



UNIVERSIDAD DE CUENCA

FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO

MAESTRÍA EN CONSTRUCCIONES, PROGRAMA ESPECIAL DE TITULACIÓN

EVALUACIÓN DE LA ENERGÍA CONTENIDA, EMISIONES DE CO₂ Y MATERIAL PARTICULADO EN LA FABRICACIÓN DEL LADRILLO SEMI-MECANIZADO TOCHANO EN CUENCA, A TRAVÉS DEL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA (ACV).

TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE
"MAGISTER EN CONSTRUCCIONES"

AUTOR: ARQ. ANDRÉS OSWALDO VENEGAS TOMALÁ
0103751780

DIRECTOR: ARQ. VANESSA FERNANDA GUILLÉN MENA
0104436357

ECUADOR, CUENCA 2018



RESUMEN

Las principales causas de impacto ambiental en la construcción se encuentran en el consumo de recursos no renovables y en la generación de residuos contaminantes. La presente investigación evalúa los impactos ambientales generados al aire por la producción del ladrillo semi-mecanizado tochano en la ciudad de Cuenca – Ecuador a través del Análisis de Ciclo de Vida (ACV), metodología normada por la Organización Internacional de Normalización (ISO). El objetivo es determinar la energía contenida, las emisiones de CO₂ y material particulado generado dentro de los límites de la fábrica, es decir de “puerta a puerta”, considerando el transporte indirecto por materia prima. Como resultado se obtuvo que por unidad de ladrillo se consume 9.33 Mj y emite 1.041 kg CO₂. La fábrica considerada como caso de estudio forma parte del programa de Eficiencia Energética de Ladrilleras Artesanales (EELA), implementado en la ciudad de Cuenca. Esto permitió generar criterios para la implementación de mejoras en los diferentes procesos unitarios para el sector ladrillero, y para contribuir en la mitigación de la contaminación debido a esta actividad.

Palabras clave: Ladrillo, tochano, ACV, Ciclo de Vida, CO₂, Energía, Material Particulado



ABSTRACT

The main causes of the environmental impact from construction is found in the consumption of non-renewable resources and the generation of pollutant residues. This research evaluates the environmental impacts generated to the air from the production of the tochano semi-mechanized bricks in the city of Cuenca - Ecuador through the Life Cycle Assessment (LCA), a methodology regulated by the International Organization for Standardization (ISO). The objective is to determine the energy contained, the CO₂ and the particulate matter emissions generated inside the limits of the factory, that is from "gate to gate", considering the indirect transport of raw materials. As a result, it was obtained that for every brick 9.33 Mj are consumed and 1.041 kg of CO₂ are emitted. The factory selected is part of the program Energy Efficiency in the Handcrafted Brickworks (EELA), implemented in the city of Cuenca. This allowed the design of criteria for the implementation of improvements in the various unitary process in the brick manufacturing sector, helping to mitigate the pollution produced due to this activity.

Keywords: Brick, tochano, LCA, Life Cycle Assessment, CO₂, Energy, Particulate matter.

**ÍNDICE DE CONTENIDOS**

1. INTRODUCCIÓN	7
1.1 PROBLEMÁTICA.....	7
1.1.1 <i>Influencia en el medio ambiente del ladrillo como material de construcción</i>	<i>8</i>
1.1.2 <i>Marco Teórico</i>	<i>9</i>
1.1.3 <i>Hipótesis.....</i>	<i>11</i>
1.1.4 <i>Objetivos.....</i>	<i>11</i>
1.1.4.1 <i>Objetivo general.....</i>	<i>11</i>
1.1.4.2 <i>Objetivos específicos.....</i>	<i>11</i>
1.2 ESTADO DEL ARTE.....	11
1.2.1 <i>Introducción al análisis de ciclo de vida (ACV).....</i>	<i>11</i>
1.2.2 <i>Estudios de análisis de ciclo de vida.....</i>	<i>13</i>
1.2.3 <i>Emisiones de material particulado</i>	<i>15</i>
1.2.4 <i>La industria ladrillera en América Latina</i>	<i>17</i>
1.2.5 <i>El proyecto de Eficiencia Energética en Ladrilleras Artesanales (EELA)</i>	<i>19</i>
1.2.6 <i>La producción de ladrillos en Cuenca</i>	<i>20</i>
2. METODOLOGÍA	23
2.1 FABRICACIÓN DEL LADRILLO SEMI-MECANIZADO TOCHANO EN CASO DE ESTUDIO	23
2.1.1 <i>Transporte de materia prima</i>	<i>25</i>
2.1.2 <i>Preparación de la mezcla de arcilla.....</i>	<i>25</i>
2.1.3 <i>Mezcla de arcilla</i>	<i>25</i>
2.1.4 <i>Extrusión.....</i>	<i>26</i>
2.1.5 <i>Secado del ladrillo</i>	<i>26</i>
2.1.6 <i>Quema del ladrillo</i>	<i>27</i>
2.1.7 <i>Traslado y almacenaje.....</i>	<i>28</i>
2.2 INVENTARIO DE CICLO DE VIDA DEL LADRILLO TOCHANO SEMI-MECANIZADO (ICV).....	28
2.2.1 <i>Definición del objetivo y del alcance.....</i>	<i>28</i>
2.3 LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN DE LA FÁBRICA DE LADRILLO SEMI-MECANIZADO TOCHANO	30
2.3.1 <i>Entradas y salidas por transporte de materia prima a la fábrica.....</i>	<i>30</i>
2.3.2 <i>Entradas y salidas por el proceso de preparación de la mezcla</i>	<i>31</i>
2.3.3 <i>Entradas y salidas por el proceso de mezcla.....</i>	<i>31</i>
2.3.4 <i>Entradas y salidas por el proceso de Extrusión</i>	<i>32</i>
2.3.5 <i>Entradas y salidas por el proceso de secado</i>	<i>32</i>
2.3.6 <i>Entradas y salidas por el proceso de quema</i>	<i>33</i>
2.3.7 <i>Entradas y salidas por traslado y almacenaje.....</i>	<i>34</i>
2.3.8 <i>Material Particulado.....</i>	<i>34</i>
3. RESULTADOS	35
3.1 DETERMINACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA CONSUMIDA POR PROCESOS DEL SISTEMA	35
3.2 DETERMINACIÓN DE ENERGÍA INCORPORADA Y EMISIONES DE CO ₂ POR PROCESOS.....	35
3.2.1 <i>Transporte de materia prima a la fábrica.....</i>	<i>35</i>
3.2.2 <i>Proceso de preparación de la mezcla.....</i>	<i>36</i>
3.2.3 <i>Proceso de mezcla</i>	<i>36</i>
3.2.4 <i>Proceso de extrusión.....</i>	<i>37</i>
3.2.5 <i>Proceso de secado.....</i>	<i>38</i>
3.2.6 <i>Proceso de quema.....</i>	<i>38</i>
3.2.7 <i>Proceso de traslado y almacenaje.....</i>	<i>39</i>
3.3 DETERMINACIÓN DE ENERGÍA INCORPORADA Y EMISIONES DE CO ₂ DEL SISTEMA POR UNIDAD FUNCIONAL.....	39
3.4 DETERMINACIÓN DEL MATERIAL PARTICULADO DEL SISTEMA DE LADRILLO TOCHANO.....	40



4. INTERPRETACIÓN DEL INVENTARIO DE CICLO DE VIDA.....	41
5. MODELO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA	47
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	49
7. BIBLIOGRAFÍA	51
8. ANEXOS.....	54

**ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura No. 1 Marco de referencia de un Análisis de Ciclo de Vida.....	12
Figura No. 2 Ejemplo de un conjunto de procesos unitarios, dentro de un sistema del producto.....	13
Figura No. 3 Producción anual (x 1000) frente a cantidad de productores.	18
Figura No. 4 Zonificación y flujo de la producción de la fábrica semi-mecanizada en estudio.....	24
Figura No. 5 Esquema básico del ciclo de vida del ladrillo semi-mecanizado tochano.....	24
Figura No. 6 Materia prima en lugar de almacenaje (izquierda). Preparación de la mezcla de arcilla (derecha). ..	25
Figura No. 7 Proceso de mezcla mecanizada de arcilla en la fábrica en estudio.	25
Figura No. 8 Extrusora de la fábrica en estudio (izquierda). Cortadora de ladrillos (derecha).....	26
Figura No. 9 Entrada del secadero (izquierda). Carros transportadores (derecha).....	26
Figura No. 10 Punto de suministro de leña (izquierda). Punto de suministro de aserrín (centro).....	27
Figura No. 11 Llenado del horno (izquierda). Horno de tiro invertido y tubería de extracción de aire caliente para el secadero (derecha).....	28
Figura No. 12 Límites del sistema del ladrillo semi-mecanizado tochano.	29
Figura No. 13 Diagrama de procesos unitarios y entradas y salidas de fabricación del ladrillo semi-mecanizado tochano.....	29
Figura No. 14 Porcentajes de energía incorporada y emisiones de CO ₂ por procesos del caso de estudio.....	41
Figura No. 15 Comparación de Emisiones de CO ₂ por proceso de quema.	42
Figura No. 16 Comparación de Emisiones de CO ₂ , (kg CO ₂ / kg) y (kg leña / u) por proceso de quema.....	43
Figura No. 17 Comparación de Energía Incorporada por proceso de quema.....	43
Figura No. 18 Comparación de energía incorporada (Mj/kg) y (kg leña / u).....	44
Figura No. 19 Comparación de energía incorporada (Mj) para 1kg de leña.	45
Figura No. 20 Comparación de leña requerida (kg) para generar 1 Mj de energía.....	45
Figura No. 21 Comparación de emisiones de material particulado de la actividad ladrillera.....	46
Figura No. 22 Comparación de concentración media 24 horas de material particulado	46
Figura No. 23 Pérdidas de calor en el horno.....	47
Figura No. 24 Recuperación de calor para hornos.....	48

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla No. 1 Emisiones por la producción de un bloque de concreto.....	15
Tabla No. 2 Contaminantes que genera el proceso productivo de fabricación de ladrillos.....	15
Tabla No. 3 Concentración de Material Particulado, resultados comparativos del estudio (Piñeiro 2010).....	16
Tabla No. 4 Límites de emisiones de material particulado (mg/m ³).....	16
Tabla No. 5 Límites máximos permisibles de concentraciones de emisión al aire	16
Tabla No. 6 Límites de concentración media de material particulado 24 horas de la NCAA y OMS	17
Tabla No. 7 Combustible utilizado en ladrilleras en Latino América.	18
Tabla No. 8 Resultados comparativos del estudio factsheet about brick/tiles kiln.....	20
Tabla No. 9 Resultados comparativos del estudio Swisscontact.	20
Tabla No. 10 Producción anual de ladrillos.	20
Tabla No. 11 Matriz de impactos ambientales, sociales y productivos de la zona de la fábrica en estudio.	21
Tabla No. 12 Tipos de ladrillos que se producen en ladrilleras artesanales y semi-mecanizadas.....	22
Tabla No. 13 Resultados del estudio Análisis del inventario del ciclo de	23
Tabla No. 14 Características y consumo Diésel por tipo de materia prima.....	30
Tabla No. 15 Factores de conversión para los combustibles de transporte más típicos.....	31
Tabla No. 16 Levantamiento de Entradas del proceso de preparación de la mezcla	31
Tabla No. 17 Levantamiento de potencia nominal de motores en proceso de mezcla.....	32
Tabla No. 18 Levantamiento de potencia nominal de motores en proceso de extrusión.	32
Tabla No. 19 Levantamiento de diésel consumido por la extrusora.....	32
Tabla No. 20 Levantamiento de potencia nominal de motores en proceso de secado.	33
Tabla No. 21 Levantamiento de capacidad secadero.....	33
Tabla No. 22 Levantamiento de potencia nominal de motores en proceso de quema.	33
Tabla No. 23 Levantamiento de leña consumida en proceso de quema.	33



Tabla No. 24 Levantamiento de potencia nominal de motores en proceso de traslado y almacenaje.....34

Tabla No. 25 Levantamiento de consumo de Diésel por traslado y almacenaje.....34

Tabla No. 26 Levantamiento de consumo de energía eléctrica del sistema de fabricación de ladrillo tochano.....35

Tabla No. 27 Determinación de litros consumidos por unidad funcional (1 ladrillo tochano).35

Tabla No. 28 Determinación de energía incorporada y emisión de CO₂ por unidad funcional (1 ladrillo tochano).
.....36

Tabla No. 29 Conversión a mega julios de la energía incorporada.....36

Tabla No. 30 Determinación de diésel consumido por unidad funcional (1 ladrillo tochano).36

Tabla No. 31 Determinación de energía incorporada y emisión de CO₂ por unidad funcional (1 ladrillo tochano).
.....36

Tabla No. 32 Conversión a mega julios de la energía incorporada.....36

Tabla No. 33 Determinación de energía incorporada y emisión de CO₂ por unidad funcional (1 ladrillo tochano).
.....37

Tabla No. 34 Conversión a mega julios de la energía incorporada.....37

Tabla No. 35 Determinación de diésel consumido por unidad funcional (1 ladrillo tochano).37

Tabla No. 36 Determinación de energía incorporada y emisión de CO₂ por unidad funcional (1 ladrillo tochano).
.....37

Tabla No. 37 Conversión a mega julios de la energía incorporada.....37

Tabla No. 38 Determinación de energía incorporada y emisión de CO₂ por unidad funcional (1 ladrillo tochano).
.....38

Tabla No. 39 Conversión a mega julios de la energía incorporada.....38

Tabla No. 40 Determinación de energía incorporada y emisión de CO₂ por unidad funcional (1 ladrillo tochano).
.....38

Tabla No. 41 Conversión a mega julios de la energía incorporada.....38

Tabla No. 42 Determinación de diésel consumido por unidad funcional (1 ladrillo tochano).39

Tabla No. 43 Determinación de energía incorporada y emisión de CO₂ por unidad funcional (1 ladrillo tochano).
.....39

Tabla No. 44 Conversión a mega julios de la energía incorporada.....39

Tabla No. 45 Emisiones de CO₂ del sistema de fabricación de ladrillo tochano.39

Tabla No. 46 Energía Incorporada del sistema de fabricación de ladrillo tochano.....40

Tabla No. 47 Estimación de emisiones de PM₁₀ en toneladas por año.40

Tabla No. 48 Material particulado emitido durante una quema de ladrillos.40

Tabla No. 49 Determinación de concentración media de MP_{2.5} y MP₁₀40

Tabla No. 50 Emisiones de CO₂ y Energía Incorporada del ICV ladrillo tochano semi-mecanizado.41

Tabla No. 51 Peso de ladrillos de los casos de comparación.....44



Cláusula de Propiedad Intelectual

Andrés Oswaldo Venegas Tomalá, autor del trabajo de titulación "Evaluación de la energía contenida, emisiones de CO₂ y material particulado en la fabricación del ladrillo semi-mecanizado tochano en Cuenca, a través del Análisis de Ciclo de Vida (ACV).", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 12 de enero de 2018

Andrés Oswaldo Venegas Tomalá

C.I.: 0103751780



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Andrés Oswaldo Venegas Tomalá en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Evaluación de la energía contenida, emisiones de CO₂ y material particulado en la fabricación del ladrillo semi-mecanizado tochano en Cuenca, a través del Análisis de Ciclo de Vida (ACV).", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

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

Cuenca, 12 de enero de 2018

Andrés Oswaldo Venegas Tomalá

C.I: 0103751780



AGRADECIMIENTO

Es preciso agradecer a todas las personas que hicieron posible la realización de este trabajo de titulación. Al Msc. Arq. Juan Pablo Carvallo por su trabajo dentro del centro de posgrados, por su apoyo y comprensión en momentos difíciles, así como al personal a su cargo. A la Msc. Arq. Vanessa Guillen, gracias a su tutoría diligente este trabajo se desarrolló con la calidad que exige esta instancia académica. A los lectores Arq. Esteban Zalamea y Arq. Hernán Sánchez, las precisiones realizadas enriquecieron la discusión del trabajo. Al Sr. Manuel Riera, propietario de la Fábrica de ladrillos “Manuel Riera”, sus conocimientos son una fuente invaluable de esta tesis. A los Ingenieros Pablo Mosquera, Jimmy Ochoa y Juan Vásquez, su colaboración forma parte de este trabajo y reafirma una gran amistad. A mi esposa Msc. Arq. Sandra Washima, su exigencia profesional contribuyó a la calidad presentada y su amor brindaron la motivación necesaria; a mis padres Oswaldo y Pilar, su apoyo incondicional son siempre un aliciente. A mi suegra Rosa Tola, por el cariño demostrado. A mi hija Sheyla, por su paciencia y amor.



DEDICATORIA

Dedico el esfuerzo y el sacrificio puestos en este camino de la Maestría en Construcciones, en primera instancia a mi hija Sheyla, las metas se consiguen en base a esfuerzo y dedicación, este es el ejemplo que intento dejarte día a día. A mis padres, pilar fundamental de mi crecimiento personal y profesional, todo triunfo en mi vida es también suyo. A mi familia y amigos, con los que se puede contar incondicionalmente. A mi esposa, artífice de que este logro se haya podido culminar, a pesar de vivir los peores momentos de tu vida, estuviste luchando junto a mi, y por eso este logro es tuyo. Gracias a todos por ser y estar.



1. INTRODUCCIÓN

1.1 PROBLEMÁTICA

Desde la introducción de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático¹, celebrada en Kyoto el 11 de diciembre de 1997 (Protocolo de Kyoto), que instauró como objetivo la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), las acciones orientadas a ello han ganado impulso y se han convertido en una agenda a promover entre diversos campos industriales en muchos países; siendo la construcción una de las industrias que contribuyen a la mayor cantidad de emisiones de GEI (Lu, Le y Song 2017). La construcción de edificios juega un rol fundamental en el medioambiente, por ser un gran consumidor de recursos naturales y generador de una enorme cantidad de desechos. (Cárdenas et al. 2015).

Según estudios realizados en la Unión Europea, de las actividades de carácter industrial, la construcción es la principal responsable del consumo de recursos naturales (Mercader et al. 2010), consolidándose como uno de los sectores que más requiere de suministros e insumos de energía y es responsable de impactos que se extienden desde la fabricación y transporte de los materiales, la ejecución de la obra, uso y mantenimiento, hasta el cierre del ciclo funcional de una edificación, y son de naturaleza ambiental, social e incluso económica (Gonçalves de Lassio 2016). Según Quirola (2009) en su estudio denominado *América Latina, el cambio climático y la ruta hacia Copenhague*, señala que la construcción es una de las cuatro actividades que más dependen del uso de combustibles fósiles, junto con la generación eléctrica, la industria en general y el transporte (Quirola 2009), esto ha motivado a que las prácticas y tendencia de la construcción sustentable se incrementen a nivel mundial y se modifiquen parámetros con el fin de certificar la sustentabilidad e impacto ambiental de las edificaciones (Rodríguez et al. 2015).

Según el Instituto Americano de Arquitectos (AIA, 2007), se estima que casi el 50% de todas las emisiones de GEI a nivel mundial fueron generadas por los edificios y sus construcciones en términos de energía utilizada a lo largo del ciclo de vida de los proyectos de construcción (Lu, Le y Song 2017). En Europa, cerca del 40% del consumo energético total corresponde al sector de la industria de la construcción (Cárdenas et al. 2015).

Con ese antecedente, y en respuesta a la campaña mundial contra el cambio climático y el deterioro ambiental, la industria de la construcción ha asumido la responsabilidad de reducir los impactos ambientales de los edificios y mejorar su desempeño ambiental. En este contexto, es de suma importancia cuantificar las emisiones de carbono generadas por la producción y el transporte de materiales de construcción con el fin de fijar un punto de referencia y mantener un seguimiento de los resultados en los sectores clave, sobre todo cuando los estudios al respecto aún son escasos en América Latina, y casi nulos en Ecuador (Lu, Le y Song 2017).

De acuerdo con la información entregada por el Worldwatch Institute, organización global enfocada en la investigación ambiental, la construcción de edificios consume alrededor del 40% de piedra, arena y gravilla, además del 25% de madera y 16% del agua utilizada anualmente en el mundo. En los países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), el área de la construcción, incluida producción y transporte de materiales, los registros señalan que se consume entre el 25% al 40% de la energía total utilizada, pudiendo alcanzar en algunos casos porcentajes de hasta el 50% (Cárdenas et al. 2015). El crecimiento de la demanda de materiales de construcción se refleja en mayor consumo de materias primas y energía, especialmente en las fases de extracción, fabricación y transporte.

¹ La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático fue adoptada por Ecuador el 15 de enero de 1999.



Con respecto al consumo energético, referido al ciclo de vida de un edificio, puede indicarse que la fabricación de materiales para construir un metro cuadrado de edificación estándar puede suponer el consumo de energía equivalente a unos 6.000 mega julios (Wadel y Cuchí 2010). Las emisiones de GEI procedentes de la fase de construcción por lo general están relacionadas con la energía incorporada en el edificio y se generan principalmente en tres etapas de su ciclo de vida: a) durante la fabricación de materiales, b) durante el transporte de materiales, y c) durante la construcción del edificio. Los desechos sólidos que provienen de la construcción deben ser movidos del edificio y tratados, generando emisiones. Más desperdicios requieren más tratamiento y generan gases de efecto invernadero en forma de metano en las escombreras (La Roche 2010). La cifra que aportan los materiales de construcción, referidas a las emisiones de GEI, es mayor al 30% de la energía total y del 40% de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) respecto a los producidos en toda la vida útil del edificio, siendo el segundo factor de demanda energética (Muñoz et al. 2012). En la construcción de edificaciones, se utilizan materias primas diversas, las cuales en un mayor o menor porcentaje, y de acuerdo con el sistema constructivo y materiales empleados, influyen en el consumo energético e impacto ambiental (Gonçalves de Lasso 2016).

1.1.1 Influencia en el medio ambiente del ladrillo como material de construcción

En la industria ladrillera no existe una visión clara sobre los beneficios que conlleva la implementación de tecnología eficiente y baja en emisiones, como mejorar la calidad de los productos e incrementar la rentabilidad en la comercialización de los mismos (Swisscontact 2015b). El ladrillo, es un producto cerámico proveniente de la arcilla, y también uno de los materiales de mayor uso en la región. La mampostería de ladrillo es un sistema constructivo que se posicionó en la segunda década del siglo XX, y que ganó prestigio gracias a la flexibilidad para adaptarse a toda clase de tipología arquitectónica (Gómez 2013).

En América Latina, existen alrededor de 41.000 productores ladrilleros, con una alta heterogeneidad de niveles de producción, tecnología y rentabilidad, que difiere de país a país, así como también dentro de cada uno de ellos, particular que guarda estrecha relación con aspectos tecnológicos, culturales, sociales y económicos, entre los más relevantes. Los países con bajo nivel de tecnología son Ecuador, Argentina, México y países de América Central. La emanación de humo de las ladrilleras es una de las principales fuentes de contaminación identificadas y clasificadas en Sudamérica (Swisscontact 2015b).

Según datos del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), referente a los materiales utilizados en la construcción, uno de los materiales predominantes para la fabricación de mamposterías en el Ecuador es el ladrillo, en un porcentaje del 41.4%, siendo el segundo material en utilización después del bloque (INEC. 2016). La Comisión de Gestión Ambiental (CGA), del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Cuenca, determinó que el sector ladrillero es el segundo generador de contaminantes primarios en el cantón, por la cantidad de dióxido de carbono que genera y las finas partículas que libera en el aire. De acuerdo al último inventario de emisiones del Cantón Cuenca elaborado con año base 2011, el material particulado fino MP_{2.5} generado por la industria ladrillera fue del 40.9%, y el material particulado fino MP₁₀ fue del 36% del total presente en el ambiente (EMOV EP 2016). En consecuencia, el ladrillo es el material con mayor incidencia en el impacto medio ambiental, por la fuerte demanda que presenta entre todos los materiales requeridos para la construcción (Gonçalves de Lasso 2016).

La difusión respecto a tecnologías y políticas tendientes a la reducción de emisiones de GEI es escasa, y por ende los receptores son pocos; a este particular responde que el sector de la construcción a pesar de tener un conocimiento remoto no considere priorizar el uso de productos “verdes” o fabricados de forma sostenible, centrando su atención en abaratar costos. Al existir una demanda baja de estos productos el sector es considerado poco competitivo y tiene una productividad reducida (Swisscontact 2015b).



1.1.2 Marco Teórico

La creciente conciencia con respecto a la importancia de la protección ambiental, y los posibles impactos asociados con los productos, considerando su manufactura y consumo, han aumentado el interés por el desarrollo de métodos para comprender mejor y tratar esos impactos. El desarrollo sostenible tiene como objetivo reducir las emisiones de CO₂, el consumo de energía y el agotamiento progresivo de los recursos naturales; causados por la industria de la construcción, entre otros (Da Costa 2012). Sin embargo, a pesar de que la conciencia medioambiental está cada vez más presente en este sector, pocas son las reflexiones al respecto y por tanto, la visión global del impacto sobre el medio ambiente a menudo tiene poco peso en la toma de decisiones (Gonçalves de Lasso 2016). Una de las técnicas desarrolladas para tratar los impactos asociados con los productos, tanto manufacturados como consumidos, es el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) (ISO 2007).

Según la Unión Europea de la Energía, comisión formada por la Unión Europea para garantizar que dicho continente tenga una energía segura, asequible y respetuosa con el clima, dentro de su estrategia marco, menciona a la metodología del ACV como el mejor marco disponible para evaluar los impactos ambientales potenciales de cualquier producto o actividad, producto o servicio sin límites geográficos, funcionales o temporales, ya que se examinan todos los procesos seguidos por las materias, desde sus extracción, transformación y uso hasta el retorno a la naturaleza en forma de residuos (Muñoz et al. 2012).

El ACV es una técnica que permite determinar los aspectos ambientales e impactos potenciales asociados a un producto, compilando un inventario de las entradas y salidas relevantes del sistema analizado, evaluando e interpretando los resultados de las fases de inventario e impacto en relación con los objetivos del estudio (ISO 2007). Básicamente, se enfoca al rediseño de productos bajo el criterio de que los recursos energéticos y materias primas no son ilimitados y que, normalmente, se utilizan más rápido de cómo se reemplazan o como surgen nuevas alternativas. Por tal motivo, la conservación de recursos privilegia la reducción de la cantidad de residuos generados (a través del producto), pero ya que éstos se seguirán produciendo, el ACV plantea manejar los residuos en una forma sustentable, desde el punto de vista ambiental, minimizando todos los impactos asociados con el sistema de manejo (Romero 2003).

La metodología del ACV considera cuatro fases: definición y alcance; inventario; evaluación de impacto e interpretación de resultados. Es posible realizar estudios simplificados que se enfoquen solo en algunas de las etapas señaladas, dependiendo del enfoque y objetivos, así como de la información disponible para la aplicación de esta herramienta. Hay casos en los cuales el objetivo de un ACV se puede satisfacer desarrollando únicamente un análisis de inventario y una interpretación. Generalmente se hace referencia a esto como un estudio de ICV (ISO 2007). Los estudios de ACV realizados dentro del ámbito de la construcción, han sido empleados en los últimos años para el 'eco diseño', para comparar opciones, para resolver una función empleando distintos materiales y para identificar aquellas fases en las que se generan los mayores impactos ambientales (Cuerda 2016).

El llamado a la reducción de los impactos ambientales parece aumentar progresivamente en la búsqueda de la sostenibilidad de la construcción. Por lo tanto, es importante desarrollar y especializar cadenas de suministro de materiales de construcción y buscar materiales sostenibles: no tóxicos para la salud, duraderos y / o reutilizables, de fuentes renovables y accesibles en su costo (Condeixa 2013). Es necesario mejorar simultáneamente la calidad y la gestión ambiental en la industria de la construcción a través de la inversión en procesos, procedimientos y tecnologías. El sector de la construcción debe alinear sus crecientes responsabilidades hacia la sociedad, apropiando el contexto de las prácticas de desarrollo sostenible en su industria.



En Cuenca están identificados 601 locales que se dedican a la actividad ladrillera, de las cuales sólo 40 son ladrilleras semi-mecanizadas. Esta industria no utiliza procesos sustentables, de acuerdo con las encuestas realizadas por el Programa de Eficiencia Energética en Ladrilleras Artesanales de América Latina para mitigar el cambio climático – EELA, esto se debe a que: el 49% de los productores de ladrillo en el Azuay piensan que no se interviene a favor del ambiente, debido a que las autoridades y ladrilleros no le dan mayor importancia e interés a este tema; el 39% indica que la gente no lo solicita y el 12% que la ley no les obliga a actuar. Además, los productores piensan que actuar a favor del medio ambiente es: necesario en un 52%; urgente en un 13.7%; el 34.3 % piensa que es difícil, inútil, no saben cómo resolverlo, no hay ayuda o que todo es falso (EELA y Universidad del Azuay 2010).

En conclusión, existe poca conciencia de los productores ladrilleros en temas ambientales, no se incluye al medio ambiente en el diseño de los procesos de fabricación y no tienen una visión sustentable en su análisis (EELA y Universidad del Azuay 2010). Esto evidencia el desconocimiento de que una mejor gestión de los materiales de construcción implica una mejora considerable en la huella ecológica y de carbono de la construcción civil; así como también, la reducción global del consumo de recursos naturales y de impactos asociados a la fabricación de los productos (Passuello et al. 2014).

Según la encuesta realizada por la consultora Altior Cía. Ltda., en el año 2013, se encontró que el 93% de las ladrilleras en la ciudad de Cuenca pertenecen al sector artesanal y el 7% al semi-mecanizado. Es importante tomar en cuenta que la producción de ladrillo tochano se realiza por los dos tipos de fábricas, debido que las ladrilleras que no cuentan con extrusoras alquilan esta maquinaria para la producción según la demanda que tengan. Del levantamiento de información dentro del sector, se recogió que el número de quemas por tipo de ladrillera y por tipo de producto por año es más alto en el caso del ladrillo tochano, llegando a 28 quemas por año en ladrilleras artesanales y 16 quemas en las semi-mecanizadas (ALTIOR CÍA. LTDA. 2013). Si lo comparamos con el número de quemas de otros productos, como el ladrillo panelón, cual su producción anual es mayor, pero se realizan menos quemas anuales (3 quemas por ladrillera artesanal y 8 por semi-mecanizada), la incidencia ambiental de la producción de ladrillo tochano es mucho mayor.

Existe una tendencia en el cambio de maquinarias por parte de los productores de ladrillo, ya que la demanda de ladrillo tochano ha hecho que el ladrillo panelón sea discriminado en cuanto a producción. Actualmente el precio de ladrillo traído de fábricas mecanizadas de la costa es mucho menor, lo que ha causado que los ladrilleros busquen una alternativa a este inconveniente. (Maza Quishpi 2011). La demanda del ladrillo tochano es de 3 432,394.35 frente a la oferta de 1 721,757.00 lo que muestra que otras productoras, están entrando en el mercado regional y ofertando sus productos. Por lo tanto, existe una oportunidad de mercado importante para el ladrillo tochano, debido principalmente por el incremento de la construcción en altura en la ciudad de Cuenca. Los productores de ladrillo deben analizar el hecho de invertir en maquinaria para cubrir la posible demanda futura, pues la tendencia a mediano plazo serán productos más estandarizados y livianos (ALTIOR CÍA. LTDA. 2013).

Si bien el ladrillo artesanal es altamente valorado en la ciudad de Cuenca, los constructores ven que a futuro el desarrollo inmobiliario de la ciudad va a ir orientado a la construcción en altura, principalmente por el alto precio de los terrenos en la ciudad, desde esa perspectiva los constructores piensan que el ladrillo artesanal irá perdiendo espacio frente al industrial, pues este presenta características en cuanto a dimensiones y peso ideales para este tipo de construcción. La tendencia de mercado es hacia el ladrillo semi-mecanizado en su tipo de producción, es decir ladrillo tochano o ladrillos que se producen como sustituto del bloque. El Ladrillo panelón artesanal tendrá una tendencia decreciente en los próximos años (ALTIOR CÍA. LTDA. 2013).

Por lo expuesto, desarrollar un estudio del ladrillo tochano semi-mecanizado en una fábrica de Cuenca - Ecuador, bajo la metodología del ACV, proporcionará los insumos para la definición de un marco teórico que permita analizar cada etapa del proceso de producción para su posterior



evaluación con el objetivo de medir la incidencia de cada proceso unitario en la demanda energética y emisión de gases y, de esa manera, producir un modelo eficiente energéticamente que se ajuste a las particularidades de la realidad local.

1.1.3 Hipótesis

El estudio de la producción del ladrillo semi-mecanizado mediante la metodología del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) de una fábrica de la ciudad de Cuenca, permitirá identificar el proceso unitario con mayor potencial de optimización energética y reducción de emisiones al ambiente sobre el cual se podrá generar recomendaciones para obtener un modelo eficiente energéticamente.

1.1.4 Objetivos

1.1.4.1 Objetivo general

Desarrollar el Inventario del Ciclo de Vida (ICV) del proceso de producción del ladrillo tochano semi-mecanizado para identificar la energía contenida, las emisiones de CO₂ y material particulado.

1.1.4.2 Objetivos específicos

- Definir el objetivo, alcance y unidad funcional del proceso de fabricación del ladrillo semi-mecanizado tochano.
- Realizar el análisis de inventario para cuantificar las entradas y salidas del proceso de fabricación del ladrillo semi-mecanizado tochano.
- Realizar la interpretación de los resultados del inventario, para proponer un modelo eficiente energéticamente de producción del ladrillo semi-mecanizado tochano.

1.2 ESTADO DEL ARTE

1.2.1 Introducción al análisis de ciclo de vida (ACV)

El Análisis del Ciclo de Vida es una técnica que responde a una progresiva toma de conciencia por parte de la humanidad respecto a la necesidad de proteger el medioambiente ante los posibles impactos asociados con productos tanto manufacturados como consumidos; es en efecto un resultado del interés por establecer métodos para comprender dichos impactos (ICONTEC 2007).

En la industria de la construcción, aplicar el ACV ha servido para comparar procesos, para resolver una función, para determinar las fases que generan mayores impactos ambientales, y para con sustento en los resultados plantear alternativas favorecedoras al medio ambiente (Cuerda 2016).

El análisis de ciclo de vida (ACV) es una herramienta metodológica que sirve para medir el impacto ambiental de un producto, proceso o sistema a lo largo de todo su ciclo de vida (desde que se obtienen las materias primas hasta su fin de vida). Se basa en la recopilación y análisis de las entradas y salidas del sistema para obtener unos resultados que muestren sus impactos ambientales potenciales, con el objetivo de poder determinar estrategias para la reducción de los mismos (Eusko Jaurlaritzza 2009).

Hay cuatro fases en un estudio de ACV (ver figura No. 1):

- a) la fase de definición del objetivo y el alcance,
- b) la fase de análisis del inventario,
- c) la fase de evaluación del impacto ambiental, y
- d) la fase de interpretación (ISO 2007).

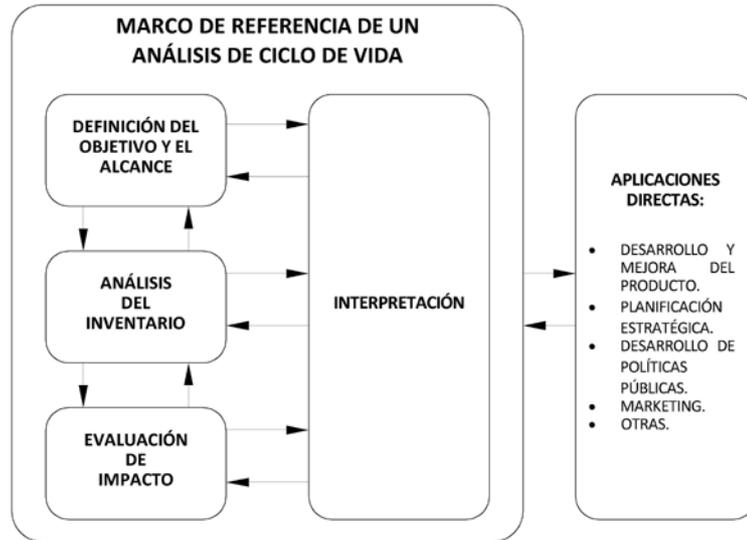


Figura No. 1 Marco de referencia de un Análisis de Ciclo de Vida.

Fuente: ISO 14040

Elaborado: Autor

La *definición de objetivos y alcance* precisa el uso previsto y los límites del sistema, la unidad funcional, los flujos dentro del ciclo de vida, así como los parámetros tecnológicos y de evaluación. El *desarrollo de Inventario del Ciclo de Vida (ICV)* es la fase en la cual se recogen los datos correspondientes a las entradas y salidas para todos los procesos del sistema de producto. En la fase de *Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida (EICV)*, los datos que fueron recogidos en el inventario de entradas y salidas son traducidos a indicadores de potenciales impactos ambientales. Y en la fase final del ACV, conocida como *Interpretación*, los resultados del ICV y el EICV son interpretados de acuerdo con los objetivos y alcance determinado inicialmente; concluyendo con un análisis de resultados y la formulación de conclusiones (ISO 2007).

Los elementos que se tienen en cuenta dentro del ACV, se conocen como entradas/salidas:

- Entradas: Uso de recursos y materias primas, partes y productos, transporte, energía, etc., que se considera en cada proceso/fase del sistema.
- Salidas: Emisiones al aire, al agua y al suelo, así como los residuos y los subproductos que se tienen en cuenta en cada proceso/fase del sistema (ISO 2007)(Eusko Jaurlaritz 2009).

La aplicación del modelo ACV, se utiliza para proveer un marco sistemático para dar soporte en la identificación, cuantificación, interpretación y evaluación de los impactos ambientales (Swisscontact y Red Peruana de Ciclo de Vida 2012); y, permitirá proponer un modelo de producción energéticamente que desarrolle metodologías para el buen aprovechamiento de los recursos utilizados para la producción del ladrillo semi-mecanizado tochano, con el fin de mitigar los impactos ambientales generados en su fabricación.

De acuerdo a la norma internacional ISO 14040, un estudio de ACV es un ciclo interactivo de conocimiento y optimización (ISO 2007). Ésta abarca dos tipos de estudio: análisis del ciclo de vida (estudios de ACV) y análisis del inventario del ciclo de vida (estudios de ICV). Los estudios de ICV son similares a los estudios de ACV, pero excluyen la fase EICV. Los estudios del ICV comprenden tres etapas: (1) la definición del objetivo y el alcance; (2) el análisis del inventario; y, (3) la interpretación.

Para la definición del objetivo, se requiere describir la aplicación prevista, las razones para realizar el estudio, el público previsto y si se pretende utilizar los resultados en aseveraciones comparativas previstas para su divulgación al público. En el alcance se define el sistema del producto bajo estudio, la unidad funcional, que representa la medida de la función del sistema en análisis que permite la comparación del producto entre sistemas y es la base de normalización de las entradas y salidas

del mismo; y, “los límites del sistema que definen los procesos unitarios a ser incluidos en el sistema, (...) el sistema del producto se debería modelar de tal manera que las entradas y salidas (...) sean flujos elementales (ver figura No. 2) y los procedimientos de asignación” (ISO 2007).

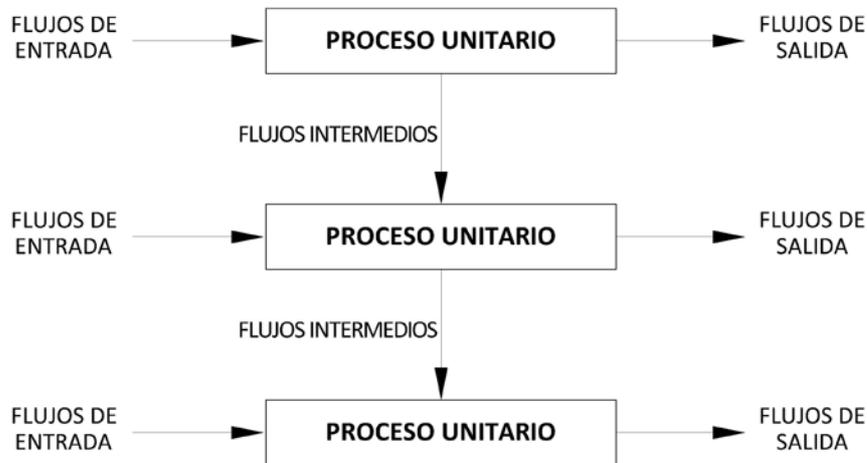


Figura No. 2 Ejemplo de un conjunto de procesos unitarios, dentro de un sistema del producto.

Fuente: ISO 14040

Elaborado: Autor

La validez del estudio de ICV depende de la calidad de los datos recolectados, los cuales serán tomados directamente de la fuente, mediante observación de los procesos (Swisscontact y Red Peruana de Ciclo de Vida 2012). El *análisis del inventario* implica la recopilación de los datos y los procedimientos de cálculo para cuantificar las entradas y salidas pertinentes de un sistema del producto. Los datos para cada proceso unitario dentro de los límites del sistema incluyen: Las entradas de energía, de materia prima, entradas auxiliares, otras entradas físicas; y las emisiones al aire.

1.2.2 Estudios de análisis de ciclo de vida

Se cuentan con varios estudios en el marco del ACV, que enfocan sus objetivos en la cuantificación y evaluación de las emisiones al aire y la energía contenida dentro del sector de la construcción. Los estudios de ACV permiten la evaluación de nuevos materiales para determinar los impactos ambientales durante su ciclo de vida, permite identificar los procesos inmersos y determinar cuáles son los más relevantes en términos de consumo de energía y emisiones de GEI. Otra de las posibilidades de evaluación para los ACV, son las comparaciones tanto de materiales como de sistemas constructivos.

La investigación sobre los efectos de la producción del ladrillo en América Latina es reducida. Los estudios integrales sobre el estado actual de la industria han sido llevados a cabo principalmente por la Coalición de Aire Limpio y el Clima (CCAC) a través de Swisscontact, en su esfuerzo de contrarrestar el cambio climático en el mundo. Esta acción ha motivado que en la región se desarrollen proyectos de investigación dentro del programa EELA con el apoyo de los entes gubernamentales de cada país. Algunas de estas investigaciones utilizan el ACV como metodología de desarrollo.

En el caso de *Estudio del flujo energético en el ciclo de vida de una vivienda y su implicancia en las emisiones de gases de efecto invernadero, durante la fase de construcción: Vivienda Tipología Social, Región del Biobío, Chile* (Muñoz et al. 2012), se determinan las implicaciones energéticas y medioambientales de una solución habitacional de construcción masiva utilizando el ACV. Se evaluó los aspectos ambientales referidos al consumo energético y participación en porcentaje de cada una de las etapas, de acuerdo con el peso en que inciden éstas en la vivienda. Como resultados, se indica que el consumo energético utilizado en la etapa de construcción es despreciable con respecto a la fabricación de los materiales y el uso de la edificación (Muñoz et al.



2012). El estudio realizado por Gonçalves de Lássio, *Análisis del ciclo de vida de los materiales de construcción de edificios: estudio de caso para un complejo de viviendas*, después de la cuantificación de las entradas y salidas de cada material del sistema constructivo estudiado, destacó a los productos cerámicos, que incluye a los mampuestos de ladrillo, como los materiales de construcción que generan mayores impactos ambientales (Gonçalves de Lássio 2016).

El estudio *Desarrollo de ladrillos de arcilla cocida porosa con bio-aditivos: Estudio de los impactos ambientales a través del Análisis de Ciclo de Vida (ACV)* experimentó la adición de paja de trigo y piedra de oliva y otros dos productos químicos de base biológica como agentes formadores de poros, concluyendo que la incorporación de esos recursos permite reducir el tiempo de quema del ladrillo y por lo tanto reducir los impactos para la fabricación (Bories et al. 2016).

En el estudio *Comparación entre materiales de la construcción civil a través de la evaluación del ciclo de vida: sistema drywall y mampostería de ladrillo cerámico* (Condeixa 2013), presenta la evaluación de impactos ambientales de una edificación construida en el estado de Río de Janeiro, comparando los impactos ambientales de los sistemas mencionados. Los análisis muestran la energía contenida y los impactos por los procesos de fabricación y construcción, concluyendo que las etapas más demandantes de energía son las relacionadas con la manufactura de los materiales utilizados, específicamente lo referente a la extracción de materia prima como la arcilla y la demolición de la edificación o fin de vida de los materiales.

Muchos de los impactos de la fabricación de ladrillos están asociados a las emisiones atmosféricas en la etapa de producción, es el caso del estudio *Análisis del ciclo de vida (cuna a puerta) del ladrillo portugués* (Almeida y Dias 2010), que determina que la mayor contribución de GEI provienen de los procesos de secado y quema; el estudio concluye que el uso de aditivos de procedencia orgánica puede reducir la masa y la temperatura de cocción de ladrillos, lo cual es considerado como una alternativa para disminuir los impactos ambientales en el proceso de producción, aunque la investigación no estima la energía incorporada en el proceso, se indica que por unidad funcional (1kg de ladrillo), se obtienen las siguientes emisiones: CO₂ 6.50E-02 kg y PM₁₀ 1.93E-05 kg.

En el estudio *Análisis ambiental del ciclo de vida de los ladrillos tradicionales en el oeste de Maharashtra, India* (Kumbhar et al. 2014), se determinó que en el proceso de producción el uso de energía es intensivo y que la mayoría de las emisiones al medio ambiente se atribuyen a la quema del combustible en el horno y la combustión del Diésel en el transporte, la primera de estas causas está asociada a la materia prima y a las características del horno para una mejor quema del combustible, por ejemplo en el estudio se indica que en *Maharashtra* se consumen entre 12 a 15 toneladas de carbón para la producción de 100 mil ladrillos.

Dentro de los estudios sustentados en el programa de Eficiencia Energética en Ladrilleras Artesanales de América Latina EELA, desarrollado por Swisscontact, fundación independiente orientada al fomento económico para la cooperación internacional para el desarrollo, se logra determinar la energía requerida y las emisiones para la fabricación de distintos tipos de ladrillos producidos con diferentes prácticas y tecnologías.

El *Estudio de Análisis de Ciclo de Vida comparativo entre ladrillos artesanales y ladrillos mecanizados* (Swisscontact y Red Peruana de Ciclo de Vida 2012), en San Jerónimo – Cuzco, determina el consumo energético de cada proceso unitario, realiza comparaciones y genera recomendaciones para cada tipo de fabricación; un aporte importante es la definición de emisiones de CO₂ producidas en cada proceso, e indican que éstas son mayores en la producción de un ladrillo mecanizado, representando un aproximado de 36% más respecto al de un ladrillo artesanal.

En el *Estudio de Análisis de Ciclo de Vida de Ladrillos y bloques de concreto en San Jerónimo – Cuzco* (Swisscontact, Pontificia Universidad Católica del Perú y Red Peruana de Ciclo de Vida 2013), se compara la energía contenida y emisiones generadas para los dos mampuestos. El ACV



evalúa la energía y emisiones para cada caso, definiendo que para los procesos de producción de ladrillos (artesanales y/o mecanizados) las etapas con mayores emisiones son las de traslado y producción; mientras que para la fabricación de bloques la etapa con mayor cantidad de emisiones constituye la de extracción y obtención de materiales; y, en términos totales la producción de un bloque de hormigón impacta al medio ambiente en un 175% más que un ladrillo artesanal y un 102% que un ladrillo mecanizado. Los resultados del estudio se observan en la tabla No. 1.

Etapa	Ladrillos Artesanales		Ladrillos Mecanizados		Bloques de Concreto	
	Emisión (kg CO ₂ - eq)	%	Emisión (kg CO ₂ - eq)	%	Emisión (kg CO ₂ - eq)	%
Extracción y Obtención de materiales	-	-	-	-	0.583	54.8
Traslado 1	0.029	7.5	0.152	29.0	0.467	43.9
Producción	0.357	92.5	0.373	71.0	0.013	1.3
Total	0.386	100.0	0.525	100.0	1.063	100.0

Tabla No. 1 Emisiones por la producción de un bloque de concreto (en kg de CO₂ equivalente/unidad producida)

Fuente: (Swisscontact, Pontificia Universidad Católica del Perú y Red Peruana de Ciclo de Vida 2013)

Elaborado: Autor

1.2.3 Emisiones de material particulado

El material particulado es una mezcla de partículas sólidas y líquidas. Las partículas más grandes permanecen poco tiempo en la atmósfera depositándose cerca de la fuente de emisión (partículas sedimentables). Las partículas más pequeñas PM₁₀ y PM_{2.5} pueden desplazarse largas distancias e ingresan fácilmente al organismo mediante la respiración. Los estudios concernientes al material particulado (MP) suspendido en el aire y sus efectos en la salud pública ponen de manifiesto los efectos dañinos para la salud con las exposiciones que experimentan las poblaciones urbanas, ya sea en países desarrollados y en desarrollo. Los efectos principales en la salud se producen en los sistemas respiratorio y cardiovascular (Organización Mundial de la Salud 2006).

El principal impacto que genera la actividad de fabricación de ladrillos es sobre la calidad del aire, debido principalmente a las emisiones de humos procedentes de los hornos en la etapa de cocción. Las emisiones atmosféricas resultantes están compuestas por el vapor de agua proveniente de la deshidratación de la masa de los ladrillos crudos. En la tabla No. 2 se puede observar la determinación de tipo de contaminantes por cada etapa de la fabricación de ladrillo. El material particulado se encuentra principalmente en la cocción o quema (Piñeiro 2010).

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

Tabla No. 2 Contaminantes que genera el proceso productivo de fabricación de ladrillos.

Fuente: Elaboración de límites máximos permisibles de emisiones para la industria ladrillera (Piñeiro 2010)

Elaborado: Autor



Las emisiones atmosféricas generadas durante la cocción del ladrillo están directamente relacionadas al tipo de combustible. Los combustibles más limpios son usados por nuevas y mejores tecnologías, combustionan en menor tiempo y emiten menor cantidad y/o concentración de contaminantes al aire (Piñeiro 2010). Como estrategia de control frente a la contaminación del aire los organismos de regulación de los diferentes países han establecido planes generales a fin de reducir o, en su defecto, mantener las emisiones de contaminantes en niveles aceptables.

Por encargo del Ministerio del Ambiente del Perú y del Programa Regional de Aire Limpio (PRAL) financiado por la cooperación suiza a través de Swisscontact, se elaboró el estudio denominado *Límites Máximos Permisibles (LMP) para Emisiones de la Industria Ladrillera en el Perú*, se proponen parámetros y niveles máximos permisibles con los cuales se podrían regular las emisiones a la atmósfera generadas por las fábricas de ladrillos en Perú, de manera que conviertan sus operaciones en eco-eficientes. El levantamiento de los límites de las normas internacionales consideradas para la emisión de material particulado se muestra en la tabla No. 3 (Piñeiro 2010).

Concentración de MP	mg/m ³
Guías del IFC del Banco Mundial-Gas	150
NOM-085-ECOL 1994 Mexico	250
D 319/1998- España	150
M. Piñeiro 2010	150

Tabla No. 3 Concentración de Material Particulado, resultados comparativos del estudio (Piñeiro 2010).
Elaboración: Autor

Además, dentro del Manual de Capacitación del Sector Ladrillero en América Latina elaborado por Swisscontact, se muestran los compromisos para la mitigación del cambio climático (Swisscontact 2016). Los países que han establecido límites de emisión aplicados para el sector son Brasil, Colombia, Honduras y Perú (tabla No. 4). Para los límites de emisiones locales, se debe tomar considerar lo establecido en la Ley de Gestión Ambiental (Congreso Nacional 1999), cuyo organismo responsable de su aplicación es el Ministerio del Ambiente del Ecuador (tabla No. 5).

Brasil	730 (10MW), 520 (10-50MW)
Colombia	250 (en operación), 50 (nuevas empresas)
Honduras	150 (zonas rurales), 50 (zonas urbanas)
Perú (en proyecto)	100 (combustible líquido), 150 (combustible sólido)

Tabla No. 4 Límites de emisiones de material particulado (mg/m³).
Fuente: Manual de capacitación Sector Ladrillero en América Latina. 2016
Elaboración: Autor

Contaminante	Combustible	Fuente fija existente: con autorización de entrar en funcionamiento hasta marzo de 2013	Fuente fija nueva: en funcionamiento a partir marzo de 2013
Material particulado	Sólido sin contenido de azufre	200	70

Tabla No. 5 Límites máximos permisibles de concentraciones de emisión al aire para fuentes fijas de combustión, incluidas fuentes de combustión abierta (mg/nm³).
Fuente: Acuerdo Ministerial No. 097-A, Libro VI, Anexo 3, del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente. Norma de emisiones al aire desde Fuentes Fijas. Existente en (Corplab 2016)
Elaboración: Autor.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) propuso los valores guía de calidad de aire como resultado de la sistematización y análisis de las últimas determinaciones científicas disponibles sobre los efectos de los contaminantes en la salud. La Comisión de Gestión Ambiental de la Municipalidad de Cuenca (CGA), utiliza la Norma de Calidad del Aire Ambiente (NCAA) para la normalización de las emisiones de gases. En la tabla No. 6, se muestran los valores definidos por la guía propuesta por la OMS y la NCAA² para las concentraciones medias de 24 horas de PM₁₀ y Pm_{2.5}.

² La NCAA fue actualizada mediante el acuerdo No. 050 del Ministerio de Ambiente. Las concentraciones límite están en vigencia desde el 4 de abril de 2011.



Concentración media 24 horas		
Contaminante	NCCA mg/m ³	Guía OMS 2005 mg/m ³
MP _{2.5}	50	25
MP ₁₀	100	50

Tabla No. 6 Límites de concentración media de material particulado 24 horas de la NCAA y OMS
Elaboración: Autor.

El estudio local para la estimación de emisiones de material particulado *Análisis comparativo de la contaminación atmosférica producida por la combustión en ladrilleras artesanales utilizando tres tipos de combustibles*, ante la falta de factores de emisiones nacionales o locales, bajo el criterio de máximo ajuste a la realidad local, seleccionó los factores de conversión de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) para identificar un aproximado de contaminantes del aire, entre ellos el material particulado MP₁₀ (Jaya y Vásquez 2012). La cuantificación del material particulado a través de estos factores está relacionada con la intensidad de la actividad en términos de producción y la cantidad de combustible.

Técnicas de medición de emisiones utilizan el método isocinético para el muestreo de PM. Utilizando esta información, las emisiones de PM₁₀ y PM_{2.5} pueden determinarse con el método de estimación de emisiones mediante las razones PM₁₀/PM y PM_{2.5}/MP. Dentro de los métodos de estimación de material particulado PM, la comisión de Recursos del Aire del estado de California (CARB) desarrolló una recopilación de relaciones para diferentes actividades y procesos generadores de estos contaminantes. Este método se utiliza cuando se realizan las mediciones de PM directamente de la fuente (Gobierno de México 2009).

1.2.4 La industria ladrillera en América Latina

El proceso de elaboración de ladrillo es una actividad que se ha modificado con el paso de los años, se conoce que desde tiempos remotos el proceso de fabricación, que contempla desde la extracción de la materia prima hasta la obtención del producto y entrega al consumidor, era un trabajo manual, excepto la distribución de los ladrillos para la comercialización que se lo hacía y hace mediante vehículos (Maza Quishpi 2011).

En América Latina, alrededor del 40-50% de la producción ladrillera de la región proviene de procesos artesanales que "utilizan hornos abiertos, de baja eficiencia y altas emisiones sin ningún tipo de control. Además, se trata de unidades de pequeña producción, altamente dispersas y difíciles de fiscalizar" (Swisscontact 2015b). La mayor parte de los productores artesanales pertenecen al sector de la micro y pequeña empresa, en muchas ocasiones corresponden a emprendimientos familiares, y se caracterizan por una baja tecnificación en los procesos productivos que obedece en ocasiones a aspectos socio-culturales y en otras a asuntos de carácter económico (Swisscontact 2016) (Hoffmann 2016).

Entre las características principales de la industria ladrillera en América Latina, identificadas por la CCAC y Swisscontact son (Swisscontact 2016), se encuentra que su producción es principalmente artesanal, se utilizan combustibles con alto impacto ambiental, tienen baja eficiencia energética, son informales, tienen dificultad para acceder a créditos, inexistencia del sector en las políticas públicas y desconocen de tecnologías adecuadas y buenas prácticas de producción.

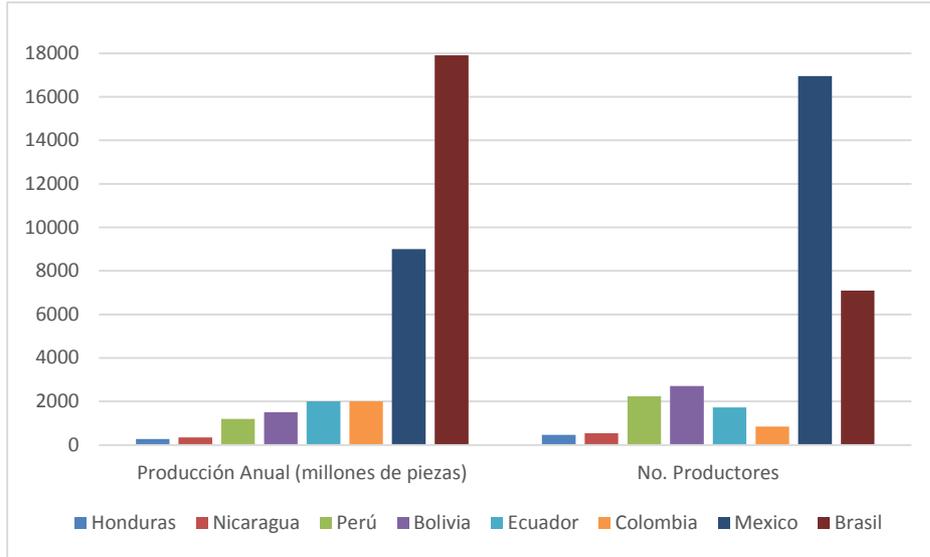


Figura No. 3 Producción anual (x 1000) frente a cantidad de productores.
 Fuente: (Swisscontact 2016)
 Elaboración: Autor

La producción ladrillera en América Latina tiene una eficiencia energética baja, lo que significa que el consumo de combustible no representa lo que se produce. Por ejemplo, cómo se puede observar en la figura No. 3, Honduras, Nicaragua, Perú, Bolivia y México tienen más productores en relación con su producción anual, siendo este último el caso más desfavorable; por lo contrario, Ecuador, Colombia y Brasil son los países que registran datos más favorables en cuanto producen más con menos productores, siendo Brasil el caso más eficiente. En este contexto es importante resaltar que, si bien Ecuador tiene una producción mayor respecto al número de productores, ésta apenas lo sobrepasa, pues registra una producción anual de dos millones de ladrillos con 1.730 productores. Según estudios realizados en América Latina esto es consecuencia del uso de hornos abiertos que generan altas emisiones, especialmente durante la cocción de ladrillos y tejas, la quema de ladrillo se la realiza en periodos más largos de tiempo y los procesos de moldeado y secado requieren de espacios físicos y temporales mayores (Hoffmann 2016).

La región utiliza como combustibles leña, aserrín, residuos agrícolas, carbón mineral, gas y en algunos casos, llantas o aceite usado. Las emisiones más significativas suelen ser las de material particulado también conocido como partículas en suspensión, que son generadas en los hornos en el proceso de quema. (...) El impacto de su presencia en la atmósfera depende del combustible, la tecnología y las prácticas de producción aplicadas en el proceso (Swisscontact 2016:16p)(ver tabla No. 7).

	leña	aserrín	estiércol	llantas	carbón	diésel	gasolina	gas	petróleo	desperdicios de madera	residuos vegetales
Argentina	x									x	
Bolivia	x	x	x	x				x		x	
Brasil	x	x						x		x	x
Colombia	x				x			x		x	x
Ecuador	x	x				x	x	x		x	
Honduras	x									x	
México	x			x				x		x	x
Nicaragua	x	x								x	
Perú	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x

Tabla No. 7 Combustible utilizado en ladrilleras en Latino América.
 Fuente: CCAC, Swisscontact. Report on comparative portfolio of technologies and practices in Latin America. March, 2015.
 Elaboración: Autor.



De este estudio, se han reconocido los principales problemas del sector. La falta de actuación de los gobiernos ante la problemática del sector ladrillero es la causa subyacente por la que habría una baja sensibilización y reconocimiento de la situación. Adicionalmente, la existencia de una baja tecnificación del sector se debe a que no se cuenta con tecnologías más eficientes o se desconoce los beneficios que éstas proporcionan, incluido las bajas emisiones. Esto genera que las prácticas de los productores no sean competitivas y que su productividad sea baja. Tampoco se cuenta con estadísticas sobre si los clientes pagarían un precio diferencial por productos más ecológicos o si contarán con incentivos para utilizarlos (Swisscontact 2016).

Otra de las grandes limitaciones para la mejora tecnológica es la falta de acceso a financiamiento, la limitada oferta de productos financieros para el sector, así como de información sobre la rentabilidad de tecnologías limpias, esto contribuye a que no se perciban las oportunidades de mejora. La formalización se percibe como compleja y costosa; ha entrado en un círculo vicioso y tedioso debido a que para formalizarse y obtener licencias se requiere mejorar la tecnología, para mejorar la tecnología se requieren créditos y para obtener créditos se necesita formalizar. Por falta de visibilidad del sector y por la informalidad de muchas empresas ladrilleras el sector financiero las percibe como clientes de alto riesgo (Swisscontact 2015b).

1.2.5 El proyecto de Eficiencia Energética en Ladrilleras Artesanales (EELA)

La Iniciativa de Producción Ladrillera (Brick Production Initiative - BPI) de la Coalición de Aire Limpio y el Clima (CCAC) tiene como objetivo lograr reducciones sustanciales de carbono negro y otras emisiones provenientes de la producción de ladrillo, que afectan la calidad del aire en muchas ciudades del mundo generando impactos en la salud y contribuyendo al cambio climático (Swisscontact 2015a). A su vez, el proyecto EELA contribuye a la mitigación del cambio climático y a la mejora de la calidad de vida de los ladrilleros a través de la promoción de tecnología apropiada para el uso eficiente de energía. EELA fomenta modelos tecnológicos de diferente grado de complejidad e inversión, promoviendo procesos de producción eficientes, induciendo el cambio a combustibles más limpios y la transformación a hornos de alta eficiencia con sistemas de ventilación más efectivos que ayudan a reducir las emisiones al utilizar menos combustible para generar la misma cantidad de energía, reduciéndose la deforestación y la contaminación atmosférica. La implementación de las tecnologías propuestas permite la reducción del consumo de combustible y de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en un 30% a 50%; así como el incremento del 10% sobre los ingresos netos de los ladrilleros (Swisscontact 2016).

El enfoque del programa se orientó a promover la reducción de emisiones de GEI en las ladrilleras artesanales, mediante la implementación de modelos integrales de eficiencia energética en base al aprendizaje generado por el intercambio de conocimientos entre los países, así como también a través de la incidencia en las políticas públicas nacionales.

Como conclusión del proyecto, se presentaron diferentes alternativas para reducir el consumo de energía en las ladrilleras: mejora del proceso de combustión, recuperación del calor, colocación de las piezas en el interior del horno, empleo de residuos como parte de la masa cerámica, aislamiento térmico, empleo de boquillas de cerámica y uso de hornos más eficientes. Este conjunto de medidas técnicas, además de proporcionar un ahorro de energía térmica, también mejora la calidad de los productos, reduciendo las pérdidas en la producción (Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación (MCTI) 2013).

Los resultados obtenidos de la operación de hornos energéticamente eficientes muestran aspectos positivos como la reducción en el consumo de combustible y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Esto representa para las empresas ladrilleras mejoras a nivel de la productividad y la competitividad (Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación (MCTI) 2013). Los resultados de la transferencia de información son expuestos en la *Ficha Técnica de tecnologías de horno de ladrillo/Teja en América Latina*, mostrando la evaluación del horno de tiro invertido utilizado para la



quema de ladrillo hueco (*Swisscontact 2015a*). Se detalla que esta ficha es aplicable en el caso de Latinoamérica, específicamente para Ecuador y Perú. Se realiza un resumen sobre el horno de tiro invertido, se describe su funcionamiento y determina que el mismo es más eficiente y tiene mejor distribución de calor en el interior. Los factores se muestran en la tabla No. 8.

En g / kg de ladrillo cocido				
CO ₂	Carbono Negro	Material Particulado	CO	Mj/kg
Promedio de 100.9 g/kg de ladrillo	No disponible	No disponible	Promedio de 2.96 g/kg de ladrillo	2.37 Mj/kg de ladrillo

Tabla No. 8 Resultados comparativos del estudio factsheet about brick/tiles kiln technologies in Latin America Swisscontact.
Elaboración: Autor

En el *informe de la quinta quema en el horno prototipo* (Swisscontact 2012), realizado en la ciudad de Cuzco – Perú, durante el proceso de validación del horno de tiro invertido, se realizaron 5 pruebas de validación y transferencia al beneficiario. Se verificó que el consumo de combustible en los hornos tradicionales del sector ladrillero se encuentra entre 6 a 17 MJ/kg de cerámico producido, mientras que en este horno se ha logrado utilizar 3 MJ/kg cerámico, pudiendo bajarse este valor aún más con la experticia del uso del horno (Swisscontact 2012). La información recolectada de este estudio se muestra en la tabla No. 9.

Ladrillo bloquer 12x10x20		
	Unidad ladrillo	kilogramo
Peso de ladrillo	5.70	
Emisiones de CO ₂	kg Co ₂ / u	kg Co ₂ / kg
	1.2183	0.213
Energía Incorporada	Mj/u	Mj/kg
	17.52	3.07
Leña utilizada para quema	kg Co ₂ / kg	kg leña / kg u
	0.213	1.08
Leña utilizada para quema (ENERGÍA)	kg leña / kg u	Mj/kg
	1.08	3.07

Tabla No. 9 Resultados comparativos del estudio Swisscontact.
Elaboración: Autor

1.2.6 La producción de ladrillos en Cuenca

La producción del ladrillo en Cuenca es una actividad centenaria, que ha mantenido casi el mismo proceso de producción durante décadas por la transferencia de limitados conocimientos que se tenía del tema. Además, es una de las actividades más extenuantes y mal remuneradas, realizada por gente de estrato económico bajo. A nivel cantonal son más de 601 productores, que ubican principalmente en las parroquias de Sayausí, San Sebastián (urbana), Chiquintad y Sinincay (Maza Quishpi 2011). Según el estudio más reciente realizado por Swisscontact, el ladrillo tochano es el segundo producto de mayor venta en el Azuay, llegando a una producción anual promedio de 896 millares (Gómez 2013).

Tipo de ladrillo	Volumen de producción (millares/año)
Pastelero (obra)	124.20
Bloqueta	108.00
Tochano (Pandereta)	896.00
Ladrillo visto (Bloquer)	372.00
Panelón	5731.20
Ladrillo visto (dos o cuatro huecos)	274.00
Alfajía (tres huecos-esquinero)	51.20

Tabla No. 10 Producción anual de ladrillos.
Fuente: Estudio y análisis de nuevas tipologías de ladrillos introducidos en Cuenca para la aplicación en la auto-construcción (Gómez 2013).
Elaboración: Autor



Los principales problemas del sector ladrillero se pueden clasificar en: ambientales, sociales y productivos. Los problemas ambientales se refieren a los procesos de quema del ladrillo, principalmente en aquellas fábricas que, por el crecimiento de la ciudad, quedaron dentro de zonas de expansión urbana, que presentan un proceso de consolidación importante y acelerado, generando incompatibilidad de usos de suelo. En el caso del sector de Racar, parroquia Sinincay, el crecimiento demográfico ha acelerado la construcción de viviendas y servicios afines. Los problemas sociales asociados con la producción de ladrillos vienen dados por la presencia de niños y adolescentes en las fábricas, ya que esta actividad artesanal se da mayormente de manera familiar (Maza Quishpi 2011).

Los problemas relacionados a la productividad se deben principalmente por la escasez de arcilla, ya que al existir numerosos productores aumenta la demanda del material. Antes, se extraía de minas que la Parroquia Sinincay tenía en sus comunidades ladrilleras y era extraído de manera manual; en la actualidad se ve una disminución de la materia prima, además la extracción ha sido regulada y en el caso de Racar, prohibida por la entidad de control, por lo que los productores han buscado otros proveedores (Maza Quishpi 2011) Dentro de la tabla No. 11, se observa la determinación de los impactos relacionados con la fabricación de ladrillos en la zona.

COMPONENTE	RECURSO AFECTADO	IMPACTO	CANTIDAD			FRECUENCIA			POTENCIAL DE DAÑO			VALORACIÓN FINAL			
			A	M	B	A	M	B	A	M	B	A	M	B	
AMBIENTAL	AGUA	Preparación del barro			X	X					X			X	
	AIRE	Combustión de leña en hornos tradicionales	X				X			X			X		
		EROSIÓN	Explotación de minas			X			X		X				X
			Deforestación por explotación de minas			X			X		X				X
			Modificación del paisaje por explotación	X				X		X			X		
			Aumento de deslizamientos por explotación		X			X		X				X	
			Generación de desperdicios por material dañado		X			X				X		X	
			Generación de cenizas producto de la combustión		X			X			X			X	
SOCIAL	FAMILIAR	Consumo de alcohol		X			X		X				X		
		Maltrato familiar			X			X		X				X	
		Trabajo de niños y adolescentes		X			X		X					X	
		Migración interna y externa	X			X			X			X			
PRODUCTIVO	PROCESOS	Aumento de intermediarios	X				X			X		X			
		Baja demanda de ladrillo panelón	X				X			X			X		
		Escasez de arcilla	X			X			X			X			
		Demora en tiempos de producción		X			X			X			X		
		Uso excesivo de combustible en quema	X			X				X		X			

A= Alto B= Medio C= Bajo

Tabla No. 11 Matriz de impactos ambientales, sociales y productivos de la zona de la fábrica en estudio.

Fuente: Producción más limpia para ladrilleras en la parroquia Sinincay (Maza Quishpi, 2011).

Elaboración: Autor

En la actualidad la actividad ladrillera se ve diferenciada, ya que algunos productores han incrementado el número de maquinarias diversificando los productos, mejorando la productividad y disminuyendo el consumo energético. Uno de los factores, fue la participación a la que se acogieron algunos productores en el programa de Eficiencia Energética en Ladrilleras Artesanales (EELA), el cual brindó la oportunidad de conocer los métodos, políticas y mejoras que los productores podían hacer en sus instalaciones. Aquellos que no se acogieron al programa de mejoramiento, argumentaron principalmente que fue por la inversión económica que conllevaba.



Por su nivel de infraestructura, en el estudio de Maza Quishpi (2011) se clasifica las ladrilleras de Cuenca en:

a) *Ladrilleras Artesanales: Representa a un gran porcentaje de la actividad. A este grupo pertenecen las ladrilleras en las cuales aún se trabaja con ganado vacuno o caballar para la mezcla, se cuenta con moldes de Madera y la quema se realiza en hornos tradicionales a leña. La cantidad de ladrillos elaborados está en función de la capacidad del horno y la demanda que se tenga. El tipo de ladrillo que se fabrica es de tipo panelón, y ladrillos de piso como el hexagonal, el rosetón, el rombo, y el cuadrado pequeño.*

b) *Ladrilleras Semi Mecanizadas: Este grupo de ladrilleras está representado por productores que han ido adoptando tecnología para agilizar su trabajo, ya que la demanda del producto elaborado hace que cada día los artesanos que pueden acceder a un crédito puedan adquirir extrusoras para obtener el ladrillo perforado conocido como tochano. Estos ladrillos son más grandes que los artesanales y por ende ingresan en menor capacidad a los hornos, en estos la quema se sigue realizando con leña.*

c) *Ladrilleras Mecanizadas: En el cantón son contadas las fábricas de este tipo, a este grupo pertenecen las pequeñas industrias que cuentan con maquinaria para obtener ladrillos tochanos y estos ingresan están produciéndose constantemente y son quemados en hornos a gas (Maza Quishpi 2011).*

Con respecto a la producción por tipo de ladrilleras, se encontró que el número de quemas anuales por producto es mayor en el caso de los ladrillos tochanos, esto debido a que sus procesos de fabricación son más rápidos. Si bien las quemas son de grandes cantidades de producto en el caso del ladrillo panelón (alrededor de 8.000 ladrillos), éstas no se realizan de forma continua. un artesano puede realizar 3 ó 4 quemas al año (ALTIOR CÍA. LTDA. 2013)

TIPOS DE LADRILLOS QUE SE PRODUCEN EN LADRILLERAS ARTESANALES								
	Panelón	Ladrillo Tochano Rugoso	Obra artesanal	Teja artesanal	Teja mecanizada	Ladrillo Tochano cara vista	Piso	Fachaleta
NO. DE QUEMAS AL AÑO	3	28	9	13	11	29	17	0
CANTIDAD PRODUCIDA POR QUEMA	7848	3655	3433	4416	6000	2666	6000	0
PRODUCCIÓN ANUAL POR LADRILLERA	21974	100513	30897	57408	67500	77314	102000	0
TIPOS DE LADRILLOS QUE SE PRODUCEN EN LADRILLERAS SEMI-MECANIZADAS								
NO. DE QUEMAS AL AÑO	8	16	0	11	12	15	10	12
CANTIDAD PRODUCIDA POR QUEMA	9250	5666	0	9000	10000	5666	10000	10000
PRODUCCIÓN ANUAL POR LADRILLERA	74000	90656	0	99000	120000	86690	100000	120000

Tabla No. 12 Tipos de ladrillos que se producen en ladrilleras artesanales y semi-mecanizadas.
Fuente: Estudio de mercado del sector ladrillero artesanal en el cantón Cuenca (ALTIOR CÍA. LTDA. 2013).
Elaboración: Autor

La tendencia del sector ladrillero dentro de la ciudad, muestra una reducción en la demanda del segmento artesanal. Un 45% de los constructores en Cuenca considera que el uso de ladrillo artesanal está descendiendo, un 47% considera que se mantiene y solamente un 7,9% cree que el uso va creciendo. Al parecer va a existir una oportunidad interesante de mercado para el ladrillo tochano, por el incremento de la construcción en altura en la ciudad de Cuenca. Por lo tanto los productores de ladrillo deben analizar el hecho de invertir en maquinaria como la extrusora para cubrir la posible demanda futura del mercado (ALTIOR CÍA. LTDA. 2013).

En la ciudad de Cuenca, con el apoyo de la Comisión de Gestión Ambiental de Cuenca (CGA), el proyecto EELA ha tratado de implementar cambios tecnológicos y buenas prácticas en procesos de producción, sobre todo en la quema del ladrillo, con la introducción de un nuevo horno de tiro invertido y el uso de ventiladores. También se introdujo mejoras en los procesos de mezclado. A través de los estudios realizados por esta institución, se ha podido determinar las emisiones que la



producción ladrillera causa dentro del cantón, ubicándola en el segundo lugar de fuentes contaminantes primarios, como las partículas finas al aire (PM₁₀ y PM_{2.5}) con 350 T/año cada una (Izquierdo 2013).

En el ámbito local, el estudio *Análisis del inventario del ciclo de vida del ladrillo utilizado en la ciudad de Cuenca: aspectos energéticos, medio ambientales, sociales, económicos y culturales*, analiza el ladrillo tochano, planteando el inventario de ciclo de vida ICV para el cálculo de emisiones de CO₂ y la energía incorporada durante la fabricación en su fase de puerta a puerta, concluyendo que la quema del ladrillo en el horno es la actividad más demandante de energía y emisora de CO₂ con un aporte del 90% con relación a los demás procesos (Córdova; y Maldonado 2017) (ver tabla No. 12)

Ladrillo Tochano 10x20x40		
Peso de ladrillo	Unidad ladrillo	kilogramo
	7.27	
Emisiones de CO ₂	kg CO ₂ / u	kg CO ₂ / kg
	1.070	0.147
Energía Incorporada	Mj /u	Mj/kg
	9.730	1.33
Leña utilizada para quema (CO ₂)	kg CO ₂ / kg	kg leña / kg u
	0.147	0.62
Leña utilizada para quema (ENERGÍA)	kg leña / kg u	Mj/kg
	0.62	1.33

Tabla No. 13 Resultados del estudio Análisis del inventario del ciclo de vida del ladrillo utilizado en la ciudad de Cuenca: aspectos energéticos, medio ambientales, sociales, económicos y culturales.

Elaboración: Autor

2. METODOLOGÍA

La presente investigación es no experimental, por lo que el diseño adecuado para el efecto es el transeccional o transversal, que implica la recolección de información en un solo momento o en un solo proceso. La metodología está basada en la norma ISO 14040 sobre Análisis de Ciclo de Vida. De los dos tipos de estudios que abarca, se considera sólo el análisis del inventario de ciclo de vida, que comprende tres etapas: (1) definición del objetivo y alcance; (2) análisis del inventario; & (3) interpretación.

En ese marco, este estudio se concentra en el análisis de los procesos de fabricación del ladrillo semi-mecanizado tochano mediante la observación de los mismos, recolectando datos durante un ciclo de producción (5,000 ladrillos). La temporalidad de la toma de datos del proceso de fabricación del ladrillo semi-mecanizado tochano comprende un proceso de quema completo. La fábrica caso de estudio se ubica en la ciudad de Cuenca - Ecuador, en el sector de Racar.

2.1 Fabricación del ladrillo semi-mecanizado tochano en caso de estudio

La ladrillera en estudio, de propiedad del Sr. Manuel Riera, fue una de las beneficiarias del programa de Eficiencia Energética en Ladrilleras Artesanales (EELA), llevado a cabo por Swisscontact, para la Coalición de Aire Limpio y el Clima (CCAC) y apoyado por el Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Cuenca, a través de la Comisión de Gestión Ambiental CGA.

Como parte de este programa se llevó a cabo la implementación de un horno de tiro invertido, con una capacidad máxima de 7.000 unidades de ladrillo (según el tipo de ladrillo) con posibilidad de producción de hasta 28.000 unidades mensuales (4 quemas al mes). Adicionalmente se invirtió en una extrusora y secadero. Con esta implementación logró incrementar sus ventas en 200%, disminuir sus costos de mano de obra y combustible, mejorar sus condiciones de trabajo y salud, diversificar sus productos y conseguir nuevos clientes. Como desventajas, aumentaron los costos en control de procesos, energía eléctrica y mantenimiento de equipos, así como la obligación de formalizar su actividad y pago de impuestos (Swisscontact 2015a).

Por la automatización implementada en los procesos de la fábrica, pasó de ser una ladrillera artesanal a una semi-mecanizada, porque algunas actividades aún utilizan recursos humanos importantes (traslado del producto entre procesos) En la figura No. 4 se muestra la zonificación espacial donde se desarrollan los procesos unitarios de producción.

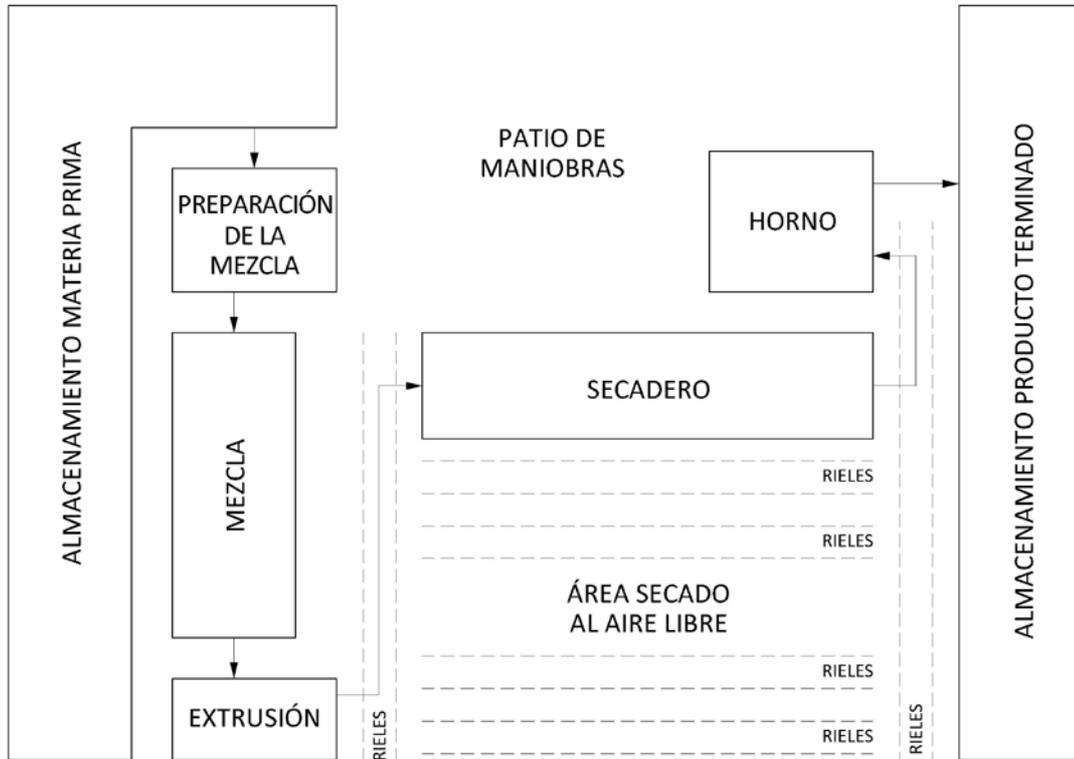


Figura No. 4 Zonificación y flujo de la producción de la fábrica semi-mecanizada en estudio.
 Elaboración: Autor

El producto con mayor rotación de la fábrica es el ladrillo tochano 10x20x40 cm, con un promedio mensual de producción de 15,000 ladrillos. Según la demanda del sector este promedio incrementa hasta 20,000 ladrillos. Otros de los productos fabricados son los ladrillos vistos (bloquer) y alfajías. Durante el levantamiento de información, la producción fue la máxima (20,000 unidades) para el tipo tochano. El sistema general del producto inicia en la obtención de la materia prima, y culmina en el posible reciclaje del material, como se ilustra en la figura No. 5. El proceso de fabricación del ladrillo tochano consiste en: transporte de la materia prima, preparación de la mezcla de arcilla, mezcla mecanizada de la misma, extrusión, secado, quema y almacenaje.

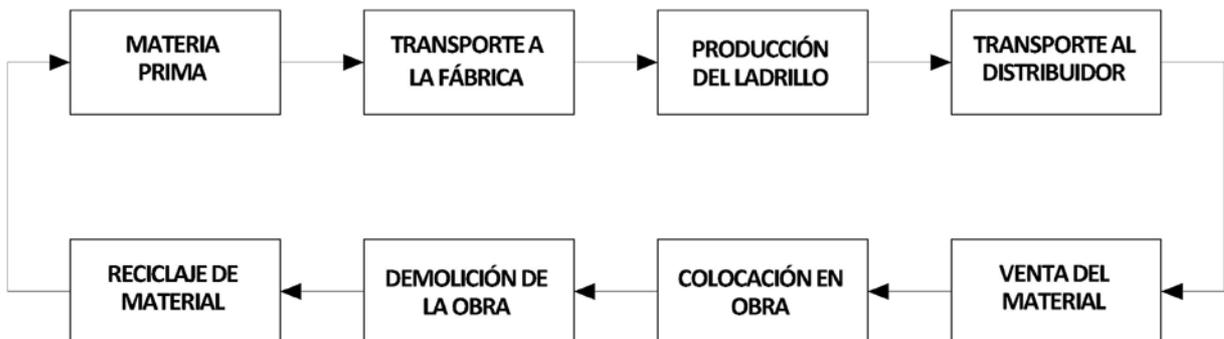


Figura No. 5 Esquema básico del ciclo de vida del ladrillo semi-mecanizado tochano.
 Fuente: Autor

2.1.1 Transporte de materia prima

Para el caso de estudio, las fuentes de materia prima son diversas, debido a que la disponibilidad de la misma es variable. Durante la fase del Inventario de Ciclo de Vida, se pudo constatar dos proveedores de materia prima (arcillas). La arcilla roja proviene de minas ubicadas en el sector de Buenos Aires, Parroquia Sayausí, Cuenca, a una distancia de 8 km de la fábrica. Las arcillas arenosas son de la Parroquia Cumbe, a 42.7 km de la fábrica. Además, se cuenta con una pequeña veta de arcilla con arena gruesa, en el sitio de producción.

2.1.2 Preparación de la mezcla de arcilla

Este proceso se realiza en el patio de mezclado de la fábrica, ubicado entre el lugar de almacenaje de materias primas y la tolva de mezclado mecánico. Se la realiza con la ayuda de una minicargadora (Bobcat 763) que opera con combustible diésel. Se procede a la mezcla de los diferentes tipos de tierra que componen la mezcla plástica, estos son: arcilla roja, arcilla arenosa y cascajo con arena gruesa, junto con agua proveniente de la red de agua potable (ver figura No. 6). Luego de este proceso, se carga el material en la tolva alimentadora e inicia el proceso de mezcla mecanizada.



Figura No. 6 Materia prima en lugar de almacenaje (izquierda). Preparación de la mezcla de arcilla (derecha).
Fuente: Autor

2.1.3 Mezcla de arcilla

La mezcla se la realiza en una mezcladora mecanizada, que está compuesta de una tolva alimentadora, donde se coloca el material producto de la preparación de la mezcla, un molino rompe terrones que disgrega el material más grande; luego, pasa por una banda alimentadora que lleva a un segundo molino, éste disgrega el material medio; y, por una segunda banda transportadora se traslada a un tercer molino, disgregando el material más fino. Por último, por una tercera banda transportadora se lleva la arcilla hasta la tolva alimentadora de la extrusora. Todo este proceso es alimentado por motores eléctricos. El proceso se muestra en la figura No. 7.

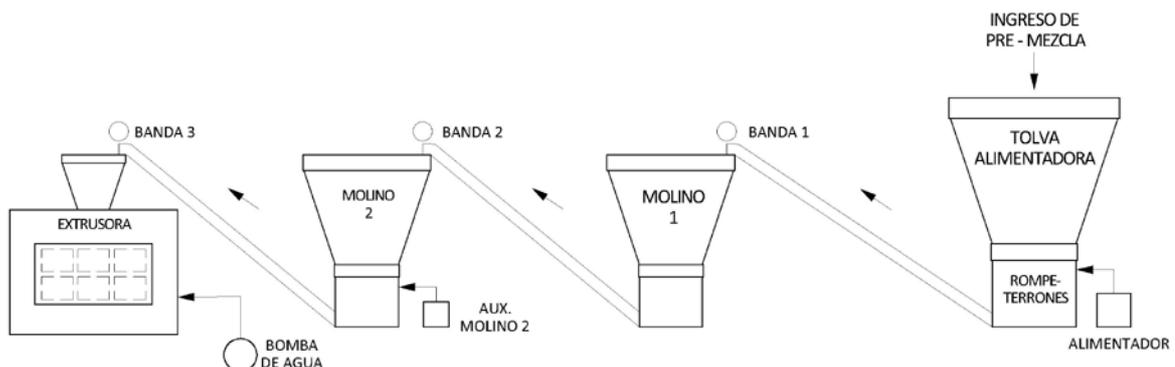


Figura No. 7 Proceso de mezcla mecanizada de arcilla en la fábrica en estudio.
Fuente: Autor

2.1.4 Extrusión

El moldeo del ladrillo se lleva a cabo en una máquina extrusora, la cual termina de homogenizar la mezcla de arcilla, y a través de un caracol sin fin, empuja la mezcla hasta la matriz. Posteriormente es cortado de la longitud específica (ver figura No. 8). La extrusora opera con un motor diésel, y la cortadora con un motor eléctrico. Luego del proceso de extrusión, se cargan los ladrillos en los carros transportadores o se trasladan por una banda transportadora hasta el proceso de secado.



Figura No. 8 Extrusora de la fábrica en estudio (izquierda). Cortadora de ladrillos (derecha).
Fuente: Autor

2.1.5 Secado del ladrillo

La fábrica cuenta con un secadero de 21 m de largo, que utiliza el aire caliente del horno, el cual es extraído por un ventilador eléctrico. Los ladrillos son introducidos en el secadero en los carros transportadores, a través de un sistema de rieles implementado, los cuales son empujados por el personal a cargo (figura No. 9). El secadero tiene una capacidad de 2100 ladrillos tochanos. El tiempo de secado es de 1 día por cada carro transportador. Este proceso reduce el tiempo de secado del ladrillo, mejorando la capacidad de producción de la fábrica. Cuando la producción en el proceso de extrusión es mayor a la capacidad del secadero, se almacenan los ladrillos en las áreas de acopio dispuestas en planta baja, a través de los carros transportadores o por medio de una banda transportadora al área de acopio en planta alta. El traslado hasta el horno se realiza desde el secadero en los carros transportadores.



Figura No. 9 Entrada del secadero (izquierda). Carros transportadores (derecha).
Fuente: Autor

2.1.6 Quema del ladrillo

El proceso de quema inicia con el llenado del horno con el producto secado, se lo descarga de los carros transportadores y se carga en una banda transportadora hasta al interior del horno, donde dos personas se encargan de distribuir uniformemente los ladrillos, dejando el espacio requerido para la leña. El horno existente en la fábrica es de tiro invertido con forma rectangular, en la parte inferior se encuentra un canal recolector de gases (tobera) y en la parte posterior se cuenta con una chimenea por donde se evacuan los gases. El calor va entre la pared del horno y la carga de ladrillos de abajo hacia arriba para luego ser succionado por la chimenea atravesando la carga de arriba hacia abajo, con lo que se consigue una cocción homogénea de los productos dada la distribución uniforme de la temperatura en la cámara de cocción que alcanza hasta 1000°C, lo cual supera el mínimo requerido para la sinterización que es de 850°C (Swisscontact 2015a). Posee múltiples puntos de suministro de aire y combustible colocados en las paredes laterales del horno, y un sistema de ventilación de velocidad regulable, adicionalmente puede inyectarse combustible (por ejemplo, aserrín) a través de las tuberías hacia las cámaras de combustión (ver figura No. 10).



Figura No. 10 Punto de suministro de leña (izquierda). Punto de suministro de aserrín (centro)
Ventilador de velocidad regulable (derecha).
Fuente: Autor

La capacidad del horno es de 5,000 ladrillos tochanos, cantidad siempre controlada para garantizar una quema uniforme de todas las unidades. El proceso de quema se realiza durante 14 horas, introduciendo la leña por los orificios inferiores y encendiéndola con la ayuda de un soplete. Luego, cuando alcanza los 80°C, sellan los ingresos de leña e introducen aserrín a través de dos ventiladores, lo cual aumenta la temperatura de quema hasta que alcanza la temperatura nominal. Una vez quemados los ladrillos, esperan 24 horas para extraer el aire caliente que alimentará el secadero (figura No.11).



Figura No. 11 Llenado del horno (izquierda). Horno de tiro invertido y tubería de extracción de aire caliente para el secadero (derecha).
Fuente: Autor

2.1.7 Traslado y almacenaje

El horno es vaciado después de cuatro días de terminada la quema, con la ayuda de la cinta transportadora que funciona con un motor eléctrico y luego colocados en pallets a razón de 100 ladrillos. Posterior son llevados con la mini-cargadora al área de almacenaje, donde se apilan en espera de la entrega final. Según la demanda, este proceso se simplifica cuando se descarga el horno directamente a los camiones de transporte.

2.2 Inventario de ciclo de vida del ladrillo tochano semi-mecanizado (ICV).

2.2.1 Definición del objetivo y del alcance

El objetivo de este estudio es determinar la energía incorporada, las emisiones de CO₂ y el material particulado del proceso de producción del ladrillo tochano de la fábrica en estudio localizada en el sector de Racar de la parroquia Sinincay. El propósito es generar un modelo eficiente energéticamente, mediante la optimización de los procesos de producción del ladrillo. En Cuenca, se produce al año un importante volumen de ladrillos tochanos, cerca de 896 millares por lo que representa una fuerte incidencia de impactos ambientales. La optimización energética y reducción de contaminantes que se obtenga de este estudio puede motivar a la industria ladrillera de la región a mejorar sus prácticas e incluso la tecnología. Los datos obtenidos se compararán con estudios similares tanto de América Latina como de Ecuador, considerando que la diferencia de los resultados puede darse por el uso de tecnologías diferentes y mix energético.

Se define como límite del sistema, el proceso de producción del ladrillo dentro de la fábrica, es decir de "puerta a puerta", en el que se analiza los procesos unitarios considerando el transporte indirecto por materia prima (ver figura No. 12).

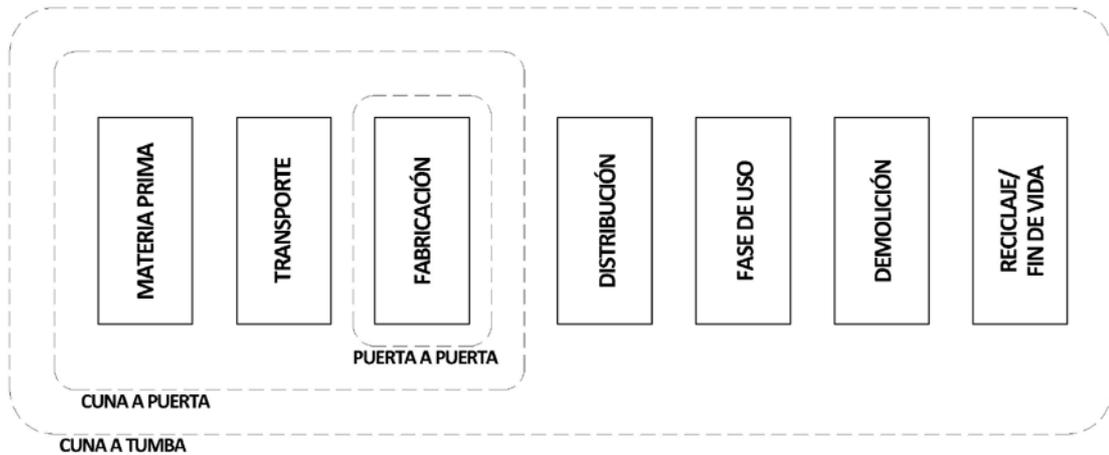


Figura No. 12 Límites del sistema del ladrillo semi-mecanizado tochano.
Fuente: Autor

La unidad funcional es una unidad de ladrillo tochano de 40x20x10 cm, semi-mecanizado. La energía incorporada se medirá en Mega julios por cada unidad (Mj/u) y las emisiones en Kg de CO₂ por unidad de ladrillo (Kg CO₂/u). Para realizar una comparación con otros estudios, se manejará equivalencias de Mega julios a kilovatios hora, y se realizará el cálculo de CO₂ por cada kg de ladrillo tochano.

En la fase de puerta a puerta, se cuantifican las entradas y salidas desde el transporte de la materia prima, preparación de la mezcla, la mezcla mecanizada, la extrusión, el secado, la quema del ladrillo tochano y el almacenamiento. En la figura No. 13, se muestra los procesos unitarios y los flujos determinados para la investigación. El límite temporal se ubica en el periodo de fabricación de un proceso de producción de ladrillo (1 quema de ladrillo).



Figura No. 13 Diagrama de procesos unitarios y entradas y salidas de fabricación del ladrillo semi-mecanizado tochano.
Elaboración: Autor



2.3 Levantamiento de información de la fábrica de ladrillo semi-mecanizado tochano

Se realizó la observación de los procesos de fabricación del ladrillo semi-mecanizado tochano, recolectando los datos de entradas y salidas durante un ciclo de producción (5000 ladrillos por quema). Para el levantamiento se utilizaron fichas basadas en la norma ISO 14044:2006, según lo indica la ISO 14040 (ISO 2007).

2.3.1 Entradas y salidas por transporte de materia prima a la fábrica

Se identificaron dos entradas por esta etapa. La materia prima y el combustible “Diesel” para la transportación de la misma. La materia prima principal para la elaboración del ladrillo es la arcilla. Para la cuantificación de la arcilla utilizada durante el proceso, se verificó la provisión del material en sitio. Existen dos proveedores, de arcilla roja de Buenos Aires y arcilla arenosa de Cumbe, minas ubicadas dentro de la provincia del Azuay. Los camiones (volquetas de 12 m³) suministran el material solicitado según la demanda de la fábrica. El tercer tipo de arcilla, denominada “cascajo arena gruesa”, se extrae del sitio de la fábrica, por lo que no produce entradas ni salidas dentro de este proceso.

Para la estimación del diésel utilizado por transportación en volquetas, se ha tomado la metodología del estudio *Variabilidad en el ciclo de vida de las emisiones de CO₂ del bloque de hormigón y la demanda acumulada de energía en el mercado brasileño*, donde el volumen de Diesel (litros) por masa de material transportado (toneladas) se calcula con la siguiente ecuación (Oliveira, Pacca y John 2016):

$$DC_{rm} = \frac{CF \times NT \times TMT \times DIST}{M_{rm}}$$

Donde DC_{rm} es el volumen de Diesel, CF es el factor de consumo por transporte, NT el número de viajes realizados para transportar la carga, TMT es el total de masa transportada (peso del vehículo y de la carga), DIST es la distancia recorrida desestimando el retorno del camión vacío y M_{rm} es la masa total de material transportado. CF proviene del estudio *Emisión De CO₂ De la Madera Serrada De la Amazonía: El Caso De la Explotación Convencional*, indicando el valor en 0.013 l / ton km, para un camión Mercedes Benz Axor 2640 6x4 (Campos 2012), semejante a los Mercedes Benz 2638 utilizados mayormente para la transportación de las arcillas en la localidad. Adicionalmente, para el cálculo de la masa de material, se conoce que el peso específico de la arcilla es de 1.9 ton/m³, determinado en el estudio *Propiedades térmicas de arcillas ecuatorianas para ser utilizadas como material refractario* (arcilla Limón-Azuay) (Tufiño 2015). La tabla No. 13 muestra las arcillas utilizadas, el lugar de proveniencia y distancia a la fábrica, los factores considerados para el caso de estudio y el volumen de diésel requerido por m³, unidad de medida utilizada para la comercialización y cuantificación de la materia prima.

Entradas	Capacidad Volqueta (m ³)	Distancia de mina a fábrica (km)	CF factor de consumo transporte (l/ton*km)	NT Viajes realizados	TMT Masa vehículo y material (ton)	M_{rm} Masa del material (ton)	DC_{rm} Volumen Diesel (l / ton)	Diesel por viaje (l)	Diesel por m ³ (l)
ARCILLA ROJA (Buenos Aires)	12	8	0.013	1	67.8	22.8	0.3093	7.0512	0.5876
ARCILLA ARENOSA (Cumbe)	12	42.7	0.013	1	67.8	22.8	1.6507	37.6358	3.1363

Tabla No. 14 Características y consumo Diésel por tipo de materia prima.
Elaboración: Autor

La salida considerada para esta fase es el CO₂ por combustión de diésel. Ésta se calcula a través de los factores señalados en *Guidebook, How to develop a sustainable energy action plan (SEAP) Part II, Baseline Emissions Inventory* (Covenant of Mayors Office & Joint Research Centre of the European Commission 2010) donde se muestra la relación entre la cantidad de combustible empleado por transporte en función a los kilovatios hora equivalentes y el factor de emisión de CO₂



por kilovatio hora de combustible. El volumen de diésel utilizado se transforma a kWh (Conversion factors for the most typical transportation fuels EMEP/EEA 2009; IPCC, 2006; diésel 10.0 kWh/l, ver tabla No. 14) y este se multiplica por el factor de emisión para determinar la emisión de CO₂ (Standard CO₂ emission factors from IPCC, 2006, 0.267 kg de CO₂/KWh).

Combustible	Factor de conversión (kWh/l)
Gasolina	9.2
Diésel	10

Tabla No. 15 Factores de conversión para los combustibles de transporte más típicos (EMEP/EEA 2009; IPCC, 2006).
Fuente: (Covenant of Mayors Office & Joint Research Centre of the European Commission 2010)
Elaboración: Autor

2.3.2 Entradas y salidas por el proceso de preparación de la mezcla

En este proceso, se levantaron los datos correspondientes a la materia prima y combustible requeridos para el traslado desde el depósito de almacenamiento de las materias primas, hasta el patio de mezclado, la mezcla de las arcillas con agua y su posterior colocación en la tolva alimentadora del mezclado mecanizado. Se verificó las entradas necesarias para la fabricación de 5000 ladrillos tochanos, capacidad de unidades del horno de la fábrica por quema. El diésel utilizado por la mini-cargadora (Bobcat 763), fue verificado según la capacidad del tanque de combustible (14 galones) para el consumo realizado en el tiempo en el que se realizó la mezcla. En la tabla No. 15 se muestra la cantidad en m³ de materia prima y diésel requeridos. Las emisiones de CO₂ por combustión de diésel, se calculan considerando los factores de SEAP para la determinación de emisión de CO₂ por combustión del combustible usado.

Entradas	Cantidad	Unidad	m ³ x palada	m ³
ARCILLA ROJA	19	paladas	0.36	6.84
ARCILLA ARENOSA	15	paladas	0.36	5.40
CASCAJO ARENA GRUESA	26	paladas	0.36	9.36
AGUA	206.42	litro	n/a	0.21
DIESEL	3.2	galón	n/a	n/a
TIEMPO MEZCLADO	1.5	hora	n/a	n/a
TIEMPO CARGA TOLVA	1	hora	n/a	n/a
Volumen total mezcla				21.81
Total de ladrillos producidos				5,000 u

Tabla No. 16 Levantamiento de Entradas del proceso de preparación de la mezcla.
Elaboración: Autor

Las emisiones de CO₂ por combustión de diésel, se calculan considerando los factores de SEAP para la determinación de emisión de CO₂ por combustión del combustible usado. El diésel utilizado se transforma a kWh (diésel 10.0 kWh/l) y este se multiplica por el factor de emisión de CO₂ (0.267 kg de CO₂/KWh).

2.3.3 Entradas y salidas por el proceso de mezcla.

La entrada definida en este proceso proviene de la energía eléctrica. La mezcla de la arcilla dentro de la fábrica es totalmente mecanizada y la tolva alimentadora, las bandas y molinos funcionan con motores eléctricos. Se determinó la potencia nominal de cada motor, para calcular el porcentaje de energía consumido del total del gasto mensual en el periodo de levantamiento de datos (mes de junio 2017). La potencia nominal viene especificada en la placa informativa que poseen los motores eléctricos y se puede observar en la tabla No. 16. El consumo total de energía eléctrica de la fábrica fue de 1315.80 kw/h (planilla Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A.).



Motores eléctricos	Potencia Nominal	
	(HP)	(kW)
Alimentador	3	2.238
Rompe terrones	5	3.73
Banda 1	2	1.492
Molino 1	30	22.38
Banda 2	2	1.492
Molino 2	10	7.46
Aux. molino 2	20	14.92
Banda 3	2	1.492
TOTAL	74	55.204

Tabla No. 17 Levantamiento de potencia nominal de motores en proceso de mezcla.
Elaboración: Autor

Para la salida del proceso, se determina la equivalencia de CO₂ por kilovatio consumido. Se encuentra a través del factor de emisión de CO₂ del Sistema Nacional Interconectado del Ecuador (SNI). Este factor determina las toneladas de CO₂ emitidas por cada megavatio hora. Para el año 2017, el valor se estimó en 0.6605 Ton CO₂/MWh (CENACE 2017).

2.3.4 Entradas y salidas por el proceso de extrusión

Para este proceso, se levantaron los datos de entradas referentes a los motores eléctricos de la bomba de agua de la extrusora y la cortadora de ladrillos automática. También se cuantificó el consumo de diésel que impulsa la extrusora. En la tabla No. 17 se muestra el total de potencia nominal utilizados en caballos de fuerza (HP) y en kilovatios (kW), y en la tabla No. 18 el total de consumo de diésel en litros para 5000 ladrillos. La producción de esa cantidad de unidades se lleva a cabo en un periodo de dos días. El peso de los ladrillos extruidos es de 7.48 kg /u.

La determinación de CO₂ por energía eléctrica y diésel consumidos, se establece con los procedimientos de cálculo anteriores, utilizando los factores de conversión de SNI (0.6605 Ton CO₂/MWh) para la energía eléctrica y SEAP para el consumo de diésel.

Motores eléctricos	Potencia Nominal	
	HP	kW
Bomba de agua	15	11.19
Cortadora	1	0.746
TOTAL	16	11.936

Tabla No. 18 Levantamiento de potencia nominal de motores en proceso de extrusión.
Elaboración: Autor

Motor diésel	Ladrillos extruidos	Consumo de diésel (litros)
Día 1	2,400	38.5
Día 2	2,600	41.5
TOTAL	5,000	80

Tabla No. 19 Levantamiento de diésel consumido por la extrusora.
Elaboración: Autor

2.3.5 Entradas y salidas por el proceso de secado

El secadero utiliza un ventilador eléctrico que absorbe el calor del horno y lo traslada a su interior. La entrada por energía eléctrica se cuantifica a través de la potencia nominal del motor del ventilador observada en la placa de características del mismo. En la tabla No. 19 se muestra la potencia del motor expresada en caballos de fuerza (HP) y en kilovatios (kW). En la tabla No. 20 se muestra la capacidad de los carros transportadores y del secadero. La determinación de la salida de CO₂ por consumo eléctrico se calcula utilizando el factor de conversión de SNI (0.6605 Ton CO₂/MWh). El peso de los ladrillos luego del secado es de 5.53 kg /u.



Motores eléctricos	Potencia Nominal	
	HP	kW
Ventilador	15	11.19
TOTAL	15	11.19

Tabla No. 20 Levantamiento de potencia nominal de motores en proceso de secado.
Elaboración: Autor

Carros transportadores	Ladrillos en carros	Total de ladrillos	Tiempo en secadero (horas)
14	150	2,100	24

Tabla No. 21 Levantamiento de capacidad secadero.
Elaboración: Autor

2.3.6 Entradas y salidas por el proceso de quema

El proceso de quema del ladrillo incluye las entradas por la combustión de leña y aserrín, las entradas por los motores utilizados para la banda transportadora, la ventilación regulable e ingreso de aserrín. En la tabla No. 21 se muestra la potencia nominal de los motores eléctricos en caballos de fuerza (HP) y en kilovatios (kW), dando como resultado un total de 11 HP equivalentes a 8.206 kW. En la tabla No. 22 se determina la cantidad y peso de leña y aserrín que se utiliza en una quema. El levantamiento de la información se realizó desde la carga del horno, proceso llevado a cabo desde la salida de los ladrillos del secadero. La energía y las emisiones se consideran por 5000 ladrillos, cantidad de ladrillos en el horno.

Motores eléctricos	Potencia Nominal	
	HP	kW
Banda transportadora	2	1.492
Ventilador	7	5.222
Ventiladores ingreso aserrín	2	1.492
TOTAL	11	8.206

Tabla No. 22 Levantamiento de potencia nominal de motores en proceso de quema.
Elaboración: Autor

Combustibles	Cantidad de combustible por quema	Unidad	kg/m ³ eucalipto (factores)	Total kg
Leña de eucalipto	4	m ³	475	1,900
Aserrín	4	m ³	300	1,200
Total kg combustible				3,100
Kg / u ladrillo				0.62

Tabla No. 23 Levantamiento de leña consumida en proceso de quema.
Elaboración: Autor

Se ha considerado como densidad básica de la madera 475 kg/m³, factor usado para calcular el peso en kg del Eucalipto por su volumen (Ficha técnica de Especies Forestales N° 10 ecuadorforestal.org - Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca de Ecuador). Para el aserrín, se determinó una densidad de 300 kg/cm³ (Cea Muñoz 2003).

La determinación de la salida de CO₂ por consumo eléctrico se calcula utilizando el factor de conversión de SNI (0.6605 Ton CO₂/MWh). La cantidad de CO₂ emitida al ambiente por la quema, se determina según SEAP con el factor de emisión de CO₂ por kilovatio hora de combustión de madera, este varía de 0 a 0,403 kg CO₂/KWh (Standard CO₂ emission factors from IPCC, 2006) utilizando el menor valor si la madera se cosecha de manera sostenible o mayor si la cosecha es insostenible (Covenant of Mayors Office & Joint Research Centre of the European Commission 2010).



2.3.7 Entradas y salidas por traslado y almacenaje

Las entradas están definidas por los equipos utilizados en este proceso, un motor eléctrico para la banda transportadora usada para la descarga del horno, y el consumo de diésel por la mini cargadora, utilizada para el transporte de los ladrillos hasta el patio de almacenaje. En la tabla No. 23 se muestra la potencia nominal en caballos de fuerza (HP) y en kilovatios (kW), en la tabla No. 24 se muestra la cantidad de diésel utilizado para movilizar 5000 ladrillos en un periodo de 2 horas y media. El peso del ladrillo cocido es de 5 kg.

Motores eléctricos	Potencia Nominal	
	HP	kW
Banda Transportadora	2	1.492
TOTAL	2	1.492

Tabla No. 24 Levantamiento de potencia nominal de motores en proceso de traslado y almacenaje.
Elaboración: Autor

Combustible	Cantidad	Unidad
DIESEL	3	galón
Tiempo almacenaje	2.5	horas
Total de ladrillos almacenados	5,000	u

Tabla No. 25 Levantamiento de consumo de Diésel por traslado y almacenaje.
Elaboración: Autor

Para la determinación de emisiones de CO₂, se utilizan los cálculos antes descritos, utilizando el factor de conversión de SNI (0.6605 Ton CO₂/MWh) para energía eléctrica y SEAP para el consumo de diésel (diésel por 10.0 kWh/l y 0.267 kg de CO₂/KWh).

2.3.8 Material Particulado

Los factores de emisión a ser tomados en cuenta son de los contaminantes producidos por la combustión de leña (g/kg leña). La estimación del material particulado PM₁₀ tiene un factor de emisión de 1.57x10⁻⁵ toneladas por kilogramo definido por la EPA 1995. Las emisiones totales se calculan aplicando el modelo siguiente: $EPM_{10} = FE \times CC \times NA$. Donde EPM₁₀ son las emisiones de PM₁₀ totales (ton/año), FE es el factor de emisión de contaminantes por actividad, CC es el consumo de combustible por actividad y NA es el nivel de actividad en unidades de tiempo (Jaya y Vásquez 2012).

El levantamiento de la información de material particulado se realizó por medición directa de la fuente, es decir, se tomó los datos desde la chimenea del horno de la fábrica. Para la estimación del material particulado MP₁₀ y PM_{2.5}, a través de la medición en sitio, se utiliza la razón PM_{2.5} o PM₁₀ a PM. Las partículas menores a 2.5 μm son una fracción relativamente constante de las partículas menores 10 μm. La Comisión de Recursos del Aire del estado de California (CARB) en el informe *Improvement of Specific Emission Factors (BACM Project No. 1)*, ha desarrollado una extensa recopilación de datos de donde se pueden obtener las razones PM_{2.5}/PM y PM₁₀/PM para una variedad de procesos. Para la combustión de residuos de madera se determina en PM_{2.5}/PM=0.927 y PM₁₀/PM=0.997 (Gobierno de México 2009). La medición de los gases producidos por la quema dentro de la fábrica semi-mecanizada la realizó la Swisscontact a través de la empresa Corplab.

La metodología utilizada fue la CFR 5 parte 60, 2004 de la U.S. Environmental Protection Agency EPA, para el equipo de monitoreo tipo tren isocinético (Corplab 2016). El Código de Regulaciones Federales de la EPA (CFR), establece los criterios representativos para la localización de los sitios de muestreo de partículas, como la altura de la toma de muestra sobre el piso, la distancia al árbol más cercano, la distancia del muestreador a obstáculos como edificios, el equipo debe tener un flujo de aire sin restricciones, no podrá haber flujos de hornos o de incineración cercanos y la distancia a las carreteras o caminos. Además, establece el modelo matemático de dispersión, donde se tienen



en cuenta parámetros como la cantidad de contaminante emitida por unidad de tiempo, la posición y altura de emisión, la velocidad y dirección de los vientos dominantes, la estabilidad atmosférica, la altura de mezclado y el comportamiento químico del contaminante (posibles reacciones, vida media) (Arciniegas Suárez 2012).

3. RESULTADOS

Los resultados se presentan por procesos unitarios del sistema de fabricación del ladrillo semi-mecanizado tochano. Para cada uno de ellos se determina la energía incorporada y las emisiones de CO₂ emitidas según la metodología de muestreo y cálculo. Para el proceso de quema, se muestra la estimación de MP₁₀ y MP_{2.5} y la medición en sitio de material particulado.

3.1 Determinación de energía eléctrica consumida por procesos del sistema

Para la determinación de la energía eléctrica consumida por cada proceso, se realizó el levantamiento de la potencia nominal de los motores que los componen, se determinó el consumo de cada etapa según el número de ladrillos elaborados en un mes y se consideró la planilla eléctrica del mismo mes. En la tabla No. 25 se muestran los valores de consumo eléctrico en base a la unidad funcional definida.

Motores eléctricos	Cantidad	Unidad	% en fabricación	kWh / planilla	u ladrillo / mes	kWh / quema	kWh / u ladrillo
mezcla	55.204	kW	63%	825.1627	50,000	n/a	0.0165
Extrusión	11.936	kW	14%	178.4136	50,000	n/a	0.0036
Secado	11.19	kW	13%	167.2627	50,000	n/a	0.0033
Quema	8.206	kW	9%	122.6593	20,000	30.6648	0.0061
Traslado & almacenaje	1.492	kW	2%	22.3017	20,000	5.5754	0.0011
Total planilla mes de julio 2017			100%	1315.8	kWh		

Tabla No. 26 Levantamiento de consumo de energía eléctrica del sistema de fabricación de ladrillo tochano.
Elaboración: Autor

3.2 Determinación de energía incorporada y emisiones de CO₂ por procesos.

3.2.1 Transporte de materia prima a la fábrica

Se determina la energía incorporada y las emisiones de CO₂ por el transporte de la materia prima. Se define la cantidad de litros por quema (5,000 ladrillos tochanos) para luego determinar el consumo por unidad funcional. La tabla No. 26 muestra el total de litros de diésel consumidos por transporte fuera de los límites de la planta por cada tipo de arcilla transportado. El total es de 0.0042 l/u de ladrillo tochano. Aplicando las conversiones establecidas en la tabla No. 27, se obtiene que la energía incorporada es de 0.0419 kWh/u y las emisiones de 0.0112 kg de CO₂/u de ladrillo. La transformación de la energía a mega julios es necesaria para realizar comparaciones con otros estudios que generan su información en tal unidad (Tabla No. 28).

Entradas	m ³ / quema	litro / quema	litro / u
ARCILLA ROJA	6.84	4.0192	0.0008
ARCILLA ARENOSA	5.40	16.9361	0.0034
<i>Total litro / u ladrillo</i>			<i>0.0042</i>

Tabla No. 27 Determinación de litros consumidos por unidad funcional (1 ladrillo tochano).
Elaboración: Autor



SEAP Guidelines Part II, Baseline Emissions Inventory		
	Cantidad	Unidad
kWh/l diésel (factor)	10	kWh/l
kWh/l diésel / u ENERGÍA INCORPORADA	0.0419	kWh/u
CO ₂ /kWh diésel (factor)	0.267	kg CO ₂ /l
CO ₂ /kg diésel / u EMISIONES DE CO ₂	0.0112	Kg CO ₂ /u

Tabla No. 28 Determinación de energía incorporada y emisión de CO₂ por unidad funcional (1 ladrillo tochano).
Elaboración: Autor

	Cantidad	Unidad
kWh/l diesel / u	0.0419	kWh
Mj / kWh (factor)	3.6	Mj
Mj / u	0.1509	Mj

Tabla No. 29 Conversión a mega julios de la energía incorporada.
Elaboración: Autor

3.2.2 Proceso de preparación de la mezcla

Se procede a determinar el consumo de diésel por unidad funcional, como se indica en la tabla No. 28. Posteriormente, se procede a calcular la energía incorporada y emisiones de CO₂ (ver tabla No. 29 y 30), determinándose que en la etapa de preparación de mezcla se consume 0.0872 MJ/u y se emite 0.0065 kg de CO₂/u de ladrillo (tabla No. 31).

	Cantidad	Unidad
Diésel consumido	3.20	gal
Total ladrillos extruidos	5,000	u
Galones diésel / u	0.0006	gal
Litros diésel /unidad	0.0024	l

Tabla No. 30 Determinación de diésel consumido por unidad funcional (1 ladrillo tochano).
Elaboración: Autor

SEAP Guidelines Part II, Baseline Emissions Inventory		
	Cantidad	Unidad
kWh/l diesel (factor)	10	kWh/l
kWh/l diesel / u ENERGÍA INCORPORADA	0.0242	kWh/u
CO ₂ /kWh diesel (factor)	0.267	Kg CO ₂ /l
CO ₂ /kg diesel / u EMISIONES DE CO ₂	0.0065	Kg CO ₂ /u

Tabla No. 31 Determinación de energía incorporada y emisión de CO₂ por unidad funcional (1 ladrillo tochano).
Elaboración: Autor

	Cantidad	Unidad
kWh/l diésel / u	0.0242	kWh/u
Mj / kWh (factor)	3.6	Mj
Mj / u	0.0872	Mj/u

Tabla No. 32 Conversión a mega julios de la energía incorporada.
Elaboración: Autor

3.2.3 Proceso de mezcla

En la tabla No. 24 se estableció el cálculo de energía eléctrica en el proceso de mezcla obteniendo un resultado de 0.0165 kWh/u. Aplicando el factor de conversión como se indica en la tabla No. 32 se obtiene que en este proceso las emisiones son de 0.0109 kg de CO₂/u de ladrillo y 0.0594 MJ por energía incorporada (tabla No. 33).



Factor de emisión de CO ₂ Sistema Nacional Interconectado CENACE 2017		
		Unidad
CO ₂ /kWh (factor)	0.6605	Kg CO ₂
kW / u ENERGÍA INCORPORADA	0.0165	kWh/u
CO ₂ /kWh / u EMISIONES DE CO ₂	0.0109	kg CO ₂ /u

Tabla No. 33 Determinación de energía incorporada y emisión de CO₂ por unidad funcional (1 ladrillo tochano).
Elaboración: Autor

	Cantidad	Unidad
kWh / u	0.0165	kWh/u
Mj / kWh (factor)	3.6	Mj
Mj / u	0.0594	Mj

Tabla No. 34 Conversión a mega julios de la energía incorporada.
Elaboración: Autor

3.2.4 Proceso de extrusión

Se determina el consumo de diésel por unidad de ladrillo según se muestra en la tabla No. 34, posteriormente se aplica el factor de conversión para obtener la energía incorporada y las emisiones de CO₂ especificadas en la tabla 35. Se obtiene que el valor de energía incorporada en el proceso de extrusión por consumo de diésel y electricidad es de 0.016 kWh/u y 0.0036 kWh/u respectivamente con unas emisiones de 0.0042 kg de Co₂/u y 0.0024 kg de Co₂/u. Por tanto, el total de energía incorporada en este proceso es de 0.0196 kWh/u (0.0704 Mj ver tabla No. 36) con emisiones de 0.066 kg de CO₂/u.

	Cantidad	Unidad
diésel	80	l
Ladillos extruidos	5,000	u
diésel/u (l)	0.016	l/u

Tabla No. 35 Determinación de diésel consumido por unidad funcional (1 ladrillo tochano).
Elaboración: Autor

SEAP Guidelines Part II, Baseline Emissions Inventory		
	Cantidad	unidad
kWh/l diésel (factor)	10	kWh/l
kWh/l diésel / u ENERGÍA INCORPORADA	0.016	kWh/u
CO ₂ /kWh diésel (factor)	0.267	Kg CO ₂ /l
CO ₂ /kg diésel / u EMISIONES DE CO ₂	0.0042	Kg CO ₂ /u
Factor de emisión de CO ₂ Sistema Nacional Interconectado CENACE 2017		
CO ₂ /kWh (factor)	0.6605	Kg CO ₂
kW / u ENERGÍA INCORPORADA	0.0036	kWh/u
CO ₂ /kWh / u EMISIONES DE CO ₂	0.0024	kg CO ₂ /u
TOTAL DE EMISIONES DE CO ₂	0.0066	Kg CO ₂ /u
TOTAL DE ENERGÍA INCORPORADA	0.0196	kWh/u

Tabla No. 36 Determinación de energía incorporada y emisión de CO₂ por unidad funcional (1 ladrillo tochano).
Elaboración: Autor

	Cantidad	Unidad
kWh / u	0.0196	kWh/u
Mj / kWh (factor)	3.6	Mj
Mj / u	0.0704	Mj

Tabla No. 37 Conversión a mega julios de la energía incorporada.
Elaboración: Autor



3.2.5 Proceso de secado

En la tabla No. 24 se determinó el cálculo de energía eléctrica para el proceso de secado resultando ser de 0.0033 kWh/u. Aplicando el factor de conversión como se indica en la tabla 37 se obtiene que en este proceso las emisiones son de 0.0022 kg de CO₂/u de ladrillo.

Factor de emisión de CO ₂ Sistema Nacional Interconectado CENACE 2017		
		Unidad
CO ₂ /kWh (factor)	0.6605	Kg CO ₂
kW / u ENERGÍA INCORPORADA	0.0033	kWh/u
CO ₂ /kWh / u EMISIONES DE CO ₂	0.0022	kg CO ₂ /u

Tabla No. 38 Determinación de energía incorporada y emisión de CO₂ por unidad funcional (1 ladrillo tochano).
Elaboración: Autor

	Cantidad	Unidad
kWh / u	0.0033	kWh/u
Mj / kWh (factor)	3.6	Mj
Mj / u	0.0120	Mj

Tabla No. 39 Conversión a mega julios de la energía incorporada.
Elaboración: Autor

3.2.6 Proceso de quema

En base a la cuantificación de leña y aserrín utilizado para el proceso de quema especificados en la tabla No. 22, se procesa a determinar la equivalencia de energía por kg de madera. Se utiliza los factores establecidos por (Atmos Company, 2008), considerando que la madera de eucalipto presenta entre un 12 a 20% de agua y un valor calorífico de 4 kWh/kg. Con una cantidad de 0.62 kg entre leña y aserrín por unidad de ladrillo y aplicando los valores de conversión según la tabla No. 39, se obtiene que la energía incorporada por quema de madera y por uso de energía eléctrica es de 2.48 kWh/u y 0.0061 kWh/u respectivamente. La emisión total por ambas entradas de energía es de 1.0035 kg de Co₂/u. En la tabla No. 40 consta la energía en MJ.

Atmos Company, 2008		
	Cantidad	Unidad
kWh/kg madera (factor)	4	kWh/kg
kg leña / u	0.62	Kg/u
kWh /kg leña / u ENERGÍA INCORPORADA POR QUEMA DE LEÑA	2.48	kWh/u
SEAP Guidelines Part II, Baseline Emissions Inventory		
CO ₂ /kWh madera (factor)	0.403	kg CO ₂
kWh / u	2.48	Kg/u
CO ₂ /kg madera / u EMISIONES DE CO ₂ POR QUEMA DE LEÑA	0.9994	kg CO ₂ /u
Factor de emisión de CO ₂ Sistema Nacional Interconectado CENACE 2017		
CO ₂ /kwh (factor)	0.6605	kg
kW / u ENERGÍA INCORPORADA POR ENERGÍA ELÉCTRICA	0.0061	kWh
CO ₂ /kWh / u EMISIONES DE CO ₂ POR ENERGÍA ELECTRICA	0.0041	kg
TOTAL DE EMISIONES DE CO ₂	1.0035	kg
TOTAL DE ENERGÍA INCORPORADA	2.4861	kWh

Tabla No. 40 Determinación de energía incorporada y emisión de CO₂ por unidad funcional (1 ladrillo tochano).
Elaboración: Autor

	Cantidad	Unidad
kWh / u	2.4861	kWh/u
Mj / kWh (factor)	3.6	Mj
Mj / u	8.9501	Mj

Tabla No. 41 Conversión a mega julios de la energía incorporada.
Elaboración: Autor



3.2.7 Proceso de traslado y almacenaje

La fabricación se cierra con este proceso. En la tabla No. 41 se determina el volumen de diésel utilizado por cada unidad de ladrillo (0.0023 l/u). En la tabla No. 42 se indican los valores de conversión aplicados para la determinación de la energía incorporada y las emisiones de CO₂, con los cuales se obtiene que la energía incorporada del proceso es de 0.0034 kWh/u y las emisiones de CO₂ son de 0.0013 Kg de CO₂/u (conversión de energía a Mj en tabla No. 43).

	Cantidad	Unidad
diésel consumido	3.0	gal
total ladrillos almacenados	5,000	u
galones diésel / u	0.0006	gal/u
litros diésel /unidad	0.0023	l/u

Tabla No. 42 Determinación de diésel consumido por unidad funcional (1 ladrillo tochano).
Elaboración: Autor

SEAP Guidelines Part II, Baseline Emissions Inventory		
	Cantidad	unidad
kWh/l diésel (factor)	10	kWh/l
kWh/l diésel / u ENERGÍA INCORPORADA	0.0023	kWh/u
CO₂/kWh diésel (factor)	0.267	Kg CO₂/l
CO ₂ /kg diésel / u EMISIONES DE CO ₂	0.0006	Kg CO ₂ /u
Factor de emisión de CO ₂ Sistema Nacional Interconectado CENACE 2017		
CO₂/kWh (factor)	0.6605	Kg CO₂
kWh / u ENERGÍA INCORPORADA	0.0011	kWh/u
CO ₂ /kWh / u EMISIONES DE CO ₂	0.0007	kg CO ₂ /u
TOTAL DE EMISIONES DE CO ₂	0.0013	Kg CO ₂ /u
TOTAL DE ENERGÍA INCORPORADA	0.0034	kWh/u

Tabla No. 43 Determinación de energía incorporada y emisión de CO₂ por unidad funcional (1 ladrillo tochano).
Elaboración: Autor

	Cantidad	unidad
kWh/l diésel / u	0.0034	kWh/u
Mj / kWh (factor)	3.6	Mj
Mj / u	0.0122	Mj

Tabla No. 44 Conversión a mega julios de la energía incorporada.
Elaboración: Autor

3.3 Determinación de energía incorporada y emisiones de CO₂ del sistema por unidad funcional.

Con los resultados obtenidos por cada proceso de fabricación del ladrillo tochano, es posible determinar la totalidad de la energía del sistema establecido. Al obtener los factores de cada uno de los procesos, se pueden identificar aquellos en los que la demanda y emisiones son más significativas, con el propósito de direccionar esfuerzos para mejorarlos. Los resultados de emisiones de CO₂ y de energía incorporada se muestran en las tablas No. 44 y 45 respectivamente.

Emisiones de CO ₂	kg CO ₂ / u	kg u	kg CO ₂ / kg	%
Transporte de materia prima	0.0112	5.5202	0.0020	1.07%
Preparación de la mezcla	0.0065	5.5202	0.0012	0.62%
Mezcla	0.0109	5.5202	0.0020	1.05%
Extrusión	0.0066	5.5202	0.0012	0.64%
Secado	0.0022	5.5202	0.0004	0.21%
Quema	1.0035	5.5202	0.1818	96.28%
Traslado & almacenaje	0.0013	5.5202	0.0002	0.13%
TOTAL	1.0422		0.1888	100.00%

Tabla No. 45 Emisiones de CO₂ del sistema de fabricación de ladrillo tochano.
Elaboración: Autor



Energía Incorporada	Mj / u	kg u	Mj / kg	%
Transporte de materia prima	0.1509	5.5202	0.0273	1.62%
Preparación de la mezcla	0.0872	5.5202	0.0158	0.93%
Mezcla	0.0594	5.5202	0.0108	0.64%
Extrusión	0.0704	5.5202	0.0128	0.75%
Secado	0.0120	5.5202	0.0022	0.13%
Quema	8.9501	5.5202	1.6213	95.80%
Traslado & almacenaje	0.0122	5.5202	0.0022	0.13%
TOTAL	9.3423		1.6924	100.00%

Tabla No. 46 Energía Incorporada del sistema de fabricación de ladrillo tochano.
Elaboración: Autor

3.4 Determinación del material particulado del sistema de ladrillo tochano

Para la determinación del material particulado en la producción del ladrillo tochano en la fábrica en estudio, se toma en cuenta que el proceso de quema es el de mayor incidencia tanto en energía contenida como en emisiones de CO₂, con porcentajes del 95.80% y 96.28% respectivamente. Por esta razón se considera que la estimación de material particulado para los procesos de transporte de materia prima, preparación de la mezcla, extrusión y traslado & almacenaje, donde se genera estas emisiones por combustión de diésel, no son relevantes.

En la tabla No. 46 se muestra los valores determinados para el consumo de combustible para la quema de ladrillo, el nivel de actividad o cantidad de ladrillos estimados a producir durante un año y el factor de emisión (EPA 1995). El valor estimado de emisiones de material particulado PM₁₀ es de 2.3362 ton/año.

Emisiones de PM ₁₀	Factor de emisión FE (ton/kg)	Consumo de combustible CC (kg/u ladrillo)	Nivel de actividad NA (ladrillos/año)	EPM ₁₀ (ton/año)
MP ₁₀	1.57x10 ⁻⁵	0.62	240000	2.3362

Tabla No. 47 Estimación de emisiones de PM₁₀ en toneladas por año.
Elaboración: Autor

Las mediciones de material particulado se llevaron a cabo dentro de la fábrica por la Swisscontact y el programa de Eficiencia Energética en Ladrilleras Artesanales (EELA), dentro del periodo en el que se llevó el estudio en la Ciudad de Cuenca (Corplab 2016). A partir del resultado de 18 mg/m₃ (ver tabla No. 47), es posible realizar el cálculo de las emisiones de material particulado con el método de la CARB. En la tabla No. 48 se muestra el valor de PM_{2.5}/PM y PM₁₀/PM con el cual se calcula que el valor estimado de emisiones de material particulado, 16.686 mg/m³ para PM_{2.5} y de 17.946 mg/m³ para PM₁₀.

Material Particulado - CORPLAB 2016		
Concentración no corregida	25	mg/m ³
Concentración corregida	18	mg/m ³

Tabla No. 48 Material particulado emitido durante una quema de ladrillos.
Fuente: CORPLAB 2016
Elaboración: Autor

Contaminante	Concentración medida de la fuente mg/m ³	Relación MP _{2.5} /MP ₁₀ /MP	Concentración media 24 horas mg/m ³
MP _{2.5}	18	0.927	16.686
MP ₁₀	18	0.997	17.946

Tabla No. 49 Determinación de concentración media de MP_{2.5} y MP₁₀
Elaboración: Autor



4. INTERPRETACIÓN DEL INVENTARIO DE CICLO DE VIDA

La evaluación de la fabricación del ladrillo tochano semi – mecanizado a través del Análisis de Ciclo de Vida, permite determinar la energía contenida, las emisiones de CO₂ y material particulado del sistema propuesto en el alcance del estudio. Para esto se llevó a cabo el levantamiento de la información necesaria para dicha determinación a través del Inventario de Ciclo de Vida. Es necesario el análisis de estudios semejantes para generar criterios de observación cuantitativos y cualitativos, y de esta manera generar una discusión de los resultados obtenidos en el Inventario de Ciclo de Vida. La pertinencia de estos estudios está determinada por el uso de la misma infraestructura para la quema del ladrillo, horno de tiro invertido, puesto que, de la observación preliminar, es el proceso que más influye en la determinación de las emisiones de CO₂, energía incorporada y material particulado. Para la construcción de la discusión del proceso de fabricación del ladrillo tochano semi-mecanizado, es necesario resumir los factores de energía contenida y emisiones de CO₂ que intervienen en éste (ver tabla 49).

	kg CO ₂ / u	kg CO ₂ / kg
Emisiones de CO ₂	1.042	0.19
	Mj / u	Mj / kg
Energía Incorporada	9.34	1.69

Tabla No. 50 Emisiones de CO₂ y Energía Incorporada del ICV ladrillo tochano semi-mecanizado.
Elaboración: Autor

Determinar las entradas y salidas por cada proceso unitario del sistema, permite analizar cada uno de los ítems con especificidad, puesto que no todos los estudios definen la misma unidad funcional, o presentan los datos según el mismo criterio de difusión.

No todos los procesos unitarios son comparables, puesto que no todos los estudios se realizan con el mismo límite del sistema, esto por las características de infraestructura y tecnología de las fábricas en donde se realiza el levantamiento de información del Inventario de Ciclo de Vida. Sin embargo, es pertinente realizar la comparación del proceso de quema de ladrillos de todos los casos de estudios comparativos, puesto que, y como se muestra en la figura No. 14, es la fase que representa la mayor cantidad tanto de energía contenida como de emisiones de CO₂, con un porcentaje mayor al 95%.

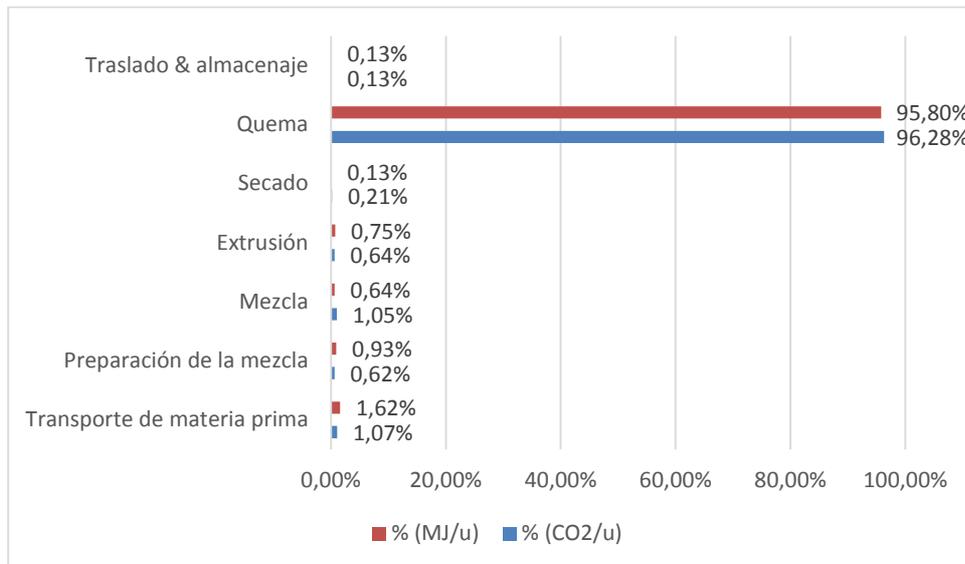


Figura No. 14 Porcentajes de energía incorporada y emisiones de CO₂ por procesos del caso de estudio.
Elaboración: Autor



El estudio realizado por la Universidad de Cuenca por Córdova y Maldonado (Córdova; y Maldonado 2017), es un estudio del mismo tipo de ladrillo en otra fábrica de la ciudad. La pertinencia de tomar esta referencia como comparación principal, permitirá validar los resultados de este estudio. Se tomará en cuenta, además, el estudio realizado por la Swisscontact, *informe de la quinta quema en el horno prototipo* (Swisscontact 2012). Los estudios de referencia se escogieron por el tipo de horno, que, en los tres casos, son de tiro invertido. Debido a que el proceso de quemado es el de mayor consumo energético y emisor de CO₂, se toma en cuenta solo los valores de dicho proceso para la comparación entre estudios.

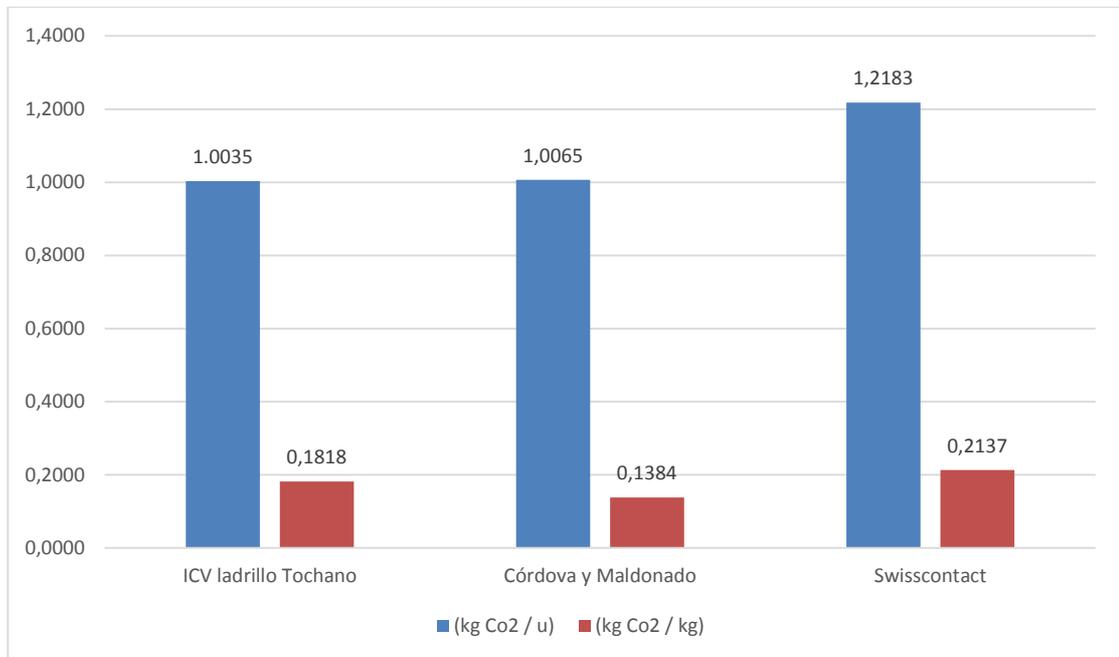


Figura No. 15 Comparación de Emisiones de CO₂ por proceso de quema.
Elaboración: Autor

En la comparación de las emisiones de CO₂ de la figura No. 15, se observa que el valor para cada uno de los estudios es bastante cercano para la estimación de kg CO₂ / u, esto debido a que el tipo de horno ha sido certificado por la EELA para la combustión más eficiente de la leña y su reducción de la cantidad usada. La emisión de CO₂ es directamente proporcional a la cantidad de leña usada en el proceso de quema. Para el caso de estudio, se determinó que la masa de leña utilizada fue de 3100 kg para 5000 ladrillos, considerablemente más bajo que para el primer caso comparativo, 4631,25 kg para 7500 ladrillos (Córdova; y Maldonado 2017) y más alto para el segundo caso, 2918 kg de leña para 2700 ladrillos (Swisscontact 2012). En los dos casos comparativos, se utiliza íntegramente leña seca de eucalipto, mientras que, en el caso de estudio, se ocupó aserrín durante el proceso, esto, contribuye para que la temperatura de sinterización se alcance más rápido. Las emisiones de CO₂ por kg de ladrillo son más bajas en el caso de Córdova y Maldonado, principalmente porque la masa de ladrillos dentro del horno por quema es mucho mayor que en el caso de estudio y el caso Swisscontact. Para evaluar la eficiencia, se determina la cantidad de leña en kg necesaria la cocción de 1 kg de unidad funcional en la figura No. 16.

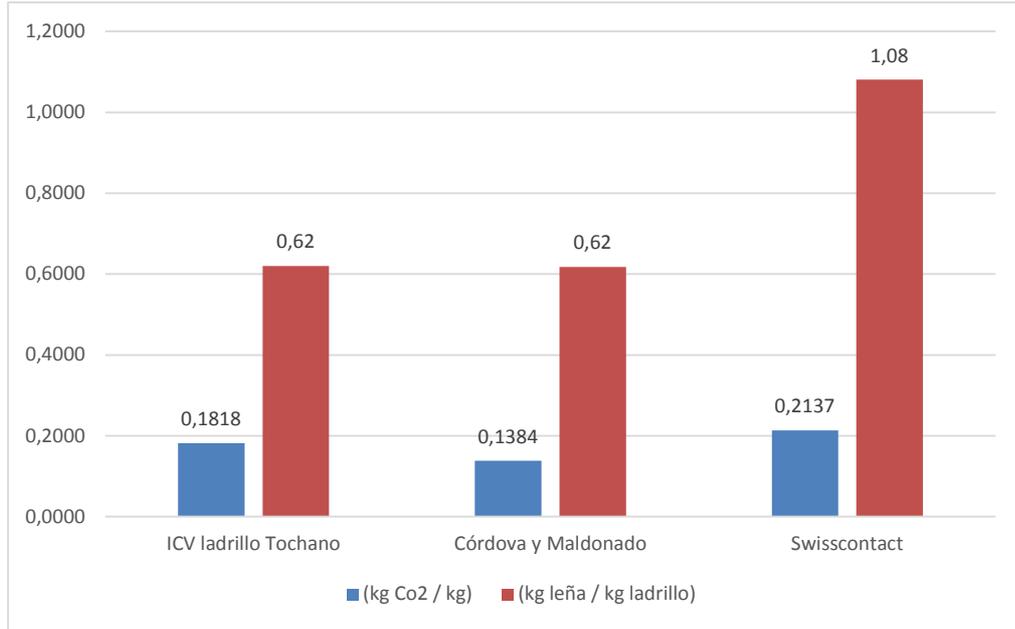


Figura No. 16 Comparación de Emisiones de CO₂, (kg CO₂ / kg) y (kg leña / u) por proceso de quema.
Elaboración: Autor

Bajo esta comparación, se observa que los dos primeros casos requieren la misma cantidad de leña por kg cocido de ladrillo. El tercer caso utilizó un 43% más de leña por kg cocido de ladrillo. Se puede determinar entonces, que el caso de estudio es un modelo eficiente para el tipo de horno. Esta consideración acredita la inclusión del horno de la fábrica como un caso de éxito por la Swisscontact y el programa EELA (Swisscontact 2015a).

La energía incorporada de los hornos de las tres fábricas presenta rangos similares para el caso de estudio y el realizado por Córdova y Maldonado. El caso de Swisscontact presenta rangos 55% mayores. Se determina entonces, que los casos locales son más eficientes energéticamente. El caso de estudio es ligeramente menos eficiente en términos de consumo por unidad y kg. La cantidad de ladrillos en el horno influye para esta apreciación.

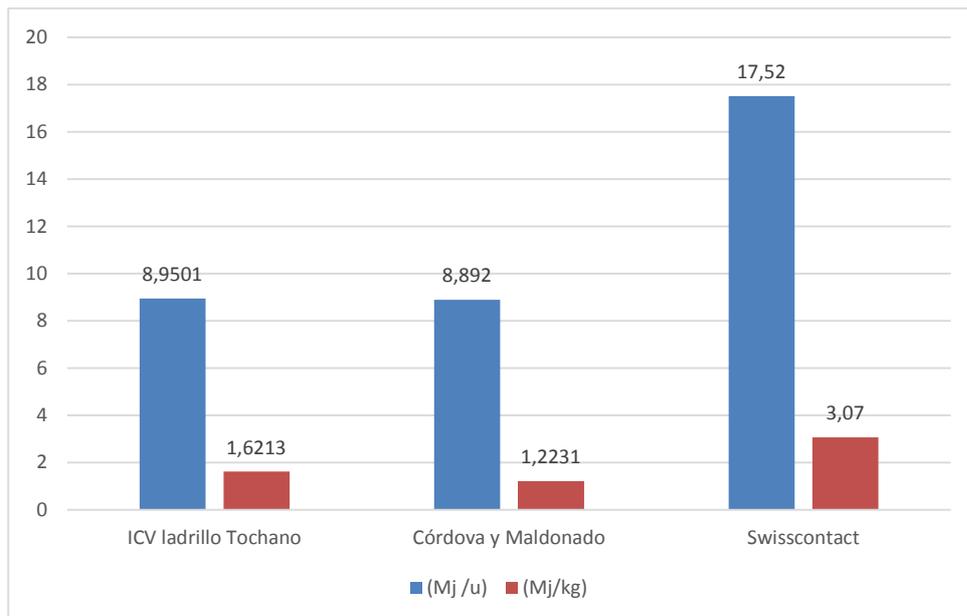


Figura No. 17 Comparación de Energía Incorporada por proceso de quema.
Elaboración: Autor



La diferencia sustancial se encuentra en la determinación de la energía usada para la cocción por kg de ladrillo. Cada unidad de ladrillo para el caso de estudio y el de Swisscontact consumió más energía que en el estudio de Córdova y Maldonado. Esto se debe a que la masa de ladrillos dentro de los hornos durante la quema es mucho menor en los dos casos. La energía incorporada por la quema es proporcional a la cantidad de ladrillos quemados, por lo tanto a mayor cantidad de ladrillos menor energía por ladrillo, y a mayor peso del ladrillo, menor la energía que requerirá por kg. Los pesos determinados para cada estudio se muestran en la tabla No. 50.

Peso de ladrillo	kg u
ICV ladrillo Tochano	5.52
Córdova y Maldonado	7.27
Swisscontact	5.70

Tabla No. 51 Peso de ladrillos de los casos de comparación.
Elaboración: Autor

El proceso de secado de cada fábrica influye en la determinación del peso del ladrillo antes de ingresar al horno. El uso del secadero reduce el peso del ladrillo en un 26% en el caso de estudio. Esto indica que la cantidad de energía requerida para la cocción será menor. La eficiencia se determinó entonces, con la cantidad de leña requerida para generar una unidad de energía incorporada de cada caso de estudio. Se puede observar en la figura No. 18, que utilizando la misma cantidad de leña para el caso de estudio y el de Córdova y Maldonado, el primero genera menos energía por kg de leña utilizado. Es decir, requiere más leña para generar un Mega julio de energía. Para el caso de estudio de Swisscontact, se determina que la cantidad de leña requerida para generar 3.07 Mj de energía, es de 1.08 kg. Es decir una proporción de 1 kg para 2.84 Mj. Al ser el estudio de Swisscontact una validación para el horno de tiro invertido, al compararlo con el presente estudio y el de Córdova y Maldonado (ver figura No. 19), con valores de 1kg para 2.62 Mj y de 1Kg para 1.97 Mj respectivamente, se puede concluir que la fabricación de ladrillo tochano semi-mecanizado de los casos locales, cumplen el ideal de consumo energético para el tipo de horno.

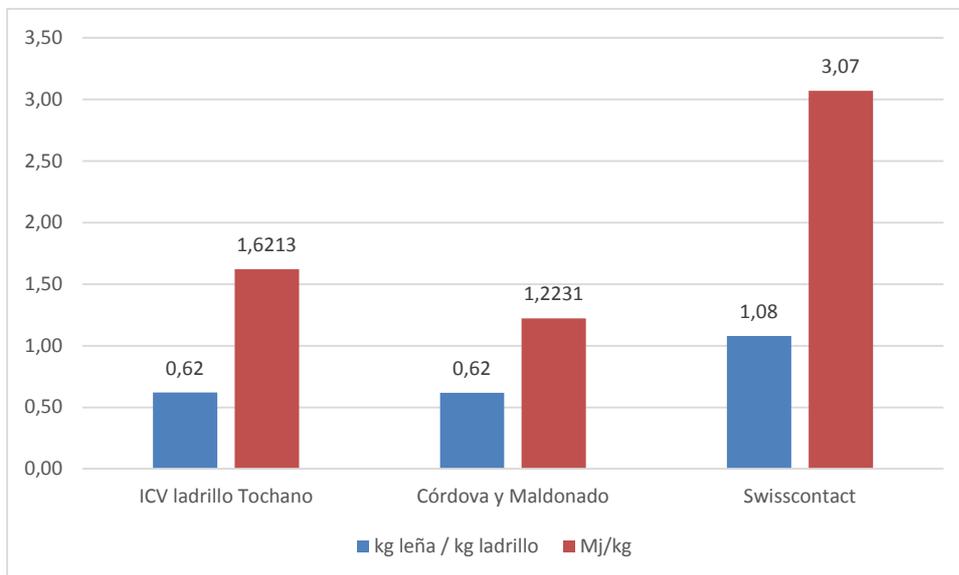


Figura No. 18 Comparación de energía incorporada (Mj/kg) y (kg leña / u)
Elaboración: Autor

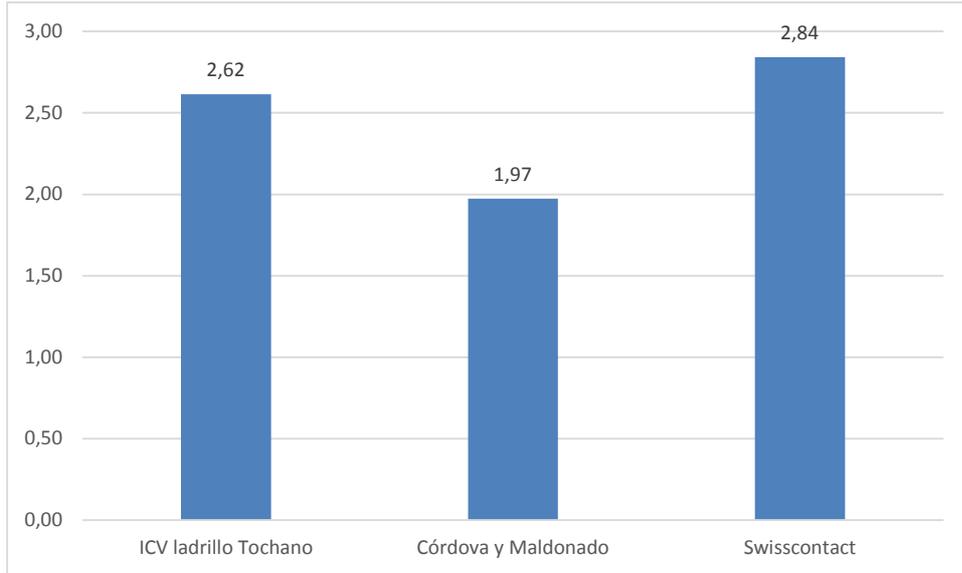


Figura No. 19 Comparación de energía incorporada (Mj) para 1kg de leña.
Elaboración: Autor

Al comparar la cantidad de leña utilizada para generar 1Mj de energía, se obtiene que en el presente estudio se requiere 0.38 kg de leña para generar 1 Mj de energía, para el caso de Córdova Cordero 0.51 kg y para el estudio de Swisscontact, 0.35 kg. Se observa que el presente estudio usa menos leña que el caso de Córdova y Maldonado, y que está ligeramente elevado con respecto al de Swisscontact (ver figura No. 20). Por lo tanto, se determina a pesar de que la ladrillera cumple la eficiencia energética determinada para el tipo de horno, se precisa mejorar las actividades y prácticas en cada uno de los procesos, sobre todo en el de mayor incidencia, la quema en el horno de los ladrillos.

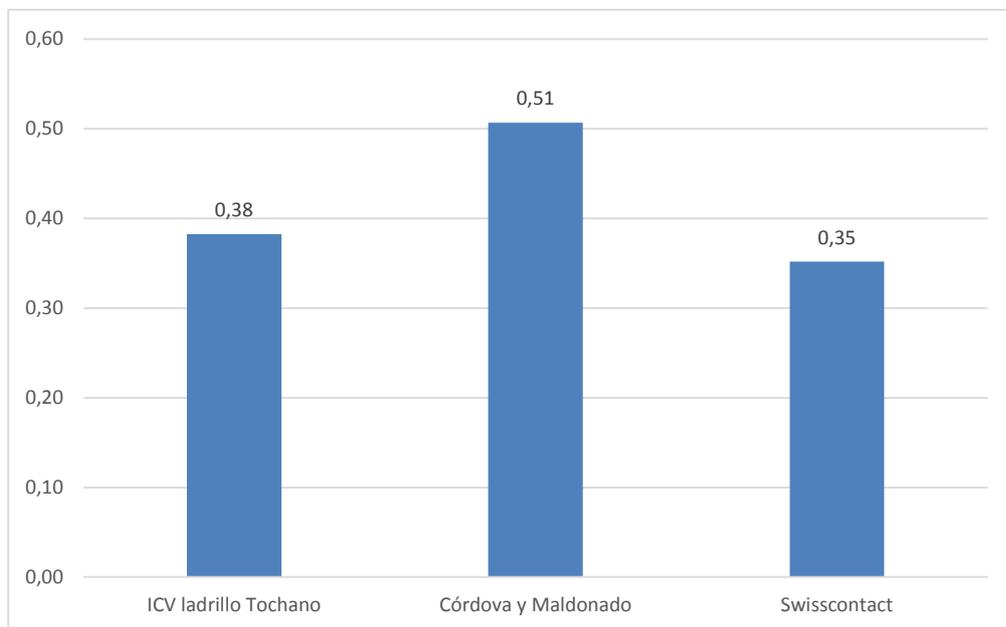


Figura No. 20 Comparación de leña requerida (kg) para generar 1 Mj de energía.
Elaboración: Autor

Para evaluar las emisiones de material particulado, la determinación de valores de comparación se estableció con las normas locales e internacionales, para de esta manera verificar el cumplimiento de las mismas. Las normas están dirigidas a establecer los niveles permisibles de estas emisiones para garantizar la salud humana.



Dentro del estado de arte se definieron los límites de emisiones de material particulado para el estudio. Estos límites están referidos a aquellas emisiones de partículas medidas directamente de la fuente. La medición en el horno de la fábrica se estableció en 25 mg/m³ para la concentración no corregida y en 18 mg/Nm³ para la concentración corregida, de los cuales el valor no corregido sirve de referencia para la discusión, puesto que no incluye factores determinantes por las condiciones atmosféricas del sitio. En la figura No. 21 se muestra la comparación de los límites con respecto a las emisiones medidas en la fuente del caso de estudio.

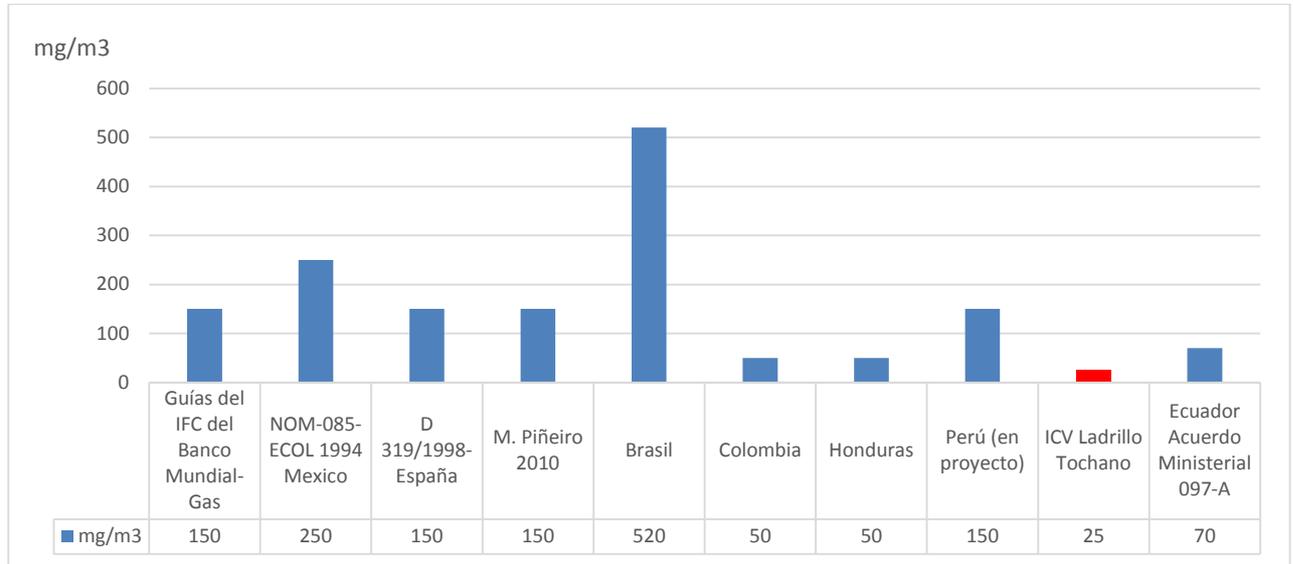


Figura No. 21 Comparación de emisiones de material particulado de la actividad ladrillera.
Elaboración: Autor

Se puede verificar que el caso de estudio se mantiene muy por debajo de las normas existentes para el tipo de combustible usado (tipo sólido). Esto es consecuente para las emisiones de CO₂ del estudio, pues mientras más eficiente sea el horno, menores serán los índices de las emisiones.

Las concentraciones medias de 24 horas determinadas se muestran en la tabla No. 48. Estos valores corresponden a MP_{2.5} y MP₁₀ estimados a partir de la medición directa desde la fuente. Los resultados, comparados con las normas de la OMS y NCCA, muestran que las emisiones de estos contaminantes se encuentran dentro de las normas. (ver figura No. 22). Esto indica que la combustión dentro del horno se cumple eficientemente.

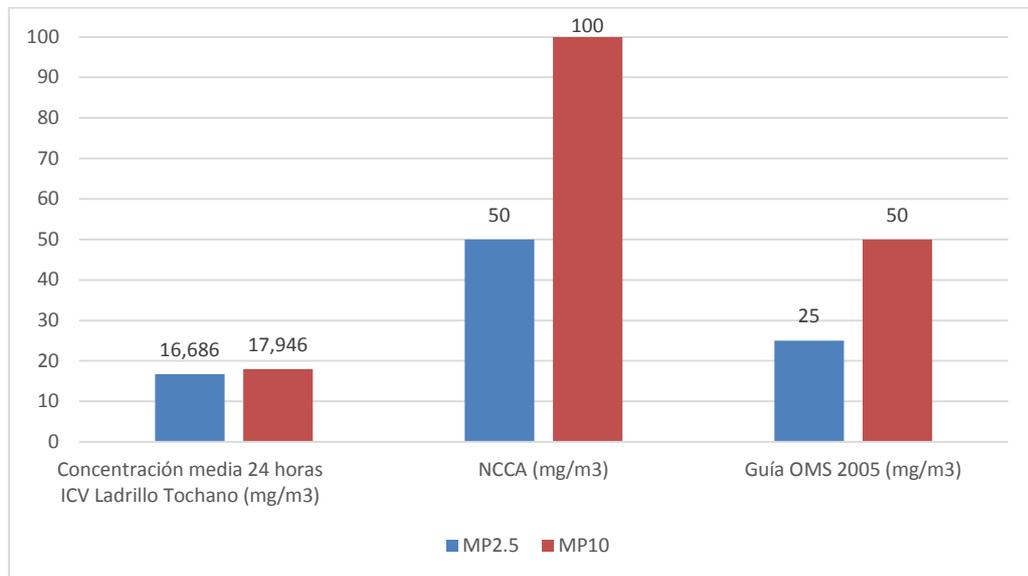


Figura No. 22 Comparación de concentración media 24 horas de material particulado
Elaboración: Autor

5. MODELO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

La cocción de ladrillos en el horno es la principal etapa o proceso unitario dentro de la fabricación que, en términos energéticos, hace uso de cerca del 95% de toda la energía demandada por la ladrillera. El 5% restante de energía se distribuye en los demás procesos unitarios. Lo óptimo es producir utilizando la menor cantidad de energía. Reduciendo la cantidad de calor en los puntos que constituyen pérdidas, mostrados en la figura No. 23, o buscar la recuperación de este calor para usarlo dentro del proceso productivo, como el secado, son formas de disminuir la energía incorporada (EELA y Swisscontact 2015).

Deben tomarse medidas durante la cocción del ladrillo, para controlar las pérdidas de calor en el horno, tanto en el suministro de calor por la quema de la leña, en la pérdida de calor en los gases de combustión a través de la chimenea, pérdidas en aberturas y rendijas, pérdidas a través de paredes y la bóveda, calor útil absorbido por las piezas en la cocción y acumulación de calor en las paredes del horno y ladrillos (Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación (MCTI) 2013).

Para tener una buena operación del horno y obtener productos de calidad, es importante tener una buena combustión. El control de la quema es indispensable, a través del monitoreo de la cantidad de aire presente en la combustión. Eficientemente se lo realiza controlando el CO_2 o el O_2 (oxígeno). Si el monitoreo de estos gases no es posible, debe realizarse la alimentación continua de combustible (EELA y Swisscontact 2015). En el periodo de Inventario de Ciclo de Vida, se pudo verificar que la alimentación de aserrín, utilizado para avivar la llama de la quema de leña, se realiza eficientemente a través de alimentadores semi-automáticos y dos personas que realizan el cargado del material en los alimentadores. En las ladrilleras mecanizadas, este proceso es totalmente automático, garantizando que el flujo de aserrín sea constante.

La reducción en el tiempo de quema se puede garantizar con el buen uso de ventiladores para la inyección de aire de combustión. El consumo eléctrico de los ventiladores no es significativo comparado con la reducción de leña que como consecuencia se consigue. El manejo adecuado en este proceso permite una reducción de entre el 15 y el 30% del consumo de combustible (leña y aserrín) (Swisscontact 2016)

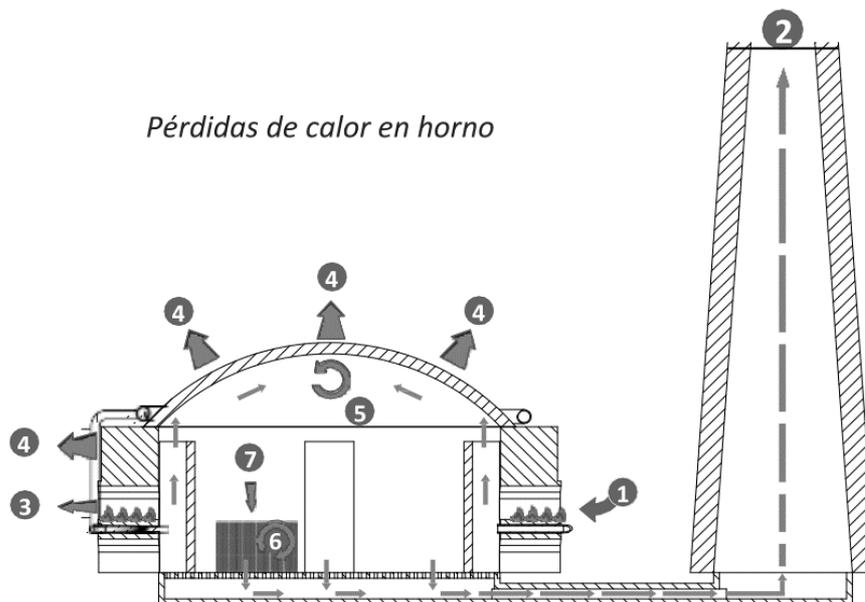


Figura No. 23 Pérdidas de calor en el horno.
Fuente: Manual de Eficiencia Energética en la Industria Ladrillera. 2013

El tamaño de la leña influye en el proceso de combustión. Cuanto más pequeño sea el combustible, la quema es más fácil y requiere menos aire de combustión; a menor cantidad de aire de combustión (cuidando los límites mínimos), menor será la pérdida de calor en los gases de combustión en la chimenea y el proceso será más económico. De la misma forma, la presencia de agua en el combustible (leña muy húmeda) perjudica el proceso de combustión. Cuanto más pequeño es el combustible, la pérdida de la humedad presente será más fácil y rápida. El empleo de leña trozada puede proporcionar economía en el uso de combustible de hasta 20% (Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación (MCTI) 2013). Aunque la combustión en la ladrillera muestra un nivel de eficiencia alto, esta tarea mejoraría aún más la producción. Es claro que se requiere otra maquinaria para trozar la madera utilizada y a su vez otra inversión dentro de la fábrica, pero la posibilidad de reducción de utilización de leña debe ser evaluada económicamente.

Los procesos de recuperación del calor del horno son otra medida de mejorar la eficiencia energética de la fabricación de ladrillo. Las recuperaciones típicas posibles son para uso en secaderos de piezas crudas o en el precalentamiento de la carga a ser quemada. Cada tipo de horno posibilitará uno u otro tipo de aprovechamiento, permitiendo economías entre 15% y 30%. El horno de tiro invertido de la fábrica permite recuperar el aire del enfriamiento, y lo lleva al secadero donde la pérdida de humedad es importante. El ladrillo extruido tiene un peso de 7.48 kg, y luego de salir del secadero, 5.53 kg. Esto en el término de 1 día. Esta pérdida de agua previa al quemado del ladrillo hace que se requiera menos energía para la cocción, lo que se ve reflejado en la cantidad de leña por kg de ladrillo. La posibilidad de implementar otro horno posibilitaría interconectarlos para recuperar el aire caliente del quemado de un horno, para precalentar el otro, esta acción aumentaría la eficiencia térmica por quema. (Ver figura No. 24).

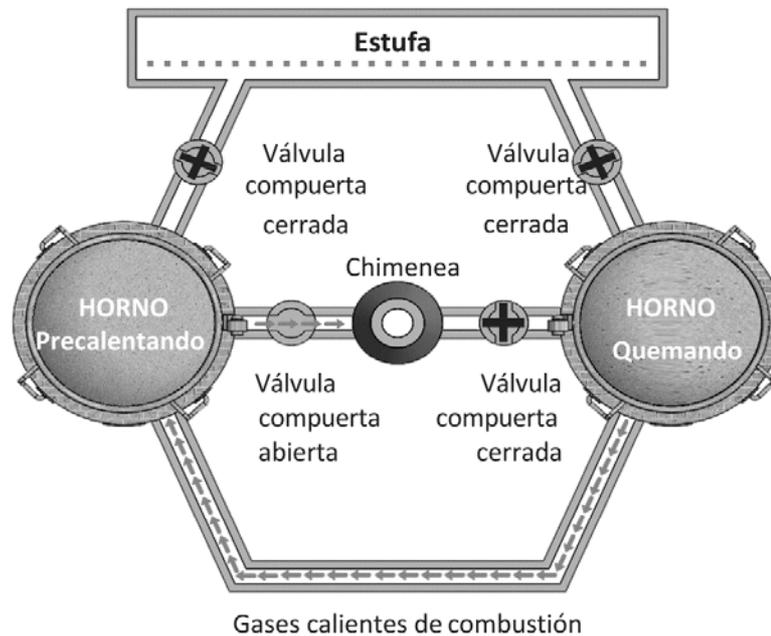


Figura No. 24 Recuperación de calor para hornos.
Fuente: Manual de Eficiencia Energética en la Industria Ladrillera. 2013

La disposición de los ladrillos en el interior de los hornos es de gran importancia no sólo para una buena eficiencia de la quema, sino también para conseguir una mayor proporción de productos de primera calidad. Los ladrillos deben acomodarse y alinearse de forma tal que permitan una buena circulación de los gases calientes de combustión entre las piezas, de modo que se vuelva más homogéneo el intercambio de calor, alcanzando la temperatura correcta de quema y el tiempo necesario para la sinterización. La reducción de consumo energético y tiempo de operación puede ser del orden de 5%, y el incremento de piezas de primera calidad puede ser aún mayor (Swisscontact 2016). Por lo general, la fábrica tiene un esquema de la forma de distribución de los ladrillos dentro del horno, pero como en todo proceso productivo, el seguimiento y la reevaluación son importantes.



La reducción de masa y la temperatura de cocción de ladrillos cerámicos, utilizando arcillas específicas y aditivos de masa orgánica, es una posibilidad para reducir los impactos ambientales y mejorar la sostenibilidad de los ladrillos. Estos residuos pueden ser aserrín, fibra de papel, cascarilla de arroz, entre otros. Estos materiales son empleados mezclándolos con la masa cerámica en proporciones entre 1% a 5% en peso, dependiendo del tipo de residuo. La economía en el combustible utilizado pueda variar entre 10% y 15%, adicionalmente la calidad del producto puede mejorar, en especial la resistencia mecánica. También puede economizarse por un menor uso de la energía eléctrica en la extrusora, pues la arcilla cruda se torna más plástica (Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación (MCTI) 2013). La fábrica ya utiliza aserrín para la mezcla de otros productos, puesto que generan una textura porosa usada en ladrillos vistos. Sería necesario la evaluación de la inclusión del aserrín u otros componentes en el ladrillo tochano.

Otra medida para mejorar la eficiencia energética es mejorar el aislamiento térmico del horno. Un buen dimensionamiento de las paredes, un perfecto sellado de las juntas y sistemas adecuados de aislamiento disminuirían las pérdidas por radiación y convección en paredes y techo. Esto puede representar entre un 5 a 12 % en ahorro de combustible (Swisscontact 2016).

En el resto de procesos de la fabricación del ladrillo, que representan el 5% de la energía incorporada, se han observado también oportunidades de mejora. El correcto manejo de los equipos eléctricos, a través de sistemas de control automatizados reduciría el consumo pérdidas de energía sobre todo en el momento de arranque. La implementación de un motor eléctrico para la extrusora reduciría significativamente el uso total de diésel de la fábrica, siendo solo exclusivo del transporte de materiales, aunque esta tarea significaría una fuerte inversión.

Un mayor nivel de producción en una empresa, para que sea económicamente sustentable requiere de tecnificación. Sin embargo, la tecnificación junto con el uso de tecnologías y prácticas limpias es un proceso que o se ha dado una forma muy limitada en los países de América Latina, por esta razón, es necesario identificar los problemas que dificultan o han impedido la modernización del sector, para que las medidas que se planteen tengan el mayor impacto y escalabilidad posible.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para conocer cuán eficiente o no es una empresa ladrillera, se requiere determinar su consumo específico de energía, ya sea por el consumo de combustible o de energía eléctrica, para luego compararlo a nivel de otras empresas que presenten el mismo tipo de producción. El estudio determinó que el consumo de leña en la fábrica de ladrillos “Manuel Riera”, es inferior a la ladrillera de la misma tipología, y similar al caso de estudio de validación del horno de tiro invertido. El consumo específico de energía para los hornos de tiro invertido en el *Manual de Capacitación Sector Ladrillero en América Latina* (Swisscontact 2016), se establece entre 2.8 a 3.5 Mj/kg de producto, en el caso de estudio, se determinó que es de 1.6924 Mj/kg, es decir, se sitúa bajo los parámetros recomendados.

La elaboración del Inventario de Ciclo de Vida para la medición de impactos al medio ambiente permite construir un marco de referencias de observación para cada uno de los procesos unitarios incluidos en el sistema del ladrillo tochano semi-mecanizado. Dentro del estudio se encontraron los parámetros necesarios para establecer la eficiencia energética de la producción. Las cuantificaciones realizadas establecen que el consumo energético y las emisiones producidas al medio ambiente por la fábrica de ladrillos “Manuel Riera”, se encuentran dentro de los parámetros de eficiencia establecidos por el programa EELA y las normativas internacionales de emisiones al medio ambiente.

Durante el Inventario de Ciclo de Vida, se observaron oportunidades de mejora a la producción, referidos sobre todo en el Manual de Capacitación Sector Ladrillero en América Latina (Swisscontact 2016) y en el Manual de Eficiencia Energética en la Industria Ladrillera (Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación (MCTI) 2013) desarrollados por Swisscontact y EELA. Es



importante señalar que la fábrica se encontró dentro del proyecto EELA y que ha ido desarrollando prácticas de tecnificación y eficiencia según sus posibilidades, sobre todo económicas.

Estrategias de control de la contaminación del aire deben ser prioridad para abordar los problemas de contaminación. Esto asegura que las concentraciones de contaminantes se reduzcan o mantengan por debajo los niveles aceptables. (Piñeiro 2010). El fortalecimiento y capacitación de las entidades públicas en la problemática del sector debe ser una meta para promover la concientización de la problemática y sus soluciones, volviendo relevante al sector ladrillero dentro de las políticas ambientales.



7. BIBLIOGRAFÍA

- ALMEIDA, M.I. y DIAS, B., 2010. Life cycle assessment (cradle to gate) of a Portuguese brick. *Portugal SB10 - Sustainable Building Affordable to All, 17 - 19 March 2010*, pp. 477-482.
- ALTIOR CÍA. LTDA., 2013. Estudio de mercado del sector ladrillero artesanal en el cantón Cuenca. . S.l.:
- ARCINIEGAS SUÁREZ, C.A., 2012. Diagnóstico y control de material particulado: partículas suspendidas totales y fracción respirable PM 10. *Luna Azul*, no. 34, pp. 195-213. ISSN 1909-2474.
- BORIES, C., VEDRENNE, E., PAULHE-MASSOL, A., VILAREM, G. y SABLAYROLLES, C., 2016. Development of porous fired clay bricks with bio-based additives: Study of the environmental impacts by Life Cycle Assessment (LCA). *Construction and Building Materials* [en línea], vol. 125, pp. 1142-1151. ISSN 09500618. DOI 10.1016/j.conbuildmat.2016.08.042. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.08.042>.
- CAMPOS, R.F.D.E., 2012. Emissão De CO2 Da Madeira Serrada Da Amazônia : O Caso Da Exploração Convencional. , pp. 152.
- CÁRDENAS, J.P., MUÑOZ, E., RIQUELME, C. y HIDALGO, F., 2015. Análisis de ciclo de vida simplificado aplicado a viviendas de paneles SIP (structural insulated panels). *Revista Ingenieria de Construccion*, vol. 30, no. 1, pp. 33-38. ISSN 07185073. DOI 10.4067/S0718-50732015000100003.
- CEA MUÑOZ, H.R., 2003. Caracterización de astillas y aserrín para una planta de tableros de partículas en Valdivia. ,
- CONDEIXA, K., 2013. *COMPARAÇÃO ENTRE MATERIAIS DA CONSTRUÇÃO CIVIL ATRAVÉS DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA : SISTEMA DRYWALL E ALVENARIA DE VEDAÇÃO . Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil , da Universidade Federal Fluminense , como parte dos. S.l.: s.n.*
- CONGRESO NACIONAL, 1999. Ley de gestión Ambiental. *Ro/ 245 De 30 De Julio De 1999* [en línea], pp. 14. Disponible en: <http://medcontent.metapress.com/index/A65RM03P4874243N.pdf>.
- CÓRDOVA, P.J.A. y MALDONADO, R.P.P., 2017. «Análisis del inventario del ciclo de vida del ladrillo utilizado en la ciudad de Cuenca: aspectos energéticos, medio ambientales, sociales, económicos y culturales.» S.l.: s.n.
- CORPLAB, 2016. Monitoreo de emisiones a la atmósfera, Horno Sr. Manuel Riera. . S.l.:
- COVENANT OF MAYORS OFFICE & JOINT RESEARCH CENTRE OF THE EUROPEAN COMMISSION, 2010. Guidebook How To Develop a Sustainable Energy Action Plan (Seap) Part Ii Baseline Emission Inventory. *Baseline*,
- CUERDA, I., 2016. Life-Cycle Assessment in Architecture El análisis de ciclo de vida Life-Cycle Assessment in Architecture. , no. February 2013.
- DA COSTA, B.L. de C., 2012. Quantificação das emissões de CO2 geradas na produção de materiais utilizados na construção civil no Brasil. ,
- EELA y SWISSCONTACT, 2015. Manual de hornos eficientes en la industria ladrillera. [en línea], pp. 54. Disponible en: http://www.redladrilleras.net/documentos_galeria/Manual de hornos eficientes.pdf.
- EELA y UNIVERSIDAD DEL AZUAY, 2010. Diagnóstico Inicial del Sector Ladrillero, Levantamiento de Catastro y Sistematización de Encuestas de Línea Base Cuenca -



Ecuador. . Cuenca:

- EMOV EP, 2016. Informe de Calidad de Aire Cuenca-2015. , pp. 124. ISSN 1098-6596. DOI 10.1017/CBO9781107415324.004.
- EUSKO JAURLARITZA, G.V., 2009. Análisis de ciclo de vida y huella de carbono. *Ihobe*, pp. 1-53.
- GOBIERNO DE MÉXICO, 2009. Métodos de estimación de emisiones de PM2.5. [en línea], pp. 53-90. Disponible en: www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/695/metodos.pdf.
- GÓMEZ, P.A., 2013. *Estudio y análisis de nuevas tipologías de ladrillos introducidos en Cuenca para la aplicación en la autoconstrucción*. S.l.: s.n.
- GONÇALVES DE LASSIO, J.G., 2016. Life cycle assessment of building construction materials : case study for a housing complex. , no. 2008, pp. 69-77.
- HOFFMANN, D., 2016. La importancia del sector ladrillero para la mitigación del cambio climático en América Latina. . S.l.: s.n., pp. 1-3.
- ICONTEC, 2007. ISO 14040, Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Principios y Marco de Referencia. [en línea], no. 571, pp. 1-18. Disponible en: http://www.fedebiocombustibles.com/files/NTC-ISO_14040.pdf.
- ISO, 2007. Ntc-Iso 14040. *Icontec*, no. 571, pp. 1-24.
- IZQUIERDO, S., 2013. POLÍTICA AMBIENTAL Y BUENAS PRÁCTICAS AMBIENTALES PARA EL SECTOR LADRILLERO. . S.l.: s.n.,
- JAYA, J.L. y VÁSQUEZ, J.L., 2012. Análisis comparativo de la contaminación atmosférica producida por la combustión en ladrilleras artesanales utilizando tres tipos de combustibles. *Tesis de grado*,
- KUMBHAR, S., KULKARNI, N., RAO, A.B. y RAO, B., 2014. Environmental life cycle assessment of traditional bricks in western Maharashtra, India. *Energy Procedia* [en línea], vol. 54, no. 22, pp. 260-269. ISSN 18766102. DOI 10.1016/j.egypro.2014.07.269. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2014.07.269>.
- LA ROCHE, P., 2010. Cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero en edificios: análisis del funcionamiento de varias herramientas en diferentes climas. *Informes de la Construcción*, vol. 62, pp. 61-80. ISSN 0020-0883. DOI 10.3989/ic.09.026.
- LU, Y., LE, V.H. y SONG, X., 2017. Beyond Boundaries: A Global Use of Life Cycle Inventories for Construction Materials. *Journal of Cleaner Production* [en línea], vol. 156, pp. 876-887. ISSN 09596526. DOI 10.1016/j.jclepro.2017.04.010. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.04.010>.
- MAZA QUISHPI, M.E., 2011. *Universidad del Azuay Facultad de Ciencia y Tecnología Escuela de Ingeniería en Alimentos*. S.l.: s.n.
- MERCADER, M.P., MARRERO, M., SOLÍS, J., MONTES, M. V y RAMÍREZ, A., 2010. Cuantificación de los recursos materiales consumidos en la ejecución de la cimentación. *Quantification of material resources consumed during concrete slab construction* [en línea], vol. 62, no. 517, pp. 125-132. ISSN 0020-0883. DOI 10.3989/ic.09.000. Disponible en: <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/814/899>.
- MINISTERIO DE CIENCIA TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN (MCTI), 2013. MANUAL DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA INDUSTRIA LADRILLERA. , pp. 1-25.
- MINISTERIO DEL AMBIENTE, 2013. Factor de Emisión de CO2 del Sistema Nacional Interconectado del Ecuador. ,



- MUÑOZ, C., ZAROR, C., SAELZER, G. y CUCHÍ, A., 2012. Estudio del flujo energético en el ciclo de vida de una vivienda y su implicancia en las emisiones de gases de efecto invernadero, durante la fase de construcción Caso Estudio: Vivienda Tipología Social. Región del Biobío, Chile. *Revista de la construcción* [en línea], vol. 11 No 3, pp. 125-145. ISSN 0718-915X. DOI 10.4067/S0718-915X2012000300011. Disponible en: http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-915X2012000300011&script=sci_arttext.
- OLIVEIRA, L.S., PACCA, S.A. y JOHN, V.M., 2016. Variability in the life cycle of concrete block CO2 emissions and cumulative energy demand in the Brazilian Market. *Construction and Building Materials*, vol. 114, no. January 2015, pp. 588-594. ISSN 09500618. DOI 10.1016/j.conbuildmat.2016.03.134.
- ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, 2006. Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. . S.I.:
- PASSUELLO, A.C.B., DE OLIVEIRA, A.F., DA COSTA, E.B. y KIRCHHEIM, A.P., 2014. Aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida na análise de impactos ambientais de materiais de construção inovadores: estudo de caso da pegada de carbono de clínqueres alternativos. *Ambiente Construído* [en línea], pp. 7-20. ISSN 1678-8621. DOI 10.1590/S1678-86212014000400002. Disponible en: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212014000400002&lang=pt.
- PIÑEIRO, M.C., 2010. Elaboración de límites máximos permisibles de emisiones para la industria ladrillera. ,
- QUIROLA, D., 2009. America Latina, El Cambio Climatico Y La Ruta Hacia Copenhague. ,
- RODRIGUEZ, S.G., DAVIS, M., EVA, C., CANTU, C. y ORIHUELA, E.L., 2015. Propuesta de modelo integral de evaluación sostenible de la vivienda social en México Sustainable assessment model proposal for social housing in México. *Ambiente Construído* [en línea], vol. 15, no. 4, pp. 7-17. ISSN 1678-8621. DOI 10.1590/s1678-86212015000400036. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212015000400036>.
- ROMERO, B., 2003. El Analisis del Ciclo de Vida y la Gestion Ambiental. *Dyna* [en línea], vol. 1, pp. 1-7. ISSN 2342342352. Disponible en: <http://www.unal.edu.co>.
- SWISSCONTACT, 2012. INFORME DE LA QUINTA QUEMA EN EL HORNO PROTOTIPO. . S.I.:
- SWISSCONTACT, 2015a. Casos de exito. ,
- SWISSCONTACT, 2015b. Informe sobre la identificación de estrategias para la conversión de la tecnología en América Latina. . S.I.:
- SWISSCONTACT, 2016. Manual De Capacitación Sector Ladrillero en América Latina. , no. Primera Edición en Peru.
- SWISSCONTACT, PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ y RED PERUANA DE CICLO DE VIDA, 2013. Estudio de Análisis de Ciclo de Vida de Ladrillos y bloques de concreto. San Jerónimo - Cuzco. . S.I.:
- SWISSCONTACT y RED PERUANA DE CICLO DE VIDA, 2012. Estudio de análisis de ciclo de vida comparativo entre ladrillos artesanales y ladrillos mecanizados. . S.I.:
- TUFIÑO, G.V.N.L.L. & G.V., 2015. Propiedades térmicas de arcillas ecuatorianas para ser utilizadas como material refractario. [en línea], pp. 6; 14. Disponible en: http://www.cdts.espol.edu.ec/Proyectos/Proyectos en ejecución/Horno Materiales_files/infoEPN.pdf.
- WADEL, G. y CUCHÍ, A., 2010. La sostenibilidad en la arquitectura industrializada: cerrando el ciclo de los materiales. *Informes de la Construcción*, pp. 17. DOI 10.3989/ic.09.067.



8. ANEXOS



Rigoberto Heredia Oe6 157 y Huachi
Quito Ecuador
T + 59 3 2341 4080
ABN 84 0009 936 029
www.corplab.net
www.alsglobal.net

PROTOCOLO N°: 1215-4059	RU-43
SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN	Revisión: 06
	Página 1 de 3

NOMBRE DEL CLIENTE:	SWIS CONTACT
DIRIGIDO EN ATENCIÓN A:	INGENIERA SANDRA GAVILANES
NOMBRE DEL PROYECTO:	MONITOREO DE EMISIONES A LA ATMÓSFERA
DIRECCIÓN DEL PROYECTO:	CUENCA
MUESTREO REALIZADO POR:	CORPLABEC S.A. / TÉCNICO SANTIAGO MONTALVÁN
PROCEDIMIENTO MUESTREO:	POS-21.00 "MONITOREO DE GASES" / POS-51 "MONITOREO DE MATERIAL PARTICULADO"
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS:	DICIEMBRE, 23 DEL 2015 / 14:22 / N° CADENA DE CUSTODIA: 0003089
LUGAR DE ANÁLISIS:	CORPLABEC S.A. / QUITO - RIGOBERTO HEREDIA OE6-157 Y HUACHI
FECHA DE ANÁLISIS:	DICIEMBRE 23 DEL 2015 AL 13 DE ENERO DEL 2016
FECHA DE EMISIÓN DE INFORME:	13 DE ENERO DEL 2016

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

MATRIZ	EMISIONES A LA ATMÓSFERA				
	CÓDIGO DE LABORATORIO	CÓDIGO DE MUESTREO	TIPO DE FUENTE	FECHA DE MUESTREO	HORA DE MUESTREO
G0434	HORNO SR. MANUEL RIERA	FIJA	17/12/2015	13:46	17M0717705 9683731 ± 4m

CARACTERÍSTICAS DE LA FUENTE FIJA	
IDENTIFICACIÓN	HORNO SR. MANUEL RIERA
MARCA	NO DISPONIBLE
SERIE	NO DISPONIBLE
MODELO	NO DISPONIBLE
CAPACIDAD	NO DISPONIBLE
COMBUSTIBLE	MADERA
HORA DE TRABAJO	NO DISPONIBLE

CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO DE MONITOREO DE GASES	
TIPO	MEDIDOR DE GASES (ECO-090)
MARCA	TESTO
MODELO	350
SERIE	2685563

CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO DE MONITOREO DE MATERIAL PARTICULADO	
TIPO	TREN ISOCINÉTICO
MARCA	CLEAN AIR
MODELO	NA
SERIE	0028-012710-1

REFERENCIAS Y OBSERVACIONES:

Mediciones realizadas a 800°C

Laboratorio de Ensayo ALS CORPLAB acreditado por el SAE con Acreditación N° OAE LE 2C 05-005.
Los ítems marcados con (*) no están incluidos en el alcance de acreditación del SAE.
Metodología de Referencia: Gases EPA CTM 30, 1997; EPA CTM 34, 1999; Material Particulado EPA CFR 5 parte 60, 2004
Metodología Interna ALS Corplab: Gases POS-21.00, Material Particulado POS-51.00
EPA - Environmental Protection Agency
Los resultados solo se refieren a las muestras analizadas. ALS CORPLAB declina toda responsabilidad por el uso de los resultados aquí presentados.
Si las condiciones de muestreo fueron controladas según los Procedimientos Correspondientes establecidos por ALS Corplab, éstas no inciden en los resultados que se describen en el presente informe.
Este informe no podrá ser reproducido parcialmente, sin la autorización escrita de ALS Corplab.
Sin la firma del Responsable Técnico y el sello de ALS Corplab, este informe no es válido.



Químico Miguel Maliza
Gerencia Técnica ALS Corplab

RIGHT SOLUTIONS | RIGHT PARTNER

Anexo 1. Monitoreo de emisiones a la atmósfera – Fábrica Sr. Manuel Riera.
Fuente: CORPLAB, 2016. Monitoreo de emisiones a la atmósfera, Horno Sr. Manuel Riera.



Rigoberto Heredia Oe6 157 y Huachi
Quito Ecuador
T + 59 3 2341 4080
ABN 84 0009 936 029
www.corplab.net
www.alsglobal.net

PROTOCOLO N°: 1215-4059	RU-43
SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN	Revisión: 06
	Página 2 de 3

RESULTADOS OBTENIDOS

CONDICIONES AMBIENTALES		
TEMPERATURA AMBIENTE (°C)	HUMEDAD (%)	PRESIÓN ATMOSFÉRICA (mm Hg)
24,7	40	535,35

CARACTERÍSTICAS DE LA FUENTE		
PARÁMETROS ANALIZADOS	VALOR	UNIDAD
DIÁMETRO INTERNO	0,80	m
ÁREA DEL CONDUCTO	0,005	m ²
PUNTOS TRAVERSOS	12	—
PUERTO DE MUESTREO	1	—
TEMPERATURA DE GASES	463,60	°F
DISTANCIA CORRIENTE ABAJO (LADO B)	8,30	m
DISTANCIA CORRIENTE ARRIBA (LADO A)	4,02	m
DISTANCIA DEL GAP	NO DISPONIBLE	m
ALTURA DESDE EL PISO A LA DESCARGA	12,67	m



RESULTADOS OBTENIDOS EN LA MEDICIÓN			
PARÁMETROS ANALIZADOS	CONCENTRACIÓN NO CORREGIDA		CONCENTRACIÓN CORREGIDA (mg/m ³)
	VALOR	UNIDAD	
OXÍGENO (*)	16,98	%	
MONÓXIDO DE CARBONO (*)	3210	ppm	2971
ÓXIDOS DE NITRÓGENO	9	ppm	14
DIÓXIDO DE AZUFRE	<90	ppm	0
MONÓXIDO DE NITRÓGENO	9	ppm	N/A
DIÓXIDO DE NITRÓGENO	<10	ppm	N/A
DIÓXIDO DE CARBONO (*)	3,59	%	N/A
MATERIAL PARTICULADO	25,0	mg/m ³	18
VELOCIDAD DE LOS GASES (*)	2,05	m/s	N/A
HUMEDAD DE LOS GASES (*)	4,91	%	N/A

COMPARACIÓN CON NORMATIVA O LEGISLACIÓN			
PARÁMETROS ANALIZADOS	CONCENTRACIÓN CORREGIDA (mg/m ³)	⁽¹⁾ LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE (mg/m ³)	⁽²⁾ CRITERIO DE RESULTADOS
MONÓXIDO DE CARBONO (*)	2971	NO APLICA	NO APLICA
ÓXIDOS DE NITRÓGENO	14	800	CUMPLE
DIÓXIDO DE AZUFRE	0	NO APLICA	NO APLICA
MATERIAL PARTICULADO	<33	200	CUMPLE

REFERENCIAS Y OBSERVACIONES:

La información (1), (2), que se indican a continuación, están FUERA del alcance de acreditación del SAE.

Cargas contaminantes calculadas a 760mm-Hg, 0 °C, base seca y corregidos al 18% de oxígeno

⁽¹⁾ Acuerdo Ministerial No.097-A, Libro VI, Anexo 3, del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente. Norma de emisiones al aire desde Fuentes Fijas. Tabla 1: Límites máximos permisibles de concentración de emisión de contaminantes al aire para Fuentes Fijas de Combustión Abierta (mg/Nm³). Fuente Fija Existente: funcionamiento antes de fecha de publicación de la reforma de la norma.

⁽²⁾ Criterio de Resultados

ADJ: Certificados de Calibración Testo 350 y Tren Isocinebico.



RIGHT SOLUTIONS | RIGHT PARTNER

Anexo 1. Monitoreo de emisiones a la atmósfera – Fábrica Sr. Manuel Riera.
Fuente: CORPLAB, 2016. Monitoreo de emisiones a la atmósfera, Horno Sr. Manuel Riera



Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A.
AV MAX UHLE S/N y AV. PUMAPUNGO
Ruc: 0190003809001
Contribuyente especial, resolución No. 3257
OBLIGADO A LLEVAR CONTABILIDAD

Nro. factura 001-003-004363354
Nro. doc. interno 2470043849
Fecha de emisión 17-07-2017
Fecha de vencimiento 27-07-2017
Clave de acceso 1707201701019000380900120010030043633540006587111



Información

Cuenta contrato 200001441159
Nombre cliente RIERA BRAVO CELSO SEGUNDO
Cedula 0100598093
CUEN 0504807545
Geocodigo 0502E019000061

Tarifa (ARCONEL) MTGCGD32 - MT Industrial con Dem Hor Dif
Dirección del servicio CAS: RACAR 1 - AZUAY/CUENCA/SININCAY
Dirección de envío CAS: RACAR - AZUAY/CUENCA/SININCAY
Código postal

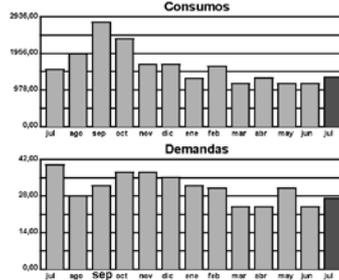
1. Facturación servicio eléctrico y alumbrado público

Nro. de medidor 16606813 Factor de multiplicación 1,00 Constante 1,00 Tipo consumo leído
Fecha desde 03-06-2017 Fecha hasta 02-07-2017 Días facturados 30
Factor potencia 0,6781 Penalización FP 0,3567 Factor corrección 0,5000

Descripción	F.Ha	Lect. Act.	Lect. Ant.	Dif. Cons.	Cons. SubTot.	C.I.T.	Cons. Total	Unidad	\$
Consumo energía act. hor. A (L-V 08h00-18h00)	02-07-2017	31539,00	30627,00	0,00	912,00	18,24	930,24	kWh	86,61
Consumo energía act. hor. B (L-V 18h00-22h00)	02-07-2017	2214,00	2165,00	0,00	49,00	0,98	49,98	kWh	5,35
Consumo energía act. hor. C (L-V 22h00-08h00 S,D,F 22h00-18h00)	02-07-2017	7189,00	6866,00	0,00	303,00	6,06	309,06	kWh	23,18
Consumo energía act. hor. D (S,D,F 18h00-22h00)	02-07-2017	327,00	301,00	0,00	26,00	0,52	26,52	kWh	2,47
Consumo energía reactiva total	02-07-2017	42078,00	40652,00	0,00	1426,00	0,00	1426,00	kvarh	0,00
Demanda máx. hor. A (L-V 08h00-18h00)	02-07-2017	27,00	0,00	0,00	27,00	0,54	27,54	kW	0,00
Demanda máx. hor. B (L-V 18h00-22h00)	02-07-2017	9,00	0,00	0,00	9,00	0,18	9,18	kW	0,00
Demanda máx. hor. C (L-V 22h00-08h00 S,D,F 22h00-18h00)	02-07-2017	25,00	0,00	0,00	25,00	0,50	25,50	kW	0,00
Demanda máx. hor. D (S,D,F 18h00-22h00)	02-07-2017	10,00	0,00	0,00	10,00	0,20	10,20	kW	0,00
Demanda facturable	02-07-2017	27,00	0,00	0,00	27,00	0,54	27,54	kW	63,01

2. Valores pendientes

VALORES PENDIENTES (2)	0,00
------------------------	------



Rubros

Energía total	117,51
Comercialización	1,41
Demanda	63,01
Penalización Bajo Fact. Pot	64,89
Intereses por Mora	0,86
Subtotal Servicio Eléctrico (SE)	247,68
Serv. Alum. Públic. General	6,85
Subtotal Alumbrado Público (AP)	6,85
Base I.V.A. 0%	253,47
I.V.A. 0%	0,00
Base Exento de IVA	0,86
Exento de IVA	0,00
TOTAL SE Y AP (1)	254,33

3. Recaudación Terceros - Planes de Financiamiento

Estos valores no forman parte de los ingresos de la Empresa Eléctrica	
RECAUDACIÓN TERCEROS SECTOR ELECTRICO (3)	0,00



SUBSIDIOS DEL GOBIERNO

Coccción Eléctrica	0,00
Calentamiento Agua	0,00
Subsidio Tarifa Eléctrica	0,00
Tarifa Dignidad	0,00
TOTAL:	0,00

TOTAL	
Servicio Eléctrico y Alumbrado Público (1)	254,33
Valores Pendientes (2)	0,00
Recaudación Terceros SE (3)	0,00
TOTAL SECTOR ELECTRICO (A) (1+2+3)	254,33

Formas de Pago

EFFECTIVO	DINERO ELECTRONICO	TARJETA DE CRE. / DEB.	OTROS
0,00	0,00	0,00	254,33

Mensajes

Anexo 2. Planilla de consumo de energía eléctrica – Fábrica Sr. Manuel Riera.
Fuente: Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A. <http://www.centrosur.gob.ec/?q=facturas-electronicas>



Attachments / Bucket, General Purpose - Loaders



Specifications

Standard
 Optional
 N/A Not Applicable

General Purpose Bucket - 36"
 General Purpose Bucket - 44"
 General Purpose Bucket - 50"
 General Purpose Bucket - 463-50"
 General Purpose Bucket - 56"
 General Purpose Bucket - 62"
 General Purpose Bucket - 68"
 General Purpose Bucket - 74"

⊖ General

Operating Weight	84 kg	94 kg	101 kg	101 kg	108 kg	117 kg	124 kg	132 kg
Length	762 mm	762 mm	762 mm	762 mm	762 mm	762 mm	762 mm	762 mm
Width	914 mm	1118 mm	1270 mm	1270 mm	1422 mm	1575 mm	1727 mm	1880 mm
Height	505 mm	505 mm	505 mm	505 mm	505 mm	505 mm	505 mm	505 mm

⊖ Bucket Specs

ISO Heaped Capacity	0.17 m ³	0.21 m ³	0.24 m ³	0.24 m ³	0.27 m ³	0.3 m ³	0.33 m ³	0.36 m ³
ISO Struck Capacity	0.13 m ³	0.16 m ³	0.18 m ³	0.18 m ³	0.2 m ³	0.22 m ³	0.24 m ³	0.26 m ³
Predrilled For	Bolt-on Edges or Teeth							

⊖ Compatible Carriers

Skid-Steer Loaders								
Bobcat S70	■	■		■				
Bobcat S450					■	■	■	■
Bobcat S510						■	■	■
Bobcat S530						■	■	■
Bobcat S550						■	■	■
Bobcat S570						■	■	■
Bobcat S590						■	■	■
Mini Track Loaders								
Bobcat MT85	■	■		■				
Toolcat™ Work Machine								
Bobcat 5600						■	■	■
Bobcat 5610						■	■	■

Compact Tractors

Certain specification(s) are based on engineering calculations and are not actual measurements. Specification(s) are provided for comparison purposes only and are subject to change without notice. Specification(s) for your individual equipment will vary based on normal variations in design, manufacturing, operating conditions, and other factors.

Anexo 3. Attachments / Bucket, General purpose - Loaders – Bobcat.
Fuente: <https://www.bobcat.com/attachments/bucket-general-purpose/features>