



Universidad Nacional  
**Federico Villarreal**

**VRIN** | VICERRECTORADO  
DE INVESTIGACIÓN

ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO

DETERMINACIÓN DE GASES CONTAMINANTES Y DE  
EFECTO INVERNADERO DEL SECTOR LADRILLERO  
ARTESANAL DE PIÑIPAMPA – CUSCO – AÑO 2020

Línea de Investigación:

Tecnologías para residuos y pasivos ambientales. Biorremediación

Tesis para optar el Grado Académico de Maestro en Gestión Ambiental

Autor

Lechuga Canal, Washington Julio

Asesor

Sánchez Camargo, Mario Rodolfo

(ORCID: 0000-0002-3368-9102)

Jurado

Alva Velásquez, Miguel

Mendoza García, José Tomás

Guillén León, Rogelia

Lima – Perú

2022

### **Dedicatoria**

El presente trabajo queda dedicado al creador, a mis padres que ya partieron a la eternidad a mi esposa Dinora y mis hijos Valeria y Gerardo, ellos son los propulsores de todos mis logros.

**Agradecimientos.**

A la UNFV por ser el medio para cristalizar este anhelo, a mi asesor quien ha tenido paciencia para este paso, a la familia Quispe y los productores de Piñipampa quienes han permitido ingresar a su mundo productivo para develar muchos mitos en torno a este sector productivo.

## Índice de contenido

RESUMEN .....	6
ABSTRACT.....	7
I. INTRODUCCIÓN.....	8
1.1. Planteamiento del problema .....	10
1.2. Descripción del problema.....	10
1.3. Formulación del problema .....	13
1.3.1. <i>Problema general</i> .....	13
1.3.2. <i>Problemas específicos</i> .....	13
1.4. Antecedentes .....	13
1.5. Justificación de la investigación.....	18
1.6. Limitaciones de la investigación.....	19
1.7. Objetivos .....	20
1.7.1. <i>Objetivo General</i> .....	20
1.7.2. <i>Objetivos Específicos</i> .....	20
1.8. Hipótesis.....	21
II. MARCO TEÓRICO.....	22
2.1. Marco conceptual .....	22
2.1.1. <i>Contaminación del aire por emisiones gaseosas</i> .....	22
2.1.2. <i>Contaminantes atmosféricos</i> .....	31
2.1.3. <i>Gases de efecto invernadero</i> .....	34
2.1.4. <i>Fuentes de emisión de gases</i> .....	37
2.1.5. <i>Contaminación industrial</i> .....	41
2.1.6. <i>Contaminación por hornos ladrilleros</i> .....	41
2.1.7. <i>Combustión</i> .....	45
2.1.8. <i>Ladrillos</i> .....	50
2.1.9. <i>Sector ladrillero Perú</i> .....	54
III. MÉTODO .....	59
3.1. Tipo de investigación .....	59
3.2. Población y muestra .....	59
3.3. Operacionalización de variables.....	60
3.4. Instrumentos .....	61
3.5. Procedimiento.....	62

3.6.	Análisis de datos.....	67
IV.	RESULTADOS.....	68
4.1.	Resultados de las variables.....	68
4.1.1.	<i>Nivel de emisiones del sector ladrillero.....</i>	68
4.1.2.	<i>Proceso de quema en horno tradicional.....</i>	96
4.1.3.	<i>Medición de consumo de combustible.....</i>	96
4.1.4.	<i>Medición de las emisiones gaseosas en una quema típica.....</i>	99
4.1.5.	<i>Eficiencia Energética de una quema en horno tradicional.....</i>	110
4.1.6.	<i>Eficiencia energética horno artesanal de Piñipampa.....</i>	112
4.2.	Contrastación de las hipótesis.....	112
4.2.1.	<i>Hipótesis general.....</i>	112
4.2.2.	<i>Hipótesis específica 1.....</i>	113
4.2.3.	<i>Hipótesis específica 2.....</i>	114
4.2.4.	<i>Hipótesis específica 3.....</i>	115
V.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	116
VI.	CONCLUSIONES.....	118
VII.	RECOMENDACIONES.....	119
VIII.	REFERENCIAS.....	120
IX.	ANEXOS.....	127
	ANEXO A: Encuesta al sector ladrillero.....	128
	ANEXO B: Matriz de consistencia.....	136
	ANEXO C: Validación de instrumentos.....	137
	ANEXO D: Consumo de combustible en quema de tejas.....	139
	ANEXO E: Resumen de datos monitoreo quema tejas.....	140

## RESUMEN

La presente investigación, tuvo por objetivo cuantificar el consumo de combustible, la concentración de gases contaminantes, la eficiencia energética y diseñar estrategias que permitan reducir las emisiones gaseosas de un horno ladrillero artesanal ubicado en el sector Piñipampa, del distrito Andahuaylillas, Provincia de Quispicanchis, Región Cusco. El tipo de investigación corresponde a correlacional, con enfoque mixto (cualitativo y cuantitativo). Para determinar la magnitud de las emisiones de gases, se realizó mediciones del consumo de combustible, eficiencia energética, del mismo modo se midió la velocidad y flujo volumétrico a través del método 2 de la EPA; en cuanto a la valoración del efecto invernadero se midió las emisiones de  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ , y temperaturas del horno, del mismo modo se aplicó una encuesta a 80 pobladores de la zona de estudio, con el fin de recoger apreciaciones acerca de las actividades de la producción de teja. Se observó que los hornos de quema, presentan un arreglo errático del flujo lo largo de la sección del horno, y que para su funcionamiento se usa en promedio 0.26 kg de combustible/kg de cerámico, generando en promedio 1.77 TM  $\text{CO}$ /año-horno, 75.24 kg  $\text{NO}_x$ /año-horno, y 39.69 kg  $\text{SO}_2$ /año-horno, reportando eficiencia energética de 10.8%; asimismo se apreció que los hornos operan en promedio 9 meses al año, produciendo 141.7 TM de  $\text{CO}$ /año, 6.020 TM de  $\text{NO}_x$ /año, y 3.17 TM de  $\text{SO}_2$ /año, en el sector ladrillero de Piñipampa, Andahuaylillas, Cusco.

**Palabras clave:** horno ladrillero, eficiencia energética, emisiones horno ladrillero

## ABSTRACT

The objective of this research was to quantify fuel consumption, the concentration of polluting gases, energy efficiency and to design strategies that allow reducing gaseous emissions from an artisanal brick kiln located in the Piñipampa sector, of the Andahuaylillas district, Quispicanchis Province, Cusco region. The type of research corresponds to correlational, with a mixed approach (qualitative and quantitative). To determine the magnitude of gas emissions, measurements of fuel consumption, energy efficiency were carried out, in the same way the speed and volumetric flow were measured through method 2 of the EPA; Regarding the valuation of the greenhouse effect, the emissions of SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, and oven temperatures were measured, in the same way a survey was applied to 80 inhabitants of the study area, in order to collect appreciations about tile production activities. It was observed that the burning furnaces present an erratic flow arrangement throughout the furnace section, and that for their operation an average of 0.26 kg of fuel/kg of ceramic is used, generating an average of 1.77 MT CO/year-furnace, 75.24 kg NO<sub>x</sub>/year-oven, and 39.69 kg SO<sub>2</sub>/year-oven, reporting energy efficiency of 10.8%; Likewise, it was observed that the kilns operate an average of 9 months a year, producing 141.7 MT of CO/year, 6,020 MT of NO<sub>x</sub>/year, and 3.17 MT of SO<sub>2</sub>/year, in the brick sector of Piñipampa, Andahuaylillas, Cusco.

**Keywords:** brick kiln, energy efficiency, brick kiln emissions

## I. INTRODUCCIÓN

En el año 2016 el Consejo Nacional del Ambiente CONAM y la Dirección General de Salud Ambiental DIGESA identifican como segundo mayor emisor de contaminantes atmosféricos de la cuenca atmosférica donde está ubicada la ciudad del Cusco a los productores de materiales cerámicos que están ubicados en las afueras de la ciudad, luego generan documentos de gestión que involucran a los actores sociales y el Estado como parte del mecanismo de vigilancia para los diversos planes de acción generados con tal finalidad.

La Municipalidad Provincial del Cusco a través de la Sub Gerencia de Desarrollo Urbano en su Plan de Desarrollo Urbano del Cusco 2013 – 2023 reconoce la informalidad del sector ladrillero del Cusco e indica que son 194 unidades productivas que poseen un nivel de formalización incipiente del sector ladrillero ante las diferentes instancias del Estado que poseen competencias en este sector productivo. En el sub componente de residuos y energía, reconoce al sector ladrillero como ciudadanos poco responsables en el tema de desechos sólidos domiciliarios y al sector ladrillero en residuos sólidos industriales por los desmontes de su actividad son dispuestos en las vías de acceso al citado sector. En el sub componente aire, ruido, impacto visual y radiaciones no ionizantes, hace conocer los niveles de emisiones gaseosas del sector ladrillero, reportan emisiones de material particulado PM10 en la cual rebasan los promedios anuales de este parámetro en el ECA anual, mientras que para una medición y comparación con ECA 24 h para PM10, sobrepasa esta norma ambiental; para el de dióxido de nitrógeno no sobrepasan el ECA. A manera de conclusión reconocen como problemática de la calidad del aire y su influencia en la salud pública, uno de los sectores que aportan emisiones de material particulado y gases de combustión es el sector ladrillero de San Jerónimo.

Finalmente, en el plano de “Diagnostico - puntos críticos de calidad del aire, ruido, Impactos visuales y radiaciones no ionizantes” reconoce al sector ladrillero como un punto

crítico donde por la concentración de componentes medidos, los “Valores mayores al ECA, perjudiciales para la salud”.

En la “Elaboración Plan de Manejo Ambiental en la Ladrillera Bautista Cáceres Ltda” desarrollado en Bucaramanga – Colombia desarrollan una identificación de los impactos ambientales que considera los más significativos generados por la actividad extractiva desde el punto de vista ambiental y social en el área de su zona de influencia de la actividad minera no ferrosa, desarrolla una metodológica de jerarquización de los impactos en cada uno de los componentes, finalmente propone un “plan de manejo ambiental” donde plantea acciones, obras y programas para reducir estos impactos.

Se han realizado investigaciones que orientan y describen en relación a la identificación de los impactos social y ambiental originados por procesos de fabricación de ladrillos en la Región Huancayo, en la cual utilizan encuestas a los ladrilleros de éstos sectores; señalan que el 94% de trabajadores reconocen perjuicios en su salud, 88% señalan que obtuvieron trabajo gracias a esta actividad; 81% de trabajadores reconoce que antes de esta actividad productiva se respiraba aire menos contaminado, la investigación concluye que en la zona de estudio se generaron impactos sociales, con énfasis en la actividad económica e impactos ambientales que afectaron a diversos ecosistemas de su entorno.

En muchas de las investigaciones y publicaciones referidas al sector ladrillero no se realizan mediciones de los gases de combustión, no se conocen los flujos ni temperaturas de cocción y el consumo de combustible que permitan medir la magnitud de las emisiones de gases contaminantes ni sus inter relaciones entre estas variables; además no hay mucha información de la forma de trabajo, organización, frecuencia de quema, volúmenes de quema, entre otras formas de trabajo de los ladrilleros, lo que permite a esta investigación responder

algunas de las muchas interrogantes que se establecen alrededor de esta actividad económica de impacto en el crecimiento de las ciudades modernas de nuestro país.

Por estas motivaciones se plantea como objetivos la determinación del consumo de combustible, determinar la concentración de los gases contaminantes que emiten en una quema típica de un horno ladrillero artesanal del sector de Piñipampa, la determinación de la eficiencia energética de un proceso de quema tradicional y una propuesta básica de estrategias que permitan reducir las emisiones gaseosas en el sector de Piñipampa porque es un horno representativo de la forma de trabajo de los hornos de muchas zonas ladrilleras del país.

### **1.1. Planteamiento del problema**

El sector ladrillero de la ciudad del Cusco es una actividad de necesidad para el crecimiento y desarrollo de la ciudad, a lo largo de la existencia de esta actividad se han ido desvirtuando la naturaleza de esta actividad por diferentes razones enfocadas desde aspectos socio económicos del sector ladrillero, problemas de salud ocupacional y epidemiológicos, los problemas tecnológicos y problemas ambientales generados por el sector ladrillero.

### **1.2. Descripción del problema**

La actividad productiva de ladrillos ubicados en el Distrito de San Jerónimo y Andahuaylillas son una preocupación para muchas autoridades y población en general por diferentes aspectos, así el sector ladrillero es actualmente una de las mayores fuentes de trabajo con mano de obra no calificada que da ocupación a la población del distrito de San Jerónimo y también a migrantes de la misma Región Cusco, Apurímac, Puno y Madre de Dios. Genera trabajo para más de 2000 personas en forma directa en más de 194 unidades productivas, pero que por ser una actividad eminentemente informal frente a las diferentes instancias del Estado que otorgan licencias tributarias, de funcionamiento, de extracción de materia prima, de

proceso productivo y ambientales. Están registrados en organizaciones sociales, existiendo aproximadamente un 20% de productores que no pertenecen a ninguna organización social, económica, productiva o colectiva, buena parte de este segmento son los que tienen prácticas socioeconómicas y/o ambientales cuestionables. El vertiginoso crecimiento de la actividad ha demandado servicios colaterales que también han crecido en forma desordenada, a semejanza del propio sector al que atienden.

Respecto a los problemas de salud ocupacional del sector, por parte del Estado no existen estudios realizados directamente sobre el sector ladrillero que pueda generar una vinculación directa de las enfermedades atribuibles al problema de la calidad ambiental u ocupacional en el sector ladrillero, pero por extensión se pueden apreciar las estadísticas de la DIRESA generadas para el Distrito de San Jerónimo. Es evidente que al ser una actividad económica que explota recursos y produce bienes, tiene riesgos asociados con la salud por causa del trabajo que desarrollan, dentro de aspectos de salud ocupacional, están sometidos a trabajos de alto nivel de esfuerzo físico, además de exponerse a las condiciones climáticas para ejercer su oficio, tienen exposición a material particulado, gases del proceso de combustión, residuos sólidos y aguas estancadas los que tienen influencia sobre su salud.

Asimismo se observan problemas tecnológicos en la producción de tejas y ladrillos, puesto que la tecnología utilizada para la producción de ladrillos tiene como base la producción manual de ladrillos y tejas con un número mayoritario de unidades productivas que cuentan con algún grado de mecanización que solo involucra en su mayor parte al proceso de moldeo de los ladrillos y tejas (cerca del 100%), todos los ladrilleros utilizan el mismo tipo de hornos que datan de la época romana con muy pocas variantes y cuyas capacidades oscilan entre 15 a 20 toneladas de ladrillos por quema, utilizando para este efecto aproximadamente 12 m<sup>3</sup> de combustibles por cada quema donde se utilizan ramas de eucalipto, aserrín y muy

subrepticamente llantas y plásticos; en los últimos años se han reducido el uso de estos combustibles vedados gracias a la actuación de las instituciones preocupadas por esta realidad como la Municipalidad Distrital de San Jerónimo – MDSJ y la Dirección Regional de la Producción – DIREPRO, como entidades del Estado peruano y por otro lado organismos no gubernamentales que han tenido diferentes grados de intervención y que intervienen en el sector. Los innumerables mitos y creencias que mantienen los productores de ladrillos y tejas sobre sus productos hacen que estos tengan una baja calidad, esto generado por el desconocimiento de tecnologías, procesos y metodologías de trabajo apropiados para este sector, durante muchas décadas han trabajado a libre albedrío, generándose pseudos conocimientos que han mantenido como verdades alentados por programas débiles de aseguramientos de calidad o buenas prácticas manufactureras que puedan resolver los problemas técnicos. Adicionalmente las exigencias de calidad para los procesos de construcción no están fiscalizadas en forma adecuada por que no están siendo aplicados a pesar de existir múltiples pruebas de laboratorio que pueden evidenciar la calidad de los materiales de construcción.

Del mismo modo los problemas ambientales generados en el sector, debido a las características de informalidad descritas, por ser una economía de sobrevivencia para buena parte del sector ladrillero, estos han encontrado una “fórmula mágica” para reducir los costos en combustibles para su actividad, recurriendo al uso de llantas, plásticos y cuanto material de desecho pueda quemar por un “bajo costo”, también alentados por un mercado que no reconoce el valor del trabajo de los productores de ladrillos, estimulando de esta manera estas prácticas reñidas con temas de salud ocupacional para los propios productores, calidad ambiental para ellos mismos y la población cusqueña en general.

### **1.3. Formulación del problema**

#### ***1.3.1. Problema general***

¿Cuál es el grado de relación de la magnitud de emisiones de gases de combustión y la eficiencia del proceso de quema del sector ladrillero artesanal de Piñipampa - Cusco?

#### ***1.3.2. Problemas específicos***

- ¿Cuál es la cantidad de combustible que se relaciona con la cocción de una carga de ladrillos artesanales?
- ¿Cuál es el grado de relación entre la cantidad de gases de combustión que se emiten y el peso de combustible utilizado en una quema típica de un horno ladrillero artesanal?
- ¿Cuál es la semejanza entre el consumo específico de energía promedio de un proceso de quema tradicional del sector ladrillero artesanal de Piñipampa con el promedio de consumo específico internacional?

### **1.4. Antecedentes**

#### **Antecedentes Internacionales**

Guerrero et al., (2017) hace su investigación en una ladrillera del Distrito de Ocaña – Colombia, señala que las propiedades finales de un bloque cerámico usado en mampostería depende de la temperatura de cocción la misma que define la calidad estructural del cerámico, para esto se plantea como objetivo el desarrollo de un análisis que relaciona la calidad de los ladrillos cocidos y la temperatura de cocción en un horno tradicional, para esto implementa un sistema de medición de temperatura en diferentes partes del horno hallando como resultados la relación existente entre la tasa de absorción inicial de agua, la velocidad de incremento de temperatura y el módulo de ruptura del cerámico concluyendo que los cerámicos que tuvieron

temperaturas mayores a 1000°C tuvieron el mayor módulo de ruptura, entre otros. Adicionalmente señala que las propiedades no son las más adecuadas porque en el proceso de cocción de ladrillos no se controla la temperatura ni el tiempo de cocción.

Romo et al., (2004) realiza una investigación de los problemas sociales y ambientales de la Ciudad de Juárez – México, entre otros aspectos señala que la contaminación del aire es uno de sus varios problemas y que se originan por causa de varios agentes contaminantes, entre ellos la actividad ladrillera artesanal de la zona, se plantea como uno de sus objetivos contribuir en el conocimiento de la situación urbana y ambiental de los hornos ladrilleros, para esto elabora un diagnóstico de la presencia de la actividad ladrillera, desarrolla encuestas a los productores, propietarios y/o encargados del horno ladrillero; adicionalmente encuesta a las autoridades locales frente a su posición respecto de la actividad ladrillera. Dentro de los resultados mas destacados tiene que los ladrilleros usan mayoritariamente madera (43%), aserrín (19.4%) y combinación de estos (37.6%) como combustible para la quema de ladrillos. La quema es temporal, en otoño-invierno hay mayor actividad productiva (1.91 quemas/mes) respecto a primavera-verano (0.92 quemas/mes), época en la que disminuye la actividad productiva de los 325 hornos ladrilleros existentes en la zona, la duración promedio de las quemas es de 17.94 h/quema. Finalmente tiene las siguientes consideraciones finales de su investigación, los ladrilleros denominados grandes pueden tener rentas por la producción, los pequeños no obtienen ganancias prefiriendo rentar o vender sus hornos. En relación a temas de contaminación hace un reconocimiento implícito de esta posibilidad y que sería necesario un cambio tecnológico por hornos denominados ecológicos tipo MK2, también hacen referencia al uso de esta tecnología y que no se da abasto para resolver la problemática actual.

García et al., (2013) compara el desempeño energético y ambiental de combustibles peletizados provenientes de la industria maderera que atiende la producción de muebles que

genera aserrín y los residuos de podas de árboles, esto como medida de uso alternativo de este combustible en la producción de ladrillos en el entorno de la ciudad de Bogotá – Colombia; relaciona las emisiones de contaminantes y el tipo de horno ladrillero usado en Colombia, adicionalmente revisa los indicadores de consumo energético según la tecnología del horno ladrillero, proponiéndose estudiar el desempeño energético y emisiones atmosféricas por sustitución del carbón mineral por maderos pelletizados en la cocción de ladrillos, con este fin usa como método de investigación la caracterización de los combustibles, el análisis elemental de los combustibles basado en esto hacen mezclas en diferentes proporciones y ajustados a normas europeas que caractericen a los pellets para luego realizar pruebas de combustión donde evalúan la temperatura de la cámara de combustión masa inicial y final de cada combustible, temperatura y caudal de los gases de combustión. Los resultados de sus pruebas muestran que el carbón mineral tiene mayor temperatura máxima de combustión en referencia a los pellets gracias a su poder calorífico superior del carbón mineral, en el caso de mezclas de carbón mineral y biomasa aumenta el consumo de combustible debido a la disminución de la capacidad calorífica de la mezcla para un mismo requerimiento energético de la combustión; respecto de la combustión las emisiones de gases aumentaron los NOx en los combustibles pelletizados de biomasa (aserrín) gracias al uso de mayor cantidad de aire a temperaturas superiores a 900°C, pero en contraposición con las normas colombianas, estos valores están muy por debajo del nivel máximo permitido por su legislación. Concluye que la sustitución de un 20% del combustible tradicional (carbón mineral) no genera cambios significativos en la operación de los hornos ladrilleros y en algunos casos mejora las condiciones de operación aumentando la eficiencia del proceso de cocción, finalmente especifica que el mejor material de sustitución son los pellets de aserrín.

### **Antecedentes Nacionales**

El Consejo Nacional del Ambiente, Dirección General de Salud Ambiental (2006) publica un documento de gestión donde identifica en primer término los mayores emisores de la cuenca atmosférica del Cusco, estando reconocido como el segundo mayor emisor de dicha cuenca, en este mismo documento planifican metas para reducir los niveles de emisión del sector ladrillero, los costes de una intervención del estado, productores de ladrillos y actores sociales que supervisarían las medidas implementadas.

La Municipalidad Provincial del Cusco - Sub Gerencia de Desarrollo Urbano (2013) hace mención en múltiples puntos a la actividad ladrillera del Distrito de San Jerónimo, desde el punto de vista económico, reconoce la informalidad del sector, indica que son 194 unidades productivas, informa sobre el nivel de formalización incipiente del sector ladrillero ante las diferentes instancias con competencia en este sector productivo, señala que son 03 asociaciones productoras de tejas y ladrillos, indica los mecanismos de extracción y producción de material cerámico. En el sub componente de residuos y energía, reconoce al sector ladrillero como ciudadanos poco responsables en el tema de desechos sólidos domiciliarios y al sector ladrillero en residuos sólidos industriales por los desmontes de su actividad son dispuestos en las vías de acceso al citado sector. En el sub componente aire, ruido, impacto visual y radiaciones no ionizantes, hace conocer los niveles de emisiones gaseosas del sector ladrillero, reportan emisiones de material particulado PM10 en la cual rebasan los promedios anuales de este parámetro en el ECA anual, mientras que para una medición y comparación con ECA 24 h para PM10, sobrepasa esta norma ambiental; para el de dióxido de nitrógeno no sobrepasan el ECA. A manera de conclusión reconocen que, como problemática de la calidad del aire y su

influencia en la salud pública, uno de los sectores que aportan emisiones de material particulado y gases de combustión es el sector ladrillero de San Jerónimo.

Finalmente, en el plano de “Diagnostico - puntos críticos de calidad del aire, ruido, Impactos visuales y radiaciones no ionizantes” reconoce al sector ladrillero como un punto crítico donde por la concentración de componentes medidos, los “Valores mayores al ECA, perjudiciales para la salud”.

En la tesis de Rojas y Villabona (2007) se propone realizar una identificación de impactos ambientales que considera los más significativos generados por la actividad extractiva desde el punto de vista biótico, abiótico y social en el área del proyecto minero, usa como herramienta metodológica una jerarquización de los impactos en cada uno de los componentes, finalmente propone un “plan de manejo ambiental” donde plantea acciones, obras y programas para reducir estos impactos.

Condori (2016) plantea identificar los impactos social y ambiental originados por procesos de fabricación de ladrillos en la Región Huancayo – Perú, esta es una investigación descriptiva, no experimental transversal cualitativa, en la que aplica encuestas a 80 ladrilleros; señala que el 94% de trabajadores reconocen perjuicios en su salud, 88% señalan que obtuvieron trabajo gracias a esta actividad; 81% de trabajadores reconoce que antes de esta actividad productiva se respiraba aire menos contaminado, 68% reconoce que anteriormente consumía agua menos contaminada y concluye que en la zona de estudio se generaron impactos sociales, con énfasis en la actividad económica e impactos ambientales que afectaron a diversos ecosistemas de su entorno.

Valverde et al., (2004), realizaron una investigación en el sector ladrillero de la Región San Martín, provincias de Moyobamba y Rioja, entre muchos aspectos, se proponen investigar los gases de emisión del proceso de combustión para la quema de ladrillos, evaluar el impacto

ambiental originado por la actividad productiva y proponer medidas de manejo ambiental, con esta finalidad realizan monitoreo de gases y material particulado, medición del poder calorífico de los combustibles usados, todos estos datos los evalúan en una matriz de impactos al ambiente, concluyendo fundamentalmente que esta actividad genera impactos ambientales desde severos hasta moderados, dentro de los severos reconoce que el proceso de combustión y emisiones de material particulado afectan al aire, flora y fauna de la zona de influencia.

### **1.5. Justificación de la investigación**

La medición de la cantidad de emisiones permite conocer el nivel de emisión de gases contaminantes a la atmósfera, permite planificar mecanismos de reducción de emisiones y conocer el nivel energético con el que producen los ladrilleros.

#### **Justificación teórica**

El sector ladrillero genera emisiones de gases contaminantes y gases de efecto invernadero, los mismos que son producidos en el proceso de quema de ladrillos, hasta la fecha, no se conoce el volumen de gases contaminantes ni de gases de efecto invernadero que se emiten a la atmósfera, siendo esto necesario para conocer la magnitud del aporte de este sector productivo.

El conocimiento del nivel de emisiones y eficiencia energética, permitirá conocer a ciencia cierta la magnitud de las emisiones e impactos al medio ambiente, siendo una oportunidad para desarrollar cambios de mentalidad en la sociedad civil.

#### **Justificación práctica**

Los ladrilleros artesanales realizan quemas con diversos tipos de combustibles, los que no se conocen en cuanto a la cantidad de los mismos a ciencia cierta, conocer la dinámica del uso del combustible y el efecto logrado en el horno ladrillero.

El conocimiento del nivel de emisiones, permitirá hacer conocer el potencial de reducción de emisiones al productor ladrillero y el ahorro económico del proceso productivo por implementación de medidas de reducción de emisiones.

A partir de la cuantificación de las emisiones gaseosas, se realizará una estimación de emisiones de todo el sector ladrillero de la zona de estudio, de esta manera se conocerá el nivel de exposición real ante los gases de combustión por parte de los trabajadores del ramo y la población del entorno.

En ese sentido el estudio permitirá que la sociedad civil conozca la magnitud de emisiones y serán actores principales que coadyuven las políticas públicas tendientes a la reducción de emisiones.

### **Justificación metodológica**

El conocimiento del nivel de emisiones y el formato de la quema, permitirá desarrollar nuevas formas de intervención al sector ladrillero.

Las autoridades competentes podrán evaluar la magnitud de las emisiones, implementar políticas públicas orientadas a la reducción de emisiones y sobre todo, podrán medir el impacto de las medidas, comparando con los resultados del presente estudio como punto de partida, para medir la efectividad de las medidas implementadas.

### **1.6. Limitaciones de la investigación**

Las limitaciones de la presente investigación están relacionadas a:

- No existen fuentes bibliográficas que hayan estudiado esta actividad en los temas técnicos, ambientales, entre otros, puesto que la misma es una actividad artesanal e informal, no se han realizado mediciones de emisiones de gases de combustión, porque la legislación no contempla ninguna metodología para este tipo de hornos artesanales.
- El sector ladrillero en general es bastante reacio a brindar información o permitir ingresar en su actividad, porque la sociedad en su conjunto los reconoce como una actividad contaminante que debe eliminarse, generando mecanismos de rechazo, entre otros, a brindar información, permitir acceso a su actividad.
- No hay metodología aprobada para los estudios de emisiones en el sector ladrillero con hornos abiertos.
- Los instrumentos de medición con frecuencia colapsan porque las emisiones a momentos están fuera del rango de medición. Por esta causa se utilizan instrumentos especializados para emisiones con altas cargas de compuestos propios de la combustión.

## **1.7. Objetivos**

### ***1.7.1. Objetivo General***

Determinar el grado de relación de la magnitud de emisiones de gases de combustión y la eficiencia del proceso de quema del sector ladrillero artesanal de Piñipampa – Cusco

### ***1.7.2. Objetivos Específicos***

- Determinar la cantidad de combustible que se relaciona con la cocción de una carga de ladrillos artesanales
- Determinar el grado de relación entre la cantidad de gases de combustión que se emite y peso de combustible utilizado en una quema típica de un horno ladrillero artesanal

- Determinar la semejanza entre el consumo específico de energía promedio de un proceso de quema tradicional del sector ladrillero artesanal de Piñipampa con el promedio de consumo específico internacional

## **1.8. Hipótesis**

### **Hipótesis General**

La magnitud de emisiones de gases de combustión se relacionan significativamente con la eficiencia del proceso de quema del sector ladrillero artesanal de Piñipampa – Cusco

### **Hipótesis Específicas**

- La cantidad de combustible se relacionan significativamente con la cocción de una carga de ladrillos artesanales
- La cantidad de gases de combustión que se emiten se relaciona significativamente con el peso de combustible utilizado en una quema típica de un horno ladrillero artesanal
- El consumo específico de energía promedio de un proceso de quema tradicional del sector ladrillero artesanal de Piñipampa es semejante al promedio de consumo específico internacional.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Marco conceptual

#### 2.1.1. Contaminación del aire por emisiones gaseosas

Las definiciones que existen para señalar como contaminantes son múltiples, por ejemplo, según el Decreto Supremo 074-2001-PCM (2001) en el Artículo 3ro, numeral “b” define como contaminante del aire:

A la sustancia o elemento que en determinados niveles de concentración en el aire genera riesgos a la salud y al bienestar humanos, mientras que en el numeral “c” define los Estándares de Calidad del Aire como aquellos que consideran los niveles de concentración máxima de contaminantes del aire que en su condición de cuerpo receptor es recomendable no exceder para evitar riesgo a la salud humana, los que deberán alcanzarse a través de mecanismos y plazos detallados en la presente norma. Como estos Estándares protegen la salud, son considerados estándares primarios. (p.3)

Jiménez (2005) comenta las definiciones más destacadas sobre este tópico, la más resaltante indica que viene a ser “la presencia de sustancias no deseables que en concentraciones, tiempo y circunstancias específicas pueden afectar significativamente al confort, salud y/o bienestar de las personas.” (p.319)

Una definición de contaminación ambiental que da Solís y López (2003) considera a la contaminación como:

Un deterioro ambiental como una modificación indeseable en sus componentes físico, químico o biológico que se da en el aire, suelo y/o agua, que es susceptible de ser evitada por diversos mecanismos que se listan a continuación:

- Evaluación del daño que las sustancias químicas producirían al ambiente,
- Implementación de tecnologías industriales probadas, seguras e inocuas.
- Reciclado y reuso de sustancias químicas peligrosas dentro de los procesos industriales, para evitar su entrada al ambiente.
- Rediseño de tecnologías para que los contaminantes no sean emitidos o descargados al ambiente.
- Reducción del uso innecesario y del volumen de desperdicios a partir de los recursos naturales y energéticos.
- Cambio en la dependencia de energéticos fósiles, que son recursos agotables “no renovables” y potencialmente contaminantes, a las fuentes de energía renovables y perennes: sol viento, agua corriente y calor interno de la tierra.
- Elaboración de productos a partir de materia reciclada. (p.63)

Estas concepciones rigen la transformación de la materia en entornos controlados, así como la dispersión de estos contaminantes en la naturaleza se propagan y distribuyen en la naturaleza gracias a sus propiedades fisicoquímicas como la termodinámica y cinética de estas sustancias. La misma naturaleza facilita la dispersión de estos contaminantes a través de las condiciones meteorológicas y/o ambientales aprovechando las propiedades de la materia como la solubilidad, potencial de hidrogeniones, presión parcial, densidad, puntos de fusión / ebullición, energía interna y coeficientes de difusión; estos mecanismos, entre otros, hacen que la contaminación de un ambiente sea de complejo entendimiento y solución.

Para Cheremisinoff (2002) las influencias que ejerce la química de la atmósfera, afectan la salud humana, clima, producción de alimentos y también genera impactos sobre la visibilidad. Los compuestos químicos en el aire afectan los alimentos que se consumen. Las

reacciones en fase gaseosa que ocurren en el aire por efectos de la radiación solar, mecanismos termodinámicos y la química del aire, además del material particulado que se encuentra en suspensión, en alguna medida afectan la cantidad de energía que proviene del sol a la tierra y es absorbida por estos fenómenos.

De acuerdo a Gallego et al. (2012) los procesos de contaminación del aire se da lugar gracias a la emisión de estos gases a la atmósfera, pudiendo ser clasificados como fuentes móviles las que son emitidas por sistemas que se encuentran en movimiento como los automóviles, aviones, barcos, etc y las fuentes fijas, que son emisores que están ubicados en un lugar como las fábricas, hogares y muchos otros

**2.1.1.1. Efectos de la contaminación del aire.** Como efectos de la contaminación se considera:

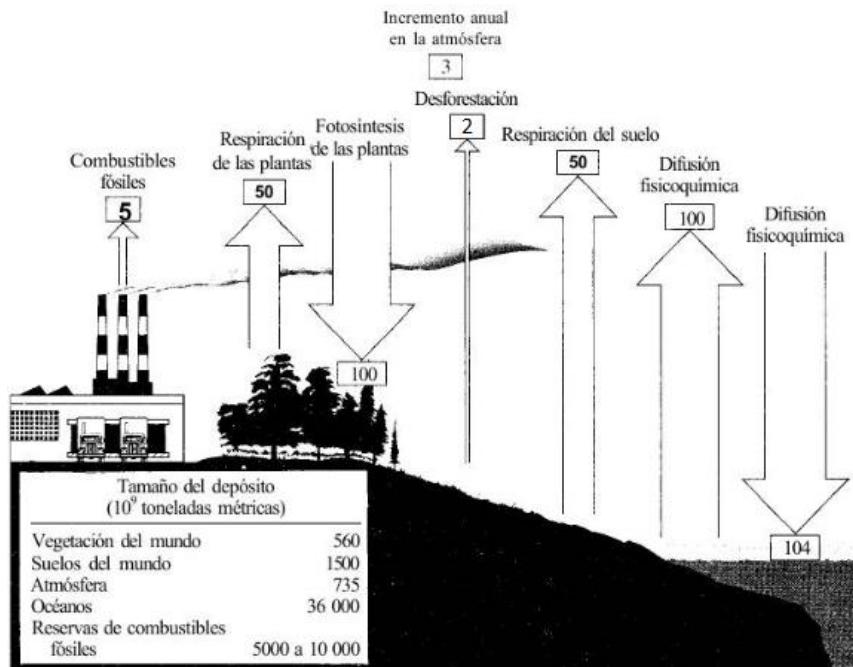
Nevers (1998) clasifica los efectos de la contaminación del aire en dos frentes, uno relacionado a temas globales y a temas puntuales como son el entorno inmediato o local de afectación de la calidad del aire.

Referente a temas globales, que no tienen que ver con una decisión política de una región o zona, sino que dependen de políticas internacionales y que son de largo plazo, de difícil manejo puesto que entran en detalles de la situación actual ni pueden tratar las desviaciones de los diferentes parámetros en el tiempo porque corresponden a emisiones de muchas fuentes, hace mención:

**A. Calentamiento global:** Que son originados por que se emiten materiales gaseosos hacia la atmósfera que puede modificar la temperatura promedio de la tierra.

**Figura 1**

Flujos globales estimados de carbono (como CO<sub>2</sub>) desde y hacia la atmósfera. Unidades en 10<sup>9</sup> TM/año



*Nota:* Nevers (1998).

La Figura 1, muestra el tamaño de los depósitos o contenedores de cada uno de los sistemas receptores, donde uno de los mayores receptores son los cuerpos de agua, como los océanos que por fenómenos de difusión fisicoquímica pueden absorben  $104 \times 10^9$  TM/año de CO<sub>2</sub> y como mayor emisor hacia la atmósfera se tienen a los procesos de respiración de las plantas y el suelo, cada cual con  $50 \times 10^9$  TM/año de CO<sub>2</sub>, de estas actividades, por consumo humano de combustibles fósiles la atmósfera recibe  $5 \times 10^9$  TM/año de CO<sub>2</sub>, valor que no necesariamente es alto, pero que es suficiente para desbalancear la temperatura promedio de la tierra con estos vertimientos.

Nevers (1998) y Cambio Climático Global (2016) también hacen mención a otros contaminantes como los aerosoles (CFCs), CH<sub>4</sub> que son también gases que generan efecto invernadero y en los últimos años han venido haciendo sus aportes al cambio climático, el CH<sub>4</sub>

es generado por procesos de descomposición anaerobia de desechos generados por la propia naturaleza y el hombre. La Tabla 1, muestra los potenciales de retención de calor comparados a través de una medición de la eficacia como agente de GEI por cada molécula, comparada con el CO<sub>2</sub>.

**Tabla 1**

*Gases de efecto invernadero*

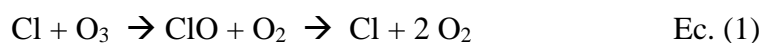
Nombre	Formula	Concentración en la atmósfera mundial (1990). En ppm	Índice anual de crecimiento de la concentración. En %	Eficacia como GEI, por molécula con relación al CO <sub>2</sub>
Dióxido de carbono	CO <sub>2</sub>	350	0.5	1
Metano	CH <sub>4</sub>	1.7	0.9	20
CFC-11	CCl <sub>3</sub> F	0.28	4	12000
CFC-12	CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	0.48	4	16000
Óxido nitroso	N <sub>2</sub> O	0.31	0.25	200

*Nota:* Nevers (1998)

**B. Agotamiento de ozono (O<sub>3</sub>) estratosférico y los clorofluorocarbonos (CFC):** se indica que este es el segundo mayor problema, la destrucción de la capa de ozono que es necesaria como una barrera para los rayos ionizantes (longitudes de onda ≤ 0.28 nm, ultravioleta lejano) que provienen del sol y llegan hasta la tierra y este O<sub>3</sub>, forma una barrera para que regule esta radiación.

Se conoce que el O<sub>3</sub> está en la estratosfera, entre 20 – 30 km de la superficie terrestre y tiene una concentración entre 300 a 500 ppm.

Los CFCs son compuestos que destruyen esta capa beneficiosa de O<sub>3</sub>, de esto se asume que la reacción química que genera esta destrucción del O<sub>3</sub> son:



**El cloro** atómico reacciona con el ozono convirtiéndolo en una molécula de oxígeno (diatómico) para que en una segunda reacción en serie el cloro se regenere y ocasione la destrucción de más moléculas de ozono, generándose un círculo vicioso que afecta a la capa de O<sub>3</sub>. Otros compuestos químicos también reaccionan con el O<sub>3</sub> y son parte de esta problemática, así por ejemplo el monóxido de nitrógeno (NO).

**Lluvia ácida:** señala que la acidez promedio del agua de lluvia ha ido creciendo en varios puntos del planeta en estos últimos 40 años, este incremento de la acidez se le imputa a la mayor cantidad de emisiones de óxidos de azufre y nitrógeno; estos a su vez por un proceso de oxidación lenta que se da lugar en la atmósfera, llegan a convertirse en ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) y nítrico (HNO<sub>3</sub>), los que son capturados por el agua de lluvia y retornan a la superficie terrestre en forma de lluvia, granizo, nieve acidogénicos e incluso estos mismos ácidos son adsorbidos en las partículas de polvo que retornan a la tierra.

**Dentro** de los temas puntuales, que son de manejo local, Nevers (1998) divide en 03 efectos la contaminación del aire sobre:

**La salud humana:** Existen muchos componentes que se encuentran en la atmósfera que son considerados como peligrosos para la salud humana que están regulados por la National Ambient Air Quality Standards (NAAQS), denominados “contaminantes criterio” como son:

- Óxidos de azufre
- Material particulado fino
- Monóxido de carbono
- Ozono
- Bióxido de carbono
- Plomo

Además, se tienen los contaminantes regulados por la National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants (NESHAP) considerados por esta institución como “contaminantes peligrosos del aire o tóxicos del aire”.

- Asbesto
- Benceno
- Berilio
- Inmisiones de hornos de producción de coque
- Arsénico inorgánico
- Mercurio
- Radionúclidos
- Cloruro de vinilo

Posterior a la fecha de dadas estas dos listas, se crea una lista dada por el Clean Air Amendments (enmiendas sobre aire limpio) de 1990, en la cual amplía a 189 compuestos químicos.

Destaca que los componentes químicos se comportan en la salud humana de diversas maneras.

**Exposiciones a concentraciones bajas por largos periodos de tiempo**, este tipo de exposiciones producen efectos crónicos. Se generan por causa de emisiones regulares de los procesos industriales y prevalencia de contaminantes emitidos en forma continua por los focos emisores.

**Exposiciones a concentraciones altas por cortos periodos de tiempo**, estas generan afecciones agudas, que solo ocurren por causa de accidentes industriales o episodios de emergencias de contaminación del aire, tal como se evidencia en la Tabla 2.

**Tabla 2***Comparación de normas de calidad de aire y normas de exposición industrial*

Sustancia	Concentraciones permitidas en el ambiente (NAAQS)	Concentraciones industriales permitidas (TWA* y STEL**)
Dióxido de azufre	80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.03 ppm) promedio anual. 365 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.14 ppm) promedio 24 h.	2 ppm promedio en 8 h. 5 ppm, pico en 15 en min.
Ozono	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.12 ppm) promedio 1 h.	1 ppm, promedio en 8 h. 0.3 ppm, pico en 15 min
Dióxido de nitrógeno	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.053 ppm) promedio anual.	3 ppm promedio en 8 h. 5 ppm, pico en 15 en min.
Monóxido de carbono	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (9 ppm) promedio en 8h. 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (35 ppm) promedio en 1 h.	50 ppm promedio en 8 h. 400 ppm, pico en 15 en min.
Partículas totales suspendidas (TSP)	75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ promedio anual. 260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ promedio en 24 h.	Existen normas específicas por partícula, pero no para TSP
Partículas finas (PM10)	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ promedio anual. 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ promedio en 24 h.	Existen normas específicas por partícula, pero no para PM10
Plomo	1.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ promedio trimestral.	150 ppm promedio en 8 h. 450 ppm, pico en 15 en min.
Asbesto	No existe NAAQS.	Existe norma especial definiendo el número de fibras/cc.
Benceno	No existe NAAQS.	10 ppm, promedio en 8 h.
Berilio	No existe NAAQS.	2 $\text{pg}/\text{m}^3$ , promedio en 8 h.

\*TWA: Time weighted average – promedio ponderado en el tiempo.

\*\*STEL: Short term exposure limit – límite de exposición de corta duración

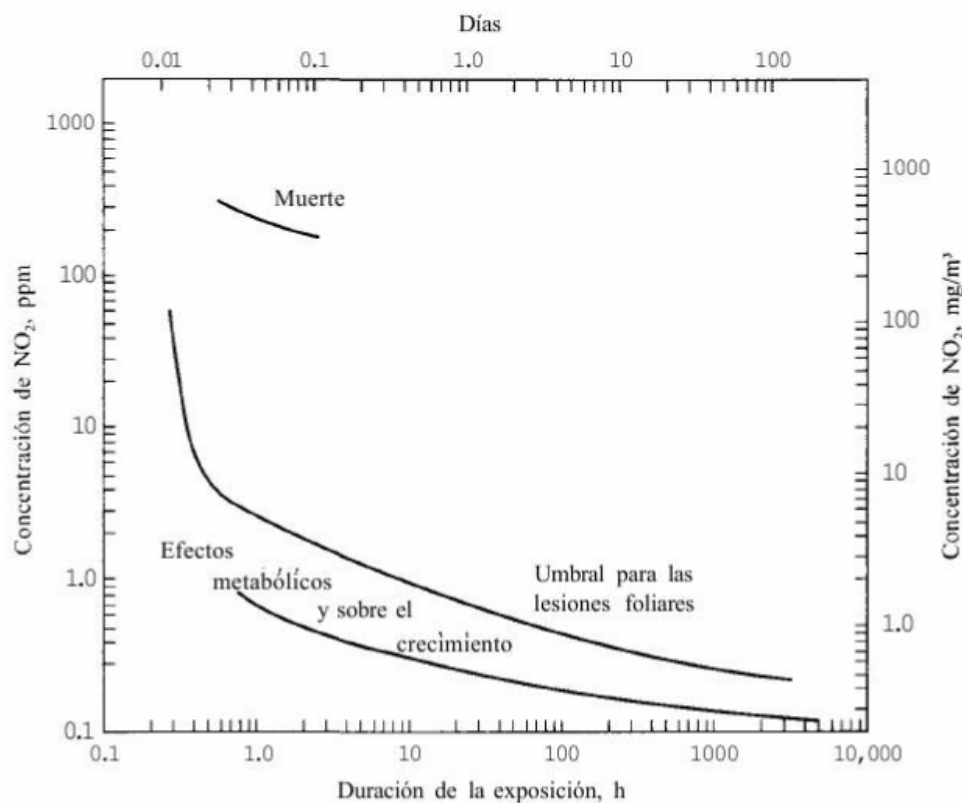
Nota: Nevers (1998).

**Los bienes:** Se estudia los efectos que tienen los contaminantes del aire sobre los bienes, a pesar de que no se perciben estos cambios en el tiempo y por esta razón no se consideran como un efecto, a pesar de que este se ha producido.

Para citar los efectos ambientales se pueden observar cómo corrosión de los metales, reducción del tiempo de vida útil de las pinturas, agrietamiento de los neumáticos por causa del ozono troposférico, flora (óxidos de nitrógeno) y fauna que es afectada por causa de los contaminantes del aire (Figura 2).

**Figura 2**

Umbral para la muerte de plantas, lesiones foliares y efectos metabólicos o en crecimiento.



*Nota:* Nevers (1998).

**La visibilidad:** La mayoría de los componentes considerados como contaminantes del aire son transparentes, salvo el bióxido de nitrógeno que tiene coloración marrón, en algunas ciudades que tienen smog, también poseen coloración marrón gracias a la presencia del NO<sub>2</sub>.

Las partículas en suspensión presentes en el aire, dispersan la luz, generando una disminución de la visibilidad.

**2.1.1.2. Tiempos de residencia en la atmosfera.** Como tiempos de la residencia en la atmosfera se encuentra las diferentes sutancia del aire.

Según Seinfeld y Pandis (1998) y Gallego et al., (2012), las sustancias que están en el aire, son transportadas desde su punto de emisión hacia cualquier destino, esto depende de las

condiciones climáticas y meteorológicas a la que es sometida, unas serán transportadas grandes distancias y otras serán removidas por diversos mecanismos, el tiempo promedio que permanecen estas sustancias o compuestos en la atmosfera se denomina *tiempo de residencia*, este valor promedio es vigente antes de que sea convertida en otra o sencillamente sea removida de la atmosfera. Los procesos de remoción de estas sustancias de la atmósfera, son agrupadas en dos categorías:

**A. Deposición seca:** Denota la transferencia directa de las especies en forma de gas y partículas sobre la superficie de la tierra y sin ayuda de la precipitación.

**B. Deposición húmeda:** Cuando las sustancias son transferidas a la tierra por procesos mecánicos como la lluvia, niebla o granizo:

- Disolución de gases atmosféricos en gotas aerotransportadas, ejemplos: nubes de polvo, lluvia o niebla.
- Remoción de partículas de la atmosfera, estas generan procesos de nucleación y condensación junto con el agua contenida en la atmosfera para luego formar nubes o gotas lluvia o niebla.
- Remoción de las partículas atmosféricas cuando estas partículas colisionan con las gotas o forman nubes.

### **2.1.2. Contaminantes atmosféricos**

Estas clasificaciones son bastante diversas, dado que tienen diferentes enfoques para ésta clasificación, pudiendo ser por los niveles de concentración o por los efectos en la salud humana, afectación de los ecosistemas, entre otros. En esta sección se presenta un resumen de los compuestos químicos más recurrentes y mayoritariamente vinculados a procesos de combustión, por ser de interés para este estudio.

**2.1.2.1. Compuestos nitrogenados (NO, NO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O y NH<sub>3</sub>).** Para Gallego et al., (2012) “los componentes nitrogenados pueden agruparse en dos grandes grupos, los compuestos oxidados (los óxidos de nitrógeno son los componentes más generalizados como el óxido nitroso y NO<sub>x</sub>) y los reducidos (como el NH<sub>3</sub>)”. (p.30)

**A. El óxido nitroso – N<sub>2</sub>O:** Para el sitio web Cambio Climatico Global (2016) es un compuesto que es generado por procesos naturales, por actividad microbiana en los suelos y mares, pero también hay generación antrópica relacionado a los procesos de combustión industrial (fabricación de nylon y HNO<sub>3</sub>), procesos de combustión de biomasa, escapes vehiculares, entre otros. En los últimos 100 mil años, en la tierra, rara vez ha superado los 280 ppb, pero a partir de 1920, estos valores se han ido incrementando, se asume que son sustancialmente aportados por el nitrógeno aportado a través de los fertilizantes en la agricultura.

**B. Óxidos de nitrógeno – NO y NO<sub>2</sub>:** Gallego et al., (2012) menciona que estos gases son considerados como contaminantes primarios, siendo el gas de mayor emisión el NO<sub>2</sub>, el NO que también es emitido es inestable en esa forma química, oxidándose con el O<sub>2</sub> del aire para formar NO<sub>2</sub>, en una atmósfera limpia se encuentran entre 0.4 a 9.4 µg/m<sup>3</sup>. Se conocen a estos gases como la suma del NO<sub>2</sub> + NO, formando los NO<sub>x</sub>. estos gases son emitidos por la naturaleza, emisiones volcánicas, del suelo y mar por procesos microbianos que los generan; otra fuente natural son las tormentas eléctricas. El NO<sub>x</sub> antropogénico, las fuentes más importantes son el parque automotor, el uso de combustibles fósiles en centrales de generación eléctrica y la industria fundamentalmente por procesos de combustión

**C. Amoniac – NH<sub>3</sub>:** Gas generado por la actividad agrícola y ganadera.

**2.1.2.2. Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).** Para Gallego et al., (2012) es un gas irritante y olor desagradable, cuyas fuentes naturales vienen de procesos eruptivos de los volcanes y emisiones de los océanos, las fuentes antrópicas que generan este gas son las relacionadas a procesos de

combustión (donde el combustible contiene como parte de su composición compuestos de azufre como el diésel, gasolina, gas natural), industrias manufactureras (como las fundiciones de hierro) y de la construcción.

**2.1.2.3. Monóxido de carbono (CO).** Gallego et al., (2012) indica que es un gas incoloro e inodoro, que posee gran afinidad por la hemoglobina de la sangre de los animales, una concentración típica en aire limpio es de 20 g/m<sup>3</sup> para una media de 8 h, se puede encontrar con mayor incidencia en los gases de inmisión de procesos de combustión incompleta, su origen natural proviene de incendios forestales, descargas eléctricas de las tormentas y las fuentes antrópicas provienen mayoritariamente por procesos de combustión incompleta de una gran variedad de combustibles de origen fósil o biomasa.

Seoáñez (2002) señala que el CO en la atmósfera no tiene una concentración fija, pero proporciona un rango que va desde 0.020 a 1.5 ppm en lugares limpios, para lugares contaminados indica que oscilan entre 100 a 320 ppm lo que se encuentra en el entorno de ciudades (por efecto del tráfico vehicular y condiciones climáticas favorables a esta condición). La combustión de materia carbonada realizada en forma “lenta” (oxidación lenta), entre otras razones, forman CO.

Resumiendo, el CO se forma principalmente por procesos de combustión incompleta de los diversos combustibles, sean fósiles o biomasa, tal como se muestra en la Tabla 3.

**2.1.2.4. Material particulado (PM).** Para Gallego et al., (2012) y Manahan (2007) se denomina de esta manera a las partículas sólidas y líquidas, de origen inorgánico y orgánico, que se encuentran en suspensión en el aire, de las cuales las que son las más grandes tienen a depositarse en la superficie muy lentamente, se consideran como contaminantes primarios y secundarios porque pueden ser de emisión directa o ser producto de reacciones químicas ambientales las que formen las partículas. Pueden ser de origen diverso, entre ellos el natural

(polvo levantado por el aire o por reacciones químicas en el ambiente, volcanes, incendios forestales, etc.) como antrópico (polvo generado por procesos industriales, tráfico vehicular, humos que contienen partículas de combustible u otras sustancias que acompañan las emisiones). El PM se clasifica por el tamaño de la partícula como ultra fino ( $\leq 1$  nm), fino (hasta 2.5 nm) a estas se las clasifica como PM2.5 generados por procesos de combustión y las partículas gruesas (hasta 10 nm) conocidas como PM10. Las que son generadas por procesos de erosión de la superficie terrestre y/o polvo fugitivo del tráfico vehicular.

**Tabla 3**

*Comparación de normas de calidad de aire y normas de exposición industrial*

<b>Naturales</b>	<b>Artificiales (combustibles)</b>
Océanos	Gasolina
Volcanes	Carbón
Oxidación de terpenos vegetales	Madera
	Incineración de residuos urbanos
Oxidación del CH <sub>4</sub>	Incendios forestales
	Consumo de tabaco

*Nota:* Seoáñez (2002, p.100)

### ***2.1.3. Gases de efecto invernadero***

Para enmarcar la definición de un gas de efecto invernadero, en primer lugar, debe indicarse que es el Cambio Climático en el planeta tierra, para esto muchos científicos señalan que el planeta tierra está atravesando una etapa de incremento de temperatura, el cual es atribuido al “cambio climático”, el mismo que tiene muchas teorías que la explican.

Sbarato y Sbarato (2006) señalan que el efecto invernadero se genera gracias al siguiente mecanismo: al ingresar la radiación solar de una longitud de onda corta a la atmósfera terrestre, ésta es reflejada por la superficie de la tierra como energía calórica de longitud de

onda larga, esta energía es atrapada por diversos gases con actividad radiante, a los que se les conoce como “gases de efecto invernadero” como el CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, CFCs, entre otros.

Este incremento de la temperatura global se ha realizado gracias a gases invernadero tales como el dióxido de carbono, metano, óxidos nitrosos y clorofluorocarbonos (Cambio Climático Global, 2016). La radiación infra roja proveniente del sol es retenido o atrapados por diversos mecanismos dentro de la atmósfera terrestre los que incrementan la temperatura media global entre 1.5°C y 4.5°C.

Ramseur et al., (2008) indica que hay 03 factores primarios que generan emisiones de gases de efecto invernadero por causas humanas:

- Población
- Ingreso per cápita
- Intensidad de emisiones de gases de efecto invernadero, adicionalmente se reconoce que son un factor de las fuentes que las emiten.

Según la página web Cambio Climático Global (2016) menciona que

La vida en la tierra depende de la energía que recibe del sol, cerca de la mitad de la luz que llega a la atmósfera terrestre pasa a través del aire y las nubes para llegar a la superficie donde se absorbe y luego es irradiado nuevamente en forma de calor (ondas infrarrojas). De este calor el 90% es absorbido por los gases de efecto invernadero y devuelta hacia la superficie que la ayuda a calentar hasta una temperatura promedio de 15°C perfecto para la vida, es conocido como el Efecto Invernadero. (p.3)

Los gases de efecto invernadero principales son de acuerdo a la página web Cambio Climático Global (2016):

- **El vapor de agua:** el más abundante y funciona como un gas que actúa en retroalimentación con el clima, a mayor temperatura de la atmósfera, más vapor, más nubes y más precipitaciones.
- **Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>):** un componente menor, pero muy importante de la atmósfera. Se libera en procesos naturales como la respiración y en erupciones volcánicas y a través de actividades humanas como la deforestación, cambio en el uso de suelos y la quema de combustibles fósiles. Desde el inicio de la Revolución Industrial la concentración de CO<sub>2</sub> ha aumentado en un 43% para el 2013.
- **Metano (CH<sub>4</sub>):** un gas hidrocarburo que tiene origen natural y resultado de actividades humanas, que incluyen la descomposición de rellenos sanitarios, la agricultura (en especial el cultivo de arroz), la digestión de rumiantes y el manejo de desechos de ganado y animales de producción. Es un gas más activo que el dióxido de carbono, aunque menos abundante en forma natural.
- **Óxido nitroso (N<sub>2</sub>O):** gas invernadero muy poderoso que se produce principalmente a través del uso de fertilizantes comerciales y orgánicos, la quema de combustibles fósiles, la producción de ácido nítrico y la quema de biomasa.
- **Cloro fluoro carbonos (CFCs):** son una familia de compuestos sintéticos de origen industrial que fueron utilizados en varias aplicaciones, ahora ampliamente regulados en su producción y liberación a la atmósfera para evitar la destrucción de la capa de ozono.

La Tabla 4, muestra la evolución de las emisiones de gases de efecto invernadero en el tiempo.

En resumen, muchos de los componentes que son considerados gases de efecto invernadero, son emitidos por procesos de combustión como muestra la Tabla 4, el CO<sub>2</sub> y el N<sub>2</sub>O son emitidos directamente por procesos de oxidación de la materia orgánica en un proceso

de combustión, mientras que el CH<sub>4</sub> es emitido en procesos de combustión donde se encuentra este combustible.

**Tabla 4**

*Gases de efecto invernadero*

Gas de efecto Invernadero	Concentración		Fuerza de irradiación (W/m <sup>2</sup> )
	Año 1750	Año 2012	
Dióxido de Carbono	280 ppm	392,6 ppm	1,85
Metano	700 ppb	1874 ppb	0,51
Óxido Nitroso (N <sub>2</sub> O)	270 ppb	324 ppb	0,18
CFC-11	0	238 ppt	0,060
CFC-12	0	531 ppt	0,17
HCFC-22	0	226 ppt	0,041
Ozono Troposférico	25 ppb	34 ppb	0,35
Ozono Estratosférico	Sin datos	300 unidades. Dobson	-0,1

*Nota:* Cambio Climatico Global (2016)

#### **2.1.4. Fuentes de emisión de gases**

La clasificación de emisiones de gases contaminantes que son emitidos a la atmósfera son clasificados de diferentes formas, una de ellas determina el tiempo que duran las emisiones, otra es el origen natural o antropogénico de las emisiones, la cantidad de emisiones, entre otras.

El Instituto Nacional de Ecología (2014), desarrolla una clasificación de las fuentes de emisiones gaseosas de efecto invernadero, tomando en cuenta las recomendaciones del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, de sus siglas en inglés – PICC; la misma que se muestra en la Tabla 5.

De la Tabla 5, los grupos principales muestran a las fuentes fijas y las fuentes móviles como las principales categorías vinculadas a los procesos de combustión, los que requiere el presente trabajo de investigación.

**Tabla 5***Resumen de categorías definidas por el PICC.*

Clave PICC Categoría y sub categorías de fuente de emisiones

1	Energía
1A	Fuentes fijas de combustión
1 A 1	Industrias de la Energía
1 A 2	Industria manufacturera y de la construcción
1 A 3	Fuentes móviles de combustión.
1 A 4	Otros sectores
1 B	Emisiones fugitivas

*Nota:* Instituto Nacional de Ecología (2002)

Para MINSA – DIGESA (2005) realiza un inventario de emisiones en diferentes ciudades del Perú, dentro de las definiciones conceptuales de emisiones realiza una definición de tipos de fuentes emisoras de gases a:

**Fuentes Puntuales:**

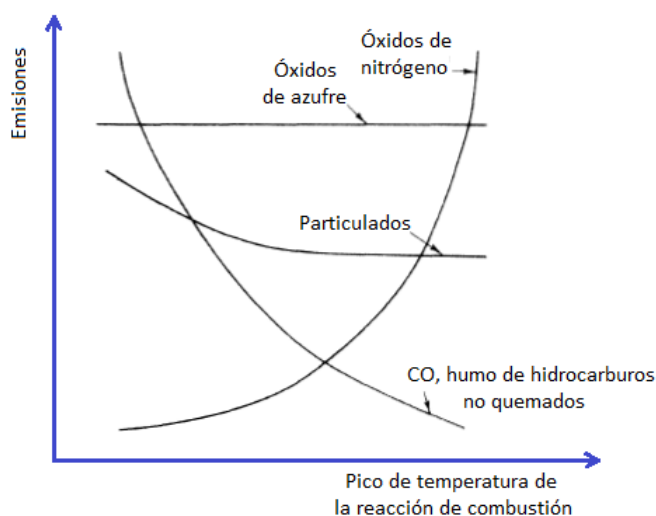
También denominadas “fuentes fijas”, son toda instalación establecida en un lugar que tenga como finalidad desarrollar operaciones o procesos industriales o actividades que puedan generar emisiones contaminantes significativas a la atmósfera, por ejemplo, se puede citar a las fundiciones primarias, refinerías, industrias de alimentos y otros. (MINSA – DIGESA, 2005, p.4)

De acuerdo a Boubel et al., (1994) las emisiones pueden variar ligeramente de una instalación a otra, utilizando equipos y procesos aparentemente similares, pero a pesar de esta ligera variación, normalmente se aplica una tecnología de control similar. Por ejemplo, se puede aplicar un método para controlar las emisiones de la acería X para controlar emisiones similares a los de la planta Y. No debería ser necesario que una planta industrial cualesquiera

gasten cantidades excesivas para investigación y desarrollo si la planta X si tiene un sistema que está funcionando satisfactoriamente. La solución al problema es a menudo buscar un proceso industrial similar, a menudo para buscar un proceso industrial similar, con emisiones similares y encontrar el tipo de sistema de control utilizado

### Figura 3

Emisiones de gases de combustión como función del pico de temperaturas de combustión.



*Nota:* Boubel et al., (1994)

### Fuentes de Área:

Son todos aquellos establecimientos o lugares donde se desarrollan actividades que de manera individual emiten cantidades relativamente pequeñas de contaminantes, pero que en conjunto sus emisiones representan un aporte considerable de contaminantes a la atmósfera y que no llegan a considerarse como fuentes puntuales. En esta categoría se incluyen la mayoría de los establecimientos comerciales y de servicios, como por ejemplo las panaderías, talleres de carpintería, grifos y otros. (MINSA – DIGESA, 2005, p.4)

Para la University of Kansas Medical Center (s.f) “las fuentes de área son las fuentes de contaminación que emiten menos de 10 toneladas anuales de un solo contaminante peligroso al aire o menos de 25 toneladas anuales de una combinación de contaminantes peligrosos del aire en un área específica”

Hace un listado de fuentes de emisiones como por ejemplo la quema de combustible de una fuente de emisión estacionaria, estaciones de servicio, empresas que operan con pintura, uso de solventes, procesamiento de residuos y a la industria ligera (salones de uñas, tintorerías, talleres de reparación de autos). Las fuentes de área pueden contribuir a los mismos riesgos de salud y ambientales que las fuentes móviles o de transporte.

#### **Fuentes móviles:**

Para la PUCCh (s.f.) hay un tercer tipo de fuentes de emisiones gaseosas. Siendo que “son aquellas fuentes en las que el emisor está en constante movimiento, las emisiones que genera son emitidas en un área territorial grande, gracias a su desplazamiento. Se tiene como ejemplo de estas fuentes a las emisiones de los autos, barcos, aviones, etc.” (p.14)

#### **Fuentes Naturales:**

Según Sbarato y Sbarato (2006), además de las tres fuentes de emisiones, hay una cuarta forma, este tipo de fuente de emisiones gaseosas es generado por procesos generados por la propia naturaleza por acción de eventos meteorológicos, geológicos y/o procesos metabólicos que se dan en los diferentes ecosistemas en forma natural, ejemplo, emisiones de un volcán, emisiones de la cobertura vegetal, incendios forestales naturales, emisión de materiales particulados diversos por erosión de suelos, etc.

### ***2.1.5. Contaminación industrial***

Cheremisinoff (2002) indica que existe un conglomerado de industrias que emiten contaminantes al aire, entre ellos a la industria de proceso químico, industria petroquímica y del petróleo, hierro y acero, plomo y zinc, níquel, aluminio y cobre como las principales fuentes de emisión de contaminantes, de forma semejante, Seoánez (2002) hace un mayor listado de actividades industriales emisoras de contaminantes atmosféricos (industria siderúrgica, fundiciones, calderería, galvanoplastia, metales no ferrosos, química, petroquímica, textil, alimentaria, cemento, entre muchas otras). Ambos autores no citan a la industria cerámica en este listado.

Por el contrario, Studio Press (2012) indica una condición especial para encontrar emisiones contaminantes por parte de las fábricas de material cerámico, indica que en países desarrollados este problema está controlado, mientras que en países en vías de desarrollo y sub desarrollados, ahí si tiene importancia este sector en cuanto a emisiones contaminantes y gases de efecto invernadero.

Aunque el sector ladrillero en el Perú y muchos otros países, no sea considerado en su integridad como una actividad industrial, por los niveles de producción, por la informalidad en la que trabajan y por no estar considerados en la base de datos del Estado peruano como una actividad industrial, pero es una actividad “que existe” y es la que provee en su mayor parte de los materiales de construcción que se utilizan a nivel nacional.

### ***2.1.6. Contaminación por hornos ladrilleros***

Un análisis detallado de la problemática de las empresas dedicadas a la fabricación de materiales cerámicos para la industria de la construcción y discrimina esta problemática según el nivel tecnológico de los países donde se encuentren estas ladrilleras (Studio Press, 2012).

En naciones desarrolladas, es poco probable pensar que una ladrillera podría generar contaminación ambiental, puesto que tienen procesos controlados y las emisiones son vigiladas por el Estado. Por otro lado, en los países menos desarrollados y/o sub desarrollados hay serios problemas con el control de las emisiones, perjudicando la salud de los trabajadores y del entorno de estas fábricas.

La contaminación que generan las fábricas de ladrillos es diversa, puesto que tiene efluentes gaseosos, sólidos y líquidos, en ese orden de volumen emitido.

Hay múltiples blogs que se dedican a analizar la problemática del sector ladrillero desde diversos enfoques como el social, ambiental, productivo – tecnológico, económico, legal, entre otros.

El Blog de WordPress.com (s.f) aborda diversos tópicos del proceso productivo de ladrillos, uno de los más citados son las nuevas tecnologías utilizadas en diversas partes de América Latina para resolver los “problemas ambientales que genera la actividad ladrillera” y es que una de las razones es el tipo de combustibles que usan como el carbón mineral, carbón vegetal y otros como neumáticos, tubos y material plástico que emiten gran cantidad de humo que emiten varios gases nocivos como el monóxido de carbono, el dióxido de azufre, el óxido de nitrógeno y las partículas de la quema de carbones en los hornos de ladrillos causan enfermedades respiratorias graves como la bronquitis y el asma.

Por otra parte, estos contaminantes debilitan el sistema inmunológico de las personas y dañan su poder de resistencia para combatir los diversos tipos de infecciones (Studio Press, 2012).

De acuerdo a Studio Press (2012) hace un análisis detallado sobre esta problemática, se preguntan cómo es la actividad ladrillera en los países pobres y concluye que en estos no existen

procedimientos estandarizados para la fabricación de ladrillos, también señala que los ladrilleros violan las leyes de delimitación de las áreas de uso de terreno, produciendo en el entorno inmediato de las ciudades a las que abastecen. Para el proceso de quemado de ladrillos, la mayoría de estas ladrilleras utiliza como combustible llantas usadas, plásticos de diversa índole. Indica que los ladrilleros afirman que al no haber normas ambientales se sienten en libertad de hacerlo porque no están obligados a seguir normas genéricas o buenas prácticas, seguirán esta conducta hasta que se den normativas especiales que contemple su situación. Permanecerán libres de barreras ambientales a menos que se desarrollen reglas separadas para ellos. No es más que un enfoque criminal sólo para evitar las reglas de los beneficios a corto plazo a costa de las pérdidas a largo plazo.

En relación a las condiciones laborales son peores aún, porque los trabajadores tanto hombres como mujeres de las comunidades oprimidas sin ningún conocimiento de sus derechos y privilegios trabajan en intenso calor sin ninguna instalación médica. Si alguno de ellos se enfrenta a quemaduras nadie se preocupa por él / ella y el despido es la única solución para aliviarlo de dolor. A pesar de las lesiones por quemaduras, los trabajadores siguen trabajando sin quejarse de ningún problema. Sus salarios también son casi nada y no pueden rechazar salarios insignificantes debido a su pobreza.

Condori (2016) indica que:

La actividad ladrillera es ejercida por personas de estratos sociales marginales y generadores de contaminación para las ciudades del entorno de su actividad. Hace conocer de las alteraciones percibidas por sus encuestados en los siguientes aspectos:

- Alteración de la fertilidad de los suelos
- Aire contaminado que se respira
- Agua contaminada que se consume

- Alteración de la fauna
- Alteración de la flora
- Incremento del ruido. (p.120)

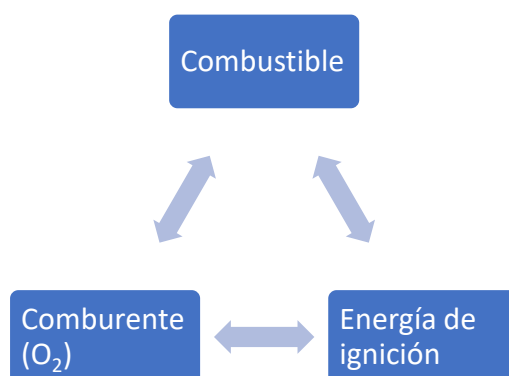
De las encuestas realizadas por Condori (2016) más del 54% responden que causan algún efecto sobre el ambiente. Existiendo conciencia de la alteración del entorno por efecto de las diferentes emisiones generadas por su actividad.

De acuerdo a Romo et al. (2004) en la periferia de la ciudad de Juárez – México, las condiciones de marginalidad de los ladrilleros es también una constante, el volumen de producción pequeño, utilidades marginales y una posibilidad de crecimiento escaso por las condiciones del mercado

Esto evidencia que hay un gran sector ladrillero que trabaja en condiciones difíciles y obviamente con conceptos ambientales inexistentes, lo que es reflejado por diversas referencias de los sectores ladrilleros de América Latina y desde luego en el Perú.

#### **Figura 4**

*Elementos necesarios para la combustión*

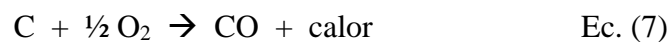
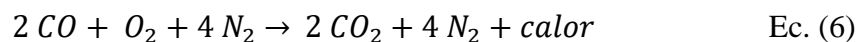
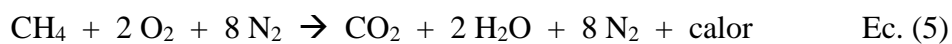
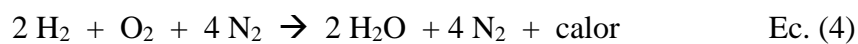
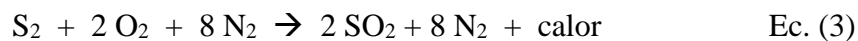
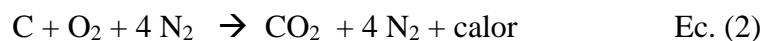


### 2.1.7. Combustión

La combustión es un proceso de oxidación por reacción química entre un combustible y un comburente en presencia de una fuente de energía inicial que desencadena la reacción, donde se generan o liberan energía calórica como fruto de esta reacción química.

La Figura 4, muestra los elementos necesarios para que exista un proceso de combustión, en ausencia de alguno de ellos no hay combustión.

**2.1.7.1. Procesos de combustión.** Los procesos de combustión son muy variados, dentro de ellos se generan múltiples reacciones de oxidación como las mostradas en las Ec. 2 al 6 (Seoáñez, 2002, p.161), y Ec. 7 de (Boubel et al., 1994).



De acuerdo a Seoáñez (2002) y Prieto (2016) el nitrógeno presente en el aire se oxida parcialmente, aportando  $NO_x$ , la formación de los óxidos de nitrógeno se dan a elevadas temperaturas, entre 1300 a 2500°C en los procesos de combustión, dependen de la relación estequiométrica de  $O_2$  y  $N_2$  presentes para que se forme el  $NO$ , el  $NO_2$  aparece gracias a la presencia de  $O_2$  y el  $NO$  formado anteriormente en el proceso de combustión, pero la temperatura de formación (o reacción) es menor a 150°C, es por esta razón que en un proceso

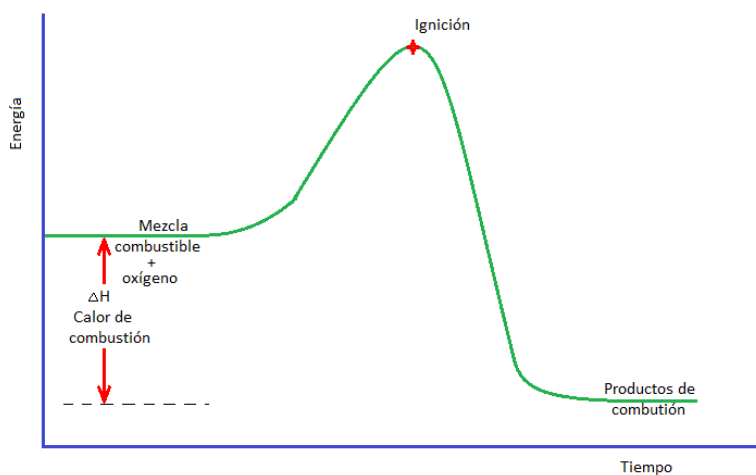
de combustión, con elevadas temperaturas que dieron origen a la formación del NO es poco probable que se forme  $\text{NO}_2$  así es que más del 90% del  $\text{NO}_x$  es NO,

Un proceso de combustión simple toma los componentes orgánicos de un combustible, como los compuestos carbonados, nitrogenados, sulfurados, etc y los oxida parcial o totalmente, muchos de estos, no son oxidados, simplemente son gasificados y emitidos al ambiente. La Ec. 2, muestra la reacción estequiométrica de una conversión del carbono a dióxido de carbono, considerándose como una combustión completa, es decir sin posibilidad de oxidarse más aún. En el caso de una reacción incompleta, el carbono oxida parcialmente hasta convertirse en monóxido de carbono, como muestra la Ec. 7. (Boubel et al., 1994).

Para llevar a cabo el proceso de combustión, según muestran las ecuaciones del 2 al 7, debe de existir una cantidad de energía que permita la ignición de los combustibles, como indica la Figura 5, esta energía se representa en la Figura 5, siendo diferente la cantidad de energía para el proceso de combustión de cada combustible.

### Figura 5

*Energía involucrada en un proceso de combustión.*



*Nota:* Boubel et al. (1994)

Los combustibles generan una cantidad de energía como fruto de la combustión, a esta cantidad de energía se le denomina “calor de combustión”, la que es aprovechada por las máquinas y/o procesos que involucran una combustión (hornos ladrilleros, cocinas, motores automotrices, etc).

Para Boubel et al. (1994) la maquinaria automotriz en las décadas precedentes, los procesos de combustión de estas máquinas emitían cantidades relativamente pequeñas de CO en los vehículos automotores, para esas épocas 1% era considerado como pequeño, pero para la actualidad esta cantidad es de mucha consideración para temas ambientales.

En un proceso de combustión es de utilidad tener en cuenta lo que se denomina como las 03 “t”:

- **Tiempo:** Un proceso de combustión que se acaba de iniciar, y de repente tiene sus reactivos descargados a un ambiente frío, no va a completar y emitirá excesivos contaminantes.
- **Temperatura:** Debe existir una temperatura suficientemente alta para que se inicie la reacción de combustión. La combustión es una reacción exotérmica (emite calor), pero también requiere que se inicie la energía.
- **Turbulencia:** La turbulencia es necesaria para asegurar que las moléculas de combustible y oxígeno que reaccionan en el proceso de combustión están en contacto íntimo en el instante apropiado, cuando la temperatura es lo suficientemente alta para provocar la reacción.

El estado físico del combustible para un proceso de combustión dicta el tipo de sistema que se utilizará para la combustión. Un combustible puede estar compuesto de material volátil, carbono fijo o ambos. El material volátil se quema como un gas y muestra una llama visible,

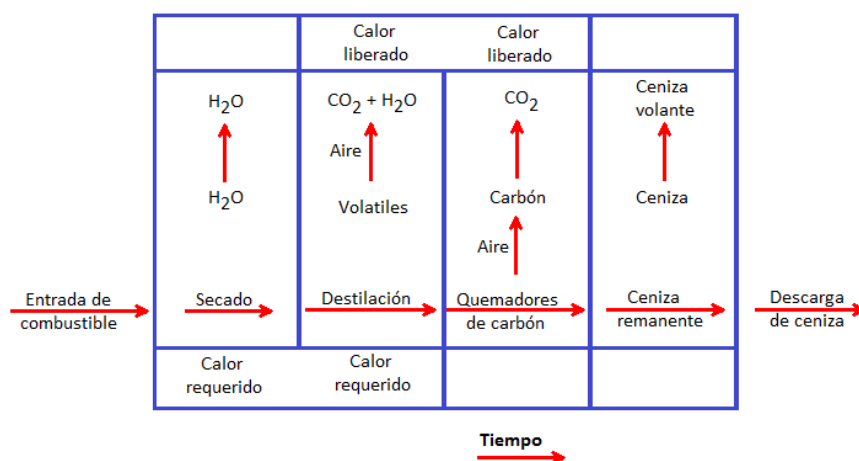
mientras que el carbono fijo en forma de combustible sólido se quema sin una llama visible. Si un combustible está en el estado gaseoso, tal como gas natural, es muy reactivo y se puede encender con un simple quemador.

Si un combustible está en el estado líquido, tal como el diésel, la mayor parte de él debe ser vaporizado al estado gaseoso antes de que ocurra la combustión. Esta vaporización se puede lograr suministrando calor desde una fuente externa, pero usualmente el combustible líquido se atomiza primero y luego las partículas de combustible finamente divididas se pulverizan dentro de una cámara de combustión caliente para llevar a cabo la gasificación y proceder la combustión a manera del combustible gaseoso.

Con un combustible sólido, como el carbón o la madera, una serie de pasos están involucrados en la combustión. Estos pasos se producen en un orden definido y el dispositivo de combustión debe ser diseñado teniendo en cuenta estos pasos. La Figura 6, muestra lo que sucede con un combustible sólido típico durante el proceso de combustión.

**Figura 6**

*Esquema del proceso de combustión de un combustible sólido.*



*Nota:* Boubel et al. (1994)

El ciclo de funcionamiento de la fuente de combustión es muy importante en cuanto a emisiones. Un proceso estable, tal como una caldera de vapor grande, funciona con una carga bastante uniforme y un flujo continuo de combustible. Los gases efluentes, junto con los contaminantes del aire, se descargan constante y continuamente de la fuente. Un motor de automóvil, por otra parte, es una serie de fuentes intermitentes de combustión. Las emisiones del motor del automóvil serán muy diferentes de las de la caldera en términos de cantidad y calidad. Un motor automotriz de cuatro cilindros que opera a 2500 rpm tiene 5000 procesos de combustión separados, iniciados y completados cada minuto de su operación. Cada uno de estos dura alrededor de 1/100 de segundo de inicio a fin del proceso.

Una comparación de las emisiones típicas de varios combustibles comunes, por ejemplo, Economopoulos (2002) otorga diferentes valores para el factor de cálculo de emisiones gaseosas de un proceso de combustión, así para el “CIIU 3691, Fabricación de estructuras de cerámica para construcción” referente a emisiones de monóxido de carbono, para hornos intermitentes (producción por lote) que utilizan combustibles gaseosos tiene 0.075 kg CO/Tn ladrillo quemado, para combustibles líquidos (aceite) 0.095 kg CO/Tn ladrillo quemado y para combustibles sólidos (carbón mineral) 1.19 kg CO/Tn ladrillo quemado, siguiendo la relación de 1:1.27:14.9 veces mayor emisión de CO por cada tonelada de cerámico quemado en procesos de quema que son controlados. Esto refleja que los combustibles sólidos son los de mayores niveles de emisión y por ende los más difíciles de controlar, siendo los combustibles gaseosos más manejables y de menores niveles de emisión de gases de efecto invernadero y contaminantes. A semejanza de este análisis se realizan para partículas sólidas en suspensión, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, COV y otras emisiones más.

### 2.1.8. Ladrillos

Según la definición que realiza INDECOPI (1978) a través de la NTP 331.017, “es la unidad de albañilería fabricada de arcilla moldeada, extruida o prensada en forma de prisma rectangular y quemada o cocida en un horno”. (p.1)

La normativa nacional Ministerio de Transportes Comunicaciones Vivienda y Construcción (2006), en su capítulo II: Definiciones y Nomenclatura, Artículo 3: Definiciones, la sección 3.22 define como *unidad de albañilería* a los “ladrillos y bloques de arcilla cocida, de concreto o de sílice-cal. Puede ser sólida, hueca, alveolar o tubular” (p.9)

Refiriéndose con ladrillos solidos a aquellos que son compactos o por definición de la misma norma, con área mayor o igual al 70% como superficie de asiento.

**2.1.8.1. Producción de ladrillos.** El Ministerio de la Producción (2010) ha generado una guía de buenas prácticas para el proceso de producción de ladrillos es mostrado en la Figura 8, en la cual

De la Figura 8, se puede indicar que para la producción de ladrillos es necesario utilizar como materias primas, diversidad de componentes que contengan mezclas naturales y/o artificiales de los siguientes componentes:

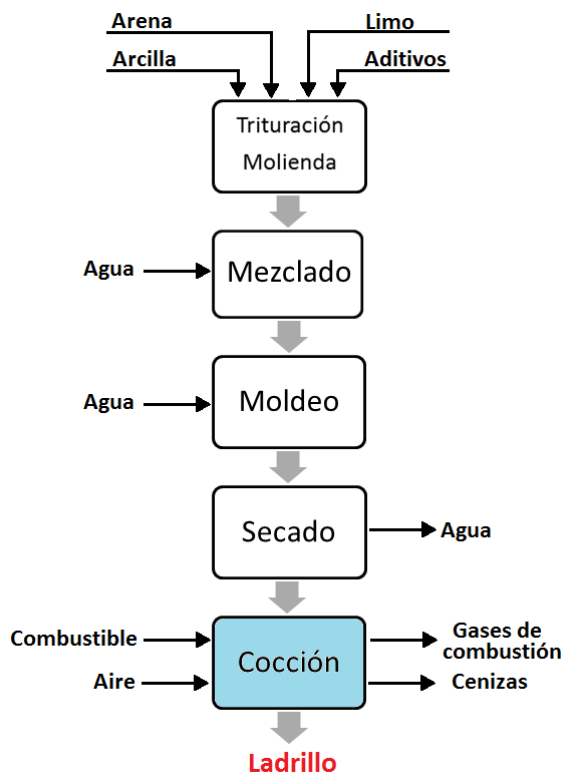
- **Arcilla:** material más fino, que actúa como aglutinante de la mezcla.
- **Arena:** de tamaño más grande en la mezcla para la fabricación de ladrillos, es el agente de volumen o agregado.
- **Limo:** material de tamaño intermedio que actúa también como agente de volumen.
- **Aditivos:** Son inclusión de materiales magros, grasos, lubricantes, colorantes, fundentes, etc, para mejorar el proceso productivo y/o calidad del producto final.

La trituración y/o molienda, dependiendo del tamaño del material que ingresa al proceso, de las características físicas del material, se realiza una reducción de tamaño (conminución) hasta lograr la granulometría requerida por el proceso y los diversos equipos que son utilizados.

En la etapa de mezclado, todos los componentes son mezclados para homogenizar la composición de la masa que conformará el ladrillo.

### Figura 7

Resumen del proceso de producción de ladrillos.



Nota: Ministerio de la Producción (2010).

La etapa de moldeo, es la que conforma los ladrillos en las diferentes formas que son comercializados los ladrillos, pudiendo ser ladrillos sólidos, aligerados (con presencia de

huecos, en diversas formas geométricas y distribuciones realizadas en el producto), para esto se mezcla con agua, hasta la humedad de operación dada por la formulación del ladrillero.

El secado, se realiza para eliminar toda la cantidad posible de agua de mezcla o agregada posible, para que el material presente una solidez y rigidez apropiadas para la manipulación en general y sobre todo para el carguío al horno.

La cocción se realiza para que, a través del calor, se puedan llevar a cabo reacciones químicas irreversibles que den forma definitiva al material generalmente a elevadas temperaturas que oscilan entre 800 a 1100°C, se denomina sinterización a este proceso.

Para la presente investigación, es de importancia el proceso de cocción de ladrillos, puesto que es en esta etapa de la producción que se utiliza combustible y aire, la combustión del combustible entrega la energía necesaria para la sinterización de la mezcla para que esta pueda convertirse en ladrillo o material cerámico. Esta necesidad de energía obliga a usar diversas fuentes de combustibles las mismas que generan emisiones gaseosas que pueden contener gases de efecto invernadero, gases contaminantes y partículas en suspensión.

**2.1.8.2. Proceso cocción ladrillos.** El proceso de cocción de los ladrillos realizados en instalaciones artesanales es un proceso empírico y no controlado por lo que cada quema es singular, por las siguientes razones:

- Uso de diferentes humedades del ladrillo crudo.
- Uso de combustibles diversos, en proporciones de mezcla diferentes y de diferente origen (diferentes maderas)
- Ausencia de programas de quema
- No hay control de temperatura
- No está definida la calidad de ladrillo a obtener

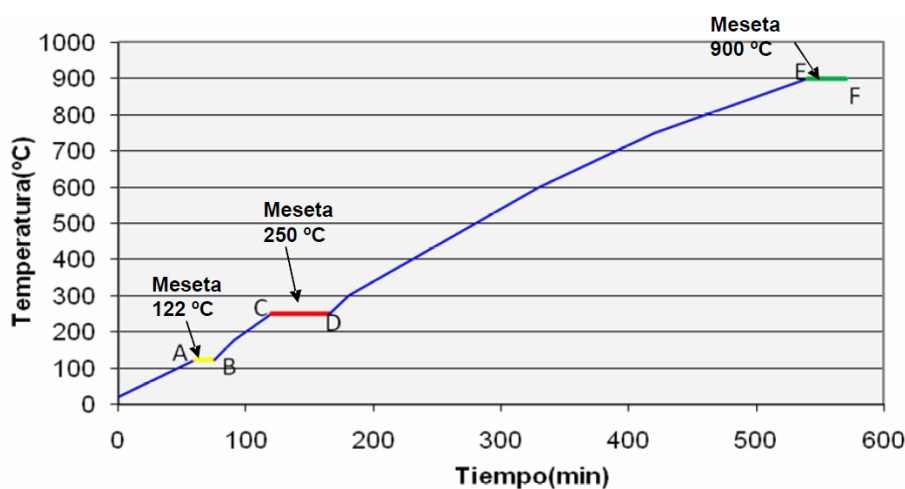
Estas condiciones son ligadas a costumbres ancestrales, recetas propias / locales y/o regionales para los procesos de quema.

Fanzincani (1992) define las curvas de cocción como parámetros de operación de un horno para una quema apropiada la misma que debe seguir diferentes rampas de temperatura para asegurar un producto de calidad, la rampa de temperatura debe llegar hasta la temperatura de sinterización del material cerámico.

Camacho y Zambrano (2009) basados en la información de Fanzincani (1992) hallan una curva de cocción para la fabricación de material cerámico en la provincia de Cusco, como se observa en la Figura 8, deben llegar a 900°C para sinterizar los ladrillos.

### Figura 8

*Curva característica determinada para cerámicos en la Región Cusco.*



*Nota:* Camacho y Zambrano (2009)

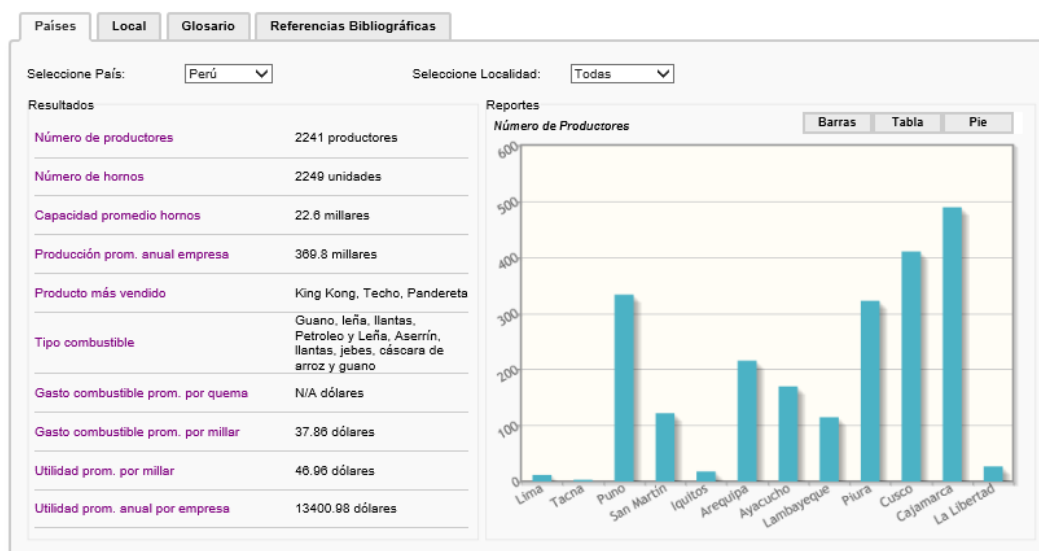
La Figura 8, evidencia la necesidad de controlar los procesos de cocción de ladrillos para poder predecir el comportamiento de la temperatura en la quema, la misma que está vinculada a la cantidad de combustible y aire que se le suministre de manera oportuna.

### 2.1.9. Sector ladrillero Perú

El sector ladrillero del Perú está disperso en toda su geografía, según (EELA – SWISSCONTACT (2013) hay muchos asentamientos ladrilleros en diversas zonas del país, las que se ubican en función a la disponibilidad de materia prima para la elaboración de los ladrillos o por la cercanía a las ciudades donde tendrán mejor posibilidad de comercializar sus productos. Se aprecia en la Figura 9, que la Región del Cusco es una de las regiones con elevada actividad ladrillera, después de Cajamarca, esto hace precisar que vienen involucrados los demás aspectos propios de la actividad, desarrollo económico, fuentes de trabajo y desarrollo socio-económico alrededor de la actividad, así también vienen los aspectos negativos, como las emisiones de residuos sólidos, gaseosos y otros más asociados a esta actividad informal.

**Figura 9**

*Sector ladrillero nacional.*



*Nota:*

EELA – SWISSCONTACT (2013)

La Figura 10, muestra la cantidad de productores ladrilleros en la Región Cusco, en la cual se da a conocer que en promedio se queman 07 millares de piezas de material cerámico, otro aspecto importante es el uso del combustible utilizado.

**Figura 10**

*Sector ladrillero de la Región Cusco.*



*Nota: EELA – SWISSCONTACT (2013)*

La Figura 11, muestra la magnitud del sector ladrillero de Piñipampa, la tecnología, capacidad, tiempo de quema, etc. de los hornos que son utilizados en esta zona productora.

**Figura 11**

*Sector ladrillero Piñipampa – Cusco.*



*Nota: EELA – SWISSCONTACT (2013)*

En relación a la tecnología de los hornos del sector de Piñipampa, la Figura 12 muestra los tipos de hornos más usados dentro de la definición de hornos de “tiro abierto tradicional”, los nombres con los que se le conoce a nivel Latinoamérica, los combustibles que son usados en este tipo de hornos y otros datos de interés para la presente investigación.

**Figura 12**

*Tecnología de los hornos ladrilleros - Piñipampa – Cusco.*

Hornos					
Nombre	Otros Nombres	Descripción	Otras Características		
			Consumo de Energía Específica	Eficiencia Térmica	
			MJ/ Kg cerámica	Porcentaje de energía aprovechable por el horno (%)	
				Tipo de combustibles Utilizado	
Tiro abierto tradicional	horno tradicional, abierto tradicional, horno de campaña, horno abierto, horno volcán, horno casipira, hornos fijos, hornos de fuego dormido, hornos chircales, hornos romanos, horno caiera, abierto de paredes fijas, horno de paredes falsas, horno de bocas transversales	Horno de 4 paredes, sin techo. La alimentación de combustible y quema se realiza por la parte baja del horno. No cuenta con chimenea.	4.0-6.0	15-20	Leña (troncos y ramas), aserrín, carbón de mineral (a granel y en briquetas), estiércol de pollo, ollujo de aceituna, guano, llantas, petróleo, gasolina, tamo o cáscara o chala de arroz, aceite quemado, cáscara de almendra, cascarilla de café, gas natural
Semi-continuo	Horno de cámaras múltiples, horno MK, horno zigzag, horno hoffman, horno túnel batch.	Horno con geometría rectangular divididos por paredes interconectadas por un canal, con techo y con chimenea. La alimentación de combustible y quema se realiza por la parte baja y/o superior del horno.	2.0-3.0	40-60	Leña (troncos y ramas), carbón de mineral, petróleo, gas natural, biomasa (tamo o cáscara de arroz, aserrín, etc).
Abovedado 01 camara	Horno de tiro invertido, horno colmena, horno abóboda, horno circular, horno catenario, horno paulistinha	Horno intermitente con geometría rectangular o circular que cuentan con techo y chimenea. La alimentación de combustible y quema se realiza por la parte baja y/o superior del horno.	2.5-3.5	40-55	Leña (troncos y ramas), carbón de mineral, petróleo, biomasa (tamo o cáscara de arroz, aserrín, cascarilla de café, etc).
Continuo	Horno túnel, horno VSBK		0.8-1.5		Carbón de mineral, petróleo.

*Nota:* EELA – SWISSCONTACT (2013)

La Figura 13, muestra un horno tradicional del sector de Piñipampa, que a su vez es semejante en todas las regiones del país, se puede apreciar el nivel de emisiones de gases y material particulado que emiten en un proceso de quema regular, sin que exista una chimenea que conduzca los efluentes gaseosos fuera de la estructura del aire, como si lo hacen los hornos industriales, se puede observar que cuando hay una brisa o circulación de vientos, éstos arrastran los gases de combustión hacia la dirección de éstos.

Cuando se intenta medir directamente las emisiones de estos hornos con los equipos analizadores, no es posible captar las emisiones netas del horno, puesto que pueden filtrarse las

corrientes de aire y realizar una medición errónea, razón por la cual se deben tomar medidas que eviten estos inconvenientes. Dado que las normas nacionales reglamentan las mediciones de estos gases en chimeneas, proponen protocolos bastante elaborados para la medición de estos parámetros.

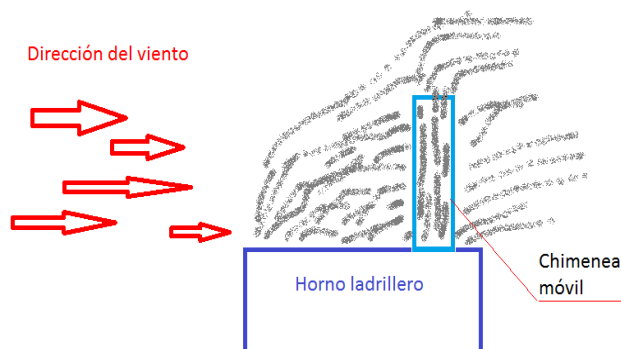
### Figura 13

*Horno ladrillero - emisiones gaseosas*



### Figura 14

*Propuesta de medición*



De la Figura 14, se coloca un tubo sobre la superficie de los ladrillos que están en pleno proceso de quema, los gases que están dentro del área de sección transversal de la chimenea no son influenciados por la velocidad y dirección del viento que pueda haber en los exteriores de la chimenea, más por el contrario mantendrán la velocidad de emisión propio del horno en el

punto donde son colectados, con la menor perturbación posible, saliendo del ducto de la chimenea serán pasibles de comportarse según las condiciones de dirección y velocidad del viento al cual se exponen, al igual que en el resto del horno. Dentro del conducto de la chimenea portátil se puede medir la velocidad de flujo y concentración de los gases de emisión.

Como muestra la Figura 13, los hornos no poseen chimenea alguna, siendo la sección transversal del horno todo el área de emisión de gases de combustión, adicionalmente basado en la técnica de medición de gases de vertederos de la EPA (2005) y EPA (2012), esta técnica también es tomada para monitorear emisiones de metano y otros gases en pantanos y en cuerpos de agua como lagunas y lagos ( $\text{CO}_2$ ); la misma que propone realizar una grilla o cuadrícula sobre la superficie del vertedero, colocar un punto de medición en cada grilla, para este efecto, se toman mediciones de emisiones y velocidad de flujo en diferentes puntos de la grilla los mismos que se promedian para determinar la emisión media del pantano (Figura 15).

### **Figura 15**

*Grilla para toma de muestras en vertederos*



*Nota:* EPA-600/R-05/123a (2005).

### III. MÉTODO

#### 3.1. Tipo de investigación

Según la definición que realiza Hernandez et al., (2006) el tipo de investigación corresponde a correlacional, con enfoque mixto (cualitativo y cuantitativo).

#### Diseño de investigación

Para Andia (2017) “el diseño de tesis es no experimental, debido a que no se manipulo intencionalmente ninguna variable.” (p. 169)

#### 3.2. Población y muestra

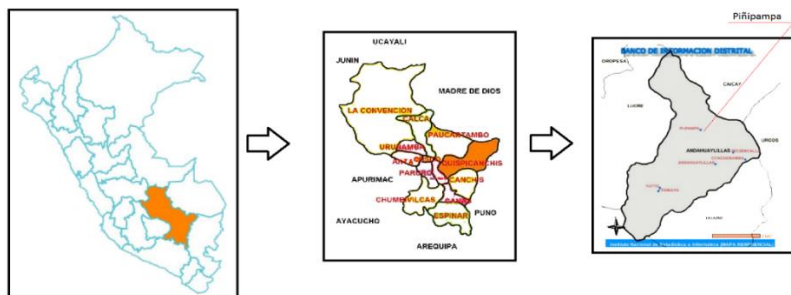
##### Población

La población estuvo conformada por 80 ladrilleros del sector de Piñipampa, Distrito de Andahuaylillas, Provincia de Quispicanchis, Región Cusco.

Asimismo, se consideró como población de estudio a los hornos tradicional de la Región Cusco, Provincia de Quispicanchis, Distrito de Andahuaylillas, sector de Piñipampa (Figura 16).

#### Figura 16

Ubicación geográfica del Distrito Menor de Piñipampa



*Nota:*

## Muestra

El tamaño de muestra se determinó probabilísticamente, de acuerdo a la ecuación (8).

$$n = \frac{Z^2 pqN}{Z^2 pq + S^2 (N - 1)} \quad \text{Ec. (8)}$$

Donde,

n = Número de muestra

p = Proporción de la población (Se utilizó 0.5 conservadoramente)

q = Proporción de la población (Se utilizó 0.5 conservadoramente)

Z = Nivel de confianza al 95%.

N = Tamaño del universo

S = Nivel de precisión  $\pm 5\%$

Se encontró que el tamaño de muestra fue 67 ladrilleros, a los cuales se les aplicara los instrumentos propuestos en la presente investigación.

### 3.3. Operacionalización de variables

**Tabla 6**

*Operacionalización de variable*

Variable	Dimensión	Indicadores	Instrumentos
<b>Objetivo General:</b> Determinar el grado de relación de la magnitud de emisiones de gases de combustión y la eficiencia del proceso de quema del sector ladrillero artesanal de Piñipampa – Cusco. Año 2020			
<b>Objetivo 1:</b> Determinar la cantidad de combustible que se relaciona con la cocción de una carga de ladrillos artesanales			
Consumo de combustible	Cantidad de combustible	Peso de combustible	Fichas de encuesta Observación

---

**Objetivo 2:** Determinar el grado de relación entre la cantidad de gases de combustión que se emite y peso de combustible utilizado en una quema típica de un horno ladrillero artesanal

---

Cantidad de gases de combustión	Concentración de gases de combustión	Concentración de CO Concentración de CO <sub>2</sub> Concentración de NO <sub>x</sub> Concentración de SO <sub>2</sub> Flujo de gases	Observación
---------------------------------	--------------------------------------	---	-------------

---

**Objetivo 3:** Determinar la semejanza entre el consumo específico de energía promedio de un proceso de quema tradicional del sector ladrillero artesanal de Piñipampa con el promedio de consumo específico internacional

---

Eficiencia energética del proceso de combustión	Eficiencia energética	Consumo específico de combustible Valor de eficiencia energética	Observación
---	-----------------------	---	-------------

---

*Nota:* Elaboración propia

### 3.4. Instrumentos

En la investigación se formularon dos mecanismos de levantamiento de información, la primera utiliza un cuestionario y la segunda aplica fichas de observación que evalúan el trabajo de una quema artesanal, como se detalla a continuación.

Se aplicaron encuestas a los ladrilleros de la zona de estudio (Anexo A), donde se enfocarán aspectos que son de utilidad para la presente investigación:

#### Parte 1:

- **Sobre la unidad productiva:** Datos sobre la ubicación geográfica del productor
- **Encuesta:** Fecha de la visita y datos del encuestado.
- **Equipo de entrevistadores:** Datos de los entrevistadores.

#### Parte 2:

- **A: Productos y hornos:** Se obtuvo información sobre la geometría del horno, capacidad, medidas principales, tipos de cerámicos que procesan, peso de los cerámicos.

- **B: Quemados y producción:** Se consulta por la forma de trabajo, tiempos de quema, número de personas.
- **C: Combustibles:** Se consulta sobre el tipo y cantidad de los combustibles usados.
- **D: Percepción ambiental:** En este tópico se consulta sobre la percepción de los entrevistados sobre asuntos ambientales de su actividad.

### Parte 3:

- **D: Cierre:** Finalización de la encuesta, agradecimientos.

### 3.5. Procedimiento

Para el desarrollo de la presente investigación se desarrollaron los siguientes procedimientos para la observación del proceso de quema y la aplicación de las encuestas.

En cuanto al procedimiento para la quema de un horno tradicional, la medición del consumo de combustible para la quema de ladrillos se debe conocer la cantidad de combustible que se usa, para ello se tomó peso del combustible que se introdujo al horno cada hora, según modelo de la Tabla 3.2.

#### Tabla 7

*Toma de datos - peso combustible*

Hora	Peso (kg)
01	
02	
03	
....	

*Nota: Elaboracion Propia*

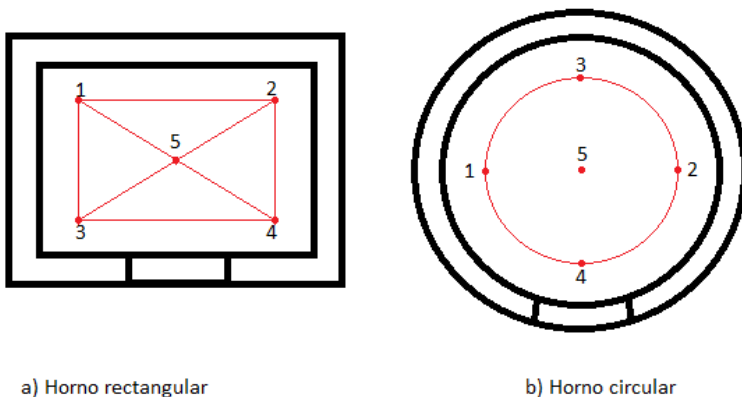
La medición de emisiones gaseosas se midieron con un analizador de gases de combustión, modelo Testo 350.

No existe normativa donde se reglamente la forma de medición de los gases de combustión de un horno artesanal pero si está dada la norma R.M. 026-2000-ITINCI/DM (2000) donde se requiere que la actividad materia de monitoreo atmosférico tenga un seguimiento del proceso y del estado de los conductos o chimenea operativa; dado que la norma señala con precisión la manera de medir las emisiones gaseosas en procesos de combustión, los mismos que deberían contar con una chimenea y el sector ladrillero artesanal del país no cuenta con esta chimenea, se deben tomar métodos alternativos para salvar este inconveniente.

Se realizó una medición en 05 puntos del horno ladrillero, de la siguiente manera:

### Figura 17

*Puntos de toma de muestra para gases en hornos rectangular y circular*



a) Horno rectangular

b) Horno circular

*Nota: Elaboracion Propia*

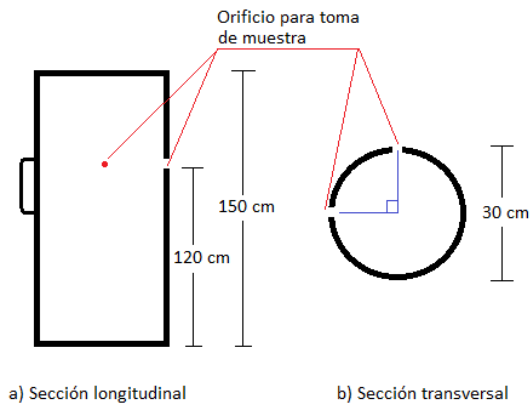
La Figura 17, muestra la disposición de los puntos de monitoreo, donde se colocó un ducto que servirá como enderezador de flujo, para evitar que el viento disperse las emisiones.

La chimenea que muestra la Figura 18, se dispone de tal manera que cubra la sección transversal del horno por donde salen los gases, para que estos no desvíen su trayectoria gracias

al viento, se coloca esta estructura. La recomendación es que antes de dos diámetros antes de la salida se realicen las mediciones, cumpliendo también con esta recomendación la chimenea.

### Figura 18

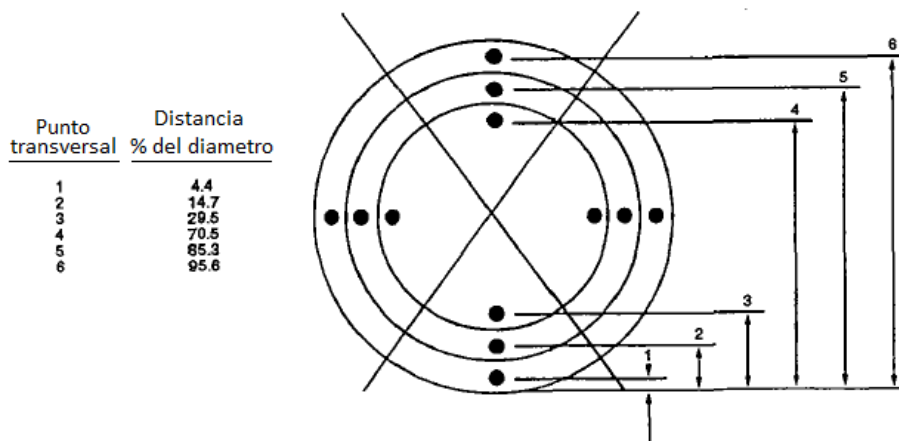
*Chimenea para toma de muestra de gases*



*Nota: Elaboracion Propia*

### Figura 19

*Corte de sección transversal de la chimenea: puntos de medición de velocidad*



*Nota: EPA (1994)*

Según la recomendación del método 2 para la determinación de la velocidad y flujo volumétrico de gases de chimenea realizado con tubo Pitot S, dado por la EPA (1994) se recomienda realizar dos orificios a la chimenea, perpendiculares (en ángulo de 90°).

**Tabla 8***Distancias para toma de velocidad de salida de gases de combustión*

Punto Transversal	Distancia	
	% diámetro	Diámetro (cm)
1	4.4%	1.3
2	14.7%	4.4
3	29.5%	8.9
4	70.5%	21.2
5	85.3%	25.6
6	95.6%	28.7

*Nota: EPA (1994)*

La Tabla 8, muestra las distancias a las que debe tomarse la medición de velocidad con el tubo Pitot S, basado en la recomendación de la EPA (1994) y dado en la Figura 19.

Las mediciones de concentración de los contaminantes se realizaron siguiendo el plan dado en la Figura 17, en los lugares donde se colocó la chimenea portátil, se tomó en intervalos de una hora en cada punto, así como muestra la Tabla 9.

**Tabla 9***Tabla para toma de datos del proceso de quema*

Parámetro	Punto de toma de muestra																							
	1						2						...						n					
	Sección Chimenea						Sección Chimenea						Sección Chimenea						Sección Chimenea					
	1	2	3	4	5	Prom.	1	2	3	4	5	Prom.	1	2	3	4	5	Prom.	1	2	3	4	5	Prom.
Caudal Volumétrico																								
Caudal Volumétrico en la Chimenea																								
Dióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> )																								
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )																								
Monóxido de carbono (CO)																								
Oxidos de nitrógeno (NO <sub>x</sub> )																								
Oxígeno (O <sub>2</sub> )																								
Temperatura de Salida																								
Velocidad de Gases																								

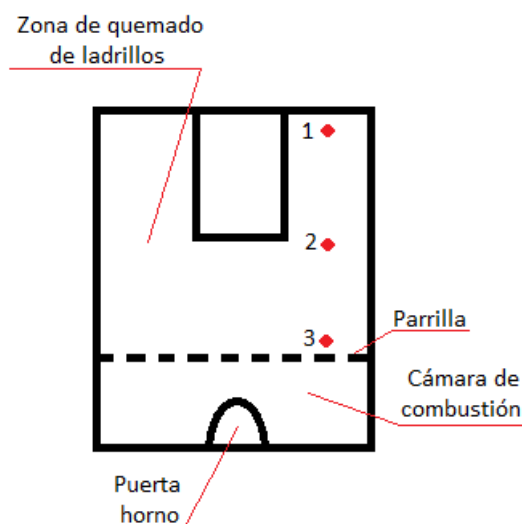
*Nota: Elaboracion Propia*

La Tabla 9, muestra las variables que se tomaron para la medición de los diferentes parámetros propuestos, se debe indicar que una quema promedio dura entre 10 a 15 horas, esto influirá en la primera columna de la tabla.

Se midió la temperatura en 03 puntos diferentes del horno, procurando reflejar el proceso de quema hacia la base, punto intermedio y tope del horno, como esquematiza la Figura 20.

### Figura 20

*Puntos de monitoreo de temperatura del horno.*



*Nota: Elaboracion Propia*

Para el desarrollo de la investigación se consideraron, los materiales e insumos siguientes:

- Combustible: Ramas de eucalipto
- Horno: Artesanal de tiro directo
- Material a quemar: 5 millares de tejas artesanales.
- Trípode para pesaje de combustible

Del mismo modo se utilizaron los siguientes instrumentos de medida:

- Termómetro: Data Loger
- Sondas de temperatura: Termocuplas industriales tipo K (de -50 a 1350°C) de 1 m de longitud.
- Conexión: Cable de compensación de 10 m
- Analizador de gases marca Testo, modelo 350.
- Dinamómetro de capacidad de pesada de 200 kg

Para realizar las mediciones de la eficiencia energética, basados en el consumo de combustible y la masa de ladrillos colocados en el horno, se calculó la cantidad de energía gastada por unidad de masa de cerámico y será comparado con valores internacionales, estos valores están establecidos para diferentes tipos de hornos y esquemas de trabajo (EELA - SWISSCONTACT, 2013).

En el proceso de encuesta, se ha realizado entre los ladrilleros de la zona de Piñipampa, cumpliendo con el tamaño de muestra requerido para la presente investigación, se ha consultado según la planificación de la encuesta mostrada en el Anexo A.

### **3.6. Análisis de datos**

En la presente investigación se ha desarrollado el análisis de los datos de las dos fuentes de recolección, de las fichas de cuestionario aplicado a una muestra de la población de ladrilleros de la zona de Piñipampa. En el caso de la observación realizada a un proceso de quema de un horno tradicional se ha realizado comparaciones con fuentes bibliográficas internacionales y nacionales, publicaciones, tesis en la temática y otras fuentes relevantes para la temática del sector ladrillero.

## IV. RESULTADOS

### 4.1. Resultados de las variables

#### 4.1.1. Nivel de emisiones del sector ladrillero.

Se aplicaron encuestas a los ladrilleros de la Región Cusco, Provincia de Quispicanchis, Distrito de Andahuaylillas, sector de Piñipampa. Del universo de ladrilleros se aplicó a una muestra que represente el 95% de confianza, para determinar la muestra se tomó como referencia la ecuación 3.1. Conocido el número de ladrilleros, la homogeneidad de los hornos y diversos parámetros obtenidos a través de las encuestas permitirá que las mediciones de gases de combustión que se hagan, puedan extenderse para el sector ladrillero donde se aplicó la presente investigación. De la Tabla 10, se establecen 67 encuestas, donde se tienen probabilidades de éxito y fracaso del 50%.

Según el modelo de encuestas mostrados en el Anexo A, en la cual se muestran los aspectos que son de utilidad para la presente investigación:

**4.1.1.1. Parte 1: Información general.** Se muestran datos de ubicación, propietario, fecha de visita, entre otros datos para mostrar el aspecto formal de la actividad productiva.

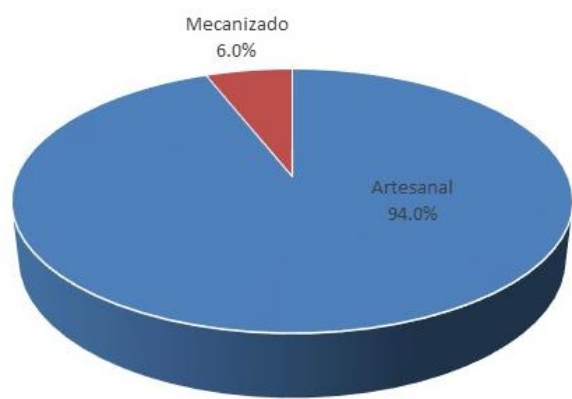
Las encuestas se aplicaron en la localidad de Piñipampa, perteneciente al Distrito de Andahuaylillas, Provincia de Quispicanchis de la Región Cusco, se aplicaron entre el 06/01/18 al 24/02/2018, para actualizar la información referida a la actividad de los ladrilleros se ha aplicado 34 nuevas encuestas que corresponden al 50% de la muestra total aplicada entre el 29/02/2020 al 05/03/2020, como muestra la Tabla 10.

**Tabla 10**  
*Fechas de aplicación de encuestas*

<b>Fecha de encuestas</b>	<b>Nro. Encuestas</b>
6/01/2018	7
13/01/2018	6
20/01/2018	4
27/01/2018	6
3/02/2018	16
10/02/2018	8
17/02/2018	8
23/02/2018	4
24/02/2018	8
<b>Sub total (2018)</b>	<b>67</b>
29/02/2020	6
02/03/2020	7
03/03/2020	6
04/03/2020	8
05/03/2020	7
<b>Sub total (2020)</b>	<b>34</b>

*Nota: Elaboracion Propia*

Se ha consultado sobre la auto definición del tipo de productor que es el encuestado, como muestra la Figura 21, el 94% de los encuestados (63 unidades productivas) se reconocen como productores artesanales, el mismo que se define como aquel productor de un bien que solo demanda de herramientas básicas, preferentemente manual y/o con un nivel mínimo de mecanización, mientras que el mecanizado que representa el 6% de los encuestados declara ser un productor que tienen herramientas electromecánicas para trabajar los cerámicos. Las definiciones de artesanal y mecanizado las han utilizado en sus diferentes informes. (EELA - SWISSCONTACT, 2013)

**Figura 21***Categoría de productor**Nota: Elaboracion Propia*

**4.1.1.2. Parte 2: Productos y hornos.** En esta sección se reportan los hallazgos realizados vía encuestas de aplicación a los productores del sector de Piñipampa sobre la geometría del horno, capacidad, medidas principales, tipos de cerámicos que procesan, peso de los cerámicos.

**A. A1: Número de hornos.** Una de las interrogantes que se tienen en relación al volumen de producción de materiales cerámicos para la construcción está vinculado a la capacidad de producción que tienen los ladrilleros, la Tabla 11 muestra que el 91% de los productores señala tener un solo horno para producir sus cerámicos, lo que los cataloga como micro empresarios por la definición de la Ley N° 28015 (2003) Ley de Promoción y Formalización de la Micro y Pequeña Empresa que ha dado el Estado peruano donde señala diferentes aspectos que definen a un micro empresario, siendo las más destacadas por el número de trabajadores y por el monto de ventas anuales, adicionalmente define como “la Micro y Pequeña Empresa es la unidad económica constituida por una persona natural o jurídica, bajo cualquier forma de organización o gestión empresarial contemplada en la legislación vigente,

que tiene como objeto desarrollar actividades de extracción, transformación, producción, comercialización de bienes o prestación de servicios” (p.15)

**Tabla 11**

*Número de hornos por unidad productiva*

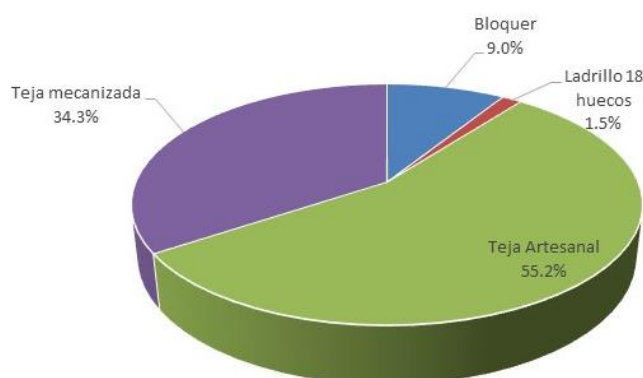
Categoría	N° hornos por categoría	Porcentaje de productores
Artesanal	1	91.0%
	2	1.5%
	3	1.5%
Mecanizado	1	6.0%
Total general		100.0%

*Nota: Elaboracion Propia*

**B. A2: Tipos de cerámicos producidos.** Los productores entrevistados en la localidad de Piñipampa el 89.5% señala que produce fundamentalmente tejas, artesanales (55.2%) y mecanizadas (34.3%) como muestra la Figura 22, hay una derivación de la producción sustancial de éste sector productivo porque históricamente ha producido tejas artesanales o de producción manual, se viene diversificando su producción por demanda del mercado que demanda otros tipos de productos con los cuales compite el sector de Piñipampa (EELA - SWISSCONTACT, 2016).

**Figura 22**

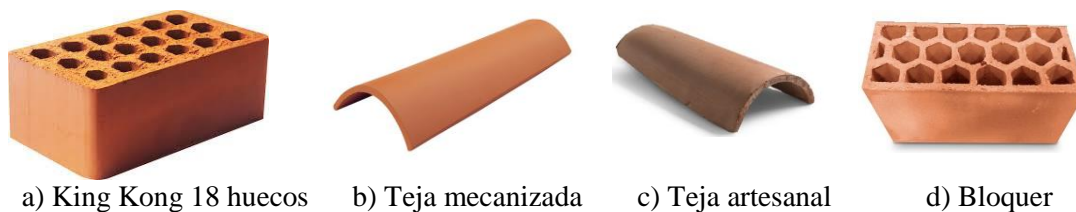
*Tipos de cerámica que produce*



*Nota: Elaboracion Propia*

## Figura 23

### *Tipos de cerámicos producidos*



a) King Kong 18 huecos

b) Teja mecanizada

c) Teja artesanal

d) Bloquer

*Nota: Elaboracion Propia*

La Figura 23, muestra los diferentes tipos de productos cerámicos que produce el sector de Piñipampa, el ladrillo King Kong de 18 huecos (Figura 23.a), es un ladrillo de características sólidas, utilizado para construcción de muros portantes y de tabiquería, reemplaza al ladrillo sólido artesanal, este ladrillo tiene una contextura robusta, éste es producido por extrusión. Las tejas artesanal y mecanizadas (Figura 23.b y 23.c) tienen las mismas dimensiones y el mismo uso, la diferencia sustancial está en la forma de fabricación, la artesanal es fabricada enteramente a mano, en un molde trapezoidal el mismo que obtiene su curvatura característica en un molde metálico en el que es transportado a la cancha de secado, donde se le acomoda y retoca la forma final con la mano del operario, mientras que la teja mecanizada es producida por extrusión, siendo más definidos y finos los acabados del producto respecto de la artesanal, que tiene un acabado rustico.

El bloquer (Figura 23.d) es un ladrillo aligerado, al igual que el King Kong de 18 huecos es producido por extrusión en una máquina especializada con una matriz que le confiere la forma, este ladrillo es utilizado en tabiquería, porque en términos generales no tiene la resistencia mecánica que posee el King Kong de 18 huecos.

**C. A3: Capacidad de los hornos.** La capacidad de los hornos ladrilleros está limitada por las dimensiones del mismo, las técnicas de quema, altura de carga de quemado, producto a quemar en el horno, entre otras.

**Tabla 12**  
*Peso productos cerámicos*

<b>Producto</b>	<b>Peso(kg)</b>
Bloquer	7.5
Ladrillo 18 huecos	4.5
Teja Artesanal	1.5
Teja mecanizada	1.5

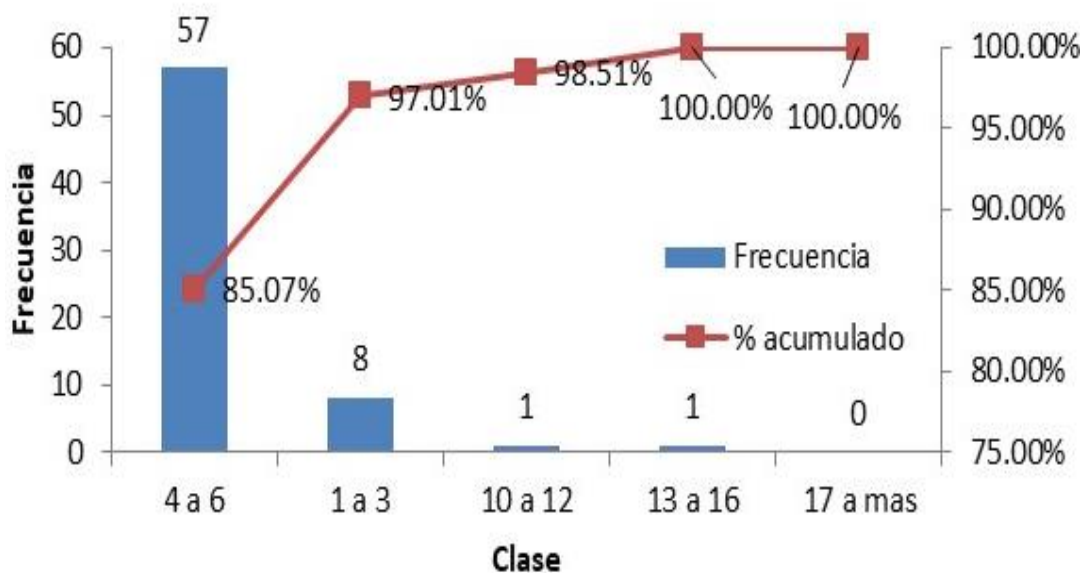
*Nota: Elaboracion Propia*

La Tabla 12, resume los pesos medios de cada uno de los productos cerámicos producidos, el bloquer es la unidad que posee el mayor peso, esto debido a las dimensiones que posee este producto, (20x30x10 cm), seguido del King Kong de 18 huecos que posee un peso medio de 4.5 kg por sus dimensiones de 24x11x8 cm, aunque estas dimensiones son variables por dos razones: una, por la configuración de tamaño que dan los productores pues esta es una característica que los define (fundamentalmente el espesor); otra, por el desgaste gradual que sufren los moldes, que van modificando (creciendo) las dimensiones del cerámico, por lo cual periódicamente reemplazan el molde, sea para producción manual o mecanizada. En el caso de las tejas, el espesor es lo que los caracteriza, aunque no hay mayor variación en estas dimensiones

La Figura 24, muestra el histograma acumulado de la cantidad de productos cerámicos que cargan por cada quema en el horno, el 85.1% carga entre 4 a 6 millares de productos verdes a los hornos para la quema correspondiente (aproximadamente 16 a 24 millares/mes). Los hornos industriales más avanzados como los hornos túnel que son de producción continua con 1100 millares/mes (> 2 000 toneladas/mes o > 67 TM/día). (EELA - SWISSCONTACT, 2015)

**Figura 23**

*Histograma de capacidad producción de hornos ladrilleros*



*Nota: Elaboracion Propia*

La Tabla 13, muestra la capacidad de carga de los hornos principales (para los que poseen uno o más hornos), se observa que las tejas (artesanales y mecanizadas) son las que poseen mayor diversidad de capacidades de carga, donde los artesanales van desde un millar hasta 10 millares, la mayoría posee hornos de 5 millares; mientras que los que queman tejas mecanizadas tienen hornos que van desde 3.2 millares hasta 15 millares, al igual que en los artesanales, la quema promedio es de 5 millares, el resto tiene capacidades diversas de producción, acomodados a su volumen de ventas y capacidad de producción.

**Tabla 13***Capacidad de carga del horno principal para producto principal*

<b>Producto</b>	<b>Unidades productivas</b>	<b>Capacidad carga horno</b>
	2	3
Bloquer	1	3.5
(6 productores)	1	3.7
	1	4
	1	5
Ladrillo 18 huecos (1 productor)	1	6
	1	1
	1	2
	4	3
	1	3.5
Teja Artesanal	4	4
(37 productores)	3	4.5
	1	4.6
	19	5
	2	5.5
	1	10
	1	3.2
	2	4
	1	4.5
Teja mecanizada	1	4.8
(23 productores)	15	5
	1	5.2
	1	5.5
	1	15

*Nota: Elaboracion Propia*

Los 02 ladrilleros que señalaron tener 2 hornos, trabajan tejas mecanizadas, produciendo entre 4.0 y 4.5 millares de tejas por cada quema (ver Tabla 14).

**Tabla 14***Capacidad de carga del horno secundario para producto principal*

<b>Producto</b>	<b>Unidades productivas</b>	<b>Capacidad carga horno</b>
	1	4
Teja	1	4.5
mecanizada	21	No posee 2do horno

*Nota: Elaboracion Propia*

**D. A4: Tipo de horno.** En el sector ladrillero del Perú hay fundamentalmente 02 tipos de hornos que se usan para las micro y pequeñas ladrilleras, los nombres varían de región a región, pero en esencia son los mismos, con algunas variantes que puedan tener en cuanto a dimensiones, forma y forma de quema, son los mostrados en la Figura 25.

El horno denominado malecón, poseen canales donde se acomoda el combustible (generalmente leña o briquetas de carbón) formando parte de la masa de ladrillos cargados para la quema, el plano de la carga del combustible y ladrillos es el mismo o con muy poca diferencia (Ver Figura 25.a), el calor es emitido en forma horizontal y vertical, alcanzando en el plano horizontal a todos los ladrillos de su zona de influencia.

**Tabla 15**

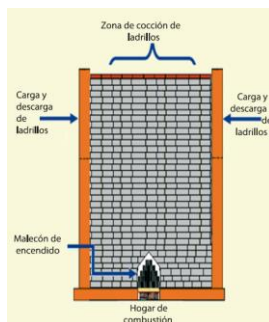
*Tipo de horno*

Horno tipo	Cantidad
Malecón	1
Otros	2
Parrilla	64
Total general	67

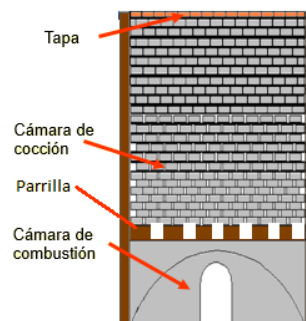
*Nota: Elaboracion Propia*

**Figura 24**

*Tipo de horno*



a) Malecón



b) Parrilla

*Nota: Elaboracion Propia*

Los hornos de parrilla, a diferencia del horno de malecón, poseen una cámara de combustión que se encuentra en el plano inferior, mientras que los cerámicos verdes se encuentran en la parte superior, donde recibe el calor generado por el combustible. La parrilla sostiene la carga de material cerámico a coccionarse.

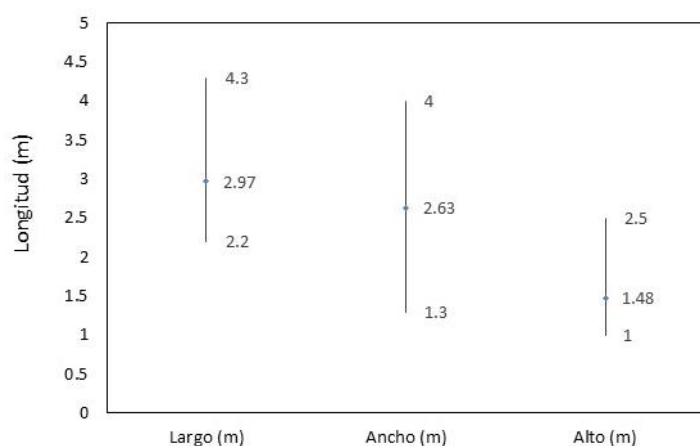
La Tabla 15, muestra que el sector ladrillero de Piñipampa fundamentalmente posee hornos con parrilla (PRAL ), aunque hay ladrilleros que no conocían la diferencia entre una y otra técnica de quema del horno.

**E. A5: Dimensiones internas del horno.** Los hornos ladrilleros de parrilla pueden ser circulares o rectangulares, los hornos de la localidad de Piñipampa son rectangulares porque acomodan mejor al cargado de tejas verdes.

Para los hornos principales o primeros hornos que poseen los ladrilleros, la Figura 26, muestra las dimensiones de los hornos en promedio son de 3.00 x 2.60 x 1.50 m de largo, ancho y altura respectivamente, la desviación estándar muestra la variación de dimensiones del valor medio.

**Figura 25**

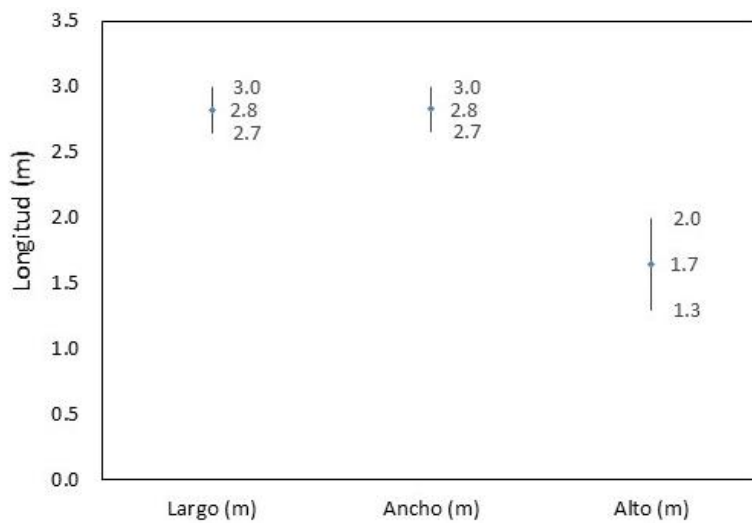
*Dimensiones medias de los hornos principales*



*Nota: Elaboracion Propia*

**Figura 27**

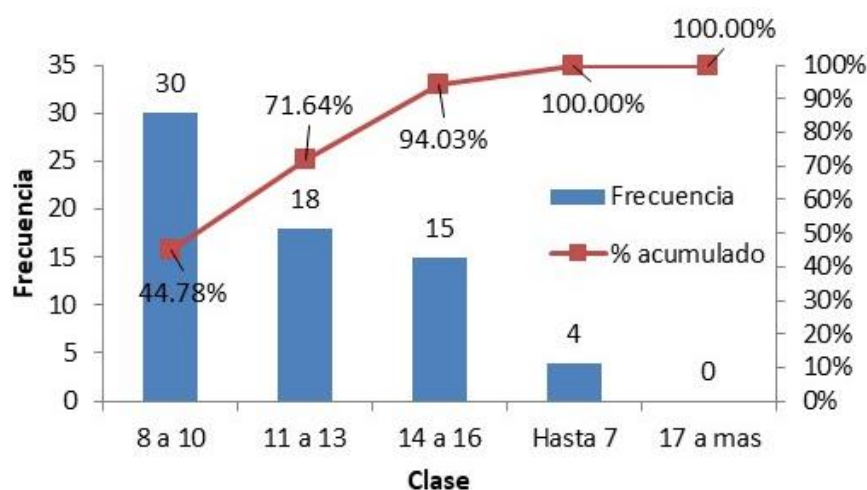
*Dimensiones medias de los hornos secundarios*



*Nota: Elaboracion Propia*

Al igual que el análisis de los hornos principales, se ha consultado sobre los que poseen más de un horno, las dimensiones de ese nuevo horno; las dimensiones son semejantes al primero (ver Figura 27).

**F. A6: Tiempo de cocción de los cerámicos.** La Figura 28, muestra los periodos de quema de los cerámicos, aun siendo el mismo productor, no necesariamente realiza la quema en el mismo periodo de tiempo, esto se debe a muchos factores como la humedad del cerámico verde, la humedad del combustible, la cantidad de cerámicos que se cargan (no siempre cargan la misma cantidad) y la experticia del quemador definen el tiempo de quema, a pesar de este comportamiento, los ladrilleros queman sus cerámicos mayoritariamente entre 8 a 10 horas y el 49.25% dice quemar en los intervalos de 11 a 13 y 14 a 16 horas.

**Figura 26***Histograma - tiempo de quema**Nota: Elaboracion Propia*

**G. A7: Dificultades halladas para una quema.** Se han consultado las 02 mayores dificultades que encuentran para una quema (ver Tabla 16), en orden de importancia, son:

La columna de la izquierda de la Tabla 16, muestra la mayor dificultad para lograr quemar los cerámicos, el 29.9% indica que es la “escases de combustible” lo que hace que reprogramen las fechas de las quemas; para esta primera mayor dificultad viene concatenada de una “excesiva competencia”, esto indican el 35% de este grupo de respuestas.

**Tabla 16**  
*Dificultades para la quema*

1ra dificultad		2da dificultad	
Escases mano de obra	4.5%	Precio bajo de productos	100.0%
		Costo maquinaria producción cerámicos	7.7%
		Es muy sacrificado el trabajo	7.7%
		Escases de combustible	7.7%
Escases materia prima	19.4%	Lluvias	7.7%
		Mucha competencia	15.4%
		Otras zonas ladrilleras son la competencia	15.4%
		Precio bajo de productos	38.5%
		Costo maquinaria producción cerámicos	5.0%
Escases de combustible	29.9%	Escases materia prima	20.0%
		Lluvias	5.0%

		Mucha competencia	35.0%
		No hay demanda del producto	10.0%
		Otras zonas ladrilleras son la competencia	10.0%
		Precio bajo de productos	15.0%
Fiscalización autoridades locales	3.0%	Costo maquinaria producción cerámicos	50.0%
		Escases materia prima	50.0%
Lluvias	9.0%	Costo maquinaria producción cerámicos	16.7%
		Es muy sacrificado el trabajo	16.7%
		Mucha competencia	16.7%
		Precio bajo de productos	50.0%
Otras zonas ladrilleras son la competencia	4.5%	Mucha competencia	33.3%
		Precio bajo de productos	66.7%
Precio alto de combustible	19.4%	Costo maquinaria producción cerámicos	15.4%
		Es muy sacrificado el trabajo	7.7%
		Escases materia prima	23.1%
		Lluvias	7.7%
		Mucha competencia	15.4%
		No hay demanda del producto	7.7%
		Otras zonas ladrilleras son la competencia	7.7%
		Precio bajo de productos	15.4%
Precio bajo de productos	10.4%	Escases materia prima	14.3%
		Escases de combustible	14.3%
		Lluvias	28.6%
		Otras zonas ladrilleras son la competencia	42.9%

*Nota: Elaboracion Propia*

Las respuestas globales para esta consulta se circunscriben en las siguientes respuestas:

- Precio alto de combustible
- Precio bajo de productos
- Costo maquinaria producción cerámicos
- Es muy sacrificado el trabajo
- Escases de combustible
- Escases mano de obra
- Escases materia prima
- Fiscalización autoridades locales
- Lluvias
- Mucha competencia
- Otras zonas ladrilleras son la competencia

- No hay demanda del producto

Las respuestas del 1 al 3 están vinculadas a temas económicos de los productos y combustibles, la 4ta respuesta vinculada a la dificultad de la actividad ladrillera, de la 5 a la 7 muestran la problemática de disponibilidad de la materia prima, mano de obra y combustible, la 8va respuesta señala que hay problemas por temas de fiscalización por parte de las autoridades locales (municipio). La 9na respuesta está vinculada al tema climático, de la 9 a la 10 evidencian temas de competitividad de otros sectores ladrilleros de lugares cercanos a la localidad y finalmente la 12ava respuesta refleja problemas en la escasa demanda de sus productos.

**H. A8: Ventajas de su sistema de quema.** A semejanza de la Tabla anterior, la Tabla 17, muestra las ventajas que hallan los ladrilleros respecto de su estilo de trabajo, así:

El 23.9% señala que la forma del horno con el que trabajan les otorga una ventaja competitiva frente a otros sectores ladrilleros, de este segmento la calidad del producto, costo del producto y técnica de quema les da éxito en su actividad productiva.

Las respuestas globales para esta consulta se delimitan en las siguientes respuestas:

1. Experiencia del quemador
2. Forma del horno
3. Costo de su producto no tiene competencia
4. Costo económico y calidad le dan ventaja
5. Buena calidad del producto que produce
6. Trabaja con dedicación, eso influye en producto
7. Usa combustible bueno
8. Su técnica de quema es la que le da éxito
9. Piñipampa es afamado por sus productos

## 10. Su producto es afamado y reconocido

**Tabla 17**  
*Ventajas para la quema*

1ra ventaja		2da ventaja	
Buena calidad del producto que produce	16.4%	Costo económico y calidad le dan ventaja	27.3%
		Experiencia del quemador	9.1%
		Forma del horno	9.1%
		Piñipampa es afamado por sus productos	27.3%
		Su técnica de quema es la que le da éxito	27.3%
Costo económico y calidad le dan ventaja	9.0%	Buena calidad del producto que produce	16.7%
		Experiencia del quemador	33.3%
		Forma del horno	33.3%
		Piñipampa es afamado por sus productos	16.7%
Experiencia del quemador	11.9%	Buena calidad del producto que produce	25.0%
		Costo de su producto no tiene competencia	37.5%
		Costo económico y calidad le dan ventaja	12.5%
		Forma del horno	12.5%
		Su técnica de quema es la que le da éxito	12.5%
Forma del horno	23.9%	Buena calidad del producto que produce	25.0%
		Costo de su producto no tiene competencia	6.3%
		Costo económico y calidad le dan ventaja	25.0%
		Experiencia del quemador	12.5%
		Su producto es afamado y reconocido	6.3%
Piñipampa es afamado por sus productos	4.5%	Su técnica de quema es la que le da éxito	25.0%
		Buena calidad del producto que produce	100.0%
Su producto es afamado y reconocido	13.4%	Buena calidad del producto que produce	33.3%
		Costo económico y calidad le dan ventaja	11.1%
		Experiencia del quemador	22.2%
		Piñipampa es afamado por sus productos	33.3%
Su técnica de quema es la que le da éxito	6.0%	Costo de su producto no tiene competencia	25.0%
		Piñipampa es afamado por sus productos	50.0%
		Su producto es afamado y reconocido	25.0%
		Buena calidad del producto que produce	25.0%
Trabaja con dedicación, eso influye en producto	6.0%	Su producto es afamado y reconocido	25.0%
		Su técnica de quema es la que le da éxito	50.0%
		Buena calidad del producto que produce	50.0%
Usa combustible bueno	9.0%	Costo económico y calidad le dan ventaja	16.7%
		Experiencia del quemador	33.3%

*Nota: Elaboracion Propia*

La primera respuesta señala que la experiencia es la clave de su éxito, la 2da señala que la forma del horno le otorga una ventaja sobre los demás; de la 3 a 4 señalan que el costo y

calidad del producto son parte de su éxito. De la 5 a la 8 ven la calidad, esfuerzo colocado, combustible y técnica de quema les otorgan ventaja y las respuestas 9 y 10 ven como ventaja la fama de la marca Piñipampa como ventaja en sus transacciones.

**I. A9: Número de quemadores.** Como muestra la Tabla 18, muchos declaran que solamente un operario quema la carga, en un primer momento coloca suficiente combustible al pie del horno para que posteriormente realice la quema propiamente dicha; mientras que el otro gran segmento señala que operan 02 personas el horno, uno alcanzando el combustible y el otro administrando la quema.

**Tabla 18**  
*Número de quemadores de horno*

<b>N° quemadores</b>	<b>Porcentaje ladrilleras</b>
1	47.8%
2	44.8%
3	7.5%
Total general	100.0%

*Nota: Elaboracion Propia*

**4.1.1.3. Parte 3: Quemados y producción.** Se consulta por la forma de trabajo, tiempos de quema, número de personas.

**A. B1: Cantidad de quemados mensuales.** El 91% indica que mensualmente producen la misma cantidad de material cerámico como muestra la Tabla 19, mientras que un pequeño segmento de productores responde que, si hay diferencia de producción mensual, más apegada a su volumen de ventas y las condiciones climáticas que exista en el día a día.

**Tabla 19***Distribución de quemas mensuales*

<b>Respuesta</b>	<b>Ladrilleras</b>	<b>Porcentaje ladrilleras</b>
No	6	9.0%
Si	61	91.0%
Total general	67	100.0%

*Nota: Elaboracion Propia*

La Tabla 20, refleja el número de quemas mensuales que realizan los productores de Piñipampa, donde el 55.2% dice realizar 04 quemas mensuales y 31.3% realizar 03 quemas mensuales.

**Tabla 20***Número de quemas mensuales que realizan*

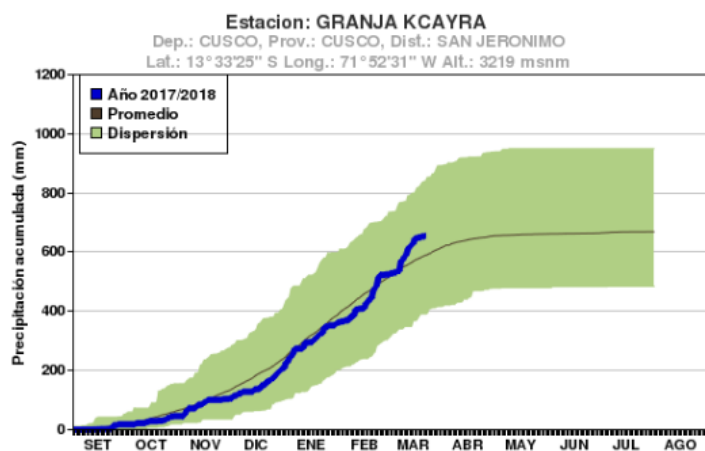
<b>N° quemas</b>	<b>Ladrilleras</b>	<b>Porcentaje ladrilleras</b>
1	2	3.0%
2	6	9.0%
3	21	31.3%
4	37	55.2%
12	1	1.5%
Total general	67	100.0%

*Nota: Elaboracion Propia*

**B. B3: Duración de la temporada de lluvias y sequía.** En la zona de sierra las épocas del año se diferencian básicamente en 02, sequía o ausencia de precipitaciones pluviales acompañado de frío nocturno y calor diurno y la otra temporada la de lluvias, que son precipitaciones pluviales copiosas por periodos breves de tiempo (aproximadamente 30 min) o lluvias con poca precipitación pluvial pero por periodos largos de tiempo (varias horas) o nubosidad baja, haciendo que la humedad relativa sea elevada en esas épocas del año, alternando con brillo solar intenso.

**Figura 27**

*Precipitación pluvial acumulada – Cusco*

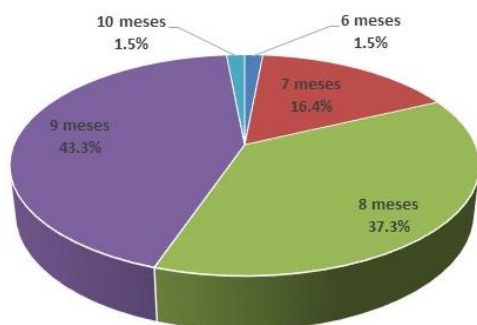


Nota: SENAMHI (2018)

Como muestra la Figura 29, tomada de SENAMHI (2018) los meses de precipitación pluvial van del mes de setiembre a marzo, siendo moderado o de baja intensidad de setiembre a noviembre, aumentando su intensidad entre diciembre a febrero, reduciéndose o estabilizándose en el mes de marzo. Este ciclo es periódico año a año, siendo unos años más intensos que otros, pero la temporada es la misma. Los meses de abril a agosto son periodos con ausencia de lluvias (ver Figura 30).

**Figura 28**

*Duración de la temporada de sequía*

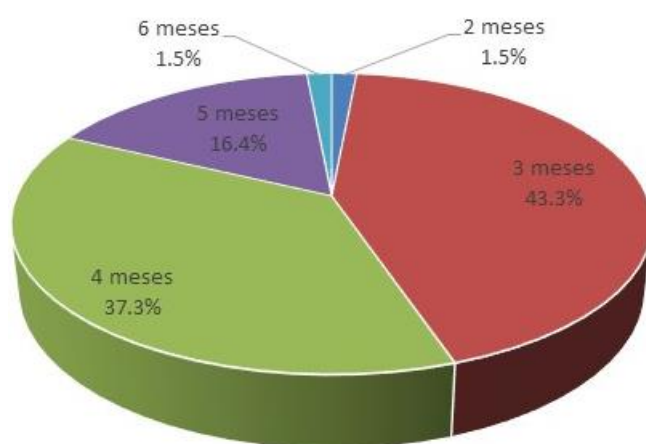


Nota: Elaboracion Propia

Estas definiciones de las épocas del año marcan una influencia gravitante en el periodo de trabajo de los ladrilleros del sector de Piñipampa, puesto que en la temporada de lluvias se hace difícil su trabajo, sobre todo la parte del secado de sus productos que lo hacen a la intemperie y pocos productores poseen tendales cubiertos con techos para cubrirse del excesivo sol del periodo de sequía o las lluvias de la época de lluvias. La Figura 30 y Figura 31, son respuestas que están ligadas a la percepción de la temporada, así por ejemplo, un ladrillero puede declarar que el periodo de lluvias es de 04 meses y de sequía 08 meses, lo que representa para éste productor 04 meses de trabajo limitado o no poseer la posibilidad de trabajar (dedicarse a otras actividades, como la agricultura) y la temporada de sequía, en la cual trabaja como ladrillero.

### Figura 29

*Duración de la temporada de lluvias*



*Nota: Elaboracion Propia*

La Figura 31, muestra que el 80.6% responde que el periodo de lluvias dura entre 3 a 4 meses, correspondiendo con la época de mayores precipitaciones pluviales dadas por SENAMHI (2018) en la Figura 29.

**C. B4: Producción de cerámicos según temporada del año.** Las Tablas 21 y 22, muestran los cerámicos que producen los ladrilleros, la primera en temporada de sequía y la segunda en temporada de lluvias; los ladrilleros de Piñipampa mayoritariamente producen tejas artesanales y mecanizadas haciendo un bloque de 89.6% entre ambas, de éstos, los que producen tejas artesanales el 57.6 % producen por cada quema 5 mil tejas, en resumen, el horno promedio produce 5 millares de tejas por cada quema.

**Tabla 21**

*Tipos de cerámicos producidos en temporada de sequía*

<b>Cerámico por carga de horno</b>	<b>Porcentaje Productores</b>	<b>Número quemas mensuales</b>	<b>Porcentaje productores</b>
Bloquer	9.0%	4	50.0%
		5	50.0%
Ladrillo 18 huecos	1.5%	3	100.0%
		2.2	3.4%
		3	1.7%
		3.6	1.7%
		4	10.2%
		4.5	6.8%
		4.6	1.7%
		4.8	1.7%
		5	57.6%
		5.2	1.7%
Teja Artesanal	88.1%	5.5	5.1%
		8	1.7%
		10	6.8%
		10	6.8%
Teja mecanizada	1.5%	2.8	100.0%

*Nota: Elaboracion Propia*

La temporada de lluvias limita la producción de cerámicos, por lo que los que se aventuran a trabajar en esta época del año son pocos y con dilaciones de tiempo en el proceso productivo por la dificultad de producir, secar y quemar el producto. La Tabla 22, muestra la poca actividad, de ellos los productores de tejas artesanales son los que predominan con 88.1%.

**Tabla 22**  
*Tipos de cerámicos producidos en temporada de lluvias*

<b>Cerámico por carga de horno</b>	<b>Porcentaje productores</b>	<b>Número quemas mensuales</b>	<b>Porcentaje productores</b>
Bloquer	9.0%	0	7.5%
		1	1.5%
Ladrillo 18 huecos	1.5%	0	1.5%
Teja Artesanal	88.1%	0	77.6%
		1	6.0%
		4	1.5%
		5	3.0%
Teja mecanizada	1.5%	1	1.5%

*Nota: Elaboracion Propia*

**4.1.1.4. Parte 4: Combustibles.** Se consulta sobre el tipo y cantidad de los combustibles usados.

**A. C1: Tipo de combustible utilizado en el proceso de quema.** Consultados sobre el tipo de combustible más utilizado en el proceso de fabricación de material cerámico, son los troncos y ramas de eucalipto el combustible más utilizado, el mismo que viene de los alrededores de la localidad de Piñipampa, hasta 2 horas de distancia, el uso preferido de estos combustibles es por el bajo precio y muchas veces son traídos de sus propios terrenos donde tienen plantados esta variedad de árboles (ver Figura 32).

Los entrevistados señalan que no hay mayor diferenciación de uso de combustible utilizado para el encendido y quema de los cerámicos.

**Figura 30**

*Tipo de combustible utilizado*

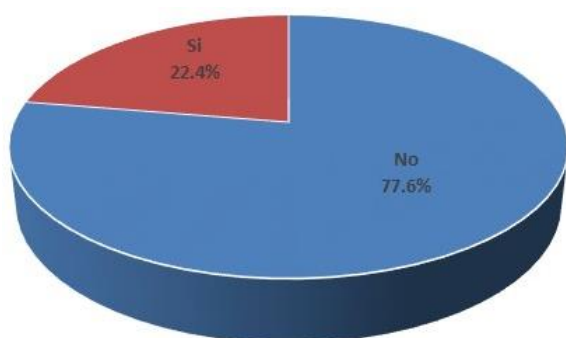


*Nota: Elaboracion Propia*

**B. C2. Cantidad de combustible usado según la temporada de sequía y lluvias.** La Figura 33, muestra las respuestas de los productores en la que señalan que no hay una diferencia sustancial de uso de combustible entre temporadas, el 77.6% indica que no hay mayor diferencia, pero viendo la Tabla 4.13, la mayor parte de ellos no trabaja en la época de lluvias, se dedican a otras actividades diferentes de la producción de materiales cerámicos. Mientras que un 22.4% señalan que si hay diferencias entre la cantidad de combustible destinado a las quemas en la temporada de lluvias el combustible está humedecido por la lluvia, lo que hace que se utilice mayor cantidad de combustible en esta temporada para la misma cantidad de cerámicos destinados a la cocción.

**Figura 31**

*Diferencias de uso de combustible por temporadas estacionales*

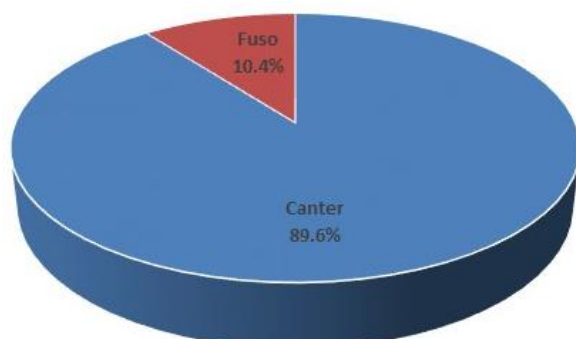


*Nota: Elaboracion Propia*

### **C. C3: Unidad de medición del combustible**

**Figura 32**

*Unidad de medida de combustibles*



*Nota: Elaboracion Propia*

Los productores de cerámicos de Piñipampa, al igual que los productores de cerámicos para la construcción de otras zonas, no compran el combustible (ramas, troncos, aserrín, leña, etc) por peso o volumen, puesto que se hace más compleja la transacción, los vehículos que les venden el combustible está acondicionada la tolva para cargar los combustibles más usados,

como son las ramas de eucalipto. Ellos adquieren el combustible cargado hasta el tope de las unidades vehiculares que los transportan como son los modelos Canter y/o Fuso de Mitsubishi.

El Programa EELA (2012) ha realizado las mediciones de las indicadas unidades vehiculares para el sector ladrillero de San Jerónimo, provincia del Cusco, señalando que la densidad con la que cargan mayoritariamente las ramas de eucalipto va entre 650 hasta 900 kg/m<sup>3</sup>, tomando un valor medio entre estas dos cifras, se tienen 775 kg/m<sup>3</sup>. Por otra parte, el Programa EELA señala que los volúmenes promedio de las unidades vehiculares son de 2.5 y 5.0 m<sup>3</sup> de carga útil de los Canter y Fuso, respectivamente.

La Tabla 23, muestra las unidades de medida de compra de ramas y el peso que corresponde en base a la densidad media de compactación de las ramas de eucalipto.

**Tabla 23**  
*Equivalencias de unidades de medida*

<b>Unidad medida</b>	<b>Volumen de carga (m3)</b>	<b>Peso carga (kg)</b>
Canter	2.5	1937.5
Fuso	5	3875.0

*Nota: Elaboracion Propia*

**D. C3: Cantidad de combustibles utiliza por cada quema.** Consultados sobre la cantidad de combustible (en su equivalente de unidad de medida, los vehículos de carga Canter y Fuso) utilizado para una quema típica, las respuestas son variadas, por lo que se han tomado los valores máximos y mínimos, promedios y la desviación estándar para medir un valor medio representativo, como muestra la Tabla 24, usan 1.6 Canters hasta 1.5 Fusos, aquí hay una condición, los que tienen hornos pequeños o cargas pequeñas miden en Canter y los que tienen hornos más grandes o con mayores cargas de cerámicos, utilizan como medida los Fusos. La tabla 24, muestra también la cantidad de productores que utilizan Canter son el 89.5%

**Tabla 24**  
*Consumo de combustible por quema*

<b>Parámetro</b>	<b>Canter</b>	<b>Fuso</b>
Max	3.50	1.75
Min	1.00	1.20
Promedio	1.58	1.46
Desviación estándar	0.58	0.18
Cantidad hornos	60	7

*Nota: Elaboracion Propia*

Ante la necesidad de discriminar la cantidad de combustible por tipo de cerámico (que está íntimamente ligada al peso de cada cerámico) se ha consultado este aspecto, siendo la respuesta mayoritaria la que muestra la Tabla 25, el 82.1% de los productores (en la Tabla 25, son 55 productores) que trabajan tejas artesanales utilizan como medida el Canter como cantidad de combustible por quema; por otro lado, señalan que utilizan desde 01 Canter para quemar desde 3.0 hasta 5.2 millares de tejas artesanales, hasta 1.9 Canter para quemar 5.5 millares de tejas artesanales; es decir que no todos tienen el mismo consumo de combustible, debido a la técnica de quema, humedad del combustible, humedad del cerámico a quemar (tejas para este caso) y experticia del quemador.

**Tabla 25**  
*Cantidad combustible utilizado por quema*

<b>Cerámico</b>	<b>Unidad medida</b>	<b>Cantidad combustible</b>	<b>Cantidad cerámico</b>	<b>N° productores</b>	<b>Sub Total</b>
Bloquer	Canter	3.5	3	2	3
			5	1	
	Fuso	1.5	3.5	1	2
			4	1	
		1.75	3.7	1	1
Ladrillo 18 huecos	Canter	3.5	6	1	1
Teja Artesanal	Canter	1	3	1	55
			4	2	
			5	1	
			5.2	1	
		1.1	4	1	
			5	4	
		1.2	3	1	
			4	1	

			4.5	1	
			5	5	
			1	1	
		1.3	4	1	
			5	2	
		1.4	3	1	
			5	3	
		1.5	3.5	1	
			5	4	
			2	1	
			4.5	1	
		1.6	5	3	
			5.5	1	
			15	1	
			4.5	1	
		1.7	5	7	
			5.5	1	
			3	1	
			4.5	1	
		1.8	4.6	1	
			4.8	1	
			5	3	
		1.9	5.5	1	
		1.2	10	1	
		1.3	4	1	
	Fuso	1.4	5	1	4
		1.6	5	1	
Teja mecanizada	Canter	1.5	3.2	1	1
Total general				67	67

*Nota: Elaboracion Propia*

**4.1.1.5. Parte 4: Percepción ambiental:** En este tópico se consulta sobre la percepción de los entrevistados sobre asuntos ambientales en relación a su actividad productiva. Las encuestas han sido de difícil respuesta porque para los productores del sector de Piñipampa les es sensible por la multiplicidad de quejas que realizan los ciudadanos por la contaminación que se observa en el momento de la quema, se ven columnas de humo que genera el rechazo de otros ciudadanos ajenos a esta actividad económica.

**A. D1: Nivel de importancia que otorga al ambiente**

**Figura 33***Percepción ambiental de ladrilleros**Nota: Elaboracion Propia*

Consultados por el nivel de importancia que otorgan a temas ambientales, respondieron de la siguiente manera: 11.9% no le da mayor importancia a temas ambientales de su sector, mientras que si tiene alguna, regular o mucha importancia son el 89.1% de los encuestados (ver Figura 35).

**B. D2. Actividad ladrillera afecta al ambiente.** Ante la pregunta de que, si consideran que su actividad afecta al ambiente, respondieron 19.4% de que su actividad no tiene afectación sobre el ambiente, tiene alguna-regular-mucha afectación 68.7% y 11.9% prefirieron no responder a esta consulta.

**Figura 34***Nivel de importancia que otorga a temas ambientales**Nota: Elaboracion Propia*

**C. D3: ¿A que afecta?.** De los que respondieron en forma positiva para reconocer que hay afectación del ambiente por su actividad productiva, se les consultó a que parte del ambiente consideran que afectan, respondieron según muestra la Tabla 26.

**Tabla 26**  
*Percepción de temas ambientales*

<b>Grado de afectación</b>	<b>Aire</b>	<b>Suelo</b>	<b>Agua</b>	<b>Paisaje</b>	<b>Total filas</b>
No responde	3	1			4
Algo	9	6	1	3	19
Mucho	14	1	2	1	18
Nada	11		1	1	13
Regular	13	2	1		16
Total columnas	50	10	5	5	

*Nota: Elaboracion Propia*

50 productores (74.6% de los encuestados) indican que su actividad afecta principalmente al aire, por los gases de combustión que emiten libremente a la atmósfera.

El 14.9% indican que afectan al suelo, esto es así porque los cerámicos que son descartados por algún daño en toda la cadena de producción es vertido en los alrededores, convirtiéndose en escombros que no tienen una buena disposición. El 7.5% indican que afectan directamente al agua y otro 7.5% afectan al paisaje.

**D. Resumen encuestas.** La Tabla 27, muestra el resumen de consultas realizadas a los productores y que obtuvieron mayor cantidad de respuestas con los cuales se realizaron posteriores cálculos.

**Tabla 27**  
*Resumen para cálculos técnicos*

<b>Item</b>	<b>Mayor respuesta</b>
Categoría de productor	Artisanal
Número de hornos por productor	1
Tipos de cerámicos producidos	Teja artesanal
Peso promedio de la teja artesanal	1.5 kg
Capacidad de producción de hornos ladrilleros	4 a 6 millares por quema

Tipo de horno	Parrilla
Tiempo de cocción de los cerámicos	8 a 10 horas
Quemas mensuales	4
Temporada de sequía - trabajo	9 meses
Tipos de cerámicos producidos	5 millares de teja artesanal
Combustible utilizado	Ramas de eucalipto
Unidad de medida	1.58 Canter
Masa de combustible	1937.5 kg/quema

---

*Nota: Elaboracion Propia*

#### **4.1.2. Proceso de quema en horno tradicional.**

La quema se ha realizado en un horno artesanal de 3.30 m de largo, 2.70 m de ancho y 1.60 m de altura, haciendo un área de sección transversal de 8.91 m<sup>2</sup> en la cual se han cargado 5000 tejas artesanales.

#### **4.1.3. Medición de consumo de combustible.**

Para la quema de ladrillos se debió conocer la cantidad de combustible que se utilizó, para ello se tomó peso del combustible que se introdujo al horno cada hora, según modelo de la Tabla 27.

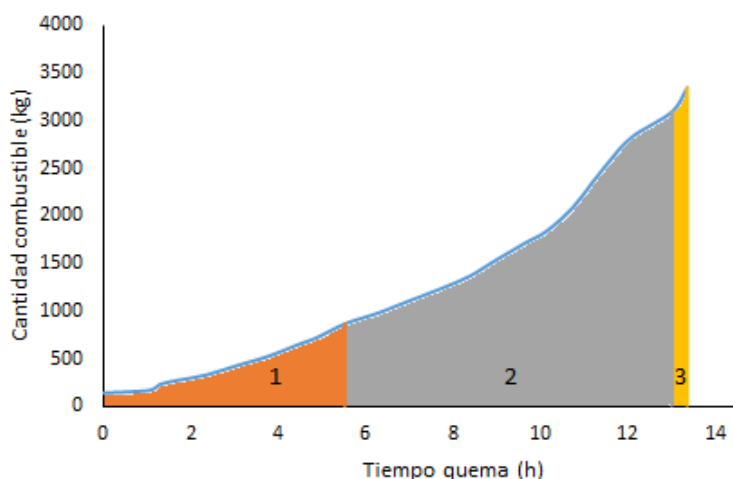
El proceso de quema se ha dado inicio a las 17:10 hs encendiendo ramas de eucalipto que fueron apiladas con anterioridad, para ello se han realizado pesadas de combustible (las que se reportan en el Anexo D y Figura 37). De la Figura 37, la zona 1 corresponde al calentamiento del horno el cual se realiza en forma pausada, con poco combustible, para completar el secado de los cerámicos, pues estos ingresan con una cantidad importante de humedad, la misma que debe ser eliminada paulatinamente y a baja temperatura para evitar el resquebrajamiento de los cerámicos, para la experiencia de quema realizada este proceso duró 05 horas con 51 minutos.

La zona 2 corresponde a la quema de los cerámicos propiamente dicha, donde se debe elevar la temperatura hasta el punto de cocción final que a juicio del quemador debe ser el punto donde se logra “quemar” el cerámico o sinterizar la mezcla, punto en el cual el cerámico tiene propiedades que son irreversibles en cuanto a su macro estructura, por debajo de esta temperatura, una parte del cerámico aún no logra una completa modificación química ni estructural de la mezcla pudiendo revertirse estos procesos, esta es la condición que denota la “mala cocción” de los cerámicos y la posibilidad de que se desintegren por efecto del intemperismo.

La zona 3 es el punto en el cual el quemador dio por culminada la quema, “tapando el horno” luego de 13 horas de quema, a juicio de ellos esta acción es necesaria para hacer que se quemen completamente las tejas que se encuentran en la parte superior del horno y mantener por mayores periodos de tiempo el calor dentro del horno, al mismo tiempo sella la boca de alimentación de combustible.

### Figura 35

*Consumo de combustible en proceso de quema*



*Nota: Elaboracion Propia*

**Figura 36**

*Pesado de ramas para proceso de quema*

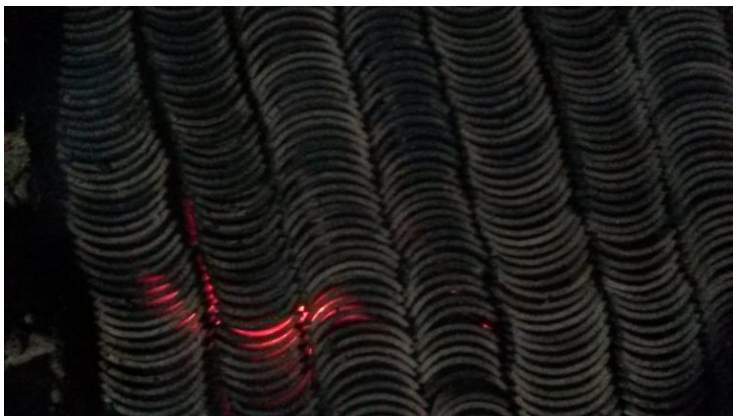


*Nota: Elaboracion Propia*

La Figura 38, muestra el trípode instalado para colgar el cabestrillo en el que se coloca el combustible para la quema, los resultados se aprecian en el Anexo D y Figura 37.

**Figura 37**

*Evidencia de "buena cocción" en ladrilleras artesanales*



*Nota: Elaboracion Propia*

Los quemadores dan por concluida una cocción cuando visualizan en la tapa del horno la incandescencia del cerámico, cuando se masifica esta condición en la mayor parte del horno (ver Figura 39).

#### **4.1.4. Medición de las emisiones gaseosas en una quema típica.**

Las emisiones gaseosas se midieron con el Testo 350, analizador de gases de combustión.

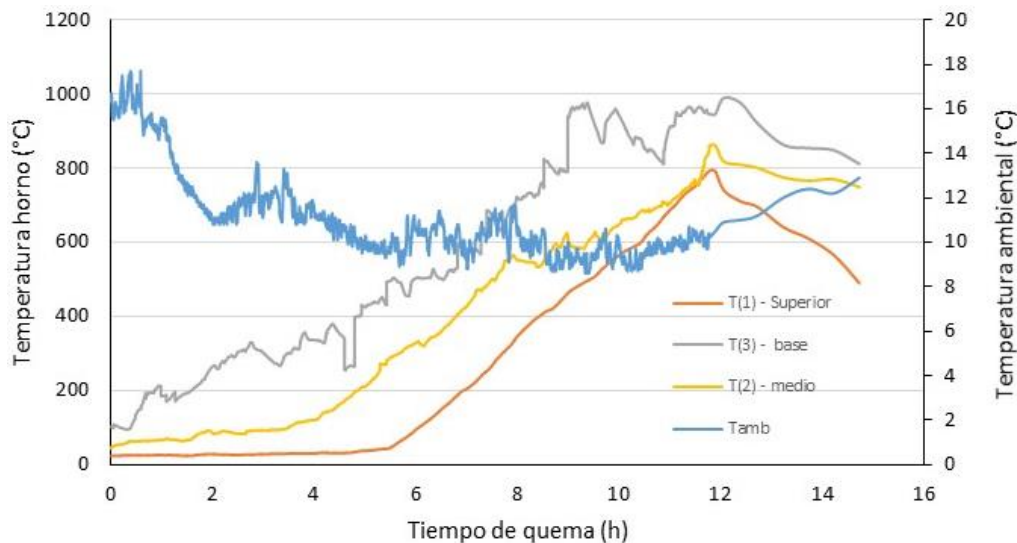
Se realizaron las mediciones en un horno rectangular, los puntos de medición se han realizado de acuerdo a la Figura 17, a en los 05 puntos, el promedio de las 05 mediciones es el promedio que representa a las emisiones gaseosas para la hora indicada, la Figura 40, muestra la colocación de la chimenea portátil en la ubicación número 01 según muestra la Figura 17, correspondiente a un horno rectangular, la chimenea fue construida según muestra la Figura 18, este dispositivo permitió canalizar en forma apropiada los gases de combustión para poder medir con el analizador, sin que éste interfiera con la salida de los gases en el área donde se ha instalado.

#### **Figura 38**

*Chimenea portátil colocada en el punto 01 de medición del horno*



*Nota: Elaboracion Propia*

**Figura 39***Temperaturas de quema*

*Nota: Elaboracion Propia*

De la Figura 41, se observa que la temperatura a lo largo del proceso varía mucho, sobre todo en el punto 3 que estuvo midiendo la temperatura de la base o en cercanía de la cámara de combustión, es irregular porque el ritmo de quema no es el mismo, hay momentos en los que se agota el combustible y a juicio del quemador es momento de incrementar la carga de ramas de eucalipto, en ese momento, gracias a la facilidad de combustión que tienen las hojas combustionan en forma rápida y vigorosa, se consumen las hojas y quedan las ramas que no son tan vigorosas las flamas que generan, razón por la cual la temperatura es oscilante.

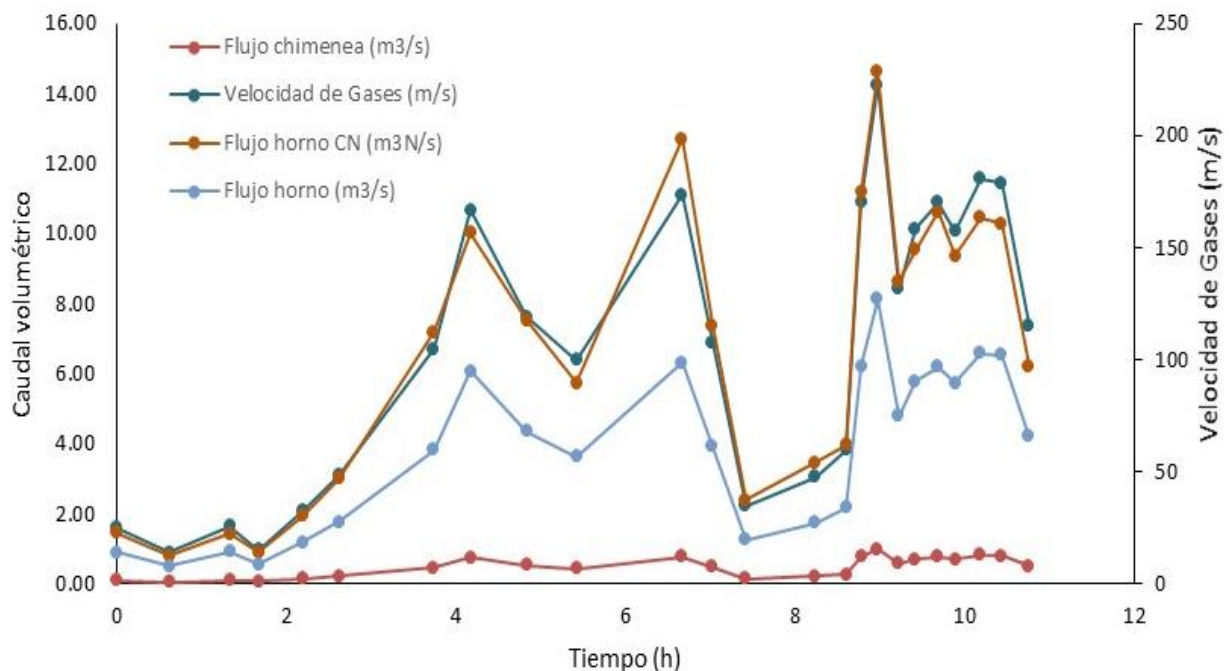
Referente a la temperatura de los puntos 2 y 3 (parte media y superior respectivamente) las temperaturas evolucionan con menos picos o valles en la lectura de la temperatura, porque estos puntos al estar en la parte media y superior los embates de las altas y bajadas de temperatura se amortiguan de mejor manera.

A las 12 horas del quemado, se dio por concluido el proceso, descendiendo paulatinamente la temperatura, momento en el cual se colocan ramas y aserrín en la parte superior del horno para “tapar” el mismo, entre tanto ya no se suministraba combustible por la boca del horno.

En resumen, las tejas quemadas en la experiencia, adquirieron diferentes valores de temperatura, según la ubicación en términos de altura, las tejas de la base lograron una temperatura de 989°C, las intermedias 861°C y las de la parte superior alcanzaron 793°C, estableciéndose una diferencia de temperaturas entre base y tope de 196°C, creando problemas de homogeneidad en el producto final, puesto que un horno industrial tipo túnel posee hasta 30°C. (Heierli y Maithel, 2008).

#### Figura 40

*Flujo volumétrico y velocidad de flujo medios en función del tiempo*



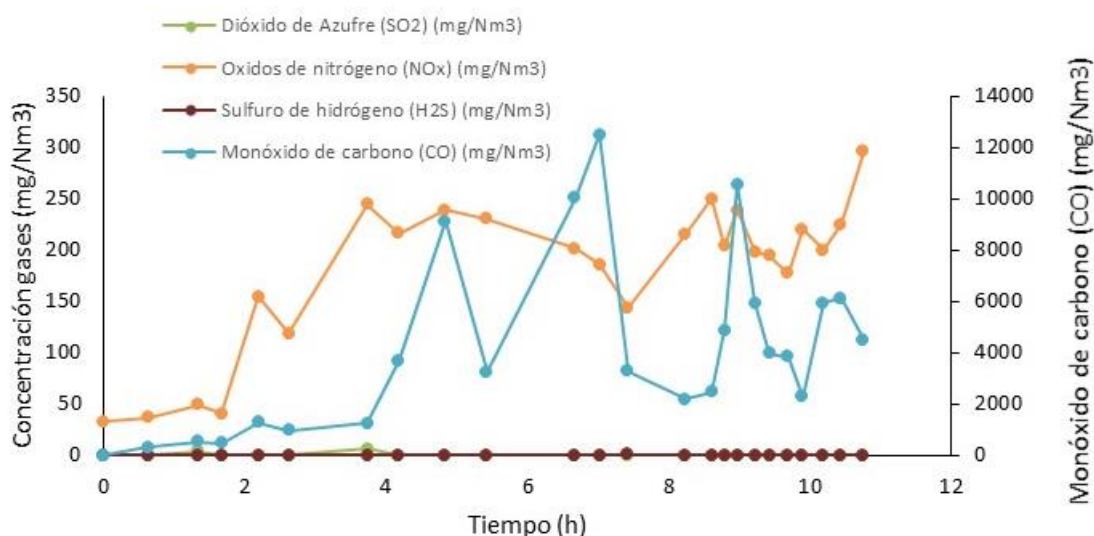
*Nota: Elaboracion Propia*

Como muestra la Figura 42, en relación al caudal volumétrico, se aprecia que en las primeras horas de la quema hay poco caudal, a medida que avanza la quema se incrementa el caudal por la necesidad de mayor temperatura del proceso de quema, pero también se muestra un caudal errático porque no hay mayor control del proceso, puesto que solo se circunscribe al buen juicio del quemador esto adicionado a la ausencia de instrumentos que permitan dicho control.

Se observan los flujos volumétricos emanados por la chimenea que tiene un diámetro de 0.30 m y un área de sección transversal de  $0.071 \text{ m}^2$ , debiendo corregirse para el área de sección transversal total del horno que es de  $8.91 \text{ m}^2$  suponiendo un flujo homogéneo en toda la superficie del horno, las que se muestran con la leyenda de “flujo horno”, mientras que la velocidad se asume idéntica a la de la generada en la chimenea y horno. Adicionalmente a pesar de que no hay uniformidad en las emisiones en toda el área de sección transversal del horno, debe asumirse un valor medio, valor que es mostrado en la Figura 42.

La condición de altura de la localidad de Piñipampa que está a 3121 msnm equivalente a la altura media de la capital de Distrito, Andahuaylillas. (Wikipedia, s.f.).

Para las condiciones normales se dan para una temperatura de  $25^\circ\text{C}$  ( $273.15 \text{ K}$ ), 1 atm de presión y 22.4 L de volumen para un mol de un gas cualesquiera, siendo las condiciones locales diferentes puesto que hay diversos valores de temperatura a lo largo de las mediciones de los gases de chimenea y la presión atmosférica es una función de la altitud, así para los 3121 msnm y una temperatura de  $25^\circ\text{C}$  se tiene una presión media de 0.6987 atm, bajo la ecuación de gases ideales esto corresponde a una modificación del volumen de un mol de una sustancia gaseosa, los mismos que se muestran corregidos en la Figura 42.

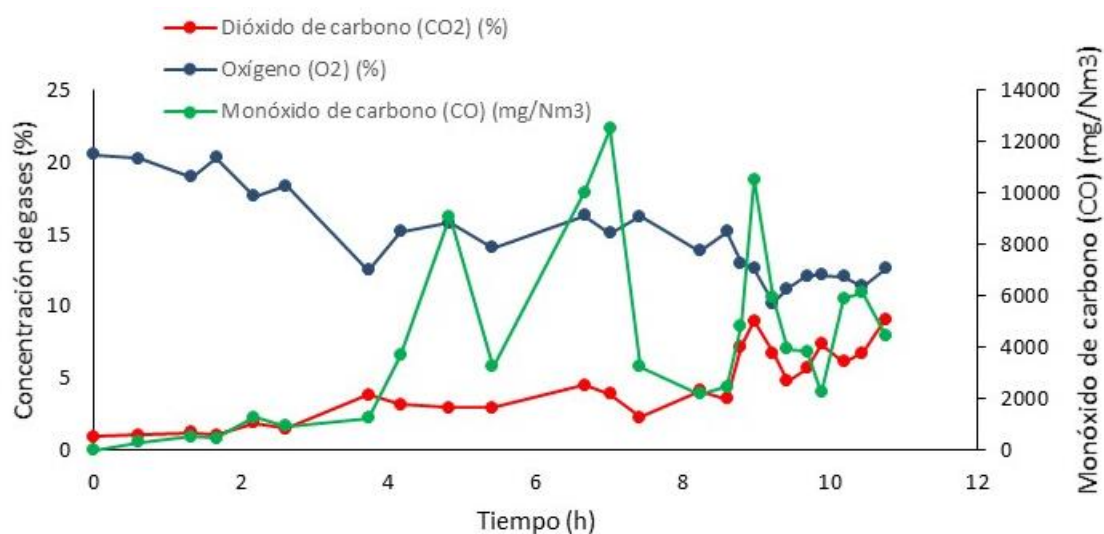
**Figura 41***Emisión de gases contaminantes**Nota: Elaboracion Propia*

La emisión de gases contaminantes del proceso de quema se muestra en la Figura 43, analizando las emisiones de los componentes nitrogenados y de azufre, son de pequeña magnitud frente al monóxido de carbono CO emite hasta  $12505 \text{ Nmg/m}^3$  en la lectura de las 7 hs de iniciado el proceso, a pesar de que los  $\text{NO}_x$  se dan entre  $1300$  a  $2500^\circ\text{C}$  en los procesos de combustión, donde Seoánez (2002) y Prieto (2016) mencionan que dependen de la relación estequiométrica de  $\text{O}_2$  y  $\text{N}_2$  presentes par que se forme el NO, además el  $\text{NO}_2$  es formado por la reacción de  $\text{O}_2$  y el NO, por la termodinámica de formación demanda de elevadas temperaturas para el NO mientras que el  $\text{NO}_2$  formado a partir de la oxidación del NO requiere  $150^\circ\text{C}$  por lo que es poco probable que se forme  $\text{NO}_2$  así es que más del 90% del  $\text{NO}_x$  es NO.

La fuente de nitrógeno para estas reacciones son las del aire y del combustible en forma de compuestos nitrogenados.

**Figura 42**

*Compuestos de carbono en gases de chimenea*



*Nota: Elaboracion Propia*

El dióxido de carbono es considerado como un componente derivado de la oxidación total de los compuestos carbonados a diferencia del monóxido de carbono, el mismo que requiere de  $\frac{1}{2}$  mol de O<sub>2</sub> para oxidar hasta CO<sub>2</sub>, lo que es deseable en un proceso de combustión, la figura 4.24 muestra la evolución de la formación de este gas durante el proceso de quema, en los primeros momentos de la quema hay poca concentración de CO<sub>2</sub> y CO, a medida que avanza la combustión en el horno, se va incrementando, hasta llegar a un tope de 9% de CO<sub>2</sub> a las 8.97 h del proceso de quema y para el CO de 12505 mg/Nm<sup>3</sup> a las 7 hs del proceso de quema, las ecuaciones 2.2, 2.6 y 2.7 donde se combinan el carbono con el oxígeno liberando energía que ayuda al proceso de cocción de los ladrillos, al ser estos los mayores componentes de los combustibles, según explica la Figura 6 y los conceptos que Boubel et al. (1994) explican, donde el tiempo, temperatura y turbulencia influyen para que exista una oxidación parcial o tendiente a la idealizada oxidación total de los compuestos combustibles de la leña de eucalipto, para este caso.

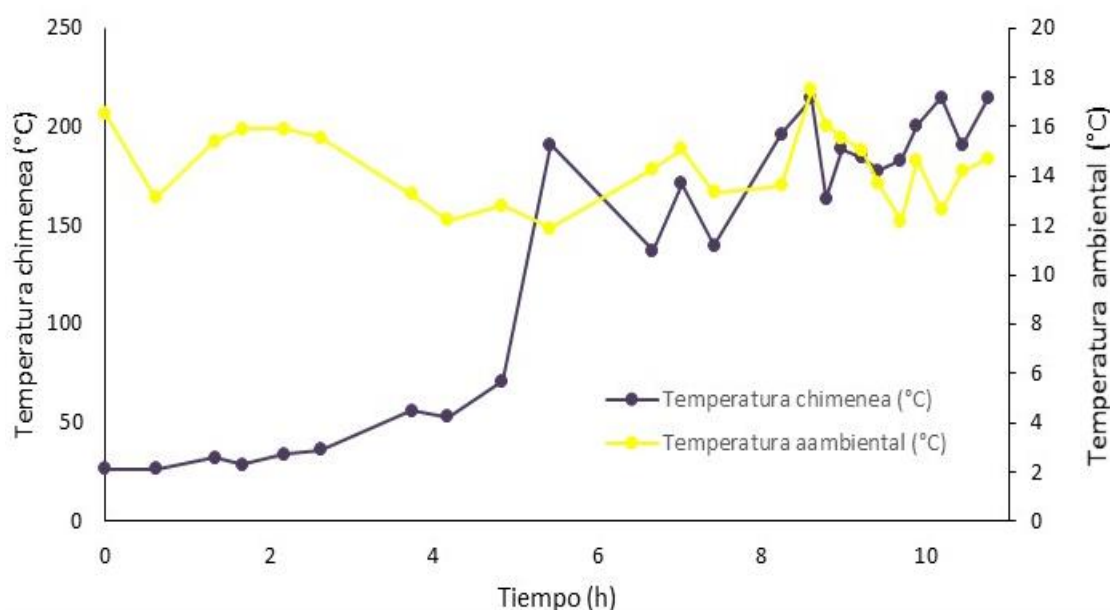
El proceso de quema se lleva a cabo se detalla en la Figura 7 donde se muestran las diversas etapas del proceso de combustión controlada, pero que en un proceso de quema de ramas y madera de eucalipto se repiten en menor proporción, pero son semejantes los mecanismos.

Como se aprecia en la Figura 44, al inicio de la quema hay 20.6% de oxígeno en el aire que sale del horno, de los 21% de O<sub>2</sub>, se ha consumido apenas 0.4% en el proceso de encendido del horno, por la poca masa de combustible presente, la temperatura baja (cercana a la ambiental) que tiene el sistema y por esta razón no hay mayor consumo de O<sub>2</sub> ni generación de CO<sub>2</sub> y CO.

El punto de mayor consumo de O<sub>2</sub> se da a las 9.22 hs, donde desciende hasta 10.2%, para este punto se tiene 6.8% de CO<sub>2</sub> y 5936 mg/Nm<sup>3</sup> de CO, debiéndose tener en cuenta que el O<sub>2</sub> también es consumido por otras especies químicas que se oxidan (NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, etc)

### Figura 43

*Evolución de la temperatura de chimenea y ambiental*



*Nota: Elaboracion Propia*

La Figura 45, muestra la evolución de la temperatura ambiental y de los gases de chimenea, se observa que a medida que progresa la quema de cerámicos, aun cuando la Figura 41, detalla los valores de temperatura interna en el horno, la temperatura de los gases de chimenea son los valores con los cuales se expulsan los gases de combustión a la atmosfera, esto explica la expansión / contracción de un cuerpo o masa de gases según el entorno en el que se encuentra, así por causa de la termodinámica que se explica a través de la ley de gases ideales este comportamiento se da a bajas presiones (señalando que una baja presión es debajo de 1 atm. (Seider et al.,2003).

El volumen de los gases es inversamente proporcional a la presión y directamente proporcional a la temperatura de los gases, por lo tanto, la temperatura dentro del horno, los gases de chimenea y el ambiente define el volumen que adoptarán los gases de combustión según sea las condiciones de presión, volumen y/o temperatura reinantes en un sistema en particular como un horno ladrillero, los gases que emite (gases de chimenea) o su incorporación en la atmosfera circundante o alrededores, como define la termodinámica (Smith et al., 2007).

#### **Figura 44**

*Proceso de medición de gases de combustión en quema típica - Piñipampa*

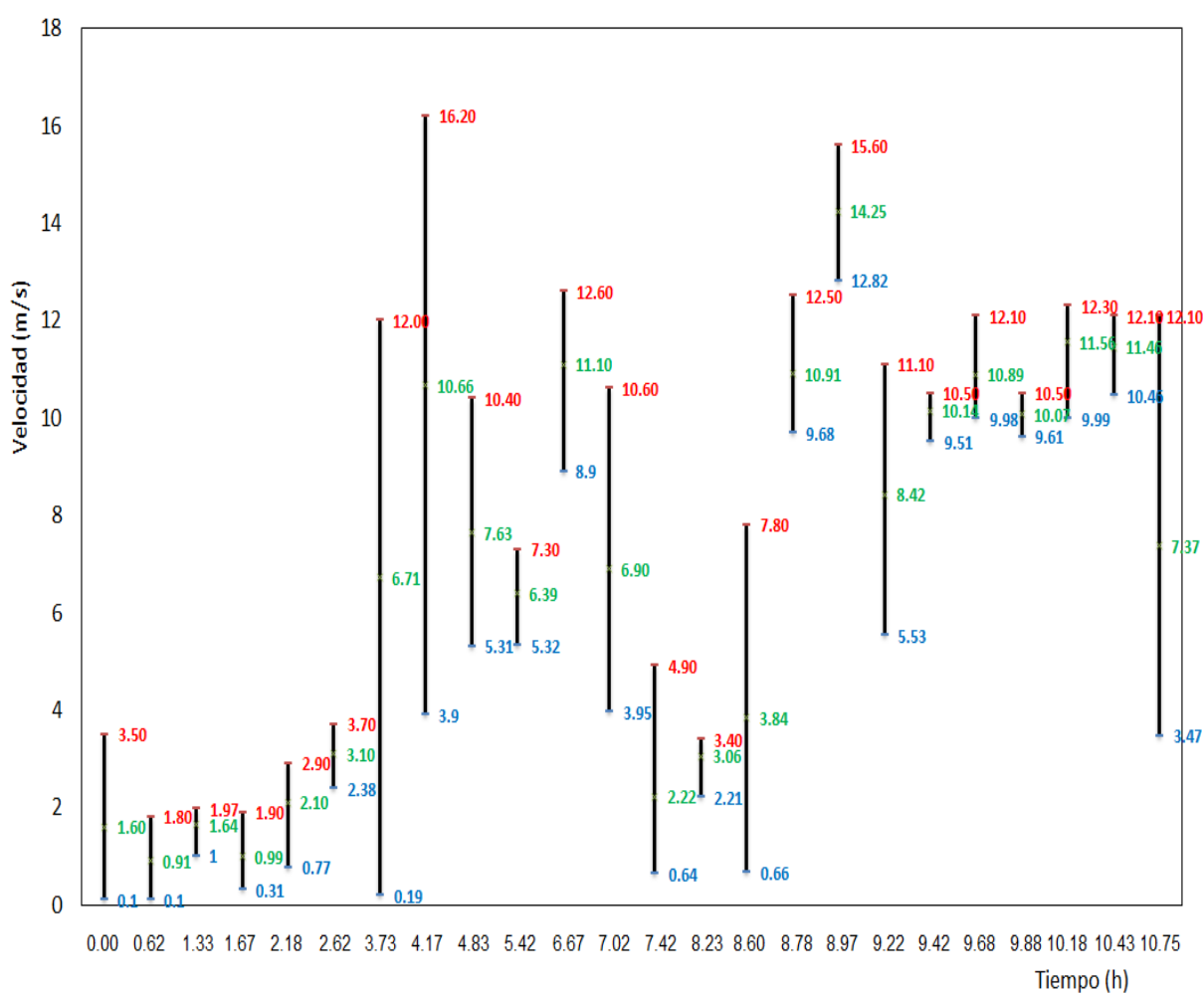


*Nota: Elaboracion Propia*

La Figura 46, muestra el proceso de medición de los gases de combustión de un proceso típico de quema en el sector ladrillero de Piñipampa y muchos otros sectores de producción de materiales cerámicos a nivel nacional, se observa la gran humareda que son los gases de combustión como  $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $CO$ ,  $NO_x$ ,  $SO_2$ ,  $N_2$ ,  $O_2$ , etc., y material particulado que son los sólidos como C que forman el hollín que es visible entre otros (Boubel et al., 1994).

**Figura 45**

*Comportamiento de velocidades en quema*



*Nota: Elaboracion Propia*

La Figura 47, muestra el comportamiento de las velocidades leídas en la chimenea portátil colocada en el horno, los datos de la figura han sido resumidos del Anexo E, en el cual

se muestran todos los parámetros medidos durante el proceso de quema. El proceso de quema no tiene ningún mecanismo de control de los parámetros de operación como la temperatura, flujo de aire, flujo másico del combustible, etc., el horno trabaja a presión atmosférica y succiona aire según las condiciones climáticas y otros factores externos que no se cuantifican, no hay un flujo controlado ni dispersión de la masa de aire y/o gases de combustión durante el proceso de quema. Hay momentos en los cuales los mayores flujos de gases de combustión salen por una sección en particular del horno, vale decir, mucho flujo por un lado ( $0.8520 \text{ m}^3/\text{s}$ ) y poco ( $0.0135 \text{ m}^3/\text{s}$ ) por el otro lado (como muestra el punto 7), el punto de menor flujo representa el 1.5% del mayor flujo, mientras que su promedio tomado de los 05 puntos medidos está ligeramente más cercano al valor máximo, como evidencia el punto 7 (a las 3.73 hs), estos valores muy distantes no pueden ser representados apropiadamente por un único valor.

Por otro lado, el punto 21 (9.88 hs) tiene valores bastante cercanos de flujo volumétrico, así el menor punto ( $9.61 \text{ m}^3/\text{s}$ ) y el máximo ( $10.5 \text{ m}^3/\text{s}$ ) dando como promedio  $10.07 \text{ m}^3/\text{s}$ , habiendo una semejanza entre máximo y mínimo de 91.5% siendo representativo un promedio entre los 05 medidos para este punto, demostrándose que en este momento de la quema hubo homogeneidad en la dispersión de los gases de combustión en toda el área de sección transversal del horno, demostrándose que si puede administrarse la buena práctica en cuanto al control de la quema del horno ladrillero.

Queda como conclusión de que no es conveniente representar con un único valor de flujo volumétrico para el horno por ser bastante disperso el flujo en toda la sección transversal del horno ladrillero. Los hornos industriales poseen chimeneas que colectan los gases de combustión y no tienen los problemas de tiro, poseen temperatura homogénea en toda la sección transversal del horno, según sea el tipo de horno.

**Tabla 28**  
*Emisiones de gases contaminantes*

Parámetro	Concentración gas		Masa contaminante por horno y zona*	
	mg gas/quema	g gas/kg cerámico	kg gas/año-horno	kg gas/año-Piñipampa
Monóxido de carbono (CO)	49,207,000	6.56	1,771.45	141,716.16
Óxidos de nitrógeno (NOx)	2,090,000	0.28	75.24	6,019.20
Óxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	1,102,500	0.15	39.69	3,175.20

\*Procesado del Anexo E.

*Nota: Elaboracion Propia*

La Tabla 29, se trabaja en base a los datos de la Tabla 28, donde muestra los valores de emisiones de los diversos gases para un promedio de 5000 tejas producidas y un peso medio de 1.5 kg/teja, 04 quemas mensuales y en un periodo anual de 09 meses, resultando una emisión total del sector de Piñipampa de 141.716 kg CO/año, 6019.20 kg NO<sub>x</sub>/año y 3175.2 kg SO<sub>2</sub>/año para el sector ladrillero de Piñipampa; donde la masa de CO es fruto de la combustión incompleta de los combustibles, los NO<sub>x</sub> son parte del nitrógeno del combustible y del aire que ha llegado a oxidar y el SO<sub>2</sub>, el contenido de azufre del combustible que ha llegado a oxidarse en el proceso de combustión del horno ladrillero.

**Tabla 29**  
*Factores de emisión de CO<sub>2</sub> de diversas fuentes*

Combustible	Factor de emisión
Gas natural*	2.15 kg CO <sub>2</sub> /Nm <sup>3</sup> de GN
Butano**	2.96 kg CO <sub>2</sub> /kg C <sub>4</sub>
Propano**	2.94 kg CO <sub>2</sub> /kg C <sub>3</sub>
Carbón nacional (España)**	2.30 kg CO <sub>2</sub> /kg carbón
Madera*	2.314 kg CO <sub>2</sub> /kg madera
Papel**	1.785 kg CO <sub>2</sub> /kg papel
Plástico**	2.905 kg CO <sub>2</sub> /kg plástico

\*Oficina Catalana del Canvi Climatic, 2011

\*\*INECC, 2014

*Nota: Elaboracion Propia*

Tomando como referencia los valores hallados de uso de combustibles, de la tabla 4.18 se conoce que se utiliza 1937.5 kg de combustible/quema, para los 5 millares de tejas de 1.5 kg cada una, se tiene una razón de 0.26 kg combustible / kg cerámico, los 80 productores de cerámicos del sector de Piñipampa producen 21600 TM cerámicos/año utilizando 5580 TM combustible/año.

#### 4.1.5. Eficiencia Energética de una quema en horno tradicional.

**4.1.5.1. Consumo específico de energía.** De acuerdo a Rodriguez Rivas Rodriguez Rivas (2009) el poder calorífico superior del *Eucalyptus globulus* es de 4778 kcal/kg mencionado por , con 31% de humedad, la humedad hace que parte de la energía que genera la combustión del combustible se destine a secar las ramas de eucalipto porque evaporar el agua representa pasar de fase líquida a fase vapor, lo que requiere 2442.5 kJ/kg a 25°C (Smith et al., 2007).

**Tabla 30**  
*Cálculo consumo energético horno Piñipampa*

Rubro	Unidades	Precalentamiento	
		Con	Sin
Cantidad tejas	Millares	5	5
Masa tejas	kg/unid	1.5	1.5
Masa tejas	kg/horno	7500	7500
Masa leña	kg	3343	2623
Energía total	MJ	46,112.99	36,181.38
Energía específica	MJ/kg	9.22	7.24

*Nota: Elaboracion Propia*

La Tabla 30, muestra los valores de la Energía Específica para el consumo total de combustible realizado en el proceso de quema en el horno de Piñipampa para la cocción de tejas, dando un total de 9.22 MJ/kg cerámico, comparando con los datos de la Tabla 29, horno

intermitente que va de 2.0 hasta 4.5 MJ/kg cerámico cocido, se puede concluir que se realiza un consumo excesivo de combustible para el mismo propósito, por las siguientes razones:

- Humedad del cerámico verde (crudo)
- Humedad del combustible – ramas de eucalipto
- Prácticas de proceso deficientes
- No hay control de la quema ni instrumentación que soporte este control
- Ausencia de regulación de aire para proceso de quema

Se sustenta en el hecho de tener un consumo energético de 7.24 MJ/kg cerámico cocido descontando el proceso de precalentamiento, aunque teóricamente debería cargarse al horno cerámico verde seco, esto no significa que tenga 0% de humedad, sino una humedad de equilibrio con el ambiente de la zona de secado, 1.99 MJ/kg consume el secado de los cerámicos, se estima que una parte de esta energía no se puede suprimir (EELA - SWISSCONTACT, 2013).

**Tabla 31**  
*Comparación de hornos y uso de energía*

<b>Tipo de horno</b>	<b>Consumo de energía específica (MJ/kg ladrillo cocido)</b>
<b>Hornos continuos</b>	
Horno vertical – VSBK (India, Nepal, Vietnam)*	0.7 – 1.0
Chimenea móvil – BTK (India) *	1.1 – 1.5
Chimenea móvil – BTK (India) *	1.2 – 1.75
Horno túnel (Vietnam, Asia) *	1.4 – 1.6
Horno túnel moderno (Alemania) *	1.1 – 2.5
<b>Hornos intermitentes o por lotes</b>	
Hornos clamp y otros (Asia) *	2.0 – 4.5
Hornos intermitentes (UPME, 2001)	3.6 – 4.5

*Nota:*\*Heierli y Maithel, 2008

#### 4.1.6. Eficiencia energética horno artesanal de Piñipampa.

Hay pocas publicaciones en referencia a la cantidad de energía necesaria para la cocción de un ladrillo con las características de los producidos en la Región Cusco, por ende mucho menos para los producidos en el sector ladrillero de Piñipampa, pero se estima en 1.0 MJ/kg la cantidad de energía requerida para realizar la sinterización de los cerámicos. (EELA - SWISSCONTACT, 2013).

En base a este dato se advierte que los hornos de Piñipampa tienen 10.8% de eficiencia energética.

## 4.2. Contrastación de las hipótesis

### 4.2.1. Hipótesis general

**Ho:** La magnitud de emisiones de gases de combustión no se relacionan significativamente con la eficiencia del proceso de quema del sector ladrillero artesanal de Piñipampa – Cusco.

**Ha:** La magnitud de emisiones de gases de combustión se relacionan significativamente con la eficiencia del proceso de quema del sector ladrillero artesanal de Piñipampa – Cusco.

**Tabla 32**  
*Correlación entre la emisión de gases y eficiencia energética*

		Emisión de gases (g/Nm <sup>3</sup> )	Eficiencia energética
Emisión de gases (g/Nm <sup>3</sup> )	Correlación de Pearson	1	-0.719*
	Sig. (bilateral)		0.000
	Suma cuadrados y productos vectoriales	8539181.625	-6525.143
	Covarianza	371268.766	-283.702
	N	24	24
Eficiencia energética	Correlación de Pearson	-0.719*	1
	Sig. (bilateral)	0.000	

Suma cuadrados y productos vectoriales	-6525.143	9.637
Covarianza	-283.702	0.419
N	24	24

\* La correlación es significativa en el nivel 0.01 (bilateral)

*Nota:* Elaboracion propia

Se rechaza la Ho y acepta la Ha.

La magnitud de emisiones de gases de combustión se relaciona significativamente con la eficiencia del proceso de quema del sector ladrillero artesanal de Piñipampa – Cusco.

#### 4.2.2. Hipótesis específica 1

**Ho:** La cantidad de combustible no se relacionan significativamente con la cocción de una carga de ladrillos artesanales.

**Ha:** La cantidad de combustible se relacionan significativamente con la cocción de una carga de ladrillos artesanales.

**Tabla 33**  
*Correlación entre la cantidad combustible y Cantidad de cerámico*

		Cantidad combustible (kg/quema)	Cantidad cerámico (kg/quema)
Cantidad combustible (kg/quema)	Correlación de Pearson	1	0.467*
	Sig. (bilateral)		0.000
	Suma cuadrados y productos vectoriales	180142673.6	370169905.7
	Covarianza	180142673.6	370169905.7
	N	101	101
Cantidad cerámico (kg/quema)	Correlación de Pearson	0.467*	1
	Sig. (bilateral)	0.000	
	Suma cuadrados y productos vectoriales	370169905.7	3486805396
	Covarianza	370169905.7	37868053.96
	N	101	101

\* La correlación es significativa en el nivel 0.01 (bilateral)

*Nota:* Elaboracion propia

Se rechaza la  $H_0$  y acepta la  $H_a$ .

La cantidad de combustible se relacionan significativamente con la cocción de una carga de ladrillos artesanales.

#### 4.2.3. Hipótesis específica 2

**H<sub>0</sub>:** La cantidad de gases de combustión que se emiten no se relaciona significativamente con el peso de combustible utilizado en una quema típica de un horno ladrillero artesanal

**H<sub>a</sub>:** La cantidad de gases de combustión que se emiten se relaciona significativamente con el peso de combustible utilizado en una quema típica de un horno ladrillero artesanal

**Tabla 34**  
*Correlación entre la cantidad de gases de combustión*

		Peso combustible (kg/h)	Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) (mg/Nm <sup>3</sup> )	Monóxido de carbono (CO) (mg/Nm <sup>3</sup> )	Oxidos de nitrógeno (NO <sub>x</sub> ) (mg/Nm <sup>3</sup> )
Peso combustible (kg/h)	Correlación de Pearson	1	0.933*	0.814*	0.768*
	Sig. (bilateral)		0.000	0.000	0.000
	Suma de cuadrados y productos vectoriales	98676	59930491	2660661	92382
	Covarianza	4290	2605674	115681	4017
	N	24	24	24	24
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) (mg/Nm <sup>3</sup> )	Correlación de Pearson	0.933*	1	0.884*	0.777*
	Sig. (bilateral)	0.000		0.000	0.000
	Suma de cuadrados y productos vectoriales	59930491	41813545347	1882453334	60842340
	Covarianza	2605674	1817980232	81845797	2645319
	N	24	24	24	24
Monóxido de carbono (CO) (mg/Nm <sup>3</sup> )	Correlación de Pearson	0.814*	0.884*	1	0.862*
	Sig. (bilateral)	0.000	0.000		0.000
	Suma de cuadrados y productos vectoriales	2660661	1882453334	108376989	3433749
	Covarianza	115681	81845797	4712043	149293
	N	24	24	24	24
Oxidos de nitrógeno (NO <sub>x</sub> ) (mg/Nm <sup>3</sup> )	Correlación de Pearson	0.768*	0.777*	0.862*	1
	Sig. (bilateral)	0.000	0.000	0.000	
	Suma de cuadrados y productos vectoriales	92382	60842340	3433749	146457

Covarianza	4017	2645319	149293	6368
N	24	24	24	24

\* La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

*Nota:* Elaboracion propia

Se rechaza la  $H_0$  y acepta la  $H_a$ .

La cantidad de gases de combustión que se emiten no se relaciona significativamente con el peso de combustible utilizado en una quema típica de un horno ladrillero artesanal

#### 4.2.4. Hipótesis específica 3

**$H_0$ :** El consumo específico de energía promedio de un proceso de quema tradicional del sector ladrillero artesanal de Piñipampa es  $\mu=3.25$  MJ/kg cerámico cocido.

**$H_a$ :** El consumo específico de energía promedio de un proceso de quema tradicional del sector ladrillero artesanal de Piñipampa es  $\mu\neq 3.25$  MJ/kg cerámico cocido.

**Tabla 35**  
*Análisis estadístico para el consumo específico de energía*

Descripción	Valor
Alfa ( $\alpha$ )	10.0%
Nivel de confianza ( $1-\alpha$ )	90.0%
Z	1.6449
Promedio considerado por $H_0$	3.25
Promedio real ( $\bar{x}$ )	2.63
Desviación estándar (muestra) $\sigma$	0.848
Tamaño muestra (N)	101
Desviación estándar tipificada $\sigma_x$	0.0844
Valor Z tipificado (Z)	-7.35

*Nota:* Elaboracion Propia

Se rechaza la  $H_0$  y acepta la  $H_a$ .

El consumo específico de energía promedio de un proceso de quema tradicional del sector ladrillero artesanal de Piñipampa es  $\mu\neq 3.25$  MJ/kg cerámico cocido.

## V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Las emisiones de gases de la actividad ladrillera artesanal nacional e internacional no ha sido medida porque no se poseen protocolos que puedan utilizarse en el tipo de hornos que poseen, todos los protocolos proponen la medición de los gases de combustión en las chimeneas que solamente poseen las empresas industriales y están fiscalizadas por los órganos de gobierno competentes, pero han habido varios intentos por realizar estas mediciones y determinar la magnitud de emisiones y medición de las eficiencias energéticas que poseen estas tecnologías ancestrales pero a la vez informales, así se tiene que el consumo específico de energía y la eficiencia energética son parámetros investigados por Heierli y Maithel (2008) que propone un rango de señala que el consumo específico de combustible está en el rango de 2.0 a 4.5 MJ/kg cerámico cocido (cuyo promedio es de 3.25 MJ/kg cerámico cocido, valor con el que se compara esta investigación), Piñipampa posee 2.63 MJ/kg cerámico cocido.

EELA – SWISSCONTACT (2016) que indica que la eficiencia energética es del 17% para hornos artesanales de San Jerónimo – Cusco. Para Piñipampa se tuvieron los siguientes datos: el año 2018 la eficiencia era del 13.7% y para el año 2020 se redujo a 8.3%, siendo un valor fluctuante porque no hay uso de una buena práctica manufacturera (PRODUCE, 2010).

El consumo de combustible por cada quema de ladrillos ha sido el punto focal del Programa de Eficiencia Energética de las Ladrilleras Artesanales de América Latina – EELA (2016) y ha establecido de que es una actividad informal que no utiliza patrones establecidos de cantidad de combustible para la producción de un lote de cerámico cocido, mas por el contrario esta depende de la técnica de cada productor ladrillero y del operario que realiza la quema, tipo de combustible, temporada de sequía o lluvias, humedad del combustible y concluye de que utilizando como combustible para todos los hornos el eucalipto, un horno Paulista (Brasil) consume 0.20 kg combustible/kg cerámico cocido de acuerdo a INT-Brasil

(2020) siendo 0.03 kg combustible/kg cerámico cocido de un horno vertical implementado en Vietnam mencionado por Greentech Knowledge Solutions (2012), ambos para hornos intermitentes cerrados y 0.18 kg combustible/kg cerámico cocido de un horno artesanal promedio del sector ladrillero de San Jerónimo – Cusco, Piñipampa utiliza 2.73 kg combustible/kg cerámico por poseer un proceso ineficiente.

Para la pagina web Coalición y Clima Aire Limpio (2016) menciona que “debido a su baja tecnificación, el sector presenta una pobre eficiencia energética; es decir, consume mucho combustible para producir poco, con buena parte de la producción hecha en hornos abiertos. Esto genera altas emisiones, especialmente durante la cocción de ladrillos y tejas”. (p.35)

En relación a la cantidad de gases que emite un horno ladrillero no hay reportes realizados sobre hornos artesanales de tiro directo y abiertos, pero los reportes indican que un horno Paulista (Brasil) emite 380 g CO<sub>2</sub>/kg cerámico cocido descrito por INT-Brasil (2020) 70 g CO<sub>2</sub>/kg cerámico cocido de un horno vertical implementado en Vietnam mencionado por Greentech Knowledge Solutions (2012), ambos para hornos intermitentes cerrados para los hornos artesanal del sector ladrillero de San Jerónimo – Cusco no hay datos disponibles, se estima que el valor alcanzado por los hornos de Piñipampa fueron de 992.5 g CO<sub>2</sub>/kg cerámico cocido por la ineficiencia del proceso, además de emitir otros gases de combustión.

## VI. CONCLUSIONES

- 6.1 Se ha determinado el uso de combustibles en una razón de 0.26 kg combustible/kg cerámico como promedio para el sector ladrillero de Piñipampa.
- 6.2 Las concentraciones de los gases de combustión son de 1.77 TM CO/año-horno, 75.24 kg NO<sub>x</sub>/año-horno y 39.69 kg SO<sub>2</sub>/año-horno con una distribución errática de flujo volumétrico a lo largo del proceso y sección del horno.
- 6.3 La eficiencia energética de un horno tradicional en promedio es de 10.8%.
- 6.4 Las estrategias de reducción se basan en la actuación del Estado, sociedad civil y el sector ladrillero, desarrollándose planes de acción que permitan resolver los problemas productivos del sector ladrillero de Piñipampa – Andahuaylillas que son complejos y que pasan por aspectos tecnológicos, ambientales, sociales, legales y de mercado.

## VII. RECOMENDACIONES

- 7.1 Implementar planes concertados de adecuación tecnológica y ambiental del sector ladrillero de Piñipampa.
- 7.2 Desarrollar un programa de evaluación del proceso de quema para mejorar la eficiencia energética de los hornos artesanales.
- 7.3 Al ser una actividad productiva en curso y con una presencia estadística significativa en la Región Cusco y el país, el Estado debería adoptar medidas técnicas, sociales y administrativas para fiscalizar la actividad, hasta que la misma sea mínima o se reduzca a valores estadísticamente pequeños.

## VIII. REFERENCIAS

- Blog de WordPress Ladrillo (s.f.). *Ladrillo. Fruto de la Tierra, el trabajo, el fuego y del alma de los ladrilleros*. <https://ladrillo.wordpress.com/>
- Boubel, R. W., Fox, D. L., Turner, B., y Stern, A. C. (1994). *Fundamentals of Air Pollution* (3ed.). Academic Press.
- Camacho, R., y Zambrano, S. I. (2009). *Determinación de la Curva de Cocción en la Fabricación de Ladrillos Tipo Comercial de la Comunidad Sucso Aucaylle*. [Tesis de Grado]. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.
- Cambio Climatico Global. (2016). *Cambio Climático Global*. <http://cambioclimaticoglobal.com/>
- Casper, J. K. (2010). *Greenhouse Gases: Worldwide Impacts*. Infobase Publishing.
- Cheremisinoff, N. P. (2002). *Handbook of Air Pollution Prevention and Control*. Butterworth Heinemann.
- Coalición y Clima Aire Limpio. (2016). *Manual de capacitación sector ladrillero en América Latina*. [https://www.swisscontact.org/fileadmin/user\\_upload/COUNTRIES/Peru/Documents/Publications/Manual\\_capacitacion\\_sector\\_ladrillero.pdf](https://www.swisscontact.org/fileadmin/user_upload/COUNTRIES/Peru/Documents/Publications/Manual_capacitacion_sector_ladrillero.pdf)
- Condori Apaza, M. (2013). Impactos socioambientales por la fabricación de ladrillos en Huancayo. *Apuntes de Ciencia y Sociedad*, 3(2), 117-123, <http://dx.doi.org/10.18259/acs.2013015>
- Condori, M. (2016, Setiembre 15). Impactos socioambientales por la fabricación de ladrillos en Huancayo. *Apuntes de Ciencia y Sociedad*, 3(2), 117-123, <http://dx.doi.org/10.18259/acs.2013015>
- Consejo Nacional del Ambiente CONAM, Dirección General de Salud Ambiental DIGESA. (2006). *Plan "A Limpiar el Aire"*. CONAM-DIGESA.
- Decreto Supremo 074-2001-PCM. (2001). *Reglamento de Estandares de Calidad Ambiental del Aire*.

- Dominguez, H. (2004). *Nuestra Atmosfera: Como Comprender Los Cambios Climaticos*. Edit. Lectorum.
- Economopoulos, A. P. (2002). *Evaluación de Fuentes de Contaminación de Aire*. Lima. Serie Tecnológica Ambiental de la Organización Panamericana de la Salud.
- EELA - SWISSCONTACT. (2012). *Programa de Eficiencia Energética para Ladrilleras Artesanales de América Latina - EELA*.  
<http://www.redladrilleras.net/assets/files/f6057967a43316df30ee8adf67b72d50.pdf>
- EELA - SWISSCONTACT. (2013). *Red Ladrilleras. Programa de Eficiencia Energética en Ladrilleras de América Latina – EELA*. <http://www.redladrilleras.net>
- EELA - SWISSCONTACT. (2015). *Manual de Hornos Eficientes en la Industria Ladrillera*. Lima. Programa EELA.
- EELA - SWISSCONTACT. (2016). *Ficha Técnica Horno Artesanal. Fact Sheet Horno Artesanal, Lima*. <http://redladrilleras.net>
- EELA - SWISSCONTACT. (2016). *Programa de Eficiencia Energética en Ladrilleras de América Latina - EELA*. <http://www.redladrilleras.net>
- EELA - SWISSCONTACT. (2016). *Programa de Eficiencia Energética en Ladrilleras de América Latina - EELA*. <http://www.redladrilleras.net>
- EPA. (1994, Setiembre). *Method 2—Determination of Stack Gas Velocity and Volumetric Flow Rate (Type S Pitot Tube)*.  
<https://www3.epa.gov/ttnemc01/qahandbook3/qaiii%201994/qa%20vol%20iii%20-%20sept%201994%20m1.pdf>
- EPA. (2012). *Guidelines for the Assessment and Management of Sites Impacted by Hazardous Ground Gases*. <http://www.epa.nsw.gov.au/resources/clm/120932GroundGas.pdf>
- EPA-600/R-05/123a. (2005). *Guidance for Evaluating Landfill Gas Emissions for Closer or Abandoned Facilities*.  
<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/P1000BRN.txt?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=2000%20Thru%202005&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&UseQField=&IntQFieldOp=0&ExtQField>

- Fanzincani, E. (1992). *Tecnología Cerámica de los Ladrillos* (3ra. ed.). Italia. Faenza Editrice Iberica S.L.
- Gallego Picó, A., Gonzáles Fernández, I., y Sánchez Gimeno, B. (2012). *Contaminación atmosférica*. UNED - Universidad Nacional de Educación a Distancia. <http://www.ebrary.com>
- García, C., Vaca, M., y Talero, G. (2013). Aprovechamiento de Biomasa Peletizada en el Sector Ladrillero en Bogotá-Colombia. *Análisis Energético y Ambiental. Información tecnológica*, 24(3), 115-120. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642013000300013>
- Greentech Knowledge Solutions. (2012). *Brick Kilns Performance Assessment y A Roadmap for Cleaner Brick Production in India*. New Delhi.
- Guerrero, G. G., Espinel, B. E., y Sánchez, A. H. (2017). Análisis de Temperatura Durante la Cocción de Ladrillos Macizos y sus Propiedades Finales. *Revista Tecnura*, 21(51), 118-131. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2017.1.a09>
- Heierli, U., y Maithel, S. (2008). *Brick by brick: the Herculean task of cleaning up the Asian brick industry*. Berne, Switzerland: Natural Resources and Environment Division of Swiss Agency for Development and Cooperation.
- Hernandez, R., Fernandez, C., y Baptista, P. (2006). *Metodología de la Investigación* (4ta ed.). McGraw Hill Interamericana.
- INDECI. (04 de enero de 2019). *Instituto de Defensa Civil*. <https://www.indeci.gob.pe/>
- INDECOPI. (1978). *Norma Técnica Peruana 331-017. Elementos de Arcilla Cocida. Ladrillos de Arcilla Usados en Albañilería. Requisitos*. INDECOPI.
- INECC. (2014). *Factores de emisión para los diferentes tipos de combustibles fósiles y alternativos que se consumen en México. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático - INECC y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales - SEMARNAT, Coordinación General de Cambio Climático y Desarrollo Bajo en Carbono*. La SEMARNAT.
- Instituto Nacional de Ecología. (2002). *Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990 - 2002. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales - México*. Instituto Nacional de Ecología. SEMARNAT.

- INT-Brasil. (Abril de 2020). *Red de Ladrilleras*.  
<http://www.redladrilleras.net/assets/files/f62be12f6d723c865c4c314889cf54aa.pdf>
- Jiménez, B. E. (2005). *La Contaminación Ambiental en México: causas, efectos y tecnología apropiada*. Limusa - Noriega Editores.
- Ley N° 28015. (2003). *Ley de Promoción y Formalización de la Micro y Pequeña Empresa*. Diario Oficial El Peruano.
- Manahan, S. E. (2007). *Introducción a la Química Ambiental*. Reverté.
- MINAM. (04 de enero de 2019). *Ministerio del Ambiente - MINAM*.  
<https://www.gob.pe/minam>
- MINEM. (04 de enero de 2019). *Ministerio de Energía y Minas*. <https://www.gob.pe/minem>
- Ministerio de la Producción. (2010). *Guía de Buenas Prácticas para Ladrilleras Artesanales*. El Ministerio.
- Ministerio de Transportes Comunicaciones Vivienda y Construcción. (2006). *Norma técnica de edificación E-070, Albañilería. RESOLUCIÓN MINISTERIAL N° 011-2006-VIVIENDA*. Lima, Perú: El Ministerio.
- MINSA - DIGESA. (2005). *Inventario de Emisiones de Fuentes Fijas Cuenca Atmosférica de la Ciudad de Cusco. Ministerio de Salud - Dirección General de Salud Ambiental*. DIGESA.
- MINSA. (04 de enero de 2019). *Ministerio de Salud*. <https://www.gob.pe/minsa/>
- MP. (04 de enero de 2019). *Ministerio Público - Fiscalía de la Nación*.  
[https://www.mpf.n.gob.pe/fiscalias\\_especializadas/](https://www.mpf.n.gob.pe/fiscalias_especializadas/)
- Municipalidad Provincial de Quispicanchi. (04 de enero de 2019). *Municipalidad Provincial de Quispicanchi*.  
[https://www.peru.gob.pe/Nuevo\\_Portal\\_Municipal/portales/Municipalidades/785/pm\\_inicio.asp](https://www.peru.gob.pe/Nuevo_Portal_Municipal/portales/Municipalidades/785/pm_inicio.asp)
- Municipalidad Provincial del Cusco - Sub Gerencia de Desarrollo Urbano. (22 de octubre 2013). *Plan de Desarrollo Urbano del Cusco 2013 - 2023*.  
<http://www.cusco.gob.pe/plan-de-desarrollo-urbano-del-cusco-2013-2023/>

- Nevers, N. d. (1998). *Ingeniería de control de la contaminación del aire*. Mexico DF: McGraw-Hill Interamericana. <http://www.ebrary.com>
- OEFA. (04 de enero de 2019). *Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental*. <https://www.oefa.gob.pe/>
- Oficina Catalana del Canvi Climatic. (2011). *Guía práctica para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)*. Generalitat de Catalunya, Comisión Interdepartamental de Cambio Climático. El Ayuntamiento de Cataluña.
- Olivera, S. M., y Reynaga, Y. (2010). *Estudio comparativo del uso de Combustible en el Proceso de Cocción en Hornos Ladrilleros*. [Tesis Grado]. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.
- PNP. (04 de enero de 2019). *Policía Nacional del Perú*. [https://www.policia.gob.pe/regiones\\_direccionesp.html](https://www.policia.gob.pe/regiones_direccionesp.html)
- PRAL. (s.f.). *Estudio Diagnostico sobre las Ladrilleras Artesanales en el Perú*. Departamentos Puno, Cajamarca, Trujillo, Lambayeque, Piura, Ayacucho, Lima, Tacna, Arequipa y Cusco. Programa Regional de Aire Limpio (PRAL) - Ministerio de la Producción.
- Prieto, I. (16 de noviembre 2016). *Open Course Ware*. [http://ocw.uniovi.es/pluginfile.php/1015/mod\\_resource/content/1/1C\\_C12757\\_0910/04\\_GT17\\_Reducccion\\_de\\_NOX\\_en\\_humos.pdf](http://ocw.uniovi.es/pluginfile.php/1015/mod_resource/content/1/1C_C12757_0910/04_GT17_Reducccion_de_NOX_en_humos.pdf)
- PRODUCE. (22 de abril 2010). *Guía de buenas prácticas manufactureras para ladrilleras artesanales*. Ministerio de la Producción - Despacho Vice Ministerial de MYPE e Industria, Lima. <http://spij.minjus.gob.pe/graficos/Peru/2010/abril/21/RM-102-2010-PRODUCE.pdf>
- PRODUCE. (04 de enero de 2019). *Ministerio de la Producción*. <http://www.produce.gob.pe/index.php>
- PUCCh. (s.f.). *Clasificación de las Fuentes de emisiones*. [http://www7.uc.cl/sw\\_educ/contam/cont/cont07.htm](http://www7.uc.cl/sw_educ/contam/cont/cont07.htm)
- Pumacahua, D., y Vargas, M. A. (2007). *Formulación de Mezcla para la Producción de Ladrillos*. [Tesis de Grado]. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco.

- R.M. 026-2000-ITINCI/DM. (2000). *Protocolos de Monitoreo de Efluentes Líquidos y Emisiones Atmosféricas*. El Peruano.
- Ramseur, J., Parker, L., y Yacobucci, B. (2008). *Greenhouse Gases: Management, Reduction and Impact*. New York: Novinka Books.
- Real Academia de la Lengua Española. (25 de septiembre 2016). *Diccionario de la Lengua Española*. <http://dle.rae.es/?id=1L3KU50|1L4xmvc>
- Rodriguez Rivas, A. (2009). *Estudio de valoración energética de combustibles forestales para la prevención de incendios forestales en la Sierra de la Primavera (Jalisco, México) mediante calorimetría de combustión y ensayos de inflamabilidad*. Universidad de Santiago de Compostela - Facultad de Física. Santiago de Compostela: La Universidad.  
<https://books.google.com.pe/books?id=EsbHYR4quZkC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>
- Rojas, O. M., y Villabona, C. A. (2007). *Elaboración Plan de Manejo Ambiental en la Ladrillera Bautista Cáceres Ltda.* [Tesis de Grado]. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga.
- Romo Aguilar, M., Córdova Bojórquez, G., y Cervera Gómez, L. (2001). Estudio urbano-ambiental de las ladrilleras en el municipio de Juárez. *Estudios fronterizos*, 5(9), 9-34. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-69612004000100001](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-69612004000100001)
- Sbarato, D., y Sbarato, V. M. (2006). *Contaminación del aire*. Edit. Brujas. <http://www.ebrary.com>
- Seider, W. D., Seader, J. D., y Lewin, D. R. (2003). *Product and Process Design Principles. Synthesis, Analysis and Evaluation* (2nd ed.). John Wiley and Sons Inc.
- Seinfeld, J. H., y Pandis, S. N. (1998). *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*.
- SENAMHI. (23 de marzo 2018). *Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú*. <http://www.senamhi.gob.pe/?p=lluvia-acumulada>
- Seoáñez, C. M. (2002). *Tratado de la contaminación atmosférica: problemas, tratamiento y gestión*. Mundi-Prensa. <http://www.ebrary.com>

- Smith, J., Van Ness, H., y Abbott, M. (2007). *Introducción a la Termodinámica para Ingeniería Química* (7ma. ed.). McGraw Hill.
- Solís Segura, L. M., y López Arriaga, J. A. (2003). *Principios Básicos de Contaminación Ambiental*. Universidad Autónoma de México.
- Studio Press. (Mayo de 2012). Pollution Pollution. Retrieved Noviembre 17, 2016, from Let's Go Gren To Control Pollution: <http://www.pollutionpollution.com/2012/05/brick-kiln-pollution.html>
- SUNAFIL. (04 de enero de 2019). *Superintendencia Nacional de Fiscalización Laboral*. <https://www.sunafil.gob.pe/funciones.html>
- University of Kansas Medical Center. (s.f.). *Las Fuentes de Área de Emisiones Atmosféricas*. <http://wichita.kumc.edu/Documents/wichita/wire/Las-Fuentes-de-Area-de-Emisiones-Atmosfericas.pdf>
- UPME. (2001). *Determinación de la Eficiencia Energética del Subsector Industrial de Ladrillo, Vidrio y Cerámica. Ministerio de Minas y Energía - República de Colombia, Unidad de Planeación Minero Energética - UPME*. El Ministerio.
- Valverde Vera, M., Bances Zapata, E., Rojas Bardalez, A., y Rodriguez Rodriguez, B. (2004). *Impacto Ambiental Producido por la Fabricación de Ladrillos en el Valle del alto Mayo - San Martín*. [Informe de Investigación] Universidad Nacional de San Martín, Moyobamba.
- Wikipedia. (s.f.). Distrito de Andahuaylillas. [https://es.wikipedia.org/wiki/Distrito\\_de\\_Andahuaylillas](https://es.wikipedia.org/wiki/Distrito_de_Andahuaylillas)

**IX. ANEXOS**

ANEXO A: Encuesta al sector ladrillero.

ANEXO B: Matriz de consistencia

ANEXO C: Validación de instrumentos

ANEXO D: Consumo de combustible en quema de tejas

ANEXO E: Resumen de datos monitoreo quema tejas

**ANEXO A: Encuesta al sector ladrillero.****Encuesta****UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLAREAL  
ENCUESTAS DE UNIDADES PRODUCTIVAS – SECTOR LADRILLERO****INTRODUCCIÓN**

Buenos días (Tardes/noches), mi nombre es *[Nombre completo]* y mi compañero es *[Nombre completo]*. Somos investigadores de la Universidad Nacional Federico Villareal, realizamos la presente encuesta para elaborar una tesis para la Maestría en Gestión Ambiental, queremos medir la eficiencia energética y el nivel de emisiones gaseosas.




Conocedores de la problemática de este sector queremos medir el nivel de emisiones que se generan por causa de las ladrilleras, para poder ver el grado de emisiones que realizan, por esta razón quisiéramos hacerle algunas preguntas sobre la producción de ladrillos, tejas, uso de combustibles para las quemadas y otros temas asociados. Todas las respuestas que usted nos brinde son de carácter confidencial y serán utilizadas sólo para efectos de la tesis de maestría. Son preguntas de respuesta rápida que no le quitarán mucho tiempo, calculamos que serán aproximadamente 10 a 15 minutos. Su colaboración será muy importante para la presente investigación. ¿Estaría dispuesto a responder unas preguntas? ¿Tiene algunas dudas o podemos empezar con la encuesta?

**PARTE 1**

Para ser llenada por el entrevistador al inicio/final de la encuesta	
Sobre la unidad productiva	Encuesta
Región: _____ Provincia: _____ Localidad/municipio: _____ Dirección o punto de referencia de la unidad productiva: _____	1. Visita Fecha/mes/año: ____/____/____ Hora de inicio: ____:____ Hora de finalización: ____:____
Categoría del productor* <sup>(1)</sup> : _____	Nombre del entrevistado:.....
<b>*1)Códigos para la categoría del productor</b>	
1 → Artesanal <i>(Si procesan los ladrillos y/o tejas sin ayuda de maquinaria electromecánica)</i>	2 → Mecanizado <i>(Si cuentan con mecanización de partes o todo el proceso productivo de ladrillos y/o tejas)</i>
<b>Equipo de entrevistadores</b>	
Propiedad Ladrillera: <input type="checkbox"/> Dueño del terreno <input type="checkbox"/> Alquila solamente terreno <input type="checkbox"/> Alquila terreno y ladrillera	Formalización: La ladrillera cuenta con: <i>Información obtenida por conversación sin preguntar directamente</i> <input type="checkbox"/> Concesión minera <input type="checkbox"/> Licencia de funcionamiento <input type="checkbox"/> Registro de contribuyente <input type="checkbox"/> Ninguno
	Nombre entrevistador 1: _____ Nombre entrevistador 2 (opcional): _____

**PARTE 2**

Preguntas dirigidas a la persona con mayor conocimiento sobre la producción ladrillera		Saltar para ir a la pregunta
<b>A. Productos y hornos</b>		
A1	¿Cuántos hornos tiene? _____ horno(s)	→ A2

A2	<p>¿Qué tipo*<sup>3)</sup> de cerámica produce en orden de mayor a menor producción?  <i>Anota el código del tipo de cerámica más producido (durante todo el año) primero y los demás tipos según la cantidad producida en orden correlativo decreciente.</i></p>	<p>1. _____  2. _____  3. _____  4. _____  5. _____  6. _____  → _____ productos diferentes</p>	<p style="text-align: center;">*3) Códigos de los tipos de cerámica</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr> <td style="width: 25%;">A. Ladrillo kk artesanal</td> <td style="width: 25%;"></td> <td style="width: 25%;">F. Pastelero</td> <td style="width: 25%;"></td> </tr> <tr> <td>B. Teja artesanal</td> <td></td> <td>G. Bloqueta</td> <td></td> </tr> <tr> <td>C. Teja mecanizada</td> <td></td> <td>H. Pandereta</td> <td></td> </tr> <tr> <td>D. Ladrillo skk 18 huecos cara vista</td> <td></td> <td>I. Bloquer</td> <td style="text-align: center;"></td> </tr> <tr> <td>E. Ladrillo skk 18 huecos rugoso</td> <td></td> <td>J. Pastelero mecanizado</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				A. Ladrillo kk artesanal		F. Pastelero		B. Teja artesanal		G. Bloqueta		C. Teja mecanizada		H. Pandereta		D. Ladrillo skk 18 huecos cara vista		I. Bloquer		E. Ladrillo skk 18 huecos rugoso		J. Pastelero mecanizado			→ A3
A. Ladrillo kk artesanal		F. Pastelero																										
B. Teja artesanal		G. Bloqueta																										
C. Teja mecanizada		H. Pandereta																										
D. Ladrillo skk 18 huecos cara vista		I. Bloquer																										
E. Ladrillo skk 18 huecos rugoso		J. Pastelero mecanizado																										
A3	<p>¿Cuál es la capacidad del(os) horno(s)?  <i>Puede ser quemado 1 o varios productos a las vez</i></p>	<p style="text-align: center;">Horno 1:</p> <p>A. _____ millares de ladrillos/tejas tipo*<sup>3)</sup> _____  B. _____ millares de ladrillos/tejas tipo*<sup>3)</sup> _____</p>	<p style="text-align: center;">Horno 2:</p> <p>A. _____ millares de ladrillos/tejas tipo*<sup>3)</sup> _____  B. _____ millares de ladrillos/tejas tipo*<sup>3)</sup> _____</p>	<p style="text-align: center;">Horno 3:</p> <p>A. _____ millares de ladrillos/tejas tipo*<sup>3)</sup> _____  B. _____ millares de ladrillos/tejas tipo*<sup>3)</sup> _____</p>	→ A4																							
A4	<p>¿Qué tipo de horno tiene?</p>	<p>1 _____ Artesanal Malecón  2 _____ Artesanal tiro invertido  3 _____ Artesanal de parrilla  4 _____ Otros: _____</p>	<p>1 _____ Artesanal Malecón  2 _____ Artesanal tiro invertido  3 _____ Artesanal de parrilla  4 _____ Otros: _____</p>	<p>1 _____ Artesanal Malecón  2 _____ Artesanal tiro invertido  3 _____ Artesanal de parrilla  4 _____ Otros: _____</p>	→ A5																							
A5	<p>¿Cuáles son las dimensiones internas del horno?  <i>(zona de carga de cerámicos)</i></p>	<p>1 Circular  Diámetro _____ m  Alto _____ m</p> <p>2 Rectangular  Largo _____ m  Ancho _____ m  Alto _____ m</p>	<p>1 Circular  Diámetro _____ m  Alto _____ m</p> <p>2 Rectangular  Largo _____ m  Ancho _____ m  Alto _____ m</p>	<p>1 Circular  Diámetro _____ m  Alto _____ m</p> <p>2 Rectangular  Largo _____ m  Ancho _____ m  Alto _____ m</p>	→ A6																							

A6 - A9	A6: ¿Cuántas horas requiere para quemar los cerámicos?  _____ h	A7: ¿Cuáles son las mayores dificultades para la quema? (02 dificultades)  _____ _____	A8: ¿Cuáles son las mayores ventajas de su sistema de quema? (02 ventajas)  _____ _____	A9: Cuántas personas queman los cerámicos?  _____ personas	→ Bloque B

### B. Quemados y producción

B1	¿Cada mes realiza la misma cantidad de quemados?	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No <i>si la respuesta es NO, pase a la pregunta B3</i>										→ B2 → B3
B2	¿Cuántos quemados al mes realiza?	_____ quemados <u>mensuales</u>					_____ quemados <u>anuales</u> (para ser llenado por el encuestador)					→ B3
B3	¿Qué meses del año es la época de lluvias y de sequía? <i>Señalar los intervalos de meses Ejm. De marzo a octubre</i>	Época de sequía: de _____ (mes) a _____ (mes) Total de meses _____ (para ser llenado por el encuestador)					Época de lluvias: de _____ (mes) a _____ (mes) Total de meses _____ (para ser llenado por el encuestador)					→ B4
B4	¿Cuántos millares ladrillos y/o tejas mensuales produce en temporada de sequía? <i>Si sólo conoce la producción anual, el encuestador anotará este dato y anotará la "producción anual" al lado en cada una de las cuadrículas al lado derecho.</i>	Tipo A:	Tipo B:	Tipo C:	Tipo D:	Tipo E:	Tipo F:	Tipo G:	Tipo H:	Tipo I:	Tipo J:	→ B5
		<input type="checkbox"/> No sabe										

B5	¿Cuántos millares ladrillos y/o tejas mensuales produce en temporada de lluvias? Si sólo conoce la producción anual, el encuestador anotará este dato y anotará la “producción anual” al lado en cada una de las cuadrículas al lado derecho.	Tipo A:	Tipo B:	Tipo C:	Tipo D:	Tipo E:	Tipo F:	Tipo G:	Tipo H:	Tipo I:	Tipo J:	→ Bloque C
		<input type="checkbox"/> No sabe										

C. Combustibles															
C1	¿Qué combustibles* <sup>4)</sup> utiliza para el encendido, secado y para la quema? <i>Puede existir varias respuestas</i>	Encendido			Quema				Secado				→ C2		
		<input type="checkbox"/> Petróleo	<input type="checkbox"/> Aserrín	<input type="checkbox"/> Troncos de madera	<input type="checkbox"/> Gas natural	<input type="checkbox"/> Carbón mineral	<input type="checkbox"/> Gas licuado propano (GLP)	Otro:..... .....	<input type="checkbox"/> Petróleo	<input type="checkbox"/> Aserrín	<input type="checkbox"/> Troncos de madera	<input type="checkbox"/> Gas natural		<input type="checkbox"/> Carbón mineral	<input type="checkbox"/> Gas licuado propano (GLP)
C2	¿Es diferente la cantidad de combustible que utiliza para la quema en época de lluvia y en época de sequía?	<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No						*4)Códigos de los combustibles						→ C3	
	<i>Si la respuesta es SI, pase a la pregunta C3 luego a la pregunta D1</i>							A. Petróleo		D. Gas natural		B. Aserrín			E. Carbón mineral
								C. Troncos de madera o ramas		F. Gas propano GLP					
C3	¿Cuál es la unidad de medida del combustible?												→ C4		

C4	En la temporada de sequía: ¿Qué cantidad de combustibles* <sup>4)</sup> utiliza por cada quema? <i>En toneladas o m<sup>3</sup></i>	Quema típica 1: <input type="text"/> ladrillos/tejas del tipo* <sup>3)</sup> <input type="text"/>	Quema típica 2: <input type="text"/> ladrillos/tejas del tipo* <sup>3)</sup> <input type="text"/>	→ C5
		Combustible A) <input type="text"/> Combustible B) <input type="text"/> Combustible C) <input type="text"/> Combustible D) <input type="text"/> con sus unidades Combustible E) <input type="text"/> Combustible F) <input type="text"/>	Combustible A) <input type="text"/> Combustible B) <input type="text"/> Combustible C) <input type="text"/> Combustible D) <input type="text"/> Combustible E) <input type="text"/> Combustible F) <input type="text"/>	
C5	En la temporada de lluvias: ¿Qué cantidad de combustibles* <sup>4)</sup> utiliza por cada quema? <i>En toneladas o m<sup>3</sup></i>	Quema típica 1: <input type="text"/> ladrillos/tejas del tipo* <sup>3)</sup> <input type="text"/>	Quema típica 2: <input type="text"/> ladrillos/tejas del tipo* <sup>3)</sup> <input type="text"/>	→ C6
		Combustible A) <input type="text"/> Combustible B) <input type="text"/> Combustible C) <input type="text"/> con sus unidades Combustible D) <input type="text"/> Combustible E) <input type="text"/> Combustible F) <input type="text"/>	Combustible A) <input type="text"/> Combustible B) <input type="text"/> Combustible C) <input type="text"/> Combustible D) <input type="text"/> Combustible E) <input type="text"/> Combustible F) <input type="text"/>	
C6	¿Cuánto le cuesta una carga de combustible para su quema? <i>El encuestador tendrá que hacer la conversión correspondiente a dólares americanos USD por tonelada, galón o m<sup>3</sup>.</i>	Temporada Sequia  Combustible A) <input type="text"/> USD Combustible B) <input type="text"/> Combustible C) <input type="text"/>	Temporada Lluvias  Combustible A) <input type="text"/> Combustible B) <input type="text"/> Combustible C) <input type="text"/>	→ Bloque D

#### D. Percepción Ambiental

D1	¿Qué nivel de importancia otorga al ambiente?	<input type="text"/>	<input type="text"/>	Ninguno Algo Regular Mucho Muchísimo	→ D2
----	---	----------------------	----------------------	--	------

		<i>Marcar una sola respuesta</i>	
D2	¿Considera que su actividad afecta al ambiente?.	<input type="checkbox"/> Nada <input type="checkbox"/> Algo <input type="checkbox"/> Regular <input type="checkbox"/> Mucho <input type="checkbox"/> Demasiad o	→ Bloque E → D3 → D3 → D3 → D3
D3	¿A que afecta? (si D2 responde algo, regular, mucho o demasiado)	<p style="text-align: right;"><i>¿Cómo?</i></p> <input type="checkbox"/> Aire _____ <input type="checkbox"/> Suelo _____ <input type="checkbox"/> Agua _____ <input type="checkbox"/> Paisaje _____	→ Bloque E
		<i>Marcar una sola respuesta</i>	

**PARTE 3**

Preguntas dirigidas a la persona de que haya participado en alguna actividad de intercambio		Saltar para ir a la pregunta
<b>E. Cierre</b>		
E1	Comentarios del entrevistado: .....	<b>FINAL. Despedida</b>

--	--	--	--

## ANEXO B: Matriz de consistencia

Descripción	Planteamiento del problema	Objetivos	Hipótesis	Variables e indicadores	Muestra	Diseño	Instrumentos
General	¿Cuál es el grado de relación de la magnitud de emisiones de gases de combustión y la eficiencia del proceso de quema del sector ladrillero artesanal de Piñipampa - Cusco?	Determinar el grado de relación de la magnitud de emisiones de gases de combustión y la eficiencia del proceso de quema del sector ladrillero artesanal de Piñipampa – Cusco	La magnitud de emisiones de gases de combustión se relacionan significativamente con la eficiencia del proceso de quema del sector ladrillero artesanal de Piñipampa – Cusco	VARIABLE 1: Consumo de combustible  VARIABLE 2: Emisiones de gases contaminantes y de efecto invernadero	POBLACIÓN: Sector ladrillero de Piñipampa (80 empresas)  MUESTRA: 66 ladrilleros	MÉTODO: Descriptivo  NIVEL DE INVESTIGACIÓN: Descriptivo  DISEÑO: Descriptivo correlacional	Ficha de encuestas  Medición del nivel de emisiones gaseosas  Cálculo de la eficiencia energética
Especifica 1	¿Cuál es la cantidad de combustible que se relaciona con la cocción de una carga de ladrillos artesanales?	Determinar la cantidad de combustible que se relaciona con la cocción de una carga de ladrillos artesanales	La cantidad de combustible se relaciona significativamente con la cocción de una carga de ladrillos artesanales				
Especifica 2	¿Cuál es el grado de relación entre la cantidad de gases de combustión que se emiten y el peso de combustible utilizado en una quema típica de un horno ladrillero artesanal?	Determinar el grado de relación entre la cantidad de gases de combustión que se emite y peso de combustible utilizado en una quema típica de un horno ladrillero artesanal	La cantidad de gases de combustión que se emiten se relaciona significativamente con el peso de combustible utilizado en una quema típica de un horno ladrillero artesanal	VARIABLE 3: Eficiencia energética del proceso de combustión			
Especifica 3	¿Cuál es la semejanza entre el consumo específico de energía promedio de un proceso de quema tradicional del sector ladrillero artesanal de Piñipampa con el promedio de consumo específico internacional?	Determinar la semejanza entre el consumo específico de energía promedio de un proceso de quema tradicional del sector ladrillero artesanal de Piñipampa con el promedio de consumo específico internacional	El consumo específico de energía promedio de un proceso de quema tradicional del sector ladrillero artesanal de Piñipampa es semejante al promedio de consumo específico internacional.				

## ANEXO C: Validación de instrumentos

Para la validación de instrumentos, se ha seguido el procedimiento descrito por (Hernandez, Fernandez, & Baptista, 2006), en primer término se ha realizado consulta a los especialistas de (EELA - SWISSCONTACT, 2013) para la aplicación de la medición de emisiones gaseosas, siendo recomendado la medición de la velocidad de emisiones gaseosas (m/s), concentración de gases como el monóxido y dióxido de carbono, ácido sulfhídrico, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, todos estos en mg/Nm<sup>3</sup>, así como la temperatura de gases de chimenea, ambiental y temperatura en diferentes puntos del horno para definir la eficiencia energética.

El formato de encuestas es tomado del Proyecto de “Eficiencia Energética en Ladrilleras Artesanales” al que se le han realizado modificaciones para el interés de la presente investigación.

### Certificado de validación del Instrumento

Observaciones (precisar si hay suficiencia): Suficiente

Opinión de aplicabilidad: Aplicable  Aplicable después de corregir ( ) No aplicable ( )

Apellidos y nombres del Juez validador: ZAPATA PARDO, LUIS ANTONIO

Especialidad del validador: TEMÁTICO

**Pertinencia:** El ítem corresponde al concepto teórico formulado  
**Relevancia:** El ítem es apropiado para representar al componente o dimensión específica del constructo.  
**Claridad:** Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto y directo.

**Nota:** Suficiencia: se dice suficiencia cuando los ítems planteados son suficientes para medir la dimensión.

20 de 1 de 2020

Firma del Experto Informante.

Observaciones (precisar si hay suficiencia):  Suficiente

Opinión de aplicabilidad:  Aplicable ( X )  Aplicable después de corregir ( )  No aplicable ( )

Apellidos y nombres del Juez validador:  Bueno Lazo, Antonio Ramiro Jesús

Especialidad del validador:  Estadístico

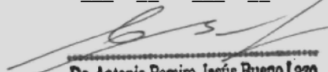
**Pertinencia:** El ítem corresponde al concepto teórico formulado

**Relevancia:** El ítem es apropiado para representar al componente o dimensión específica del constructo.

**Claridad:** Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto y directo.

**Nota:** Suficiencia: se dice suficiencia cuando los ítems planteados son suficientes para medir la dimensión.

25 de  01 de 2020

  
 Dr. Antonio Ramiro Jesús Bueno Lazo  
 EIP 46442  
 Firma del Experto Informante.

Observaciones (precisar si hay suficiencia):  Suficiente

Opinión de aplicabilidad:  Aplicable ( X )  Aplicable después de corregir ( )  No aplicable ( )

Apellidos y nombres del Juez validador:  Miriam Salas Pino

Especialidad del validador:  Metodológico

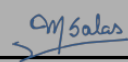
**Pertinencia:** El ítem corresponde al concepto teórico formulado

**Relevancia:** El ítem es apropiado para representar al componente o dimensión específica del constructo.

**Claridad:** Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto y directo.

**Nota:** Suficiencia: se dice suficiencia cuando los ítems planteados son suficientes para medir la dimensión.

12 de  02 de 2021

  
 Firma del Experto Informante.

**ANEXO D: Consumo de combustible en quema de tejas**

Tiempo transcurrido (h)	Peso combustible (kg)	Peso acumulado (kg)	Energía (MJ)	Observaciones
0.00	142	142	1958.73	calentamiento
1.05	28	170	2344.96	
1.30	64	234	3227.77	
1.70	41	275	3793.32	
2.35	56	331	4565.78	
3.05	98	429	5917.58	
3.80	102	531	7324.56	
4.40	110	641	8841.89	
4.87	79	720	9931.60	
5.52	146	866	11945.51	
6.28	115	981	13531.81	
6.85	102	1083	14938.79	
7.72	154	1237	17063.05	
8.37	128	1365	18828.66	
8.92	154	1519	20952.92	
9.60	186	1705	23518.59	
10.13	135	1840	25380.76	
10.73	247	2087	28787.86	
11.18	265	2352	32443.24	
11.57	218	2570	35450.31	
12.08	257	2827	38995.34	
13.00	265	3092	42650.72	Se ha colocado una capa de ramas sueltas de eucalipto más una capa de aserrín
13.35	251	3343	46112.99	

**ANEXO E: Resumen de datos monitoreo quema tejas**

Parámetros de Campo	Límite de Detección	Unidad
Fecha		
Hora		
Gases de Combustión (Campo)*		
Caudal másico (CO)	0.1	mg/s
Caudal másico (H <sub>2</sub> S)	0.1	mg/s
Caudal másico (NO <sub>x</sub> )	0.1	mg/s
Caudal másico (SO <sub>2</sub> )	0.1	mg/s
Caudal Volumétrico en Condiciones Normales*	---	m <sup>3</sup> N/s
Caudal Volumétrico en la Chimenea	---	m <sup>3</sup> /s
Dióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> )	0.25	mg/Nm <sup>3</sup>
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	1	%
Monóxido de carbono (CO)	6.56	mg/Nm <sup>3</sup>
Oxidos de nitrógeno (NO <sub>x</sub> )	2.67	mg/Nm <sup>3</sup>
Oxígeno (O <sub>2</sub> )	1	%
Sulfuro de hidrógeno (H <sub>2</sub> S)	0.25	mg/Nm <sup>3</sup>
Temperatura a nivel del suelo	0.1	°C
Temperatura de Salida	0.1	°C
Velocidad de Gases	0.1	m/s

<b>Parámetros de Campo</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Promedio</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Promedio</b>
Fecha	14/03/2018	14/03/2018	14/03/2018	14/03/2018	14/03/2018	14/03/2018	14/03/2018	14/03/2018	14/03/2018	14/03/2018	14/03/2018	14/03/2018
Hora	20:52	20:57	21:01	21:05	21:10		21:13	21:18	21:21	21:24	21:29	
Gases de Combustión (Campo)*												
Caudal másico (CO)	10.3	8	1.1	64.1	25.1	21.72	0.1	54.6	62.4	0.1	0.1	23.46
Caudal másico (H <sub>2</sub> S)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Caudal másico (NO <sub>x</sub> )	1.1	0.1	0.1	2	2.1	1.08	0.1	3.9	5.5	0.1	0.1	1.94
Caudal másico (SO <sub>2</sub> )	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Caudal Volumétrico en Condiciones Normales *	0.086	0.075	0.12	0.264	0.097	0.1284	0	0.118	0.111	0	0	0.0458
Caudal Volumétrico en la Chimenea	0.0994	0.0071	0.0781	0.2485	0.1349	0.1136	0.0071	0.1278	0.0305	0.0852	0.0710	0.0643
Dióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> )	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	1	1	1	1	1	1	1	1.2	1	1.1	1	1.06
Monóxido de carbono (CO)	3.71	3.41	2.8	3.59	2.73	3.248	298.6	176.6	456.8	484.1	187.9	320.8
Oxidos de nitrógeno (NO <sub>x</sub> )	37.1	34.1	28	35.9	27.3	32.48	29.7	40	30.5	41.3	43.7	37.04
Oxígeno (O <sub>2</sub> )	20.9	20.5	20.4	20.1	20.9	20.56	20.5	20.5	19.9	20.2	20.3	20.28
Sulfuro de hidrógeno (H <sub>2</sub> S)	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.38	0.25	0.25	0.3	0.25	0.286
Temperatura a nivel del suelo	15	21.2	14.2	18.4	13.7	16.5	15.9	12.7	13.3	12.5	11.2	13.12
Temperatura de Salida	27	29	24.4	25.2	26.4	26.4	26.8	27.1	26.6	26.6	25.4	26.5
Velocidad de Gases	1.4	0.1	1.1	3.5	1.9	1.6	0.1	1.8	0.43	1.2	1	0.906

<b>Parámetros de Campo</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Promedio</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Promedio</b>
Fecha	14/03/2018	14/03/2018	14/03/2018	14/03/2018	14/03/2018	14/03/2018	14/03/2018	14/03/2018	14/03/2018	14/03/2018	14/03/2018	14/03/2018
Hora	21:38	21:44	22:04	22:08	22:12		22:16	22:21	22:23	22:29	22:32	

Gases de Combustión (Campo)*												
Caudal másico (CO)	21.2	37.1	69.5	79.1	113.4	64.06	0.1	39	28.1	35.3	48.5	30.2
Caudal másico (H <sub>2</sub> S)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Caudal másico (NO <sub>x</sub> )	2.4	2.5	15.6	9.9	10.7	8.22	0.1	3.2	3.9	3.1	4.5	2.96
Caudal másico (SO <sub>2</sub> )	0.1	0.1	1.6	0.1	0.1	0.4	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Caudal Volumétrico en Condiciones Normales *	0.091	0.109	0.095	0.127	0.127	0.1098	0	0.091	0.091	0.09	0.123	0.079
Caudal Volumétrico en la Chimenea	0.1285	0.0710	0.1399	0.1243	0.1200	0.1167	0.0220	0.1349	0.0462	0.0767	0.0703	0.0700
Dióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> )	0.25	0.25	17.14	0.25	0.25	3.628	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	1.1	1	1.8	1.3	1	1.24	1	1	1.1	1	1.3	1.08
Monóxido de carbono (CO)	303.1	530.8	578.8	704.8	618.2	547.14	372.9	701.1	387.2	533.4	404.1	479.74
Oxidos de nitrógeno (NO <sub>x</sub> )	24.9	81.4	23	37.5	80.5	49.46	41.7	37.2	41.4	39.6	45	40.98
Oxígeno (O <sub>2</sub> )	17.7	17.5	20	20	19.6	18.96	20.2	20.4	20.3	20.4	20.2	20.3
Sulfuro de hidrógeno (H <sub>2</sub> S)	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Temperatura a nivel del suelo	12.3	12.5	16.8	18.3	17.1	15.4	16.2	16.7	16.4	14.8	15.4	15.9
Temperatura de Salida	30.6	33.4	34.9	31.4	31.8	32.42	28.9	28	29.9	28.3	28.7	28.76
Velocidad de Gases	1.81	1	1.97	1.75	1.69	1.644	0.31	1.9	0.65	1.08	0.99	0.986

Parámetros de Campo	1	2	3	4	5	Promedio	1	2	3	4	5	Promedio
Fecha	14/03/2018	14/03/2018	14/03/2018	14/03/2018	14/03/2018	14/03/2018	14/03/2018	14/03/2018	14/03/2018	14/03/2018	14/03/2018	14/03/2018
Hora	22:37	22:42	22:45	22:49	23:03		23:06	23:14	23:19	23:23	23:29	
Gases de Combustión (Campo)*												
Caudal másico (CO)	0.1	0.1	97.5	300.4	92.6	98.14	98.6	302.6	167.8	241.8	232.4	208.64
Caudal másico (H <sub>2</sub> S)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Caudal másico (NO <sub>x</sub> )	0.1	0.1	20.2	40.4	18.8	15.92	18.9	27.4	22.7	16.9	17.4	20.66

Caudal másico (SO <sub>2</sub> )	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Caudal Volumétrico en Condiciones Normales *	0	0	0.088	0.181	0.105	0.0748	0.087	0.219	0.19	0.196	0.235	0.1854
Caudal Volumétrico en la Chimenea	0.0547	0.2059	0.1874	0.1562	0.1399	0.1488	0.2279	0.2627	0.1690	0.2293	0.2130	0.2204
Dióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> )	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	1.5	1	2.4	2.6	2	1.9	2.1	2.2	1.1	1.3	1.1	1.56
Monóxido de carbono (CO)	1777.5	915.9	796.2	1566.6	1417.8	1294.8	1005.4	985.5	883.4	991.4	905.9	954.32
Oxidos de nitrógeno (NO <sub>x</sub> )	190.7	166.8	134.4	133.4	148.6	154.78	181	89.9	93.7	90.1	140.1	118.96
Oxígeno (O <sub>2</sub> )	18	17.7	17.6	17	17.9	17.64	19.9	17.2	18.1	18.7	18	18.38
Sulfuro de hidrógeno (H <sub>2</sub> S)	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Temperatura a nivel del suelo	15.5	17.3	15.6	15.4	15.7	15.9	16.4	16.3	14.2	14.6	16.3	15.56
Temperatura de Salida	31.2	34.1	35.4	36.7	33.3	34.14	38.4	37.3	35.4	34.6	36.4	36.42
Velocidad de Gases	0.77	2.9	2.64	2.2	1.97	2.096	3.21	3.7	2.38	3.23	3	3.104

<b>Parámetros de Campo</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Promedio</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Promedio</b>
Fecha	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018
Hora	00:17	00:21	00:24	00:32	00:36		00:40	00:47	00:53	00:56	01:02	
Gases de Combustión (Campo)*												
Caudal másico (CO)	104.7	886.3	1636	0.1	3905.1	1306.44	4967	201.1	3321.2	891.5	8987.5	3673.66
Caudal másico (H <sub>2</sub> S)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Caudal másico (NO <sub>x</sub> )	26.6	110	185.9	0.1	104.1	85.34	265.2	25.2	191.3	139.1	72.5	138.66
Caudal másico (SO <sub>2</sub> )	0.1	0.1	21.9	0.1	0.1	4.46	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Caudal Volumétrico en Condiciones Normales *	0.138	0.428	0.696	0	0.319	0.3162	0.923	0.151	0.77	0.56	0.256	0.532
Caudal Volumétrico en la Chimenea	0.1108	0.8378	0.8520	0.0135	0.5687	0.4766	1.1502	1.1076	0.8804	0.3706	0.2769	0.7571

Dióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> )	0.25	0.25	31.43	0.25	0.25	6.486	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	3.1	4.3	4.8	3.1	4	3.86	4.2	2.1	3.5	3	3.2	3.2
Monóxido de carbono (CO)	1836.3	1859.3	1241.8	565.9	745.3	1249.72	2670.3	3893.5	5273.7	4417.7	2213.4	3693.72
Oxidos de nitrógeno (NO <sub>x</sub> )	300	214.8	263.5	240.6	202.2	244.22	213.9	206.5	209.2	253.5	198.7	216.36
Oxígeno (O <sub>2</sub> )	12	14.5	11.5	12.7	11.9	12.52	15.8	12.8	13.6	17.1	16.6	15.18
Sulfuro de hidrógeno (H <sub>2</sub> S)	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Temperatura a nivel del suelo	14.5	13.9	13.8	11.3	12.8	13.26	12.5	12.7	12.5	11.6	11.7	12.2
Temperatura de Salida	53.3	53.8	56.9	57.3	58.2	55.9	54.2	54.9	55	51	50.8	53.18
Velocidad de Gases	1.56	11.8	12	0.19	8.01	6.712	16.2	15.6	12.4	5.22	3.9	10.664

<b>Parámetros de Campo</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Promedio</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Promedio</b>
Fecha	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018
Hora	01:05	01:09	01:31	01:35	01:42		01:54	01:59	02:05	02:11	02:17	
Gases de Combustión (Campo)*												
Caudal másico (CO)	5032.6	7815.1	88.8	1472.5	3074.8	3496.76	118.9	253.4	76.5	985.2	124.7	311.74
Caudal másico (H <sub>2</sub> S)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Caudal másico (NO <sub>x</sub> )	117.1	114.3	35.7	50	40	71.42	20.6	33.2	25.5	64.2	55.6	39.82
Caudal másico (SO <sub>2</sub> )	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Caudal Volumétrico en Condiciones Normales *	0.407	0.632	0.229	0.271	0.243	0.3564	0.141	0.241	0.116	0.207	0.304	0.2018
Caudal Volumétrico en la Chimenea	0.3770	0.7384	0.4303	0.6781	0.4864	0.5420	0.4530	0.5183	0.4097	0.5091	0.3777	0.4535
Dióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> )	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	3.3	3.4	2.7	2.2	3.4	3	2	1.8	2.5	5.3	3.3	2.98
Monóxido de carbono (CO)	10467.9	8160.6	9169.3	6567.2	11214.7	9115.94	4765.1	2899.7	2312.9	4119.3	2214.7	3262.34

Oxidos de nitrógeno (NO <sub>x</sub> )	242.9	282.7	205.1	263.6	201.2	239.1	293.9	204.8	217	159.5	278.2	230.68
Oxígeno (O <sub>2</sub> )	14.3	15.7	17	14.7	17.4	15.82	10.8	13.7	17.4	15.9	12.7	14.1
Sulfuro de hidrógeno (H <sub>2</sub> S)	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Temperatura a nivel del suelo	10.9	14	12.6	13.6	12.9	12.8	10	11.1	12.3	11.9	14.2	11.9
Temperatura de Salida	74.1	61.9	77.2	74.1	68.7	71.2	192.5	183.4	191.8	196.7	189.9	190.86
Velocidad de Gases	5.31	10.4	6.06	9.55	6.85	7.634	6.38	7.3	5.77	7.17	5.32	6.388

<b>Parámetros de Campo</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Promedio</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Promedio</b>
Fecha	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018
Hora	02:21	02:28	02:33	02:38	03:32		03:35	03:39	03:46	03:49	03:53	
Gases de Combustión (Campo)*												
Caudal másico (CO)	2350.9	3277.4	3692.8	6527.1	936.4	3356.92	5937.6	185.5	194.4	1651.2	654.6	1724.66
Caudal másico (H <sub>2</sub> S)	0.1	0.1	6.2	0.1	0.1	1.32	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.12
Caudal másico (NO <sub>x</sub> )	154.3	166.9	55.4	116.9	71.4	112.98	49.4	56.7	25.2	83.4	23	47.54
Caudal másico (SO <sub>2</sub> )	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Caudal Volumétrico en Condiciones Normales *	0.522	0.564	0.709	0.518	0.344	0.5314	0.472	0.368	0.117	0.394	0.2	0.3102
Caudal Volumétrico en la Chimenea	0.6319	0.8946	0.7753	0.7824	0.8570	0.7882	0.6177	0.7526	0.4736	0.2805	0.3259	0.4900
Dióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> )	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	4.5	5.8	1.8	5.5	5.1	4.54	4.2	4.2	3.7	4	3.5	3.92
Monóxido de carbono (CO)	5586.8	14009.5	13167.9	11453.4	5930.5	10029.62	15846.4	14770.4	13146	3098	15663.4	12504.84
Oxidos de nitrógeno (NO <sub>x</sub> )	186	173.2	268.4	116.3	262.1	201.2	194.2	204.5	202.1	144.8	182.5	185.62
Oxígeno (O <sub>2</sub> )	19.4	11.3	18.2	14.4	18.3	16.32	15.3	15.8	14.4	15.8	14	15.06
Sulfuro de hidrógeno (H <sub>2</sub> S)	0.25	0.25	0.65	0.75	0.25	0.43	0.25	0.25	0.25	0.25	0.31	0.262

Temperatura a nivel del suelo	14.3	15.5	14.6	12.7	14.4	14.3	13.9	13.4	15.6	16.4	16.2	15.1
Temperatura de Salida	131.7	113	107.6	145.8	186.7	136.96	163.6	158.6	175.9	173.7	183.2	171
Velocidad de Gases	8.9	12.6	10.92	11.02	12.07	11.102	8.7	10.6	6.67	3.95	4.59	6.902

<b>Parámetros de Campo</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Promedio</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Promedio</b>
Fecha	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018
Hora	03:57	04:01	04:05	04:15	04:17		04:21	04:47	04:54	04:57	05:06	
Gases de Combustión (Campo)*												
Caudal másico (CO)	0.1	49.3	84.3	0.1	492.4	125.24	900.9	59.8	39.4	60.3	328.5	277.78
Caudal másico (H <sub>2</sub> S)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Caudal másico (NO <sub>x</sub> )	0.1	19.9	32.6	0.1	25.2	15.58	56.6	14.6	11.2	15.9	23.3	24.32
Caudal másico (SO <sub>2</sub> )	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Caudal Volumétrico en Condiciones Normales *	0	0.109	0.194	0	0.095	0.0796	0.152	0.087	0.071	0.123	0.075	0.1016
Caudal Volumétrico en la Chimenea	0.0767	0.3479	0.1420	0.0454	0.1775	0.1579	0.1569	0.2414	0.2329	0.2180	0.2364	0.2171
Dióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> )	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	1	1	2.2	2.6	4.7	2.3	4.5	4.3	3.2	2.9	6	4.18
Monóxido de carbono (CO)	3999	3765.3	221	4407.9	3972.7	3273.18	6337.9	316	537.8	963.8	2822.2	2195.54
Oxidos de nitrógeno (NO <sub>x</sub> )	186.3	137.9	79.2	109.2	204.5	143.42	139.2	156.3	323.9	184	274.2	215.52
Oxígeno (O <sub>2</sub> )	16.6	15.9	18.5	14	16.3	16.26	14.5	11.1	15.2	15.9	12.5	13.84
Sulfuro de hidrógeno (H <sub>2</sub> S)	3.82	0.25	0.25	0.25	0.25	0.964	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Temperatura a nivel del suelo	13.5	11.4	12.6	15.6	13.5	13.32	13.7	14.7	13.5	12.5	13.6	13.6
Temperatura de Salida	136.7	127.6	139.7	120.9	174.1	139.8	189.8	238.6	191.2	185	176.6	196.24
Velocidad de Gases	1.08	4.9	2	0.64	2.5	2.224	2.21	3.4	3.28	3.07	3.33	3.058

<b>Parámetros de Campo</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Promedio</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Promedio</b>
Fecha	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018
Hora	05:13	05:16	05:20	05:25	05:28		05:29	05:33	05:35	05:37	05:39	
Gases de Combustión (Campo)*												
Caudal máscico (CO)	0.1	19.8	476.8	547.9	3009.4	810.8	2147.5	2582.1	1386.9	1561.1	3009	2137.32
Caudal máscico (H <sub>2</sub> S)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Caudal máscico (NO <sub>x</sub> )	0.1	13.8	26.3	13.5	77	26.14	81.1	96.3	103.3	87.3	139.2	101.44
Caudal máscico (SO <sub>2</sub> )	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Caudal Volumétrico en Condiciones Normales *	0	0.074	0.095	0.072	0.395	0.1272	0.415	0.515	0.518	0.397	0.579	0.4848
Caudal Volumétrico en la Chimenea	0.4338	0.1420	0.0469	0.1860	0.5538	0.2725	0.6880	0.8875	0.8307	0.7789	0.6873	0.7745
Dióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> )	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	2.2	2.7	5	4.1	4	3.6	5.7	8.5	7.7	5.9	8.4	7.24
Monóxido de carbono (CO)	783.2	2142.1	2994.7	2804.1	3693.1	2483.44	3777.8	6196.2	5021.4	4739.8	4558.3	4858.7
Oxidos de nitrógeno (NO <sub>x</sub> )	252	242.9	223.8	276	254.8	249.9	205.6	213.2	191.2	190.3	220.4	204.14
Oxígeno (O <sub>2</sub> )	15.3	14.6	15.6	15.7	14.9	15.22	13.6	13	12.4	13.6	12.5	13.02
Sulfuro de hidrógeno (H <sub>2</sub> S)	0.63	0.25	0.25	0.25	0.25	0.326	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Temperatura a nivel del suelo	17.7	16.6	18.3	17.6	17.2	17.48	16.8	16	16.4	15.8	15.2	16.04
Temperatura de Salida	219.7	230.6	206.7	237.1	176.8	214.18	192.6	179.9	148.6	151.5	146.1	163.74
Velocidad de Gases	6.11	2	0.66	2.62	7.8	3.838	9.69	12.5	11.7	10.97	9.68	10.908

<b>Parámetros de Campo</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Promedio</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Promedio</b>
Fecha	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018
Hora	05:41	05:44	05:46	05:47	05:50		05:52	05:55	06:00	06:03	06:05	

Gases de Combustión (Campo)*												
Caudal másico (CO)	2759	7628.1	2225.7	4910.5	2632.7	4031.2	2293.6	1740.6	721.2	1637.8	2614.3	1801.5
Caudal másico (H <sub>2</sub> S)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Caudal másico (NO <sub>x</sub> )	118.1	151.6	111.2	164.9	109.6	131.08	91.1	95.6	42.1	62.8	81	74.52
Caudal másico (SO <sub>2</sub> )	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Caudal Volumétrico en Condiciones Normales *	0.532	0.61	0.43	0.642	0.508	0.5444	0.458	0.435	0.223	0.319	0.407	0.3684
Caudal Volumétrico en la Chimenea	1.0444	1.1076	0.9358	0.9102	1.0593	1.0115	0.6894	0.7881	0.5268	0.5921	0.3926	0.5978
Dióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> )	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	9.1	9.2	9	8.9	8.8	9	5.2	8.6	6.3	5.3	8.5	6.78
Monóxido de carbono (CO)	6543.2	12840	10180.5	12906.4	10247	10543.42	4880.5	7100.6	5575	6479.7	5643.4	5935.84
Oxidos de nitrógeno (NO <sub>x</sub> )	252.9	225.3	258.4	240.1	218.6	239.06	208.6	190.7	206.7	191.7	195.1	198.56
Oxígeno (O <sub>2</sub> )	13	12.5	12.8	12.7	12.2	12.64	11.4	10.5	9.6	8.8	10.8	10.22
Sulfuro de hidrógeno (H <sub>2</sub> S)	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Temperatura a nivel del suelo	15.6	16.5	16.1	15.2	14.3	15.54	15.6	15.3	13.5	15.6	15.1	15.02
Temperatura de Salida	155.2	216	163.9	233.3	175.5	188.78	197.8	165	201	171.9	185.1	184.16
Velocidad de Gases	14.71	15.6	13.18	12.82	14.92	14.246	9.71	11.1	7.42	8.34	5.53	8.42

Parámetros de Campo	1	2	3	4	5	Promedio	1	2	3	4	5	Promedio
Fecha	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018
Hora	06:08	06:10	06:13	06:15	06:17		06:20	06:25	06:27	06:29	06:33	
Gases de Combustión (Campo)*												
Caudal másico (CO)	2370.9	1105.4	1991.2	943.3	1665.5	1615.26	2340.6	1859	3040.8	1700.5	372.5	1862.68
Caudal másico (H <sub>2</sub> S)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Caudal másico (NO <sub>x</sub> )	87.3	82.1	83.8	75.9	72.7	80.36	88.3	93.6	79.8	91.1	59	82.36

Caudal másico (SO <sub>2</sub> )	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Caudal Volumétrico en Condiciones Normales *	0.462	0.412	0.388	0.352	0.443	0.4114	0.468	0.48	0.405	0.453	0.405	0.4422
Caudal Volumétrico en la Chimenea	0.7256	0.7455	0.7398	0.7150	0.6752	0.7202	0.7625	0.8591	0.7909	0.7448	0.7086	0.7732
Dióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> )	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	3.8	4.8	5.2	4.6	5.7	4.82	5.9	5.2	5.4	6.1	5.9	5.7
Monóxido de carbono (CO)	2555.7	5319.1	3341.6	5810.1	2799.4	3965.18	4021	1534.6	4016	3545.9	6120.8	3847.66
Oxidos de nitrógeno (NO <sub>x</sub> )	202.6	201.3	176.3	193.1	200.7	194.8	153.5	150.2	200.7	186.7	196.7	177.56
Oxígeno (O <sub>2</sub> )	11.3	10.9	11.3	12.2	10.5	11.24	12.1	13.1	11.2	13.5	10.6	12.1
Sulfuro de hidrógeno (H <sub>2</sub> S)	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Temperatura a nivel del suelo	14.6	13.5	15.2	12.6	12.6	13.7	12.8	11.6	11.6	11.3	13.6	12.18
Temperatura de Salida	188.3	157.9	201.3	187.6	154.1	177.84	200.7	203.5	167.6	189.8	153.9	183.1
Velocidad de Gases	10.22	10.5	10.42	10.07	9.51	10.144	10.74	12.1	11.14	10.49	9.98	10.89

<b>Parámetros de Campo</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Promedio</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Promedio</b>
Fecha	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018
Hora	06:35	06:37	06:39	06:41	06:45		06:49	06:53	06:55	07:00	07:03	
Gases de Combustión (Campo)*												
Caudal másico (CO)	652.8	148.5	1683.2	1585.9	1825.8	1179.24	1954.8	1483.3	2084.4	2255.4	2252	2005.98
Caudal másico (H <sub>2</sub> S)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Caudal másico (NO <sub>x</sub> )	86.9	91.9	92.9	82.2	97.7	90.32	94.9	85.5	92.7	97.5	84	90.92
Caudal másico (SO <sub>2</sub> )	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Caudal Volumétrico en Condiciones Normales *	0.388	0.376	0.431	0.396	0.453	0.4088	0.486	0.416	0.475	0.5	0.405	0.4564
Caudal Volumétrico en la Chimenea	0.7029	0.7455	0.7128	0.7299	0.6823	0.7147	0.8080	0.8733	0.7093	0.8726	0.8399	0.8206

Dióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> )	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	9.3	3	9.2	5.9	9.6	7.4	7.1	5.5	6.3	5.5	6.4	6.16
Monóxido de carbono (CO)	2848.4	2997.5	2445.5	734.4	2349.1	2274.98	6342.1	5581.3	5448.4	5850.2	6413.4	5927.08
Oxidos de nitrógeno (NO <sub>x</sub> )	222.4	233.7	208.2	212.6	222.8	219.94	197.2	198.2	197.3	199.7	205.2	199.52
Oxígeno (O <sub>2</sub> )	12.7	11.6	10.7	13.5	12.5	12.2	10.3	12.9	11.6	13	12.5	12.06
Sulfuro de hidrógeno (H <sub>2</sub> S)	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Temperatura a nivel del suelo	13.5	13.6	15.1	15.6	15.4	14.64	12.3	12.8	11.9	13.1	13	12.62
Temperatura de Salida	205.4	195.6	202.4	207.8	191.1	200.46	218.1	220.7	206.8	213.3	215.2	214.82
Velocidad de Gases	9.9	10.5	10.04	10.28	9.61	10.066	11.38	12.3	9.99	12.29	11.83	11.558

<b>Parámetros de Campo</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Promedio</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Promedio</b>
Fecha	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	15/03/2018	
Hora	07:07	07:10	07:13	07:15	07:18		07:21	07:24	07:28	07:32	07:37	
Gases de Combustión (Campo)*												
Caudal másico (CO)	3268.6	1240.6	681.6	1237.7	1925	1670.7	2707.5	1625.6	1587.9	580.4	2638.7	1828.02
Caudal másico (H <sub>2</sub> S)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Caudal másico (NO <sub>x</sub> )	115.8	44.8	115.6	110.2	102.5	97.78	101.8	78	79.9	44.2	83	77.38
Caudal másico (SO <sub>2</sub> )	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Caudal Volumétrico en Condiciones Normales *	0.522	0.198	0.49	0.463	0.49	0.4326	0.522	0.413	0.41	0.113	0.421	0.3758
Caudal Volumétrico en la Chimenea	0.7427	0.8591	0.7959	0.8591	0.8108	0.8135	0.2464	0.8591	0.7945	0.2783	0.4395	0.5236
Dióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> )	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	6.8	8.1	5	6.4	7.7	6.8	9.1	9.6	8.6	8.7	9.7	9.14
Monóxido de carbono (CO)	5656.6	5721.3	7966.3	5395.1	5904.4	6128.74	3705.4	6403.2	5717.2	3006.1	3621.6	4490.7

Oxidos de nitrógeno (NO <sub>x</sub> )	222.7	223.5	216.4	232.5	228.7	224.76	355.1	334.4	259.3	270.1	262.1	296.2
Oxígeno (O <sub>2</sub> )	12	12.1	12.1	10	10.9	11.42	11.3	12.9	13.1	12.5	13.3	12.62
Sulfuro de hidrógeno (H <sub>2</sub> S)	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Temperatura a nivel del suelo	13.1	14.6	14.5	14.5	14.2	14.18	14.2	14.1	15.2	15.1	15	14.72
Temperatura de Salida	200.5	181	181.6	195.1	194.5	190.54	197.1	201.9	248.1	240	184	214.22
Velocidad de Gases	10.46	12.1	11.21	12.1	11.42	11.458	3.47	12.1	11.19	3.92	6.19	7.374

