)$$

En nuestro caso, para la leña (González, 2014) se tiene que:

$C = 50\%$

$H = 6\%$

$O = 42\%$

$S_{vol} = 0$  (debido a que la madera no contiene S)

$$V^\circ = 4,66 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Volumen de gases triatómicos  $V_{RO_2}$

$$V_{RO_2} = 0,0187 * (C + (0,3755S * S_{vol})) \quad (14)$$

$$V_{RO_2} = 0,935 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Volumen teórico de nitrógeno

$$V^\circ_{N_2} = 0,79 V^\circ + (0,8 N/100) \quad (15)$$

$N = 0,2$  de acuerdo a los datos de la literatura (González, 2014)

$$V^\circ_{N_2} = 3,68 \text{ m}^3/\text{kg}$$



Volumen teórico del vapor de agua en los gases de combustión ( $V^{\circ}_{H_2O}$ )

$$V^{\circ}_{H_2O} = 0,0124 * (9 * H + W) + (0,0161 * V^{\circ}) \quad (16)$$

$$V^{\circ}_{H_2O} = 1,01 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Por lo tanto, la entalpía de los gases de combustión es:

$$I_g = (V_{RO_2} * (c\vartheta)CO_2 + (V^{\circ}_{N_2} * (c\vartheta)N_2) + (V^{\circ}_{H_2O} + (c\vartheta)H_2O) \quad (17)$$

Donde:  $I_g$  es la entalpía de los productos de combustión cuando  $\alpha = 1$  ;  $(c\vartheta)CO_2$  es la entalpía de 1 m<sup>3</sup> para CO<sub>2</sub>;  $(c\vartheta)N_2$  es la entalpía de 1 m<sup>3</sup> para N<sub>2</sub> ;  $(c\vartheta)H_2O$  es la entalpía de 1 m<sup>3</sup> para el agua. De acuerdo con la literatura (Pankratov, 1986), para una temperatura de los gases de combustión de 190 °C:

$$(c\vartheta)CO_2 = 338,2$$

$$(c\vartheta)N_2 = 247$$

$$(c\vartheta)H_2O = 288,7$$

Por lo tanto,  $I_g = 1\,516,07 \text{ kJ/kg}$

A su vez, la entalpía del aire ( $I_a$ )

$$I_a = V^{\circ} * (c\vartheta)a \quad (18)$$

Donde:  $I_a$  es la entalpía del aire;  $(c\vartheta)a$  es la entalpía para 1 m<sup>3</sup> del aire que, según (Prankátov, 1986), a la temperatura de 190 °C,

$$(c\vartheta)a = 256,6$$

Por lo tanto,  $I_a = 1\,195,76 \text{ kJ/kg}$

La constante  $\alpha_{g,e}$  se establece con el valor de 1,2, debido a que no existe una medición exacta de la cantidad de aire que entra al horno.

$$I_{g,e} = 1\,755,22 \text{ kJ/kg}$$

$$I_{af} = V^{\circ} C_{pa} * t_a \quad (19)$$

$$C_{pa} = 1,297 \text{ kJ/m}^3 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$t_a = T_{amb} = 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$I_{af} = 60,44$$



$$q_2 = 1\,682,69 \text{ kJ/kg}$$

En función de la masa y tiempo de operación del horno por ciclo de trabajo:

$$m = 7\,300 \text{ kg (ladrillos)}$$

$$t = 48\,600 \text{ s (ciclo de trabajo del horno)}$$

$$Q_2 = q_2 \cdot m/t$$

$$Q_2 = 252,75 \text{ kW}$$

Porcentaje de pérdida

$$q'_2 = (Q_2 \cdot 100) / Q_{\text{dis}}^a \quad (20)$$

$$q'_2 = 13,3 \%$$

El último resultado indica que la pérdida por gases de escape en el horno de tiro invertido es alrededor de 252,75 kW, que representa un 13 % del calor que se genera por la combustión del combustible. Por lo tanto, se da una pérdida de gases tanto por las chimeneas y las fugas que se encuentran en las paredes. La razón por la cual se pierde calor por gases de combustión es que no existe una distribución uniforme de los gases en el horno como muestra la Figura 13 y una parte importante de los gases, en estado aún caliente (es decir, con posibilidades de entregar calor) se pierde por la chimenea de forma incontrolada.

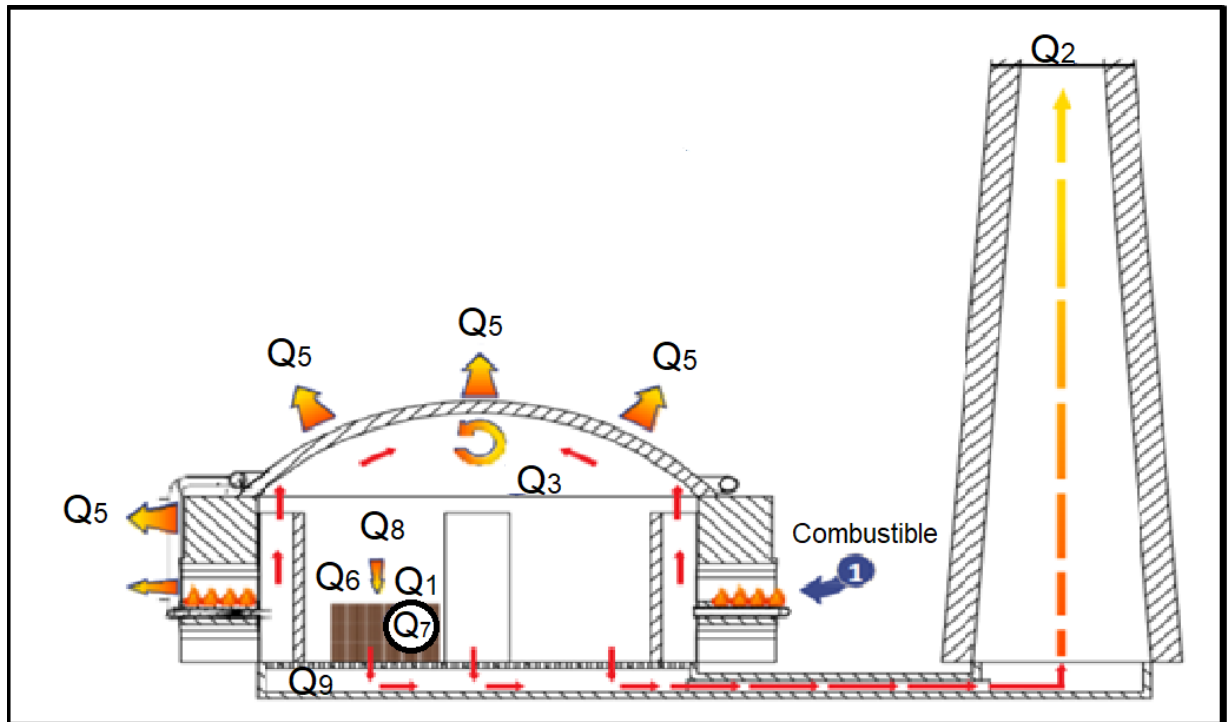


Figura 17 Flujo de gases en el horno y pérdidas de calor (EELA, 2015).

#### 4.4.3 Pérdida debido a reacciones químicamente incompletas ( $Q_3$ )

Estas pérdidas se deben a la presencia de CO en los gases de escape, lo que indica que no hubo combustión completa del C del combustible. En el caso de las ladrilleras, donde se emplea leña, la cantidad de azufre (S) es muy bajo o nulo, por lo que su valor no es considerado relevante para el cálculo. El contenido de S en el combustible repercute en que los gases de escape no poseerán  $SO_2$ , por lo que solo trabajaremos con  $CO_2$  en los gases de escape en la ecuación 21 (Pankratov, 1986).

$$q_3 = 237 (C + 0,375 S_{vol}) CO / (RO_2 + CO) \quad (21)$$

$$Q_3 = 237(C) * CO / (RO_2 + CO)$$

$$RO_2 = CO_2 + SO_2 \quad (22)$$

$$RO_2 = CO_2$$

$$q_3 = 237(C) * CO / (CO_2 + CO)$$

$$CO \text{ gases} = 0,35 \%$$

$$CO_2 = 10,19 \% \text{ dato obtenido en la medición de los gases}$$





$$q_3 = 393,50 \text{ kJ/kg}$$

En función de la masa y tiempo

$$m = 7\,300 \text{ kg}$$

$$t = 48\,600 \text{ s}$$

$$Q_3 = q_3 \cdot m/t$$

$$Q_3 = 59,11 \text{ kW}$$

Porcentaje de pérdida

$$q'_3 = (Q_3 \cdot 100) / Q_{\text{dis}}^a \quad (23)$$

$$q'_3 = 3,1 \%$$

En cuanto a la pérdida  $Q_3$ , se tiene que es un valor porcentual de 3,1 %. Esto se debe a una razón, la leña que se introduce como combustible es muy voluminoso, como se aprecia en la Figura 14. Este hecho podría estar provocando que no se dé una combustión eficaz. En teoría, si las partículas de leña son más pequeñas (troncos troceados), la combustión se verá mejorada (Manuel Camps, 2008). Adicionalmente, se ha notado que los operarios a veces introducen al horno cantidades grandes de troncos de leña, lo que también provoca disminución de la efectividad del proceso de combustión ya que, al haber volúmenes más altos de leña, se dificulta el contacto con el aire y la eficiencia de la combustión empeora.



*Figura 18 Fotografía de leña usada en los hornos de tiro invertido.*

#### 4.4.4 Pérdidas de calor debido a la combustión mecánicamente incompleta ( $Q_4$ ).

Este término es determinado por 3 componentes: Pérdidas de calor por la escoria, pérdidas de calor debido a la caída del combustible si hubiera combustión en parrillas y pérdidas de calor por arrastre de partículas (en los gases de combustión). Para el presente estudio se toma en consideración la forma del horno, en donde el combustible se coloca en el suelo y no existen pérdidas por caída de combustible. Así mismo, por el tipo de combustible que se trabaja (leña) no existen pérdidas por escorias. Tomando en cuenta las condiciones anteriores, para este punto existen únicamente pérdidas por arrastre; sin embargo, los resultados obtenidos de material particulado representan una concentración muy baja  $49 \text{ mg/m}^3$ , como se puede apreciar en la Tabla 13. Por lo tanto, las pérdidas de calor debido a la combustión mecánicamente incompleta se asumen como cero ( $Q_4 = 0$ ).

#### 4.4.5 Pérdidas al medio ambiente por las paredes del horno ( $Q_5$ ).

De acuerdo a la metodología aplicada, las pérdidas del medio ambiente ( $Q_5$ ) dependen de calor disponible suministrado para el sistema, menos la sumatoria de las pérdidas de calor de todo proceso de cocción que se dan en el sistema, como se muestra en la ecuación 24 (Pankratov, 1986).



$$Q_5 = Q_{dis}^a - (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8 + Q_9) \quad (24)$$

$$Q_5 = 1\,027,10 \text{ kW}$$

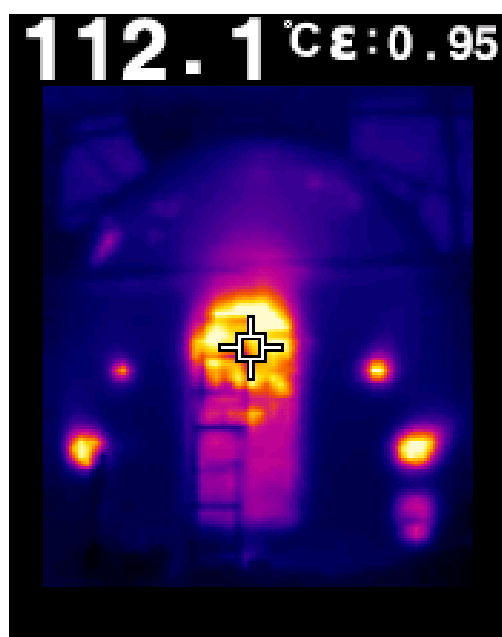
Porcentaje de pérdida

$$q'_5 = (Q_5 * 100) / Q_{dis}^a \quad (25)$$

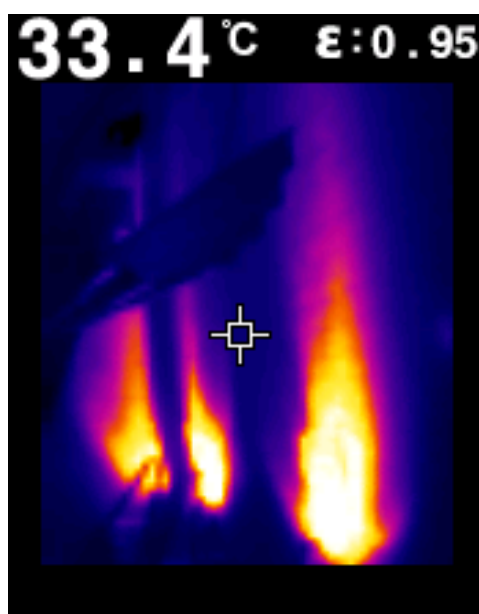
$$q'_5 = 54,1 \%$$

#### Análisis de los resultados

Las pérdidas al medio ambiente, hacen referencia al calor perdido por las paredes. En el horno analizado en este trabajo, estas pérdidas representan un 54,1 % del calor dado por el combustible. Para poder efectuar un análisis más completo de estas pérdidas se procedió a tomar fotografías de las paredes exteriores del horno por medio de la cámara termográfica, que permitió identificar puntos calientes del sistema. Ejemplos de estas fotografías se muestran en las Figuras 15 y 16, en estas imágenes se distinguen diferentes zonas; las mayores pérdidas de calor son identificadas con una tonalidad de color amarillo y las de menor se son aquellas que presentan un color amarillo rodeado de púrpura. Por lo tanto, es necesario revisar si el aislamiento térmico en estos lugares ha sufrido algún deterioro, si presenta menor espesor que el resto de las paredes, o si existen puertas no hermetizadas correctamente cuando el horno está en operación.



*Figura 19 imagen frontal tomado con la cámara termográfica.*



*Figura 20 imagen lateral tomado con la cámara termográfica.*



#### 4.4.6 Calor perdido por las reacciones endotérmicas de las arcillas ( $Q_6$ )

La determinación del valor aportado por la deshidratación de la arcilla ( $Q_6$ ) se trabajó a partir de la masa total de ladrillos de producción en una quema y el calor de deshidratación de la arcilla cuyo valor es de 4 kcal/kg, información referenciada del cálculo del balance térmico de un horno de fabricación de ladrillo artesanal (Hinojosa & Velasco, 2005). A partir del calor de deshidratación, se trabaja con la ecuación 26:

$$q_6 = m \cdot C_d \quad (26)$$

$$m = 28\,750 \text{ kg}$$

$$C_d = 4 \text{ kcal/kg}$$

$$q_6 = 115\,000 \text{ kcal}$$

Transformación de kcal a kJ

$$1 \text{ kcal} = 4,184 \text{ kJ}$$

$$115\,000 \text{ kcal} = 481\,160 \text{ kJ}$$

En relación al tiempo de quema

$$\text{Tiempo} = 4\,800 \text{ s}$$

$$Q_6 = q_6 / t$$

$$Q_6 = 481\,160 \text{ kJ} / 48\,600 \text{ s}$$

$$Q_6 = 9,90 \text{ kW}$$

Porcentaje de pérdida

$$q'_6 = (Q_6 \cdot 100) / Q_{\text{dis}}^a \quad (27)$$

$$q'_6 = 0,5 \%$$

## Análisis de los resultados

En las pérdidas por reacciones endotérmicas, se obtuvo un valor de 9,90 kW, lo que refiere un 0,5 % de la energía que entra al sistema. Este valor es muy bajo comparado con otras pérdidas identificadas. Esto se debe a que el valor de deshidratación es bajo y el tiempo de quema es largo. Por lo tanto, esta es una pérdida a la cual no se le da mucha importancia en el balance.

4.4.7 Calor perdido por la descomposición del carbonato ( $Q_7$ )

A diferencia de las anteriores pérdidas de calor, el valor del calor por la descomposición de carbonato ( $Q_7$ ) se fijó por datos previamente publicados en casos de estudio similares al análisis actual. Partiendo de la ecuación  $CaCO_3 = Ca + CO_2$ , cuyo calor es igual a 42,5 kcal/kg, se determina la cantidad de carbonato presente en la arcilla, información que conjuntamente con la masa de carbonato de calcio permite calcular el calor perdido y se encuentra representado por la ecuación 28 (Hinojosa & Velasco, 2005):

$$q_7 = m_{CaCO_3} * C_{desc} \quad (28)$$

$$q_7 = 43\,138 \text{ kcal}$$

Transformación de kcal a kJ

$$1 \text{ kcal} = 4,184 \text{ kJ}$$

$$43\,138 \text{ kcal} = 180\,489,39 \text{ kJ}$$

En relación al tiempo de quema

$$\text{Tiempo} = 48\,600 \text{ s}$$

$$Q_7 = q_7 / t$$

$$Q_7 = 180\,489,39 \text{ kJ} / 48\,600 \text{ s}$$

$$Q_7 = 3,71 \text{ kW}$$

Porcentaje de pérdida  $q'$



$$q'_7 = (Q_7 * 100) / Q_{dis}^a \quad (29)$$

$$q'_7 = 0,2 \%$$

Análisis de los resultados.

En este resultado se tiene un valor de 3,71 kW, el mismo que representa 0,2 % de la energía que tiene el sistema. Para este resultado se tuvo que obtener un dato referencial para los carbonatos, esto en base a que se supone que el material de los ladrillos producidos en Cuenca no posee mayor diferencia con los ladrillos de otros estudios (Hinojosa & Velasco, 2004). Este valor también, al ser un valor porcentual muy bajo, no tiene gran relevancia para el balance térmico.

#### 4.4.8 Calor perdido en la evaporación de la humedad ( $Q_8$ )

Dentro de las reacciones endotérmicas de la arcilla, una parte importante constituye el calor perdido en la evaporación de la humedad de los ladrillos ( $Q_8$ ). El cálculo del calor depende de la masa total de humedad en los ladrillos y el calor de evaporación del agua, cuyo valor es 539 kcal/g (Hinojosa & Velasco, 2005). Para efectos del cálculo de la humedad se requiere conocer el valor de la masa de los ladrillos antes y después del proceso de cocción, como se muestra en la Tabla 21, donde se obtuvo los resultados de la humedad presente en los ladrillos.

Tabla 21 Humedad en los ladrillos

Humedad de ladrillos			
Previo a la cocción	Peso (kg)	Después de la cocción	Peso (kg)
1	5,8	1	5
2	5,8	2	5
3	5,8	3	5
4	5,8	4	5
5	5,8	5	5
6	5,8	6	5
7	5,8	7	5
8	5,8	8	5
9	5,8	9	5
10	5,8	10	5

Fuente: Elaboración propia.

$$\text{Humedad} = \text{Peso}_{\text{previo cocc.}} - \text{Peso}_{\text{desp. cocc.}}$$

$$\text{Humedad} = 5,86 \text{ kg} - 5 \text{ kg}$$

$$\text{Humedad} = 0,86 \text{ kg}$$

$$\% \text{ Humedad} = 14 \%$$

Para determinar  $Q_8$  se aplica la ecuación 30:

$$q_8 = m_{H_2O} \cdot Ce \quad (30)$$

Donde: Ce es la constante de evaporación de humedad para los ladrillos, igual a 539 kcal/kg (Hinojosa & Velasco, 2005).

$$q_8 = (28\,750 \cdot 0,14) \text{ kg} \cdot 539 \text{ kcal/kg}$$

$$q_8 = 2169\,475 \text{ kcal}$$

Transformación de kcal a kJ

$$1 \text{ kcal} = 4,184 \text{ kJ}$$

$$2169\,475 \text{ kcal} = 9\,077\,083,4 \text{ kJ}$$





En relación al tiempo de quema

$$\text{tiempo} = 48\,600 \text{ s}$$

$$Q_8 = q_8 / t$$

$$Q_8 = 9'077\,083,4 \text{ kJ} / 4\,800 \text{ s}$$

$$Q_8 = 186,77 \text{ kW}$$

Porcentaje de pérdida

$$q'_8 = (Q_8 * 100) / Q_{\text{dis}} \quad (31)$$

$$q'_8 = 9,8 \%$$

#### Análisis de los resultados

La pérdida por la evaporación del agua hace referencia a la cantidad de energía que se requiere para evaporar el agua presente en los ladrillos. En nuestro caso, la cantidad de energía que representa esta pérdida es de 186,77 kW, y representa un 9,8 % de la energía que suministra el combustible. El valor se obtiene a partir de la consideración de que los ladrillos poseen un 14 % de humedad, lo cual significa que se requiere esta cantidad de energía para evaporar 0,8 kg de agua por ladrillo.

#### 4.4.9 Calor perdido por conducción en el suelo

En este caso se considera calor perdido por conducción del suelo,  $Q_9$ , como 206 000 kcal cantidad que fue predeterminada en estudios que presentan igualdad de características en la dimensión y estructura del horno analizado. Resultados expuestos en el balance térmico del diagnóstico del trabajo de ladrilleras artesanales en la Ciudad de Oruro (Hinojosa & Velasco, 2004).

$$q_9 = 206\,000 \text{ kcal}$$

Transformación de kcal a kJ

$$1 \text{ kcal} = 4,184 \text{ kJ}$$

$$206\,000 \text{ kcal} = 861\,904 \text{ kJ}$$

En relación al tiempo de quema



$$\text{Tiempo} = 48\,600 \text{ s}$$

$$Q_9 = q_9 / t$$

$$Q_9 = 861\,904 \text{ kJ} / 48\,600 \text{ s}$$

$$Q_9 = 17,7 \text{ kW}$$

Porcentaje de pérdida

$$q'_9 = (Q_9 * 100) / Q_{\text{dis}}^a \quad (32)$$

$$q'_9 = 0,9 \%$$

#### Análisis de los resultados

La pérdida de calor por conducción del suelo, hace referencia al calor desprendido del sistema a la superficie del horno, cuyo valor es de 17,7 kW lo cual representa un 0,9 % del calor total suministrado, información que se obtuvo, de los resultados del estudio de balance térmico de horno en Bolivia (Hinojosa & Velasco, 2005). Este valor en porcentaje hace referencia a que el horno no pierde una cantidad considerable por dicha pérdida, por lo tanto, no se requiere una intervención en este aspecto.

## **CAPÍTULO 5: EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LOS HORNOS DE LAS LADRILLERAS**

### **5.1 Energía consumida en las ladrilleras**

La eficiencia energética es la capacidad de reducir el consumo energético, restringir la dependencia energética del exterior y reducir la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEIs), sin alterar la producción (OptimaGrid, 2017). El uso eficiente de los combustibles, en el sector ladrillero permitirá mejorar los procesos productivos, reducirá el consumo de energía con ventajas a nivel económico y ambiental

En su mayor parte, el sector ladrillero en la ciudad de Cuenca carece de mejoras tecnológicas, lo que se ve reflejado en el consumo de los recursos energéticos (leña), tiempo de cocción, mano de obra y número de unidades de producción. Aspectos que tiene influencia directa sobre la economía de los productores, por lo que indispensable buscar alternativas que permitan mejor la actividad.

La eficiencia energética permite la reducción del consumo de energía en un sistema. Existen medidas simples como engrosar las paredes del horno y reacomodar a distancias adecuadas los ladrillos en el interior del sistema. Así como medidas complejas que requieren la implementación de nuevos medios tecnológicos, los cuales involucran una inversión económica, pero que en un tiempo considerable se verá reflejado en la reducción de consumo de combustible y eficiencia en la producción (EELA, 2015).

### **5.2 Cálculo de eficiencia de los hornos**

#### **5.2.1 Eficiencia en hornos de tiro invertido**

Para obtener la eficiencia de los hornos de tiro invertido, necesitaremos la cantidad de calor que tendrá el sistema ( $Q_{dis}^a$ ) y la cantidad de calor requerido para la cocción de los ladrillos. Esto se debe a que la eficiencia viene dada por la cantidad de energía utiliza en el sistema para cocinar los ladrillos. Esto datos ya se pudieron apreciar en el balance energético. Por lo tanto, la eficiencia se calcula con la ecuación 7. Para los hornos de tiro invertido, la eficiencia es:

$$\eta = (Q_1 * 100) / Q_{dis}^a \quad (7)$$

$$Q_{dis}^a = 1\,898,60 \text{ kW}$$

$$Q_1 = 344,50 \text{ kW}$$

$$\eta = 18,1 \%$$

### 5.2.2 Eficiencia de hornos tradicionales.

La obtención de la eficiencia de los hornos tradicionales, emplea la misma fórmula que para los hornos de tiro invertido, pero para estos tendremos que calcular el calor del combustible y el calor requerido para la cocción de los ladrillos. En el caso de los hornos tradicionales se tienen que los datos de producción y consumo de combustible fueron obtenidos a través de las encuestas realizadas a los artesanos. Un elemento que distingue la operación de estos hornos respecto a los de tiro invertido es que consumen más combustible y los ciclos de trabajo son más extensos, como se observa en los cálculos siguientes.

Para calcular ( $Q_{dis}^a$ ) se tomará la ecuación 4:

$$q_{dis}^a = Q_{in}^a \quad (4)$$

$$PCI \text{ (leña)} = 16\,000 \text{ kJ/kg}$$

En relación a el peso del combustible y el tiempo

$$\text{Masa (leña)} = \delta * V$$

$$\delta \text{ (leña)} = 730 \text{ kg/m}^3$$

$$V \text{ (leña)} = 8 \text{ m}^3$$

$$\text{Masa (leña)} = 5\,840 \text{ kg}$$

$$\text{Tiempo} = 55\,800 \text{ s (ciclo de trabajo de un horno artesanal típico)}$$

$$\text{Masa/tiempo} = 0,1046 \text{ kg/s}$$

$$q_{dis}^a = PCI * (\text{Masa/tiempo})$$

$$q_{dis}^a = 1\,674,5 \text{ kW}$$



En base a la humedad de la leña

Porcentaje de húmeda (leña) = 21 %

Porcentaje leña seca = 79 %

$$Q_{dis}^a = PCI \cdot (Masa/tiempo) \cdot \% \text{ leña seca}$$

$$Q_{dis}^a = 1\,322,90 \text{ kW}$$

El resultado muestra que, para el caso de los hornos tradicionales, el valor de  $Q_{dis}^a$  es de 1322,90 kW, debido a que el tiempo de cocción de los hornos es de 15,5 horas (55800 s), la cantidad de ladrillos que queman es menor (4500) y el peso del mismo es de 2,5 kg. Por lo tanto, esta es la cantidad de energía que utilizan los hornos tradicionales para una quema.

Calor aprovechado para la cocción

Para calcular  $Q_1$ , o sea el calor aprovechado para la cocción de los ladrillos se utilizará también la ecuación 6:

$$q'_1 = m \cdot Cp(\text{arcilla}) \cdot \Delta T \quad (10)$$

$$\text{masa de los ladrillos (4500 unidades de peso 2,5 kg)} = 11250 \text{ kg}$$

$$Cp(\text{arcilla}) = 0,84 \text{ kJ/kg (Hernández, 2014)}$$

$$\text{Temperatura horno} = 1073 \text{ K}$$

$$\text{Temperatura ambiente} = 283 \text{ K}$$

$$\Delta T = 790 \text{ K}$$

$$q'_1 = 7465\,500 \text{ kJ/kg}$$

Tomando en cuenta la masa de los ladrillos y el tiempo de operación de los hornos:

$$q_1 = q'_1 \cdot \text{el porcentaje de masa sin humedad}$$

$$q_1 = 6420\,330 \text{ kJ}$$

$$Q_1 = Q_1 / \text{tiempo}$$

$$\text{Tiempo} = 55\,800 \text{ s}$$

$$Q_1 = 115,06 \text{ Kw}$$



Análisis de los resultados.

Para el caso de los hornos tradicionales tenemos que el calor empleado para la cocción de los ladrillos en un ciclo de trabajo es de 115,06 kW. Para este resultado se tomó en consideración que las temperaturas a las que requiere llegar el horno son las mismas que los hornos de tiro invertido y como el proceso de secado de los ladrillos es el mismo, se tomó un valor de humedad de los ladrillos igual al de las ladrilleras de tiro invertido. Sin embargo, estos valores deben ser verificados, debido a que podría haber variaciones de una ladrillera a otra.

Para el cálculo de la eficiencia se utilizará la ecuación 29:

$$\eta = (Q_1 \cdot 100) / Q_{\text{dis}}^a \quad (29)$$

$$Q_{\text{dis}}^a = 1\,322,90 \text{ kW}$$

$$Q_1 = 115,06 \text{ kW}$$

$$\eta = 8,7 \%$$

### 5.3 Índices

#### 5.3.1 Índice de cantidad de combustible por kg de producto.

Para la obtención de este índice tanto para los hornos tradicionales, como los hornos de tiro invertido, solo requerimos la cantidad de combustible que usa y la cantidad de producto que se tendrá, esto se utilizará para una próxima comparación de los hornos.

Hornos tradicionales:

$$I = \text{volumen leña} / \text{cantidad de producto}$$

$$I = 8 \text{ m}^3 / 11\,250 \text{ kg}$$

$$I = 7,10\text{E-}04 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Hornos tiro invertido:

$$I = 10 \text{ m}^3 / 29\,000 \text{ kg}$$

$$I = 3,44\text{E-}04 \text{ m}^3/\text{kg}$$

#### 5.3.2 Índice de tiempo de cocción por kg de producto.

Para la obtención de este índice para los dos tipos de hornos presentes en la industria ladrillera de Cuenca, se requiere el tiempo de cocción de los ladrillos y la cantidad de producto se obtendrá, esto se utilizará para una comparación de los dos tipos de horno.



Hornos tradicionales:

$$I = \text{Tiempo de cocción} / \text{cantidad de producto}$$

$$I = 15,5 \text{ h} / 11250 \text{ kg}$$

$$I = 3,77\text{E-}03 \text{ h/kg}$$

Hornos de tiro invertido:

$$I = 13,5 \text{ h} / 29000 \text{ kg}$$

$$I = 4,65\text{E-}04 \text{ h/kg}$$

#### 5.4 Comparación de las eficiencias

Para la comparación de las eficiencias entre los hornos, el tipo tiro invertido presenta una eficiencia del 18 % y el tradicional una 8,7 %. Existe una diferencia de casi el 10 %, lo cual representa el doble de eficiencia para los hornos de tiro invertido, debido a que el primer horno posee una mejor circulación de aire, gracias a la presencia de un ventilador que mejora la cantidad de aire que ingresa al sistema.

El bajo porcentaje de eficiencia en los hornos tradicionales, se debe a la pérdida de calor al ambiente, debido a que no cuentan con chimenea en la parte superior de su estructura; perdiendo así grandes cantidades de energía. Otro problema adicional, es el tamaño del combustible empleado, debido a que en su mayoría se utiliza troncos de dimensiones grandes (más de 1 m de longitud) y los operarios alimentan la leña en cantidades muy grandes. El amontonamiento de mucho combustible cerca de la puerta de alimentación restringe la entrada de aire y, al parecer, no existe oxígeno suficiente para la combustión (es decir, el oxígeno en el horno es menor al estequiométricamente requerido para la combustión de la leña).

Sin embargo, una razón de mayor importancia para esta diferencia, radica en el tiempo de quema y la cantidad de combustible empleado. Se ha observado en las secciones anteriores que el tiempo de quema y consumo de combustible para hornos de tiro invertido es de 13.5 h y se requieren 10 m<sup>3</sup> de combustible, mientras que para los hornos tradicionales se requieren 15.5 h de tiempo de cocción y 8 m<sup>3</sup> de combustible (leña).



Tomando en cuenta estos datos se obtuvieron los índices en base a la cantidad de combustible por kg de material, teniendo como resultado  $7,10\text{E-}04 \text{ m}^3/\text{kg}$  para los hornos tradicionales y  $3,44\text{E-}04 \text{ m}^3/\text{kg}$  para los hornos de tiro invertido. Esto quiere decir, que se requiere la mitad de combustible para quemar 1 kg en los hornos de tiro invertido en relación a los otros hornos.

El índice en base a la cantidad de tiempo por kg de producto, se obtuvo  $3,77\text{E-}03 \text{ h/kg}$  en los hornos tradicionales a diferencia que, de los tradicionales con un valor de  $4,65\text{E-}04 \text{ h/kg}$ ; resultados que indican que, por hora, se va quemar más del doble de kg de producto en los hornos de tiro invertido. Demostrándose así que los hornos de tiro invertido son mucho más eficientes que los tradicionales.



## **CAPÍTULO 6: COSTO DE PRODUCCIÓN**

### **6.1 Producción ladrillera**

El proceso de producción en el sector ladrillero depende del número de quemas y su nivel de producción. Cada unidad es fabricada por núcleos familiares con un promedio de cuatro personas (en las ladrilleras artesanales) y personas naturales contratadas en (ladrilleras semi mecanizadas). El 49 % de las ladrilleras posee más de 20 años en la actividad, un 28 % entre 11 y 20 años y el 23 % menos de 10 años. La mayoría de productores poseen horno propio, en el que se realizan 24 quemas al año, aproximadamente; información obtenida a través de encuestas realizadas por los autores ver Anexo 1.

En cuanto a las preferencias productivas, el nivel de fabricación puede variar dependiendo de la demanda y el tipo de mercado en que es comercializado. En la actualidad, el ladrillo tochano rugoso y de cara vista tiene mayor representatividad, debido a su alta demanda, seguidos del ladrillo tipo pisos y la elaboración de tejas que permiten generar otro ingreso económico.

La capacidad de los hornos actuales es de 5 000 unidades de peso 5,8 kg/u para hornos de tiro invertido y 4 500 ladrillos de peso 2,5 kg/u en hornos artesanales, aunque la producción puede variar. Para producir la cantidad máxima de unidades se deberá contar con la suficiente cantidad de material base (arcilla) del ladrillo, clima menos frío y evitar pérdidas debido a los productos defectuosos o que presentan imperfecciones.

### **6.2 Comercialización**

De acuerdo a la línea base elaborado por la EELA en el plan Económico-Financiero de alternativas tecnológicas para el sector ladrillero, el 23 % de productores comercializa de manera directa a sus consumidores finales, un 40 % lo realiza a través de intermediarios y el 37 % utiliza los dos mecanismos, aspectos que puede generar un cambio de valor del precio del ladrillo.



### 6.3 Cálculo de costos y utilidad aproximados de ladrillo tochano rugoso (ladrilleras artesanales)

Los costos directos para el ladrillo tochano rugoso se muestran en la Tabla 21. Para la determinación de los mismos se ha tomado en cuenta cada material utilizado para la elaboración del producto final; además, se ha considerado como base 1 000 unidades de ladrillos.

*Tabla 21 Costos Directos de ladrillera artesanal.*

ACTIVIDAD	NÚMERO DE UNIDADES	COSTOS \$ (1 000)
Tierra (arcilla)	1 000	30,00
Agua	1 000	0,50
Troncos de madera	1 000	30,00
Aserrín	1 000	1,42
	TOTAL	61,92

La Tabla 22 especifica el costo que contempla a los obreros, el cumplir con todo el proceso productivo en un tiempo determinado, tomando en cuenta como base la fabricación de 1 000 unidades.



Tabla 22. Mano de obra en ladrilleras artesanales.

ACTIVIDAD	TIEMPO DE EMPLEO EN 1 000 UNIDADES	COSTOS \$ 1 000 UNIDADES
Compra de tierra	1 hora	1,00
Llenado de noque	8 horas	30,00
Remojado	1 hora	1,25
Mezclado	8 horas	10,00
Batido	8 horas	10,00
Sacado de barro	8 horas	10,00
Moldeado	16 horas	20,00
Raspado	8 horas	10,00
Apilado para secado	4 horas	10,00
Apegado al horno	8 horas	10,00
Llenado al horno	12 horas	15,00
Quemado	21 horas	20,00
Sacado de horno	8 horas	10,00
Entrega	8 horas	10,00
	TOTAL	167,25

Para la determinación de los costos indirectos se ha tomado en cuenta los recursos que no forman parte de los procesos productivos, pero que generan gasto adicional al productor cada actividad se encuentra expuesto en la Tabla 23, tomando como referencia 1 000 ladrillos en un tiempo de 1 mes.



Tabla 23 Costos indirectos en ladrilleras artesanales

ACTIVIDAD	TIEMPO	COSTOS \$ 1 000 UNIDADES
Luz	1 mes	3,00
Impuestos	1 mes	1,00
Mantenimiento	1 mes	5,00
Alimento al buey	1 mes	6,00
Alquiler al buey	1 mes	12,00
Depreciación	1 mes	20,00
	TOTAL	47,00

En los resultados expuestos se tiene, que el mayor gasto por parte del propietario es la mano de obra, con un 59 % del total, un 23 % costos directos y un 18 % en costos indirectos, representados en la tabla 24.

Tabla 24 Estructura de producción del ladrillo tochano rugoso.

UTILIDAD	COSTO (%)
Costo directo	23
Mano de obra	59
Costos indirectos	18

Cálculo de la utilidad

Costo de producir 1 000 ladrillos tochano rugoso = \$ 120

Costo de producir 1 ladrillo tochano rugoso = \$ 0,30

Precio de venta fijado por el productor = \$ 0,28

$$\text{Utilidad} = \text{PV} - \text{CP}$$

$$\text{Utilidad} = 0,28 - 0,3$$

$$\text{Utilidad} = - 0,2$$

Análisis de resultados



Con el cálculo realizado se determina que el precio de comercialización de los fabricantes de ladrillo tochano rugoso en el sector artesanal está por debajo del costo de producción, generado un déficit de \$ 0,2. Se ha podido determinar que las principales causas se deben a que no se toma en cuenta la mano de obra familiar y que en el cálculo no se incorpora los equipos y herramientas utilizadas en el proceso productivo.

#### Resultados de Utilidad

De acuerdo a los resultados del costo para la determinación de la utilidad, se obtuvo que las ladrilleras artesanales trabajan en pérdida, el precio de venta es más bajo que el de producción de una unidad. Sin embargo, esta pérdida es asumida por los dueños de las ladrilleras, actualmente los propietarios de los hornos tienen conocimiento sobre las pérdidas de calor existentes en el sistema, debido a la falta de mantenimiento, tiempo de cocción, volumen de combustible a utilizar y producción.

#### 6.4 Cálculo de costos y utilidad aproximados de ladrillo tochano rugoso (ladrilleras semi-industrial).

Para la determinación del costo directo de ladrilleras semi-mecanizadas, a diferencia que la artesanal, toma en cuenta el valor de costo que se tiene por la contratación de empleados, aumentando el valor del costo directos considerablemente para la producción de ladrillos, valores establecidos en las tablas 24, 25 y 26.

*Tabla 24 Costos Directos de ladrillera semi- mecanizada.*

ACTIVIDAD	NÚMERO DE UNIDADES	COSTOS POR QUEMA
Tierra	20 000	360
Agua	20 000	0,50
Troncos de madera	20 000	30
Aserrín	20 000	1,42
Sueldo de empleados	20 000	280
	TOTAL	671,92

Tabla 25 Costo de mano de obra en ladrillera semi-mecanizada

ACTIVIDAD	TIEMPO DE EMPLEO EN 1 000 UNIDADES	COSTOS POR QUEMA
Compra de tierra	1 hora	1
Llenado de noque	8 horas	30,00
Remojado	1 hora	1,25
Mezclado	8 horas	10,00
Batido	8 horas	104,47
Sacado de barro	8 horas	10,00
Moldeado	16 horas	20,00
Raspado	8 horas	10,00
Apilado para secado	4 horas	10,00
Apegado al horno	8 horas	10,00
Llenado al horno	12 horas	15,00
Quemado	19 horas	10,00
Sacado de horno	7 horas	8,00
Entrega	7 horas	8,00
	TOTAL	239,72

## Costos Indirectos

Tabla 26. Costos indirectos en ladrilleras semi-mecanizadas.

ACTIVIDAD	TIEMPO	COSTOS POR QUEMA
Luz del uso de ventilador	1 mes	19,79
Gasolina Operación	1mes	2,9
Mantenimiento del ventilador	1 mes	1,78
Impuestos	1 mes	1
Depreciación	1 mes	20
	TOTAL	45,47



Estructura del costo de producción: Ladrillo Tochano rugoso (Ladrillera Semi-Industrial).

De acuerdo a los resultados obtenidos, existe mayor gasto por parte del propietario en el la mano de obra con un 70 %, un 25 % costos directos y un 5 % en costos indirectos, representados en la tabla 27.

*Tabla 27. Estructura de producción del ladrillo tochano rugoso.*

UTILIDAD	COSTO (%)
Costo directo	25
Mano de obra	70
Costos indirectos	5

Cálculo de la utilidad

Costo de producir 1 000 ladrillos tochano rugoso = \$ 200

Costo de producir 1 ladrillo tochano rugoso = \$ 0,25

Precio de venta fijado por el productor =\$ 0,30

Utilidad = PV- CP

Utilidad = 0,3- 0,25

Utilidad = 0,05

Análisis de resultados

Con el cálculo realizado se determina que el precio de comercialización de los fabricantes de ladrillo tochano rugoso en el sector semi-industrial está por encima del costo de producción, generado una ganancia de \$ 0,05.

## CONCLUSIONES

1. Conforme a la información proporcionada por la Comisión de Gestión Ambiental de la Ciudad de Cuenca, se obtuvo que las concentraciones de los gases en todos los hornos de tiro invertido analizados no superan la normativa vigente. Teniendo en cuenta que el horno de tiro invertido 1 representa las mayores concentraciones obteniendo: CO ( $2944 \text{ mg/m}^3$ ), SO<sub>x</sub> ( $13 \text{ mg/m}^3$ ) y NO<sub>x</sub> ( $69 \text{ mg/m}^3$ ). Para material particulado se tomó una única medición en el horno 3 con un valor de  $49 \text{ mg/m}^3$ . No se realizaron análisis de datos en los hornos tradicionales por falta de apertura de los propietarios.
2. De acuerdo a los resultados obtenidos en la comparación de normativas nacionales e internacionales y los resultados de las mediciones para la actividad de la producción de ladrillos se propone como límite máximo permisible para material particulado hasta  $100 \text{ mg/m}^3$ , SO<sub>x</sub> hasta  $50 \text{ mg/m}^3$ , NO<sub>x</sub> hasta  $100 \text{ mg/m}^3$ . Los valores propuestos consideran que la literatura revisada presenta límites mayores a las concentraciones obtenidas, con la excepción de CO, que se obtuvo una concentración muy elevada, por lo que el límite permisible para este gas es de  $2500 \text{ mg/m}^3$ .
3. En base a las mediciones realizadas, en el horno de tiro invertido se obtuvo que el 18% de la energía del combustible es calor aprovechado para cocción de ladrillos, mientras que el 54,1 % son pérdidas al medio ambiente. El calor perdido al medio ambiente por las paredes del horno, representa la mayor pérdida del calor total que posee el sistema, de acuerdo con los resultados aportados por el departamento de Comisión Gestión Ambiental CGA. En cuanto a los hornos tradicionales, no realizó las mediciones de los gases, motivo por el cual no se efectuó el cálculo completo de balance energético.
4. Se determinó que los hornos de tiro invertido poseen una eficiencia energética de un 18%, mientras los hornos tradicionales poseen una eficiencia de un 8,7%. Demostrando que la eficiencia del horno de tiro invertido es el doble que el tradicional. La eficiencia mejorará si se realizan las recomendaciones propuestas en el presente estudio.





5. Un aspecto importante a señalar es que los cálculos, en algunos casos, asumen situaciones que requieren revisión posterior. Por ejemplo, las temperaturas de los gases son constantes a lo largo de todo el ciclo de trabajo, lo que no siempre ocurre. Asimismo, debido a la falta de información, en el presente caso se asumió, que existe aire suficiente para la combustión completa de la leña en el horno y un 20% de aire en exceso.



## RECOMENDACIONES

Conforme a lo observado en el proceso de la elaboración del ladrillo se recomienda que:

1. El material utilizado como combustible (leña) debe ser cortado previo (triturado, de ser posible) a su ingreso al horno para conseguir una mejor combustión, para reducir la cantidad de pérdidas de calor por combustión químicamente incompleta. Además, la zona donde se almacena la leña debe presentar una estructura cubierta para evitar el ingreso de agua lluvia, con la finalidad de evitar que la humedad en la misma sea mayor.
2. En cuanto a la estructura del horno, se debe dar un revestimiento con material aislante (arcilla) en la parte interna y externa del horno, con énfasis en los puntos localizados donde se observa la salida de humo y calor. La pared de la puerta de ingreso al momento del sellado debe presentar igual espesor en toda su estructura para evitar pérdidas de calor. De esta manera se espera reducir las pérdidas al medio ambiente por las paredes de los hornos.
3. Se necesitan colocar instrumentos de medición a futuro para realizar cálculos más precisos en base a información más certera. Por ejemplo, se requiere información precisa de la cantidad de aire que se está alimentando a los hornos. En la actualidad los ventiladores no tienen información de placa.
4. Se debe coordinar de mejor manera el proceso de carga de combustible, de tal manera que no existan tiempos muertos en el cargado de la leña, con la finalidad de evitar pérdidas de calor al medio ambiente de forma directa, en los conductos de carga del combustible.
5. Se recomienda realizar un estudio termográfico a futuro, por parte de las autoridades competentes, para contar con datos de temperatura en diferentes puntos del horno, lo cual permitirá a futuro afinar los cálculos del balance térmico y de eficiencia energética de próximos estudios.



## REFERENCIAS

- Afanador , N., Guerrero , G., & Monroy, R. (2012, 07 01). Propiedades físicas y mecánicas de ladrillos macizos cerámicos para mampostería. (Redalyc, Ed.) *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 22(43-58), 16. doi:0124-8170, 1909-7735
- ALTIOR. (2013, 02 14). *Estudios de mercado sector ladrillero artesanal en Ecuador*. Recuperado 01 06, 2019 from Estudios de mercado sector ladrillero artesanal en Ecuador:  
<http://www.redladrilleras.net/assets/files/c244b38c2ed827725a8630856a0c6de2.pdf>
- AMBIENTE, D. D. (1999). *Decreto oficial de la generalidad de cataluña*. Cataluña. Retrieved 03 26, 2019
- Barranzuela, J. (2014, 02). *Proceso productivo de los ladrillos de arcilla producidos en la región Piura*. Tesis, Universiad de Piura , Piura. Retrieved 03 10, 2019 from Proceso productivo de los ladrillos de arcilla producidos en la región Piura:  
[https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1755/ICI\\_199.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1755/ICI_199.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Barreto, C., & Campo, J. (2012). Relación a largo plazo entre consumo de energía y PIB en América Latina: Una evaluación empírica con datos panel. *ecos de ECONOMÍA*, 17.
- Belli, C. (2015). *Hornos de tiro invertido en Ecuador*. (EcoSur, Producer, & EcoSur) Retrieved 02 17, 2019 from Hornos de tiro invertido en Ecuador:  
<https://www.ecosur.org/index.php/es/todos-los-articulos/23-ecosur-e-magazine/edicion-43-julio-2015/54-hornos-de-tiro-invertido-en-ecuador>
- Bianucci, M. (2009). *El ladrillo origenes y desarrollo*. Retrieved 03 16, 2019 from El ladrillo origenes y desarrollo: <https://arquitectnologicofau.files.wordpress.com/2012/02/el-ladrillo-2009.pdf>



CM. DGAV. (2004, 10). *Normativa de bloques y ladrillos*. Retrieved 03 18, 2019 from Normativa de bloques y ladrillos:

<http://www.madrid.org/bdccm/normativa/PDF/Ladrillos%20y%20bloques/Compendio/CPLADR.pdf>

Cabrera, M. (2010, 07). *Modelos de negocios y comeral para la creación de una fábrica semi-automática de ladrillos en el sector de Conocoto de Quito, año 2010*. Tesis, Universidad Técnica Particular de Loja, Loja. Retrieved 03 01, 2019 from Modelos de negocios y comeral para la creación de una fábrica semi-automática de ladrillos en el sector de Conocoto de Quito, año 2010:

<http://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/1111/3/658X4614.pdf>

CGA. (2013, 02). *Proyecto: Eficiencia energética en ladrilleras artesanales*. Retrieved 02 12, 2019 from Proyecto: Eficiencia energética en ladrilleras artesanales:

<http://www.congope.gob.ec/wp-content/uploads/2017/04/05am11-0101.pdf>

Deleg, N. (2010). *Definición de un proceso de producción semi-industrial de ladrillos en la parroquia Susudel*. Tesis, Universidad de Cuenca, Cuenca. Retrieved 02 10, 2019 from Definición de un proceso de producción semi-industrial de ladrillos en la parroquia Susudel: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/2397>

EELA. (2013, 03). *Caracterización de los tipos de combustibles utilizados en la zona piloto para la producción de ladrillos y propuesta de combustibles alternativos*. Retrieved 03 05, 2019 from Caracterización de los tipos de combustibles utilizados en la zona piloto para la producción de ladrillos y propuesta de combustibles alternativos:

<http://www.redladrilleras.net/assets/files/a660f237825f187a6f22c94532efbb41.pdf>

EELA. (2013). *Ficha técnica de tecnologías de horno de ladrillo/ teja en América Latina*.

Retrieved 04 01, 2019 from Ficha técnica de tecnologías de horno de ladrillo/ teja en



América Latina: [http://www.redladrilleras.net/apps/manual\\_ccac/pdf/es/horno-tiro-Invertido.pdf](http://www.redladrilleras.net/apps/manual_ccac/pdf/es/horno-tiro-Invertido.pdf)

EELA. (2015, 09). *Manual de hornos eficientes en la industria ladrillera*. Retrieved 03 05, 19

from Manual de hornos eficientes en la industria ladrillera:

[http://www.redladrilleras.net/apps/manual\\_ccac/pdf/es/Manual-de-hornos-eficientes.pdf](http://www.redladrilleras.net/apps/manual_ccac/pdf/es/Manual-de-hornos-eficientes.pdf)

EELA. (2017). *Red de intercambio de conocimientos para el sector ladrillero*. Retrieved 02 01,

2019 from Red de intercambio de conocimientos para el sector ladrillero:

<http://www.redladrilleras.net/>

EPA. (1995). *United States Environmental Protection Agency, Air Clearing House for Inventories and Emissions Factors*. Retrieved 03 26, 2019 from United States Environmental

Protection Agency, Air Clearing House for Inventories and Emissions Factors:

<https://www3.epa.gov/ttnecat1/cica/files/technic3.pdf>

Fernández, A. (2014, 10 01). *Ladrillos*. Retrieved 03 12, 2019 from Ladrillos:

<https://alfreza9.wordpress.com/2014/10/01/ladrillos/>

Francescato, V., & Antonini, E. (2012). *Manual de combustibles de madera*. Madrid: AVERIOM.

Retrieved 03 20, 2019 from Manual de combustibles de madera:

[http://www.biomasstradecentre2.eu/scripts/download.php?file=/data/pdf\\_vsebine/Handbook/Handbook\\_E.pdf](http://www.biomasstradecentre2.eu/scripts/download.php?file=/data/pdf_vsebine/Handbook/Handbook_E.pdf).

Gavilanez, S. (2005). *Informe tecnico sobre la operacion del horno de tiro*. Cuenca.

González, A. (2014, 05 04). Estudio de planta piloto para peletización de residuos madereros y

su utilización como combustible en hornos ladrilleros. *Revista Tecnura*, 18(70), 70. doi:

10.14483/udistrital.jour.tecnura.2014.2.a05



Hernández, P. (2014, 04 09). *Características térmicas de los materiales*. Retrieved 03 01, 2019

from Características térmicas de los materiales:

<https://pedrojhernandez.com/2014/04/09/caracteristicas-termicas-de-los-materiales/>

Hinojosa , O., & Velasco, C. (2005, 06). Cálculo del balance térmico de un horno de fabricación de Ladrillo Artesanal. *Revista Metalúrgica UTO*, 10. Retrieved 04 03, 2019 from Cálculo del balance térmico de un horno de fabricación de Ladrillo Artesanal:

[http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?pid=S2078-](http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?pid=S2078-55932005000100003&script=sci_arttext)

[55932005000100003&script=sci\\_arttext.](http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?pid=S2078-55932005000100003&script=sci_arttext)

Hinojosa, O., & Velasco, C. (2004). Diagnóstico del trabajo de las ladrilleras artesanales en la ciudad de Oruro. *Metalúrgica UTO*(25), 49. Retrieved 03 23, 2019 from

<http://docplayer.es/28028862-Diagnostico-del-trabajo-de-las-ladrilleras-artesanales-en-la-ciudad-de-oruro.html>

HISPALYT. (1998, 05). *Manual de ejecución de fachadas con ladrillos cara vista*. (HISPALYT, Ed.)

Retrieved 03 14, 2019 from Manual de ejecución de fachadas con ladrillos cara vista:

<https://www.caravistablanca.com/images/descargas/fachadas.pdf>

IERSE. (2010). *Informe levantamiento de catastro y sistematización de encuestas de línea base*.

(U. d. Azuay, Producer, & IERSE-UDA) Retrieved 03 13, 2019 from Informe

levantamiento de catastro y sistematización de encuestas de línea base:

<http://www.redladrilleras.net/assets/files/d25ec37ef2fac1301fa2a1db5e2a7702.pdf>

IFC, W. B. (2007). *Guías Generales sobre Medio Ambiente, Emisiones al Aire y Calidad del Aire*.

Banco Mundial, Corporación Financiera Internacional. Retrieved 03 26, 2019

INAMHI. (2016). *Boletín climatológico anual 2015*. Retrieved 03 11, 2019 from Boletín

climatológico anual 2015:

[http://www.serviciometeorologico.gob.ec/meteorologia/boletines/bol\\_anu.pdf](http://www.serviciometeorologico.gob.ec/meteorologia/boletines/bol_anu.pdf)



INEN. (1978). *Ladrillo ceramicos definiciones. Clasificación y condiciones generales*. (I. E.

Normalización, Producer) Retrieved 02 15, 2019 from Ladrillo ceramicos definiciones.

Clasificación y condiciones generales: <https://archive.org/details/ec.nte.0293.1978>

Información Temática Digital de Cuenca del Río Paute, Universidad del Azuay-CG Paute. (2005).

*Proyecto de Desarrollo de la Cuenca del Río Paute, Aplicación de la Información*

*Temática Digital de Cuenca del Río Paute*. Cuenca.

Jaya, J., & Gomezcuello, J. (2012). *Ánalysis comparativo de la contaminación atmosférica*

*producida por la combustión en ladrilleras artesanales utilizando tres tipos de*

*combustible* . From *Ánalysis comparativo de la contaminación atmosférica producida*

*por la combustión en ladrilleras artesanales utilizando tres tipos de combustible*:

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/6359/1/UPS-CT002924.pdf>

Lema, W. (2015). *Obtención de pasta y acople de vidrio que no libere plomo para elaborar tejas*

*usando hornos de tiro invertido*. Tesis, Universidad de Cuenca, Cuenca. Retrieved 03

12, 2019 from [dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/23277/3/tesis.pdf](https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/23277/3/tesis.pdf)

Manuel Camps, F. M. (2008). *los biocombustibles*. Madrid: Madrid mundi prensa.

Manzano, F. (2018). *Ejecución de fábricas a cara vista*. EOCB0108. IC Editorial. doi:978-84-

9198-399-6

Ministerio De Ambiente, V. y. (2008). *Resolucion Número (909)*. Bogota. Retrieved 03 26, 2019

Municipalidad de Cuenca. (2011). *Plan De Desarrollo Y Ordenamiento Territorial Del Cantón*

*Cuenca*. From *Plan De Desarrollo Y Ordenamiento Territorial Del Cantón Cuenca*:

[http://www.cuenca.gov.ec/?q=system/files/2%20-](http://www.cuenca.gov.ec/?q=system/files/2%20-%20INFORME%20PDOT_VISION%20Y%20LINEAMIENTOS_0.pdf)

[%20INFORME%20PDOT\\_VISION%20Y%20LINEAMIENTOS\\_0.pdf](http://www.cuenca.gov.ec/?q=system/files/2%20-%20INFORME%20PDOT_VISION%20Y%20LINEAMIENTOS_0.pdf)

ONUDI. (2015). *El rol de la tecnología y la innovación en el desarrollo industrial inclusivo y*

*sostenible. Resumen*. (Viena, Ed.) Retrieved 01 05, 2019 from *El rol de la tecnología y la*

*innovación en el desarrollo industrial inclusivo y sostenible. Resumen*:



[https://www.unido.org/sites/default/files/2015-12/EBOOK\\_IDR2016\\_OVERVIEW\\_SPANISH\\_0.pdf](https://www.unido.org/sites/default/files/2015-12/EBOOK_IDR2016_OVERVIEW_SPANISH_0.pdf)

OptimaGrid. (2017). *Buenas prácticas para el ahorro de energía en la empresa*. Retrieved 03

20, 2019 from Buenas prácticas para el ahorro de energía en la empresa:

<https://4.interreg-sudoe.eu/contenido-dinamico/libreria-ficheros/11268EB8-CE46-5D93-D5CC-6F82D70A6841.pdf>

Ortiz, O. E., & Tupaz, J. D. (2015, 06). *Identificación de zonas de influencia de las ladrilleras por*

*emisión de gases en el corregramiento de Jongovito Municipio de Pasto*. Retrieved 02

24, 2019 from Identificación de zonas de influencia de las ladrilleras por emisión de

gases en el corregramiento de Jongovito Municipio de Pasto:

<http://biblioteca.udenar.edu.co:8085/atenea/biblioteca/90954.pdf>

Pankratov, G. (1986). *Problemas de termotecnia*. Moscú: Mir Moscú.

PERÚ, R. D. (1997). *Reglamento de proteccion ambiental para el desarrollo de actividades de la*

*industria manufacturera*. Lima. Retrieved 03 26, 2019

Piñeiro, M. (2010, 01). *Elaboración de límites máximos permisibles de emisiones para la*

*industria ladrillera*. Retrieved 03 26, 2019 from Elaboración de límites máximos

permisibles de emisiones para la industria ladrillera:

<http://www.redladrilleras.net/assets/files/a8832ab5c8e44f4b8bb1d3250fdf2d45.pdf>

Presa, J. M. (2015, 04). Estructura, composición y clasificación de la madera. *CEDRIA*, 5.

Retrieved 03 21, 2019 from Estructura, composición y clasificación de la madera:

<http://blog.cedria.es/wp-content/uploads/2015/04/ALBURA-N1-Estructura-composicion-y-clasificacion-de-la-madera.pdf>

RASIM, R. A. (2002). *Reglamento ambiental del sector industrial manufacturero*. Ciudad de la

Paz. Retrieved 03 26, 2019 from





<http://www.chuquisaca.gob.bo/medioambiente/index.php/gestion-ambiental-alias/reglamento-ambiental-para-el-sector-industrial-manufacturero-rasim>

Rhodes, D. (1989). *Arcilla y vidriados para el ceramista*. España: CEAC.

SEMARNAT. (1998). *Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México*.

Dirección de monitoreo atmosférico- CDMX, Zona Metropolitana del Valle de México, México. Retrieved 04 01, 2019 from Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México:

[http://www.paot.org.mx/centro/libros/inventario98/anexo\\_02.pdf](http://www.paot.org.mx/centro/libros/inventario98/anexo_02.pdf)

TULSMA. (2015). *Norma Técnica Ambiental Ecuatoriana - Aire*. Retrieved 03 26, 2019 from

Norma Técnica Ambiental Ecuatoriana - Aire:

<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6078/47/LIBRO%20VI%20Anexo%204%20Calidad%20de%20aire.pdf>

Varéz, A., Rabanal, A., & Levenfeld, B. (2008, 12 22). *Refractarios*. Retrieved 02 13, 2019 from

Refractarios: <http://ocw.uc3m.es/ciencia-e-oin/ceramicas-y-vidrios/bloque-iii/Refractarios.pdf/view>



**Anexos:**

Anexo 1. Encuesta al sector ladrillero.

Universidad de Cuenca  
Facultad de Ciencias Químicas  
Ingeniería Ambiental

Encuesta de información del sector ladrillero

La presente encuesta se realizó con la finalidad de obtener información de la actividad ladrillera ubicada en el sector de Racar parroquia de Sinincay. Con la finalidad de obtener el título de grado.

Nombre:

Edad:

1. La ladrillera en la que labora es de propiedad

Propio	
Alquilada	
Prestada	

2. Años de la actividad

De 10 a menos años	
De 11 a 20 años	
De 21 a 30 años	
De 31 a 40 años	
De 41 a 50 años	
De 51 a 60 años	
Más de 61 años	

3. Número de personas que laboran en la actividad (Ladrillera)



-----

4. ¿Cuál es el costo aproximado de la producción de un ladrillo?

-----

5. ¿Cuál es el costo aproximado de venta de un ladrillo?

-----

6. Posee ingresos económicos de la actividad

% Ingresos de la producción del ladrillo	
% Ingresos de otra actividad	

7. ¿Cuál es el valor de sus ingresos de promedio anual?

-----

8. Cuantas quemadas realiza en el año (promedio)

-----



9. Cuantas quemas realiza al año de los siguientes tipos de ladrillo

	Número de quemas/año (Promedio)	Producción por quemas/año (Promedio)	Perdidas por quemas/año (Promedio)
Panelón			
Tochano rugoso			
Tochano cara vista			
Piso			
Fachalera			

10. Cuantos hornos posee

-----

11. Tipo de combustible utilizado para el encendido del horno

Aserrín		Llantas		Papel	
Ramas Eucalipto		Troncos de madera			
Gasolina		Diésel			




12. Cuantos m<sup>3</sup> utiliza de combustible para la quema del material

De 4 a 10 m <sup>3</sup>	
De 11 a 15 m <sup>3</sup>	
De 16 a 18 m <sup>3</sup>	




13. ¿Cuál es el tiempo en que se completa la quema del material?



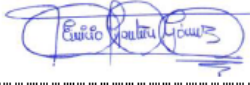
-----




Anexo 2. Resultados de los análisis de concentraciones AFH.

 Servicio de Acreditación Ecuatoriano Acreditación N° OAE LE 20 05-889 LABORATORIO DE ENSAYOS		ISO 17025  Rev. 04	INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO DE MUESTREO ISOCINETICO DE PARTICULAS Y ANALISIS DE GASES		 AFH SERVICES CIA. LTDA. MEDIO AMBIENTE
INFORME DE ENSAYO No 001		ORDEN DE TRABAJO No		OT-018A-19	
NOMBRE DEL CLIENTE: GAD CUENCA					
DIRECCION DEL CLIENTE: Provincia de Azuay, Cantón Cuenca, Parroquia Racar					
DESCRIPCION: Medición de Emisiones Gaseosas de Fuentes Fijas de combustión					
FECHA DE MUESTREO: 5 de febrero de 2019					
FECHA DE EMISION: 11 de abril de 2019					
TABLA N. 1 INFORMACION DE LA FUENTE FIJA					
TIPO DE FUENTE:	Horno de ladrillo	TIPO DE COMBUSTIBLE:	Carbón - Madera		
MARCA:	Horno casero	POTENCIA DE LA FUENTE	-		
NUMERO DE SERIE:	Sr. San Martín	HOROMETRO	-		
COORDENADAS (UTM) WGS84	717585 E	9683330 N			
TABLA N. 2 RESULTADOS					
Volumen promedio, Std - m3/h					
Parámetros	Método Utilizado	Resultado	Incertidumbre	Unidades	
* Oxígeno	AFHFD2 (USEPA) CTM030	Sensores Electroquímicos	16.6	0.1	%
Monóxido de Carbono		Sensores Electroquímicos	>850	---	ppm
Monóxido de Nitrógeno		Sensores Electroquímicos	47	2.87	ppm
Dióxido de Nitrógeno		Sensores Electroquímicos	<3	---	ppm
Dióxido de Azufre		Sensores Electroquímicos	<7	---	ppm
Partículas	CFR 40 Part 60 App.A-3, Method 5 EPA	-	---	mg/m3 CN	
NIVEL DE CONFIANZA DE LA INCERTIDUMBRE 95.45 %					
TABLA N. 3 EQUIPOS EMPLEADOS EN EL MONITOREO					
TESTO 350 BOX ELA 148 N/S 02430495		TESTO 350 XL ELA 33 N/S 1590353		X	
APEX ELA 02 N/S 607043		X		APEX ELA 43 N/S 0909051	
TABLA N. 4 INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE					
DATOS DE LA EMPRESA		DATOS DEL PUNTO DE MUESTREO		DATOS DE FUENTE FIJA	
Razón Social	SI	Dimensiones de la chimenea	NO	Descripción/Nombre	SI
Dirección - Ubicación	SI	Accesos al punto de muestreo	SI	Tipo de Fuente	SI
Tipo de Cliente	SI	Puntos de anclaje	NO	Periodo de Funcionamiento	SI
Normativa aplicada	NO	Coordenada de la fuente	NO	Combustible que emplea	SI
Nota: Si la información no es proporcionada por el cliente, el laboratorio hace uso de información que se encuentra pública en la web y para datos específicos el laboratorio cuenta con herramientas informativas ya sea referencias de normativas vigentes, suficiencia técnica y equipos complementarios aptos para obtenerla.					
NOTAS: § Los parámetros señalados no están cubiertos por el Alcance de la Acreditación § AFH Services se responsabiliza exclusivamente de las medidas realizadas. Los resultados se refieren únicamente al ensayo señalado. § AFH Services no se responsabiliza de la información proporcionada por el cliente que pudiera afectar la validez de los resultados reportados. § Prohibida su reproducción parcial, la reproducción total del mismo deberá ser autorizada por escrito por el laboratorio.					
ANALISIS REALIZADO POR: Tco Danny Toapanta					
 Ing. Vinicio Tipantuña APROBADO POR: DIRECTOR TECNICO					
NOTAS - OBSERVACIONES - DESVIACIONES No se realiza la toma de muestra de material particulado, debido a que no se cuenta con puertos adecuados para la conexión de la sonda para muestreo de partículas.					

• Horno de ladrillo del Sr. Mesías Riera

 Servicio de Acreditación Ecuatoriano Acreditación N° OAE-LE-20-09-009 LABORATORIO DE ENSAYOS		ISO 17025  Rev. 04	INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO DE MUESTREO ISOCINETICO DE PARTICULAS Y ANALISIS DE GASES	 <b>AFH</b> SERVICES CIA. LTDA. MEDIO AMBIENTE	
INFORME DE ENSAYO No		002	ORDEN DE TRABAJO No		OT-018A-19
NOMBRE DEL CLIENTE: GAD CUENCA					
DIRECCION DEL CLIENTE: Provincia de Azuay, Cantón Cuenca, Parroquia Racar					
DESCRIPCIÓN: Medición de Emisiones Gaseosas de Fuentes Fijas de combustión					
FECHA DE MUESTREO: 12 de marzo de 2019					
FECHA DE EMISIÓN: 11 de abril de 2019					
TABLA N. 1 INFORMACIÓN DE LA FUENTE FIJA					
TIPO DE FUENTE:	Horno de ladrillo		TIPO DE COMBUSTIBLE:	Carbón - Madera	
MARCA:	Horno casero		POTENCIA DE LA FUENTE:	-	
NÚMERO DE SERIE:	Sr. Riera		HORÓMETRO:	-	
COORDENADAS (UTM) WGS84	717866 E		9683650 N		
TABLA N. 2 RESULTADOS					
Volumen promedio, Std		- m3/h			
Parámetros	Método Utilizado	Resultado	Incertidumbre	Unidades	
* Oxígeno	AFHPE02 (USEPA CTM030)	Sensores Electroquímicos	10.3	0.1	%
Monóxido de Carbono		Sensores Electroquímicos	>850	---	ppm
Monóxido de Nitrógeno		Sensores Electroquímicos	33	2.06	ppm
Dióxido de Nitrógeno		Sensores Electroquímicos	<3	---	ppm
Dióxido de Azufre		Sensores Electroquímicos	<7	---	ppm
Partículas	CFR 40 Part 80 App.A-3, Method 5 EPA	-	---	mg/m3 CN	
NIVEL DE CONFIANZA DE LA INCERTIDUMBRE			95.45 %		
TABLA N. 3 EQUIPOS EMPLEADOS EN EL MONITOREO					
TESTO 350 BOX ELA 148 N/S 02430495		TESTO 350 XL ELA 33 N/S 1590353		X	
APEX ELA 02 N/S 607043		X		APEX ELA 43 N/S 0909051	
TABLA N. 4 INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE					
DATOS DE LA EMPRESA		DATOS DEL PUNTO DE MUESTREO		DATOS DE FUENTE FIJA	
Razón Social	SI	Dimensiones de la chimenea	NO	Descripción/Nombre	SI
Dirección - Ubicación	SI	Accesos al punto de muestreo	SI	Tipo de Fuente	SI
Tipo de Cliente	SI	Puntos de anclaje	NO	Periodo de Funcionamiento	SI
Normativa aplicada	NO	Coordenada de la fuente	NO	Combustible que emplea	SI
Nota: Si la información no es proporcionada por el cliente, el laboratorio hace uso de información que se encuentra publica en la web y para datos específicos el laboratorio cuenta con herramientas informativas ya sea referencias de normativas vigentes, suficiencia técnica y equipos complementarios aptos para obtenerla.					
NOTAS:					
§ * Los parámetros señalados no están cubiertos por el Alcance de la Acreditación					
§ AFH Services se responsabiliza exclusivamente de las medidas realizadas. Los resultados se refieren únicamente al ensayo señalado.					
§ AFH Services no se responsabiliza de la información proporcionada por el cliente que pudiera afectar la validez de los resultados reportados.					
§ Prohibida su reproducción parcial, la reproducción total del mismo deberá ser autorizada por escrito por el laboratorio.					
ANÁLISIS REALIZADO POR:		Tco Danny Toapanta			
 Ing. Vinicio Tipantuña APROBADO POR: DIRECTOR TÉCNICO					
NOTAS - OBSERVACIONES - DESVIACIONES					
No se realiza la toma de muestra de material particulado, debido a que no se cuenta con puertos adecuados para la conexión de la sonda para muestreo de partículas.					

• Horno de ladrillo del Sr. Isidro Tenempaguay						
 <p>Servicio de Acreditación Ecuatoriano Acreditación N° 046 LE 20 05-499 LABORATORIO DE ENSAYOS</p>		<p>ISO 17025</p> <p>Rev. 04</p>	<p>INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO DE MUESTREO ISOCINETICO DE PARTICULAS Y ANALISIS DE GASES</p>			
						
INFORME DE ENSAYO No		003	ORDEN DE TRABAJO No		OT-018A-19	
NOMBRE DEL CLIENTE:		GAD CUENCA				
DIRECCION DEL CLIENTE:		Provincia de Azuay, Cantón Cuenca, Parroquia Racar				
DESCRIPCION:		Medición de Emisiones Gaseosas de Fuentes Fijas de combustión				
FECHA DE MUESTREO:		12 de marzo de 2019				
FECHA DE EMISION:		11 de abril de 2019				
TABLA N. 1 INFORMACIÓN DE LA FUENTE FIJA						
TIPO DE FUENTE:	Horno de ladrillo	TIPO DE COMBUSTIBLE:	Carbón - Madera			
MARCA:	Horno casero	POTENCIA DE LA FUENTE	-			
NUMERO DE SERIE:	Sr. Tenempaguay	HORÓMETRO	-			
COORDENADAS (UTM) WGS84	717729 E	9683937 N				
TABLA N. 2 RESULTADOS						
Volumen promedio, Std 6032 m3/h						
Parámetros	Método Utilizado	Resultado	Incertidumbre	Unidades		
* Oxígeno	AFHPE02 (USEPA CTM030)	Sensores Electroquímicos	12.6	0.1	%	
Monóxido de Carbono		Sensores Electroquímicos	>850	---	ppm	
Monóxido de Nitrógeno		Sensores Electroquímicos	31	1.94	ppm	
Dióxido de Nitrógeno		Sensores Electroquímicos	<3	---	ppm	
Dióxido de Azufre		Sensores Electroquímicos	<7	---	ppm	
Partículas	CFR 40 Part 60 App. A-3, Method 5 EPA	140	4.43	mg/m3 CN		
NIVEL DE CONFIANZA DE LA INCERTIDUMBRE					95.45 %	
TABLA N. 3 EQUIPOS EMPLEADOS EN EL MONITOREO						
TESTO 350 BOX EL4 148 N/S 02430495		TESTO 350 XL EL4 33 N/S 1590353		X		
APEX EL4 02 N/S 607043		X		APEX EL4 43 N/S 0909051		
TABLA N. 4 INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE						
DATOS DE LA EMPRESA		DATOS DEL PUNTO DE MUESTREO		DATOS DE FUENTE FIJA		
Razón Social	SI	Dimensiones de la chimenea	NO	Descripción/Nombre	SI	
Dirección - Ubicación	SI	Accesos al punto de muestreo	SI	Tipo de Fuente	SI	
Tipo de Cliente	SI	Puntos de anclaje	NO	Periodo de Funcionamiento	SI	
Normativa aplicada	NO	Coordenada de la fuente	NO	Combustible que emplea	SI	
Nota: Si la información no es proporcionada por el cliente, el laboratorio no hace uso de información que se encuentra publica en la web y para datos específicos el laboratorio cuenta con herramientas informativas ya sea referencias de normativas vigentes, suficiencia técnica y equipos complementarios aptos para obtenerla.						
NOTAS:						
§ Los parámetros señalados no están cubiertos por el Alcance de la Acreditación						
§ AFH Services se responsabiliza exclusivamente de las medidas realizadas. Los resultados se refieren únicamente al ensayo señalado.						
§ AFH Services no se responsabiliza de la información proporcionada por el cliente que pudiera afectar la validez de los resultados reportados.						
§ Prohibida su reproducción parcial, la reproducción total del mismo deberá ser autorizada por escrito por el laboratorio.						
ANALISIS REALIZADO POR:		Tco Danny Toapanta				
 <p>Ing. Vinicio Tipantuña</p>						
APROBADO POR: DIRECTOR TECNICO						
NOTAS - OBSERVACIONES - DESVIACIONES						

• Horno de ladrillo del Sr. Rodrigo Sinchi					
 <p>Servicio de Acreditación Ecuatoriano Acreditación N° ONE LE 20 15-009 LABORATORIO DE ENSAYOS</p>		<p>ISO 17025</p> <p>Rev. 04</p>	<p>INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO DE MUESTREO ISOCINETICO DE PARTICULAS Y ANALISIS DE GASES</p>		
INFORME DE ENSAYO No		004	ORDEN DE TRABAJO No		OT-018A-19
NOMBRE DEL CLIENTE: GAD CUENCA					
DIRECCION DEL CLIENTE: Provincia de Azuay, Cantón Cuenca, Parroquia Racar					
DESCRIPCION: Medición de Emisiones Gaseosas de Fuentes Fijas de combustión					
FECHA DE MUESTREO: 5 de abril de 1949					
FECHA DE EMISION: 11 de abril de 2019					
TABLA N. 1 INFORMACIÓN DE LA FUENTE FIJA					
TIPO DE FUENTE:		Horno de ladrillo		TIPO DE COMBUSTIBLE: Carbón - Madera	
MARCA:		Horno casero		POTENCIA DE LA FUENTE -	
NÚMERO DE SERIE:		Sr. Sinchi		HORÓMETRO -	
COORDENADAS (UTM) WGS84		718459 E		9684131 N	
TABLA N. 2 RESULTADOS					
Volumen promedio, Std - m3/h					
Parámetros	Método Utilizado	Resultado	Incertidumbre	Unidades	
* Oxígeno	AFHPE02 (USEPA CTM030)	Sensores Electroquímicos	13.2	0.1	%
Monóxido de Carbono		Sensores Electroquímicos	>850	---	ppm
Monóxido de Nitrógeno		Sensores Electroquímicos	33	2.05	ppm
Dióxido de Nitrógeno		Sensores Electroquímicos	<3	---	ppm
Dióxido de Azufre		Sensores Electroquímicos	<7	---	ppm
Partículas	CFR 40 Part 80 App.A-3, Method 5 EPA	-	---	mg/m3 CN	
NIVEL DE CONFIANZA DE LA INCERTIDUMBRE 95.45 %					
TABLA N. 3 EQUIPOS EMPLEADOS EN EL MONITOREO					
TESTO 350 BOX ELA 148 N/S 02430495		TESTO 350 XL ELA 33 N/S 1590353		X	
APEX ELA 02 N/S 607043		X		APEX ELA 43 N/S 0909051	
TABLA N°4 INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE					
DATOS DE LA EMPRESA		DATOS DEL PUNTO DE MUESTREO		DATOS DE FUENTE FIJA	
Razón Social	SI	Dimensiones de la chimenea	NO	Descripción/Nombre	SI
Dirección - Ubicación	SI	Accesos al punto de muestreo	SI	Tipo de Fuente	SI
Tipo de Cliente	SI	Puntos de anclaje	NO	Periodo de Funcionamiento	SI
Normativa aplicada	NO	Coordenada de la fuente	NO	Combustible que emplea	SI
Nota: Si la información no es proporcionada por el cliente, el laboratorio hace uso de información que se encuentra publica en la web y para datos específicos el laboratorio cuenta con herramientas informativas ya sea referencias de normativas vigentes, suficiencia técnica y equipos complementarios aptos para obtenerla.					
NOTAS:					
§ Los parámetros señalados no están cubiertos por el Alcance de la Acreditación					
§ AFH Services se responsabiliza exclusivamente de las medidas realizadas. Los resultados se refieren únicamente al ensayo señalado.					
§ AFH Services no se responsabiliza de la información proporcionada por el cliente que pudiera afectar la validez de los resultados reportados.					
§ Prohibida su reproducción parcial, la reproducción total del mismo deberá ser autorizada por escrito por el laboratorio.					
ANALISIS REALIZADO POR: Tco Danny Toapanta					
 <p>Ing. Vinicio Tipantuña</p> <p>APROBADO POR: DIRECTOR TECNICO</p>					
NOTAS - OBSERVACIONES - DESVIACIONES					
No se realiza la toma de muestra de material particulado, debido a que no se cuenta con puertos adecuados para la conexión de la sonda para muestreo de partículas.					



## 7.1 CERTIFICADOS DE CALIBRACIÓN

LABORATORIO		 <b>AFH</b> SERVICES CIA. LTDA. MEDIO AMBIENTE		CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN INTERNA - ANALIZADORES DE GASES	
REV 03					
Certificado N.	001-2019				
Fecha de Calibración	2 de enero de 2019	Hora	9:00		
Lugar de Calibración	INSTALACIONES LABORATORIO				
Equipo Calibrado	Analizador de Gases				
Marca	TESTO				
Modelo	T350 XL				
Serie	1590353				
Código Interno	EIA 33				
<p>El laboratorio AFH Services, realizó la calibración interna del equipo descrito en la parte superior, para esto se utilizaron Materiales de Referencia trazables a la EPA.</p> <p>La calibración fue realizada bajo un Sistema de Gestión de calidad, conforme a la NTE INEN-ISO/IEC 17025:2017.</p> <p>Los resultados de la calibración y su incertidumbre se muestran en las páginas siguientes y son parte de este documento.</p> <p>El presente certificado, corresponde al día - hora señalado en la parte superior y las demás condiciones de ese instante.</p> <p>Queda prohibida la reproducción parcial y total del presente certificado, sin previa autorización del laboratorio AFH Services.</p>					
RESPONSABLE		Director Técnico			
NOMBRE		Ing. Vinicio Tipantuña			
FIRMA					

LABORATORIO AFH SERVICES				CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN INTERNA - ANALIZADORES DE GASES	
REV 03					
Equipo		TESTO		Codigo Interno: EIA 33	
Certificado N.		001-2019			
Fecha de Calibración		2 de enero de 2019			
<b>CONDICIONES AMBIENTALES DEL LABORATORIO</b>					
Temperatura	20°C	Presión Atmosférica	553 mmHg	Humedad Relativa	50%
<p><b>INCERTIDUMBRE DE MEDIDA</b> : La incertidumbre de medida adjunta, esta declarada como el doble de la incertidumbre combinada, es decir cubre un intervalo del 95 % de confianza, asumiendo una distribución normal. La aplicación de la misma se derivó del procedimiento Interno AFHPE04 Cálculo de Incertidumbre del laboratorio</p> <p><b>PROCEDIMIENTO UTILIZADO</b> : Para el proceso de calibración se utiliza el procedimiento interno AFHPE18. Calibración de Equipos Analizadores de Gases .</p>					
<b>MATERIAL DE REFERENCIA UTILIZADO</b>					
MRC34 (CO-NO-SO2)	19.77-10.10-10.04	ppm	Lote N.	LL182103	Trazabilidad EPA Traceability
MRC30(CO-NO-SO2)	1021-997.3-1007	ppm	Lote N.	EB0111583	Trazabilidad EPA Traceability
MRC19 (NO2)	150	ppm	Lote N.	CC510832	Trazabilidad EPA Traceability
MRC18 (NO2)	76.1	ppm	Lote N.	CC513525	Trazabilidad EPA Traceability
MRC 26 (CO-NO-SO2)	99.94-100.2-100.2	ppm	Lote N.	CC435608	Trazabilidad EPA Traceability
MRC 28 (CO-NO-SO2)	309.3-307.3-308.9	ppm	Lote N.	EB0057114	Trazabilidad EPA Traceability
<b>RESULTADOS OBTENIDOS</b>					
<b>PARAMETRO CO</b>					
RANGO	Valor de Referencia	Valor Obtenido Medio	Error (%)±5%	Incertidumbre Asociada	Unidad
1	19.9	20.0	0.76	1.31	ppm
2	309.3	308.8	0.81	19.55	ppm
3	1021.0	1011.6	0.92	62.80	ppm
<b>PARAMETRO NO</b>					
RANGO	Valor de Referencia	Valor Obtenido Medio	Error (%)±5%	Incertidumbre Asociada	Unidad
1	10.1	10.0	0.99	0.83	ppm
2	303.7	310.8	2.34	25.29	ppm
3	1007.0	1016.8	0.97	64.68	ppm
<b>PARAMETRO SO2</b>					
RANGO	Valor de Referencia	Valor Obtenido Medio	Error (%)±5%	Incertidumbre Asociada	Unidad
1	7.0	7.0	0.28	0.71	ppm
2	308.9	309.2	0.10	22.48	ppm
3	997.3	1015.4	1.81	61.44	ppm
<b>PARAMETRO NO2</b>					
RANGO	Valor de Referencia	Valor Obtenido Medio	Error (%)±5%	Incertidumbre Asociada	Unidad
1	3.0	2.9	2.67	0.21	ppm
2	76.1	75.7	0.47	4.69	ppm
3	150.0	152.8	1.87	10.26	ppm
<p>Calibrado por Tco. Danny Toapanta Revisado por Ing. Vinicio Tipantufia</p> <p>Nombre y Firma  Nombre y Firma </p> <p>APE1801</p> <p style="text-align: right;">Página 2 de 2</p>					
Diego de Velasquez OE4-95 y John F. Kennedy, Urbanización Cipreses II, Tlf: 2493511 e-mail: dherrera@afhservices.com.ec					

**SERVICIO DE ACREDITACIÓN  
ECUATORIANO - SAE****ALCANCE DE ACREDITACIÓN****LABORATORIO DE ENSAYO****AMBIFORHEALTH SERVICES CÍA. LTDA.**

**MATRIZ:** Diego de Velázquez Oe4-95 y John F. Kennedy, Urbanización Los Cipreses II,  
No. 249 El Condado

• Tfn.: +(593) 02 249 3511 • e-mail: dherrera@afhservices.com.ec  
Quito - Ecuador

**Certificado de Acreditación N°:** OAE LE 2C 05-009

**Expediente N°:** OAE PLE 2E 05 001

**Revisión N°:** 11

**Acreditación Inicial/Renovación:** 2015-06-10

**Vigencia hasta:** 2020-06-09

Está acreditado por el Servicio de Acreditación Ecuatoriano (SAE) de acuerdo con los requerimientos establecidos en la Norma NTE INEN ISO/IEC 17025:2006 "**Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración**", Criterios Específicos para la acreditación de laboratorios que realizan ensayos. (CR GA01), Guías y Políticas del SAE en su edición vigente, para las siguientes actividades:

**Localización (oficina critica, detallar ciudad, país):** Quito - Ecuador

**Sector:** Ensayos

**Responsables Técnico:** Arturo Tipantuña Gómez

**Categoría 1:** Ensayos In Situ

**Campo de Ensayo:** Análisis físico-químicos en emisiones gaseosas de fuentes fijas a la atmósfera

PRODUCTO O MATERIAL A ENSAYAR	ENSAYO, TÉCNICA Y RANGOS	MÉTODO DE ENSAYO (Método interno y método de referencia)
Emisiones de fuentes fijas de combustión	Gases Contaminantes, Celdas Electroquímicas, Monóxido de Carbono (CO), 20 ppm – 650 ppm Monóxido de Nitrógeno (NO), 15 ppm – 1 100 ppm Dióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> ), 7 ppm – 670 ppm Dióxido de Nitrógeno (NO <sub>2</sub> ), 3 ppm – 190 ppm	AFH PE 02 Método de Referencia: USEPA CTM 030 Rev 7. 1997

	Material Particulado, Gravimetría, 5 mg/m <sup>3</sup> – 500 mg/m <sup>3</sup>	AFH PE 11 Método de Referencia: EPA 5 CFR 40, Parte 60 (Apéndices), Rev. Julio 2007
--	--	--

**Categoría 1:** Ensayos in situ  
**Campo de Ensayo:** Acústica Ambiental

PRODUCTO O MATERIAL A ENSAYAR	ENSAYO, TÉCNICA Y RANGOS	MÉTODO DE ENSAYO (Método interno y método de referencia)
Ruido Ambiental	Ruido, Nivel de Presión Sonora, 39 dB - 140 dB	AFH PE 13 Método de Referencia: ISO 1996-2, 2007

**Categoría 1:** Ensayos in situ  
**Campo de Ensayo:** Ensayos Físico – químicos en aire ambiente

PRODUCTO O MATERIAL A ENSAYAR	ENSAYO, TÉCNICA Y RANGOS	MÉTODO DE ENSAYO (Método interno y método de referencia)
Aire ambiente	Concentración de Gases, Monóxido de carbono (CO), Espectrofotometría Infrarrojo no dispersivo,	AFH PE 15 Método de Referencia: USEPA RFCA-0506-158 diciembre 2015 USEPA RFCA-0981-054 Octubre 2015
	0,2 ppm– 10 ppm	AFH PE 15 Método de Referencia: USEPA RFNA-0506-157 diciembre 2015 USEPA RFCA-1289-074 Diciembre 2015
	Monóxido de nitrógeno (NO), Quimiluminiscencia,	AFH PE 15 Método de Referencia: USEPA RFNA-0506-157 diciembre 2015 USEPA RFCA-1289-074 Diciembre 2015
	10 ppb – 0,5 ppm	AFH PE 15 Método de Referencia: USEPA RFNA-0506-157 diciembre 2015 USEPA RFCA-1289-074 Diciembre 2015
	Dióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> ), Quimiluminiscencia,	AFH PE 15 Método de Referencia: USEPA RFNA-0506-157 diciembre 2015 USEPA RFCA-1289-074 Diciembre 2015
	10 ppb - 0,5 ppm	AFH PE 15 Método de Referencia: USEPA RFNA-0506-157 diciembre 2015 USEPA RFCA-1289-074 Diciembre 2015
	Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> ), Fluorescencia ultravioleta,	AFH PE 15 Método de Referencia: USEPA EQSA-0506-159 diciembre 2015 USEPA EQSA-0488-060 Diciembre 2015
	10 ppb - 0,5 ppm	AFH PE 15 Método de Referencia: USEPA EQSA-0506-159 diciembre 2015 USEPA EQSA-0488-060 Diciembre 2015
Aire ambiente	Ozono (O <sub>3</sub> ), Absorción ultravioleta no dispersiva,	AFH PE 15 Método de Referencia: USEPA EQQA-0506-160 diciembre 2015 USEPA EQQA-0880-047 Diciembre 2015
	10 ppb – 70 ppb	AFH PE 15 Método de Referencia: USEPA EQQA-0506-160 diciembre 2015 USEPA EQQA-0880-047 Diciembre 2015
Aire ambiente	Material particulado PM 2,5, Beta atenuación, 5 µg/m <sup>3</sup> – 70 µg/m <sup>3</sup>	AFH PE 15 Método de Referencia: USEPA EQPM-0798-122 Julio 2008



Diego de Velásquez OE4-95 y John F. Kennedy, Urbanización Cipreces II, # 249  
Teléfono: 2493511 – 0991494028  
e-mail: dherrera@afhservices.com.ec



Aire ambiente	Material particulado PM 10, Beta atenuación, 5 µg/m³ – 160 µg /m³	AFH PE 15 Método de Referencia: USEPA EQPM-0798-122 Julio 2008
Aire ambiente	Partículas sedimentables, Gravimetría, 0,03 mg/cm2– 2.65 mg/cm2 (30 días)	AFH PE 20 Método de Referencia: Intersociety Comité. Ed. 3. 502

## CONTROL DE CAMBIOS EN EL ALCANCE

FECHA	MODIFICACIONES O CAMBIOS	NUMERO DE RESOLUCIÓN
2016-06-16	Vigilancia 1. Mantener la acreditación	
2017-01-27	Vigilancia 2. Mantener la acreditación	SAE-ACR-0021-2017
2017-12-21	Vigilancia 3. Mantener la acreditación	SAE-ACR-0258-2017
2018-12-19	Actualización de responsables	SAE-ACR-0329-2018

Nombre de la Empresa:		GAD CUENCA			
Fuente	Horno de ladrillo				
Nombre del Laboratorio	AFH SERVICES CIA. LTDA.				
Parámetro	Fecha	MP	SO2	NOx	CO
Unidad de medida		(mg/m3)	(mg/m3)	(mg/m3)	(mg/m3)
Valor	5-feb-19	-	13	69	2944
Norma		100	1650	650	N/A
Cumplimiento		-	si cumple	si cumple	-
Tabla 1- Acuerdo Ministerial 097-A- Límites máximos permisibles de Emisiones al Aire para Fuentes fijas de combustión abierta, expresados en mg/Nm3: miligramos por metro cúbico de gas de combustión en condiciones normales, 760 mm Hg. de presión y temperatura de cero grados centígrados (0 °C), en base seca y corregidos al 18% de oxígeno (O2).					

Nombre de la Empresa:		GAD CUENCA			
Fuente	Horno de ladrillo				
Nombre del Laboratorio	AFH SERVICES CIA. LTDA.				
Parámetro	Fecha	MP	SO2	NOx	CO
Unidad de medida		(mg/m3)	(mg/m3)	(mg/m3)	(mg/m3)
Valor	12-mar-19	-	7	20	1008
Norma		100	1650	650	N/A
Cumplimiento		-	si cumple	si cumple	-
Tabla 1- Acuerdo Ministerial 097-A- Límites máximos permisibles de Emisiones al Aire para Fuentes fijas de combustión abierta, expresados en mg/Nm3: miligramos por metro cúbico de gas de combustión en condiciones normales, 760 mmHg. de presión y temperatura de cero grados centígrados (0 °C), en base seca y corregidos al 18% de oxígeno (O2).					

Nombre de la Empresa:		GAD CUENCA			
Fuente	Horno de ladrillo				
Nombre del Laboratorio	AFH SERVICES CIA. LTDA.				
Parámetro	Fecha	MP	SO2	NOx	CO
Unidad de medida		(mg/m3)	(mg/m3)	(mg/m3)	(mg/m3)
Valor	12-mar-19	49	7	24	1450
Norma		100	1650	650	N/A
Cumplimiento		si cumple	si cumple	si cumple	-
Tabla 1- Acuerdo Ministerial 097-A- Límites máximos permisibles de Emisiones al Aire para Fuentes fijas de combustión abierta, expresados en mg/Nm3: miligramos por metro cúbico de gas de combustión en condiciones normales, 760 mmHg. de presión y temperatura de cero grados centígrados (0 °C), en base seca y corregidos al 18% de oxígeno (O2).					

Nombre de la Empresa:		GAD CUENCA			
Fuente	Horno de ladrillo				
Nombre del Laboratorio	AFH SERVICES CIA. LTDA.				
Parámetro	Fecha	MP	SO2	NOx	CO
Unidad de medida		(mg/m3)	(mg/m3)	(mg/m3)	(mg/m3)
Valor	5-abr-49	-	8	28	2343
Norma		100	1650	650	N/A
Cumplimiento		-	si cumple	si cumple	-
Tabla 1- Acuerdo Ministerial 097-A- Límites máximos permisibles de Emisiones al Aire para Fuentes fijas de combustión abierta, expresados en mg/Nm3: miligramos por metro cúbico de gas de combustión en condiciones normales, 760 mmHg. de presión y temperatura de cero grados centígrados (0 °C), en base seca y corregidos al 18% de oxígeno (O2).					

Anexo 3. Equipos utilizados para la toma de imágenes termográficas.



*Toma de imágenes termográficas.*



*Toma de imágenes termográficas.*



Anexo 4 Porcentaje de humedad de la madera.

Muestra	Peso del recipiente	Peso de la muestra húmeda	Peso de la muestra seca	Porcentaje de humedad	Unidad
1	9.5	24.8	16.55	33.26	%
2	9.2	39.7	35.8	9.82	%
3	9.2	29.9	20.57	31.20	%
4	9.4	12.6	9.54	24.28	%
5	9.4	16.6	11.90	28.31	%
6	22.6	6.0	5.21	13.16	%
7	22.6	14.0	12.18	13	%
8	22.6	38.2	32.58	14.71	%

Este porcentaje se obtuvo mediante los siguientes equipos.



*Estufa usada para secar muestras.*



*Balanza analítica usada para pesar muestras.*

Anexo 5. Equipos usados para el cálculo de la cantidad de ceniza.



*Incinerador usado para volver ceniza las muestras.*



*Balanza analítica usado para pesar muestras.*