

# Análisis de las emisiones de la fabricación artesanal de productos arcillosos estructurales mediante un muestreo isocinético

Analysis of emissions from the artisan manufacturing of structural clay products using isokinetic sampling

Carlos Junior Chinga Pinargote<sup>1</sup>, Diana Katherine Zambrano Carranza<sup>1</sup>, Holanda Teresa Vivas Saltos<sup>1</sup>, Verónica Monserrate Vera Villamil<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, campus politécnico El Limón, Calceta, Ecuador.

Recibido 01 agosto 2023, aceptado 11 de noviembre 2023, en línea 14 de diciembre 2023.

## Resumen

Esta investigación tuvo como fin analizar las emisiones de la fabricación artesanal de productos arcillosos estructurales mediante un muestreo isocinético. Se recabó información del proceso productivo mediante entrevistas, para diagramarlo en el software Microsoft Visio. Se siguió el procedimiento específico PEE.EL.003 para estimar la concentración de gases en fuentes fijas de combustión. Como alternativa de mejoramiento al proceso productivo, se presenta el prototipo de un horno tipo MK3. Los principales resultados indican que las emisiones de la producción artesanal de productos arcillosos estructurales son 3506 ppm de CO, 30,25 ppm de NO y 3,21% de CO<sub>2</sub> en promedio. El CO excede el límite establecido en el estándar nacional vigente, ante lo cual alternativas como un horno tipo MK3, permitirían mejorar el proceso productivo en las ladrilleras artesanales. En conclusión, el diagnóstico integral a este sector es vital, para mejorar sus procesos y mitigar, en la medida de lo posible, sus impactos.

**Palabras clave:** emisiones, ladrillos artesanales, horno MK3

## Abstract

*The aim of this study was to use isokinetic sampling to examine the emissions from the artisanal production of structural clay products. In order to draw the production process using the Microsoft Visio software, information about it was gathered through interviews. For the special purpose of measuring gases in fixed combustion sources, PEE.EL.003 was used. The prototype of an oven of the MK3 type is provided as an alternative to enhance the production process. The major findings show that the average emissions from the production of handmade bricks are 3506 ppm of CO, 30.25 ppm of NO, and 3.21% of CO<sub>2</sub>. The production process in artisanal brickyards could be improved by using alternatives like an MK3 type kiln because the CO level exceeds the limit specified in the existing national standard. In conclusion, a thorough diagnostic of this industry is essential to enhance its operations and, to the greatest extent feasible, lessen its effects.*

**Keywords:** emissions, handmade bricks, MK3 oven

## Introducción

En los últimos años, las mejoras en los niveles de vida, el desarrollo tecnológico sostenido y la mayor demanda de nueva infraestructura han llevado a un crecimiento significativo en el consumo de insumos para construcción, tanto así que, la industria de la construcción utiliza materias primas por peso más que cualquier otro sector industrial (Valdes et al., 2020). El ladrillo, como uno de los materiales estructurales de construcción más arcaicos, ha mantenido su

popularidad debido a sus características de costos, durabilidad y facilidad para trabajar; específicamente los ladrillos de arcilla se emplean en la cimentación de paredes (exteriores e interiores), pilares, tabiques, zapatas, entre otras estructuras en todo el planeta (Duggal, 2017).

También, el ladrillo es el único material creado por el hombre que ha desafiado al tiempo a pesar de que fue inventado hace 5000 años (Naveen, 2016). Actualmente, Asia es el mayor productor de ladrillos

\* Correspondencia del autor:

E-mail: teresa.vivas@spam.edu.ec



Esta obra está bajo una licencia de creative commons: atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0. Los autores mantienen los derechos sobre los artículos y por tanto son libres de compartir, copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra.

con 1 300 millones al año, China, India, Pakistán y Vietnam representan el 67%, 13%, 3% y 1,7% de la producción mundial, respectivamente (Mitra & Valette, 2017). Por otra parte, en América Latina existen aproximadamente 41 000 productores de ladrillos, con una gran diversidad en los niveles de producción, rentabilidad y tecnología, los problemas más relevantes de esta industria comprenden la escasa o nula regulación (emisiones, ordenamiento territorial, salud ocupacional, trabajo infantil); invisibilidad del sector para la gestión pública; falta de conocimiento del impacto en la salud y el clima, así como de los costos relacionados con estos impactos; acceso limitado a financiamiento; falta de información sobre la disponibilidad y rentabilidad de tecnología de bajas emisiones; necesidad de desarrollar estudios de referencia acerca de los escenarios del sector; alta informalidad; entre otros (Valdes et al., 2020).

Los países con los más bajos niveles tecnológicos son Ecuador, Argentina, México, Chile y países centroamericanos, lo cual se refleja también en la baja capacidad de los hornos, alrededor del 40%-50% de la producción de ladrillos de América Latina proviene de hornos ladrilleros artesanales, que utilizan hornos abiertos (antiguas construcciones rurales), de baja eficiencia y altas emisiones sin ningún control (Valdes et al., 2020). En cifras, la fabricación de ladrillos en el Ecuador es principalmente artesanal (uso de hornos convencionales) y el 92% de las fábricas producen ladrillos macizos (Cajamarca & Campos, 2023).

Los hornos de ladrillos convencionales son energéticamente ineficientes y sus emisiones constituyen un aporte permanente a la generación de Gases de Efecto Invernadero (GEI) como el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), entre otros contaminantes: material particulado, monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), etcétera (Darain et al., 2016).

En absoluto, las operaciones necesarias para la producción de ladrillos van acompañadas de generación de material particulado (MP), por lo que la contaminación atmosférica se produce tanto a través de las emisiones de chimenea como de las emisiones fugitivas, las que consisten principalmente en partículas finas de polvo y carbón, materia orgánica y pequeñas cantidades de gases como  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , CO, entre otros (Subhanullah et al., 2022).

Se ha determinado que la cantidad de polvo que se desprende de los hornos de ladrillos es muy alta y se agrava cuando la velocidad del viento es elevada; estudios en India, refieren que la emisión de contaminantes atmosféricos individuales de los hornos de ladrillos varía significativamente durante un lote de cocción y entre los diferentes tipos de hornos, estimándose el siguiente rango de factores de emisión por cada 1 000 ladrillos: 6,35-12,3 kg de CO, 0,52-5,9 kg de  $\text{SO}_2$  y 0,64-1,4 kg de material particulado (Saha et al., 2014).

Por tanto, se necesitan investigaciones exploratorias sobre este sector, como la que se expone en este manuscrito, para identificar y, en lo posibles, subsanar las deficiencias del proceso. La información presentada en este manuscrito permite analizar las emisiones de la fabricación artesanal de productos arcillosos estructurales mediante un muestreo isocinético.

## Materiales y métodos

Las ladrilleras donde se desarrolló la investigación se encuentran localizadas en el cantón Chone, provincia de Manabí, situada en la región Costa Ecuador (figura 1). En la zona de estudio los regímenes térmico y pluvial se caracterizan por una alta estacionalidad,

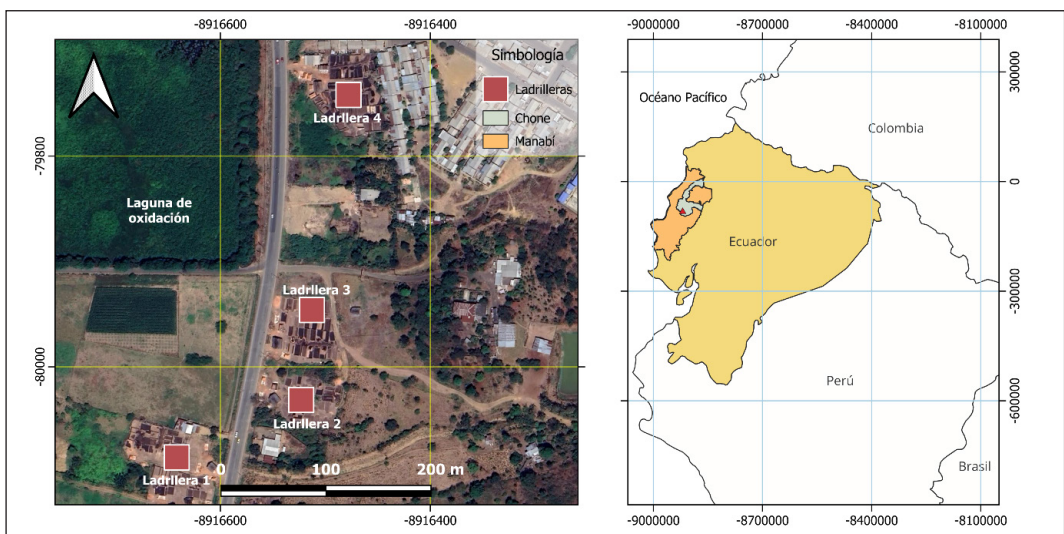


Figura 1. Ubicación geográfica de la Granja Avícola Velasco.








| Símbolo   | Acción     | Resultado                      |
|---|------------|--------------------------------|
|  | Operación  | Producir o realizar            |
|  | Transporte | Desplazar, movilizar           |
|  | Control    | Verificar, inspeccionar        |
|  | Espera     | Interferir                     |
|  | Almacén    | Conservar                      |
|  | Condiciona | Decidir                        |
|  | Combinada  | Varias actividades simultáneas |

Tabla 1. Simbología empleada para diagramar el proceso productivo de la fabricación artesanal de ladrillos.

relacionada con el calentamiento estacional del Pacífico ecuatorial y el desplazamiento de la zona de convergencia intertropical, durante esta estacionalidad se presentan anomalías con alta incidencia de eventos climáticos extremos como el fenómeno de El Niño y La Niña; estos fenómenos producen dos condiciones extremas como son períodos intensos de sequía o precipitaciones, dependiendo la ocurrencia de uno de ellos de la zona geográfica en que se presentan (Macías et al., 2019). Por lo tanto, la dispersión de contaminantes emitidos en la producción artesanal de ladrillo está sujeta a estos cambios. Adicionalmente, las lagunas de oxidación del casco urbano de Chone están localizadas en la misma zona, sumándose a la perturbación de la calidad del aire.

Esta investigación presenta un enfoque descriptivo y los instrumentos aplicados incluyen entrevistas para recabar información sobre el proceso productivo de la elaboración de ladrillos, mismo que se diagramó en el software Microsoft Visio empleando la simbología propuesta por Muther (1968), detallada en la tabla 1.

El tipo de fuente monitoreada corresponde a una fuente fija de combustión abierta que tiene como objetivo “desarrollar operaciones o procesos, que emite o puede emitir contaminantes debido a un proceso de combustión, en el que no se puede controlar el ingreso de aire a la fuente...” (Acuerdo Ministerial 097, 2015). El tipo de combustible es la leña, definida como “biomasa leñosa sin procesar extraída de los troncos, las ramas u otras partes de los árboles”.

Se siguió el procedimiento específico PEE.EL.003 para la medición de gases en fuentes fijas de combustión, según los parámetros de la Norma Técnica Internacional CTM30 Determination of NOx, CO y O2 Emissions from Natural Gas-Fires engines, boilers and process heaters using portable analyzers y el Acuerdo Ministerial N°097 A Anexo 3 (Norma de emisiones al aire desde fuentes fijas de combustión). El levantamiento de información de campo para

esta investigación se llevó a efecto mediante visitas técnicas a cuatro fábricas artesanales de ladrillos. Además, se ejecutaron las fases principales, que se enumeran a continuación:

**Cálculo de la emisión de contaminantes atmosféricos**

Para estimar la emisión de todos los contaminantes, se tomó en cuenta el nivel de fabricación, seleccionándose la ladrillera de mayor rendimiento (ladrillera 4), con una producción de 11000 ladrillos por semana (44000 ladrillos por el mes) y un período de cocción tres a cinco días para lo cual se emplean 3554,76 kg de leña. La concentración de contaminantes se midió siguiendo los lineamientos de Jaya & Gomezcoello (2012), según las expresiones:

$$V = m * \rho$$

Donde:

- $\rho$  Densidad
- $m$  Masa
- $V$  Volumen

$$CC = \frac{V * \rho}{P}$$

Donde:

- $CC$  Consumo de combustible por ladrillo
- $V$  Consumo energético en volumen necesario por producción
- $\rho$  Densidad de la leña

$P$  = Producción generada (lad/tiempo de producción)

$$Ec = FE * CC * Na$$

Donde:

- $Ec$  = Emisión de contaminante (ton/tiempo de producción)
- $FE$  = factor de emisión del contaminante (ton/kg)
- $CC$  = consumo de combustible
- $Na$  = Producción de ladrillos por quema

$$ET = FE * NA$$

Donde:

- $ET$  = Emisiones totales (ton/año)
- $FE$  = factor de emisión de contaminantes totales por la actividad
- $NA$  = Nivel de actividad en unidades por tiempo

Los factores de emisión se detallan en la tabla 2.

**Evaluación de la concentración de contaminantes atmosféricos**

La evaluación de la concentración de contaminantes atmosféricos se llevó a cabo en 8 repeticiones con un intervalo de tiempo de tres minutos de 16h30 a 16h51, simulando un muestreo isocinético con un analizador de gases Testo modelo T360. Los cálculos se basan en las mediciones in situ.

Tabla 2. FE de los contaminantes atmosféricos.

| Contaminante     | FE (ton/kg)             |
|------------------|-------------------------|
| NO <sub>x</sub>  | 1,18 x 10 <sup>-6</sup> |
| CO               | 1,97 x 10 <sup>-5</sup> |
| CO <sub>2</sub>  | 2,10 x 10 <sup>-4</sup> |
| SO <sub>2</sub>  | 1,80 x 10 <sup>-7</sup> |
| COV <sub>2</sub> | 2,10 x 10 <sup>-5</sup> |
| PM <sub>10</sub> | 1,57 x 10 <sup>-5</sup> |
| Σ <sub>10</sub>  | 2,68 x 10 <sup>-4</sup> |

*Propuesta de alternativa de mejoramiento al proceso productivo de los productos arcillosos estructurales*

Como alternativa de mejoramiento al proceso productivo de los productos arcillosos estructurales, se presenta el prototipo de un horno tipo MK3, constituido por tres unidades con su respectiva chimenea, para que la quema se realice sin circulación forzada de aire (Luján & Guzmán, 2015). Las dimensiones del horno siguieron los criterios de los autores antes mencionados y se procesaron en AutoCAD 2016, con las siguientes medidas:

1. Número de cámaras = 3
2. Altura de cada cámara = 5 m
3. Diámetro = 3 m
4. Distancia entre los 3 hornos = 1,7 m
5. Ubicación de los hornos = Triangular
6. Altura quemadores de gas = 1,5 m
7. Dimensión de las chimeneas de evacuación de gases = 0,30 m x 0,45 m

**Resultados y discusión**

Atendiendo al proceso productivo desarrollado en las cuatro fábricas, en la figura 2 se muestra el diagrama que refleja las operaciones de dicho proceso, el cual incluye: extracción de tierra, mezclado (tierra, agua y aserrín), fermentación de la mezcla, moldeado y secado en el suelo, limpieza de imperfecciones en los filos del bloque, secado en pila y cocción del ladrillo, los tiempos de espera del proceso productivo varían en cada ladrillera. Este proceso es similar a lo reportado en países como Egipto, donde se especifica que la adición de agua permite lograr la consistencia, plasticidad y trabajabilidad adecuadas, el resto de ingredientes aumentan la maleabilidad y la permeabilidad, materiales como el aserrín actúa como compensador de la contracción y como refuerzo y ayuda a que todo el bloque se seque uniformemente por dentro y por fuera, también aumenta la compactación, lo que reduce las grietas y mantiene el ladrillo más sólido (Dabaieh et al., 2020).

Por lo general las herramientas utilizadas para este proceso son: azadón, cajones de madera, pala, machete y carreta; mientras que el guasmo (*Guazuma ulmifolia*), laurel (*Cordia alliodora*) y pela caballo

(*Leucaena trichode*) son las especies preferidas para extraer la leña, pues debido su característica de leña dura, generan una llama corta y de larga duración. La mayoría de los productos arcillosos estructurales artesanales se someten a cocción a temperaturas bajas que van de 900°C a 950°C, por lo que presentan características como alta absorción y rugosidad superficial, resistencia a la compresión y baja densidad específica aparente, además, su propiedad blanda los hace tendenciosos a deteriorarse por diversas condiciones circunstanciales (Monatshebe et al., 2019).

En la tabla 3 se presentan los valores de la medición realizada in situ de cada contaminante atmosférico. Al comparar los resultados con lo establecido en la normativa nacional, se evidencia que el CO, con 4015,71 mg/Nm3, excede en un 223% el límite máximo establecido (1800 mg/Nm3); mientras que el NO se encuentra por debajo de 36,81 mg/Nm3 especificados en la norma; es de indicar que las emisiones del CO2 no se regulan a nivel nacional.

El CO y el CO<sub>2</sub> son los gases más comunes liberados en el transcurso de la cocción de los productos arcillosos estructurales; la liberación de CO se debe a una combustión incompleta de la materia orgánica presente en los ladrillos; mientras que

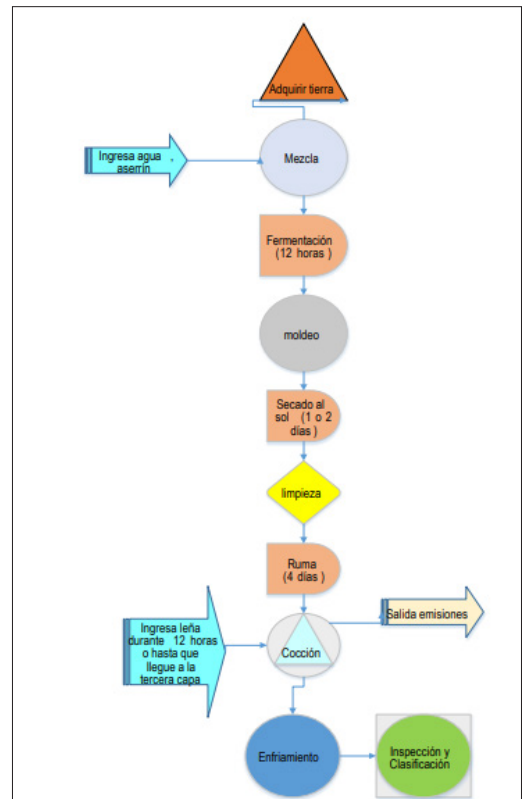


Figura 2. Diagrama de flujo del proceso de fabricación artesanal de ladrillos.

**Tabla 3.** Concentración de contaminantes atmosféricos según el muestreo isocinético en la fabricación artesanal de ladrillos.

| Monitoreo                                   | CO (ppm) | NO (ppm) | CO <sub>2</sub> (%) |
|---|----------|----------|---------------------|
| 1   | 6445     | 67       | 8,75                |
| 2   | 2248     | 21       | 2,68                |
| 3   | 3392     | 22       | 3,68                |
| 4   | 4645     | 32       | 5,44                |
| 5   | 4278     | 33       | 2,48                |
| 6   | 4597     | 26       | 1,38                |
| 7   | 1025     | 22       | 1,30                |
| 8   | 1418     | 19       | -                   |
| Promedio (ppm)                              | 3506     | 30,25    | 3,21                |
| Promedio <sup>5</sup> (mg/Nm <sup>3</sup> ) | 4015,71  | 36,81    | 5,39                |

las emisiones de CO<sub>2</sub>, reconocido como GEI por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, son producto de la oxidación de la materia orgánica presente en el cuerpo cerámico, la cual es predominante a mayores temperaturas (Adnan & Balasbaneh, 2021). Las emisiones de NO en procesos de este tipo son relativamente pequeñas, en este estudio fue de 30,25 ppm en promedio, lo cual se relaciona con los 38,69 ppm de NO en promedio encontrados en la publicación de (Ukwatta et al., 2018).

La emisión de contaminantes atmosféricos, según el nivel de actividad, acorde al FE total, se detalla en la tabla. En este caso, los COV se emiten en mayor medida ( $8,87 \times 10^{-1}$  ton/semana), seguidos por el CO<sub>2</sub> ( $7,39 \times 10^{-1}$  ton/semana) y el SO<sub>2</sub> ( $7,39 \times 10^{-2}$  ton/semana); al realizar el cálculo de la emisión anual, conforme la ecuación (4), se obtuvo un total de  $1,53 \times 10^2$  ton/año. Lo reportado en la literatura hace referencia a la emisión de CO<sub>2</sub> en toneladas y se ha estimado que cada metro cuadrado construido con material común conlleva una concentración media de 0,5 toneladas de CO<sub>2</sub>e (Restrepo & Cadavid, 2019).

Otros autores han expuesto que, los ladrillos de arcilla secados al sol son un material de construcción con casi cero emisiones de carbono y baja energía incorporada (Dabaieh et al., 2020). Sin embargo, otros resultados sostienen que mientras el hormigón contribuye con un impacto más negativo en comparación con la fabricación de productos arcillosos estructurales en términos de agotamiento de la capa de ozono, calentamiento global, formación de partículas finas y formación de ozono; la producción de productos arcillosos estructurales contribuye con un impacto más negativo a la radiación ionizante, la eutrofización del agua dulce y la escasez de recursos minerales (Adnan & Balasbaneh, 2021).

**Tabla 4.** Nivel de emisión de contaminantes según los FE.

| Contaminante     | Emisión (ton/semana)  |
|------------------|-----------------------|
| NO <sub>x</sub>  | $4,15 \times 10^{-3}$ |
| CO               | $6,9 \times 10^{-2}$  |
| CO <sub>2</sub>  | $7,39 \times 10^{-1}$ |
| SO <sub>2</sub>  | $7,39 \times 10^{-2}$ |
| COV              | $8,87 \times 10^{-1}$ |
| PM <sub>10</sub> | $5,53 \times 10^{-2}$ |

Ahora bien, el factor de emisión de CO es de 0,28 toneladas / producción mensual, alcanzándose 3 621,90 mg/Nm<sup>3</sup>, valor que excede en algo más del doble el límite de 1 800 mg/Nm<sup>3</sup> especificados para las emisiones de fuentes fijas de combustión de la normativa ecuatoriana. En zonas ladrilleras del Estado de Puebla, México, se han reportado hasta 747,80 toneladas de CO al año (Berumen et al., 2021). Para entender mejor este proceso, se acota que, la concentración de CO muestra una tendencia en la que inicia en niveles bajos; aumentando gradualmente y alcanzando concentraciones máximas, que luego de alcanzar el pico, caen gradualmente a niveles bajos, dicho de otra forma, es la representación típica del proceso de combustión en horno que calienta gradualmente el combustible, hasta agotarlo con el tiempo, donde una gran proporción de las emisiones de CO durante los periodos pico provienen de la combustión incompleta y un uso ineficiente del combustible (Akinshipe & Kornelius, 2018).

Además de la emisión de contaminantes atmosféricos, la elaboración de productos arcillosos estructurales genera material particulado total en suspensión de tamaños: PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>1</sub>; metales pesados como Pb, Cu, Ni, Cr, Zn, Cd, Mn y Fe; fluoruros y compuestos orgánicos (compuestos orgánicos volátiles metano, etano, compuestos orgánicos persistentes y algunos contaminantes atmosféricos peligrosos como el cloruro de hidrógeno (HCl) y el cianuro de hidrógeno (HCN) (Akinshipe & Kornelius, 2018). El pequeño tamaño de las partículas de los contaminantes promueve enfermedades respiratorias (Arif et al., 2018); asimismo, causa estrés ambiental a las especies de plantas (Nath et al., 2018). Por tanto, las inversiones destinadas a nuevas tecnologías para reducir las emisiones están plenamente justificadas. El sector ladrillero artesanal se encuentra en un periodo en el que debe adoptar tecnologías y prácticas productivas eficientes con un enfoque integral. Por tanto, los productores de ladrillos deben ser conscientes de los beneficios que traería el cambio tecnológico más allá del cumplimiento normativo como el uso de tecnologías validadas y prácticas de bajas emisiones. En tal sentido, la cocción de los ladrillos (horno) debería considerar: una zona de fuego larga para permitir una combustión casi completa y eficiencia de combustible; techo, ya que implica importantes beneficios económicos y laborales;



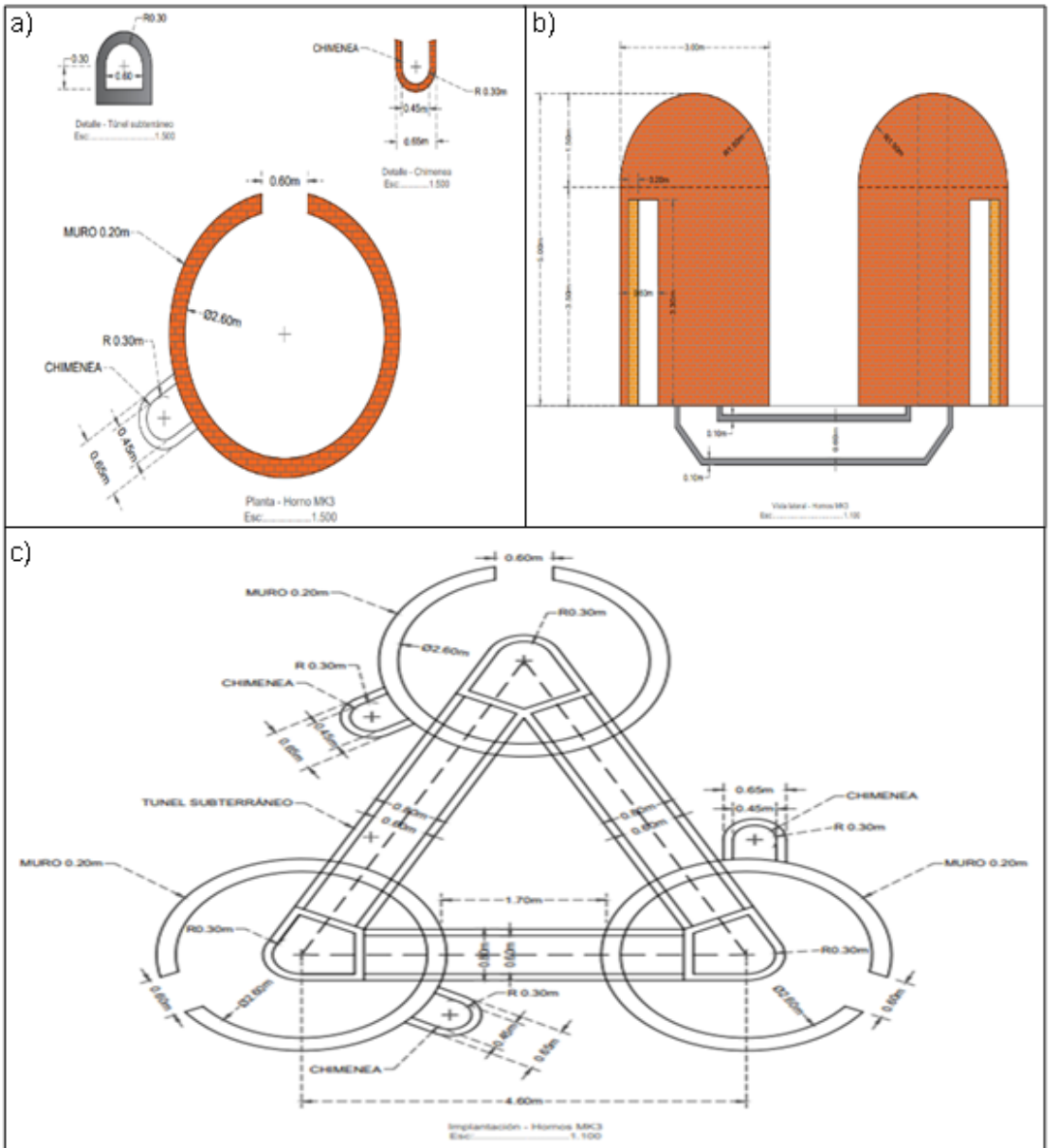


Figura 3. Prototipo del horno MK3: a) detalles planta, túnel y chimenea, b) vista lateral, c) plano general de las tres cámaras.

chimenea baja para minimizar el desperdicio de combustible; escalabilidad tanto en modo continuo como semicontinuo y fácil implementación de mecanización (Valdes et al., 2020).

En la figura 3, se resume el plano del horno tipo MK3, el cual ha sido considerado como una propuesta para que se mejore el proceso productivo en las ladrilleras artesanales.

En los resultados de Luján & Guzmán (2015), se detalla que el principio de operación de este tipo de horno consiste en usar una de las cámaras como horno, otra como medio de filtración de emisiones contaminantes

mientras que la tercera tiene la finalidad de recuperar energía; el combustible en este caso es gas natural por lo que se elimina el uso de carbón y leña, reduciendo el consumo de energía en un 48% y las emisiones de contaminantes ( $CO_2$  70%,  $CO$  73%, y  $NO_x$  55%); además, se minimiza el ma Nath et al., 2018).

Material particulado de este proceso. Danciulescu et al. (2020) compararon dos líneas de producción de ladrillos, para la primera, con tecnología antigua, los contaminantes emitidos al aire fueron hasta un 90% mayor que en la segunda, la cual utiliza un horno de túnel.

## Conclusión

La fabricación de ladrillos en Ecuador ha mantenido una tecnología antigua, por lo que debido a la baja tecnificación durante el proceso de cocción de ladrillos esta industria emite contaminantes atmosféricos como CO (3506 ppm), NO (3,21 ppm) y CO<sub>2</sub> (30,25 %), por lo que el CO excede en más del 100% lo establecido en el estándar nacional. El diseño del horno tipo MK3 debe considerarse como una alternativa viable que reduce las emisiones de contaminantes en la obtención de productos arcillosos estructurales. De este modo, este manuscrito ayuda a desarrollar un enfoque científico consistente a través de los resultados presentados. Adicionalmente, se expone un tema que aún no ha sido investigado masivamente, por ejemplo, la cuantificación de contaminantes atmosféricos emitidos en los hornos artesanales de ladrillos. Por otro lado, el diagnóstico integral al sector ladrillero artesanal es de gran importancia, pues permite identificar las características del área donde se implementarán los cambios, realizar ajustes a la tecnología existente y crear estrategias. Además, la modificación de la actividad del ladrillo artesanal es un desafío cultural y profesional, convirtiéndose en la dimensión que puede hacer que el entorno y la percepción tengan efectos positivos en la adopción del cambio tecnológico, para propiciar la planificación de acciones encaminadas a moldear actitudes hacia la tecnología, en función del entorno y las características de la población.

## Recomendaciones

Se recomienda efectuar monitoreos continuamente a las emisiones de contaminantes atmosféricos de los hornos artesanales en toda la provincia.

Se recomienda a las autoridades examinar la Normativa Ambiental para que se consideren más contaminantes en el marco legal ambiental, con sus respectivos límites máximos.

## Referencias Bibliográficas

Acuerdo Ministerial 97. Reforma Texto Unificado Legislación Secundaria, Medio Ambiente, Libro VI. (04 de noviembre de 2015). <https://up-pe.libguides.com/c.php?g=1043492&p=7615241>

Adnan, H., & Balasbaneh, A. (2021). Study of life cycle assessment of bricks and the impacts to the environment in Malaysia. *IOP conference series. Materials science and engineering*, 1200(1), 012012. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1200/1/012012>

Akinshipe, O., & Kornelius, G. (2018). Quantification of atmospheric emissions and energy metrics from simulated clamp kiln technology in the clay brick industry. *Environmental Pollution*, 236, 580-590. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.01.074>

Arif, M., Kumar, R., Zusman, E., & Gourav, P. (2018). Corrigendum to "Ambient black carbon, PM 2.5 and PM 10

at Patna: influence of anthropogenic emissions and brick kilns. *The Science of the Total Environment*, 644, 1649-1649. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.354>

Berumen, A., Pérez, F., Díaz, F., Márquez, L., & Flores, R. (2021). Revisión del impacto del sector ladrillero sobre el ambiente y la salud humana en México. *Salud Pública de México*, 63(1), 100-108. <https://doi.org/10.21149/11282>

Cajamarca, D., & Campos, D. (2023). Definition of the most commonly used ceramic brick for construction in Ecuador: Type and dimensions. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.06.299>

Dabaieh, M., Heinonen, J., El-Mahdy, D., & Hassan, D. (2020). A comparative study of life cycle carbon emissions and embodied energy between sun-dried bricks and fired clay bricks. *Journal of Cleaner Production*, 275. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122998>

Danciulescu, V., Bucur, E., Petrescu, M., Bratu, M., Cozea, A., & Tanase, G. (2020). Comparative assessment of air pollutant emissions from brick manufacturing. *Romanian Journal of Ecology & Environmental Chemistry*, 2(2), 180-184. <https://doi.org/10.21698/rjeec.2020.222>

Darain, K., Jumaat, M., Islam, A., Obaydullah, M., Iqbal, A., Adham, M., & Rahman, M. (2016). Energy efficient brick kilns for sustainable environment. *Desalination and Water Treatment*, 57(1), 105-114. <https://doi.org/10.1080/19443994.2015.1012335>

Duggal, S. (2017). *Building materials*. Routledge. Estados Unidos de América.

Jaya, J. y Gomezcoello, J. (2012). *Análisis comparativo de la contaminación atmosférica producida por la combustión en ladrilleras artesanales utilizando tres tipos de combustibles*. [Tesis de Grado, Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/6359/1/UPS-CT002924.pdf>

Luján, M., & Guzmán, D. (2015). Diseño, Construcción y Evaluación de un Horno (MK3) para la Cocción de Ladrillos Artesanales. *Acta Nova*, 7(2), 165-193. [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1683-07892015000200006&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1683-07892015000200006&lng=es&tlng=es)

Macías, J., Cuenca, G., Intriago, F., Caetano, C., Menjivar, J., & Pacheco, H. (2019). Vulnerability to climate change of smallholder cocoa producers in the province of Manabí, Ecuador. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 72(1), 8707-8716. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v72n1.72564>

Mitra, D., & Valette, D. (2017). Environment, Human Labour, and Animal Welfare: Unveiling the Full Picture of South Asia's Brick Kilns and Building the Blocks for Change; International Labour Office, The Brooke Hospital for Animals, The Donkey Sanctuary. *ILO: Geneva, Switzerland*.

Monatshebe, T., Mulaba, A., & Kasongo, D. (2019). Mechanical properties and mineralogy of artisanal clay bricks manufactured in Didi, Limpopo, South Africa. *Construction and Building Materials*, 225, 972-982. [doi:10.1016/j.conbuildmat.2019.07](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.07)

Muther, R. (1968). *Planificación y proyección de la empresa industrial (método SLP)*. Editores Técnicos Asociados S.A.

Nath, A. J., Lal, R., & Das, A. K. (2018). Fired bricks: CO<sub>2</sub> emission and food insecurity. *Global Challenges*, 2(4). <https://doi.org/10.1002%2Fgch2.201700115>

- Naveen, S. (2016). Production and marketing network chain of brick kiln product: A case study of Hyderabad City. *International Journal of Managing Value and Supply Chains*, 7(1), 27-37.
- Restrepo, G., & Cadavid, C. (2019). Mejora del desempeño ambiental y energético de la vivienda de interés prioritario en Medellín con el uso de ladrillos cerámicos modificados. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 18(35), 33-49. <https://doi.org/10.22395/rium.v18n35a3>
- Saha, M., Ahmed, S., Sheikh, A., Ahsan, N., & Mostafa, M. (2014). Impacts of Brick Kiln Emissions on Air Quality around Kiln Areas. *Pollution Effects & Control*, 2(2), 59-69. <http://dx.doi.org/10.4172/jpe.1000112>
- Subhanullah, M., Ullah, S., Javed, M., Ullah, R., Akbar, T., Ullah, W., Baig, S., Aziz, M., Mohamed, A., & Sajjad, R. (2022). Assessment and impacts of air pollution from brick kilns on public health in Northern Pakistan. *Atmosphere*, 13(8). <https://doi.org/10.3390/atmos13081231>
- Ukwatta, A., Mohajerani, A., Setunge, S., & Eshtiaghi, N. (2018). A study of gas emissions during the firing process from bricks incorporating biosolids. *Waste Management (New York, N.Y.)*, 74, 413-426. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.01.006>
- Valdes, H., Vilches, J., Felmer, G., Hurtado, M., & Figueroa, J. (2020). Artisan brick kilns: State-of-the-art and future trends. *Sustainability*, 12(18), 7724. <https://doi.org/10.3390/su12187724>