

Portafolio de **mejores técnicas disponibles y mejores prácticas ambientales** para el **SECTOR ALFARERO Y DE PRODUCCIÓN DE LADRILLO EN COLOMBIA**



El ambiente  
es de todos

Minambiente

MINISTERIO DE AMBIENTE  
Y DESARROLLO SOSTENIBLE

Dirección de Asuntos Ambientales, Sectorial y Urbana

2021  
BOGOTÁ D.C.



**REPÚBLICA DE COLOMBIA**

Iván Duque Márquez  
Presidente

**MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE**

Ministro de Ambiente y Desarrollo Sostenible  
Carlos Eduardo Correa E.

Viceministro de Políticas y Normalización Ambiental  
Francisco Cruz Parada

Directora de Asuntos Ambientales, Sectorial y Urbana  
Andrea Corzo Alvarez

**GRUPO DE GESTIÓN AMBIENTAL URBANA**

Mauricio Gaitán Varón – Coordinador  
Equipo técnico (coautores): Luisa Fernanda González Herrera - Grupo de Gestión Ambiental Urbana – DAASU  
Jenniffer Iveth Pedraza Vega - Grupo de Gestión Ambiental Urbana – DAASU  
CORPORACIÓN AMBIENTAL EMPRESARIAL - CAEM

**Agradecimientos**

Coalición Clima y Aire Limpio (CCAC)  
Fabio Andres Salgado y Aura Luisa Rodríguez - CORPORACIÓN AMBIENTAL EMPRESARIAL - CAEM  
Mesa Nacional Ladrillera

**Corrección de Estilo**

María Emilia Botero Arias. Grupo Divulgación de Conocimiento y Cultura Ambiental, Minambiente

**Diagramación**

José Roberto Arango Romero. Grupo de Comunicaciones, Minambiente

CATALOGACIÓN EN LA PUBLICACIÓN: Grupo Divulgación de Conocimiento y Cultura Ambiental.  
Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Portafolio de mejores técnicas disponibles y mejores prácticas ambientales para el sector alfarero y de producción de ladrillo en Colombia [Recurso electrónico] / Dirección de Asuntos Ambientales Sectorial y Urbana. González Herrera, Luisa Fernanda; Pedraza Vega, Jenniffer Iveth; cord.: Gaitán Varón, Mauricio; Corporación Ambiental Empresarial -CAEM  
-- Bogotá D.C.: Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021.

59 p. il.

ISBN: 978-958-5551-72-5

1. contaminación del aire 2. buenas prácticas 3. conversión tecnológica  
4. industria ladrillera 5. industria alfarera 6. consumo energético I. Tit. II. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

CDD: 628.5

© Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021

Todos los derechos reservados. Se autoriza la reproducción y divulgación de material contenido en este documento para fines educativos u otros fines no comerciales sin previa autorización del titular de los derechos de autor, siempre que se cite claramente la fuente. Se prohíbe la reproducción total o parcial de este documento para fines comerciales.

No comercializable - Distribución gratuita



## CONTENIDO

<b>1 INTRODUCCIÓN</b>	<b>7</b>
<b>2 ALCANCE</b>	<b>8</b>
<b>3 MARCO LEGAL Y DE POLÍTICA PÚBLICA</b>	<b>9</b>
3.1 Política pública	10
3.2 Marco legal minero ambiental	11
<b>4 DIAGNÓSTICO DEL SECTOR</b>	<b>14</b>
4.1 Aspectos generales del sector ladrillero	14
4.2 Características del proceso productivo	17
4.2.1 Unidades artesanales	18
4.2.2 Pequeña industria	19
4.2.3 Mediana industria	19
4.2.4 Gran industria	20
4.3 Impactos ambientales de la industria ladrillera	13
4.3.1 Sobre el aire	21
4.3.2 Sobre el agua	22
4.3.3 Sobre el suelo	22
4.3.4 Consumo energético	22
<b>5 MEJORES TÉCNICAS DISPONIBLES Y MEJORES PRÁCTICAS AMBIENTALES</b>	<b>23</b>
5.1 Preparación, descapote y extracción del material	24
5.2 Maduración u oxidación de la arcilla	26
5.3 Homogeneización (preparación de la mezcla)	26
5.4 Trituración o molienda	27
5.5 Extrusión	27
5.6 Secado	28
5.7 Cocción	30
5.8 Buenas prácticas para la salud y seguridad en el trabajo	47
5.9 Mejoras en organización y administración	47
5.10 Análisis de costos-beneficio en la implementación de mejores técnicas disponibles en el sector	50
<b>6 INDICADORES DE PROCESO Y DE GESTIÓN</b>	<b>51</b>
<b>7 REGISTRO DE EMISIONES</b>	<b>52</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>53</b>



## Lista de figuras

<b>Figura 1.</b>	Contenido del Portafolio de mejores tecnologías disponibles y mejores prácticas ambientales para el sector alfarero y ladrillero.	8
<b>Figura 2.</b>	Distribución de la producción de ladrillo a nivel nacional	8
<b>Figura 3.</b>	Diagrama de proceso de producción de ladrillo..	18
<b>Figura 4.</b>	Impactos sociales, económicos y ambientales por categoría.	20
<b>Figura 5.</b>	Resumen de mejores técnicas disponibles y mejores prácticas ambientales por etapa del proceso.	23
<b>Figura 6.</b>	Acciones de economía circular por etapa del proceso.	18
<b>Figura 7.</b>	Triángulo de textura para selección del material para producir ladrillos.	24
<b>Figura 8.</b>	Esquema típico de obras de drenaje.	25
<b>Figura 9.</b>	Diseño de la recuperación de calor para estufa (secador).	25
<b>Figura 10.</b>	Esquema sobre cómo mejorar el aislamiento térmico del horno.	29
<b>Figura 11.</b>	Esquema horno colmena.	35
<b>Figura 12.</b>	Esquema horno zigzag.	36
<b>Figura 13.</b>	Esquema horno Hoffman.	41
<b>Figura 14.</b>	Esquema horno túnel.	43

## Lista de tablas

<b>Tabla 1.</b>	Marco legal minero ambiental aplicable en Colombia.	11
<b>Tabla 2.</b>	Ecosistemas bajo exclusión y restricción minera.	13
<b>Tabla 3.</b>	Producción mensual regional para el año 2015.	15
<b>Tabla 4.</b>	Distribución por tamaños sector ladrillero estimada para 2015	16
<b>Tabla 5.</b>	Consumo energético del sector 2015	17
<b>Tabla 6.</b>	Indicadores promedio de consumo energético en el sector ladrillero	22
<b>Tabla 7.</b>	Índice de consumo energético en hornos ladrilleros en Colombia (línea base 2015)	32
<b>Tabla 8.</b>	Valores típicos recomendados para inyección de O <sub>2</sub> .	33
<b>Tabla 9.</b>	Información general, técnica y financiera de hornos tipo colmena.	37
<b>Tabla 10.</b>	Prueba isocinética de gases en un horno tipo colmena.	38
<b>Tabla 11.</b>	Información general, técnica y financiera de hornos tipo cámaras.	39
<b>Tabla 12.</b>	Prueba isocinética de gases en un horno tipo cámaras.	40
<b>Tabla 13.</b>	Información general, técnica y financiera de hornos tipo zigzag.	42
<b>Tabla 14.</b>	Información general, técnica y financiera de hornos tipo Hoffman.	44
<b>Tabla 15.</b>	Información general, técnica y financiera de hornos tipo túnel.	46
<b>Tabla 16.</b>	Índice de consumo energético en hornos ladrilleros en Colombia (línea base 2015)	47
<b>Tabla 17.</b>	Código de colores para la separación en la fuente.	50
<b>Tabla 18.</b>	Variaciones porcentuales por implementación de técnicas combinadas (combustibles alternativos + ventiladores o inyectores de aire)	50
<b>Tabla 19.</b>	Variaciones porcentuales por implementación de técnicas combinadas (combustibles alternativos + ventiladores o inyectores de aire)	51

## Siglas y acrónimos

<b>CAEM</b>	Corporación Ambiental Empresarial
<b>CAR</b>	Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca
<b>CIU</b>	Clasificación internacional actividades económicas
<b>CONPES</b>	Consejo Nacional De Política Económica y Social
<b>COV</b>	Compuestos orgánicos volátiles
<b>DANE</b>	Departamento Administrativo Nacional de Estadística
<b>DNP</b>	Departamento Nacional de Planeación
<b>EAM</b>	Encuesta Anual Manufacturera
<b>EIA</b>	Estudio de impacto ambiental
<b>GEI</b>	Gases de efecto invernadero
<b>GLP</b>	Gas licuado de petróleo
<b>GN</b>	Gas Natural
<b>GTC</b>	Guía Técnica Colombiana
<b>Minambiente</b>	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
<b>MP</b>	Material particulado
<b>NTC</b>	Norma Técnica Colombiana
<b>OMS</b>	Organización Mundial de la Salud
<b>PIB</b>	Producto interno bruto
<b>PND</b>	Plan Nacional de Desarrollo
<b>RCD</b>	Residuos de construcción y demolición
<b>RENARE</b>	Registro Nacional de Reducción de Emisiones de Gases Efecto Invernadero
<b>RETC</b>	Registro de emisiones y transferencias de contaminantes
<b>RUA</b>	Registro Único Ambiental
<b>RUNAP</b>	Registro único de áreas protegidas
<b>SINA</b>	Sistema de información Nacional Ambiental

## 1. INTRODUCCIÓN

En las **bases** del Plan Nacional de Desarrollo PND 2018-2022 “**Pacto por Colombia, Pacto por la Equidad**” del actual gobierno nacional, se identificó la necesidad de avanzar en una economía productiva, eficiente y sostenible que requiere esquemas de economía circular que fortalezcan el modelo de desarrollo económico, ambiental y social del país. La Estrategia Nacional de Economía Circular desarrollada por el Gobierno Nacional en 2018, promueve la eficiencia en el uso de materiales, agua y energía considerando la capacidad de recuperación de los ecosistemas y la reintegración al ciclo productivo de flujos de materiales y energía.

Al mismo tiempo, en el Plan Nacional de Desarrollo PND 2018-2022 también se identificó que las prácticas inadecuadas en actividades productivas deterioran la calidad del aire, del agua y del suelo, produciendo efectos en la salud pública. En este sentido, este Plan de Desarrollo propone el “**Pacto por la Sostenibilidad: producir conservando y conservar produciendo**” con el objetivo de afianzar el compromiso de las actividades productivas con la sostenibilidad y la mitigación del cambio climático. Para ello se han establecido, entre otros, los siguientes objetivos:

- Avanzar hacia la transición de actividades productivas comprometidas con la sostenibilidad y la mitigación del cambio climático.
- Mejorar la calidad del aire, del agua y del suelo para la prevención de los impactos en la salud pública y la reducción de las desigualdades relacionadas con el acceso a recursos naturales.
- Acelerar la economía circular como base para la reducción, reutilización y reciclaje de residuos.
- Desarrollar nuevos instrumentos financieros, económicos y de mercado para impulsar actividades comprometidas con la sostenibilidad y la mitigación del cambio climático.

Dentro del primer objetivo relacionado con la transición de actividades productivas comprometidas con la sostenibilidad y la mitigación del cambio climático, se establece la importancia de promover la reconversión tecnológica para una industria sostenible y baja en carbono para así mejorar el desempeño ambiental, la productividad y la competitividad de la industria de manera articulada con lo establecido en el “**Pacto por el emprendimiento**” (línea B. Transformación empresarial (ibidem)). Para ello, se establece que, para contribuir a la reducción de emisiones de contaminantes criterio generadas por el sector industrial, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (Minambiente), con apoyo de Ministerio de Comercio, Industria y Turismo (MinCIT), desarrollarán portafolios con las mejores técnicas disponibles y prácticas ambientales en sectores priorizados, de acuerdo con la problemática de la calidad del aire.

De otra parte, el documento CONPES 3943 de 2018 “**Política para el mejoramiento de la calidad de aire**” (Departamento Nacional de Planeación - DNP, 2018) señala que las fuentes fijas<sup>1</sup> aportan emisiones de partículas al aire, por lo que es necesario orientar los esfuerzos a promover la innovación y el desarrollo de mejores técnicas y prácticas en la industria lo que incluye el uso de mejores tecnologías en los procesos productivos.

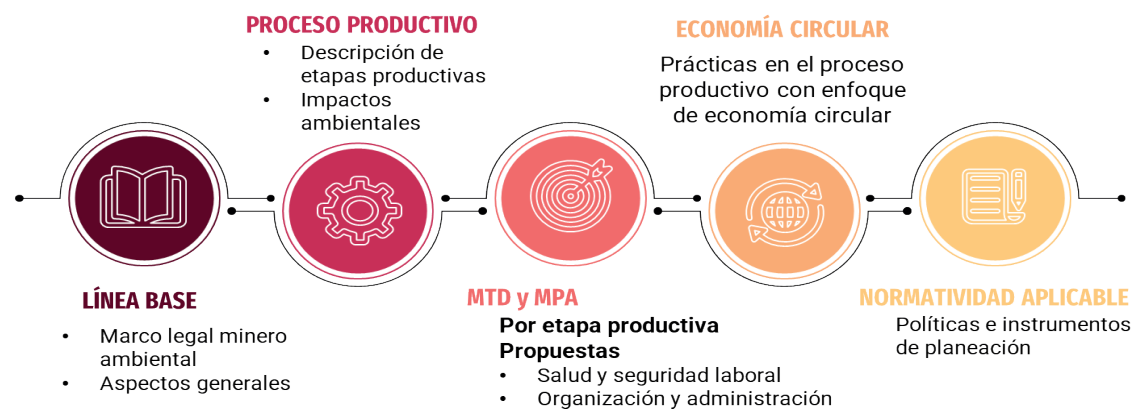
<sup>1</sup> De acuerdo con la Resolución 909 de 2008 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, “Por la cual se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones”, una fuente de emisión es toda actividad, proceso u operación, realizado por los seres humanos, o con su intervención, susceptible de emitir contaminantes al aire. Una fuente fija es la fuente de emisión situada en un lugar determinado e inamovible, aun cuando la descarga de contaminantes se produzca en forma dispersa.



En este contexto, este portafolio compila las experiencias nacionales e internacionales que han permitido identificar las mejores técnicas disponibles y las mejores prácticas ambientales en la fabricación de productos de arcilla y visibiliza casos exitosos de aplicación en el país. Con este documento se pretende promover la reconversión tecnológica de este sector productivo en el marco de los nuevos desafíos y exigencias ambientales, y de esta manera orientar a los empresarios y representantes del sector privado hacia la implementación de estas técnicas, tecnologías y buenas prácticas que conducen al uso eficiente de la energía y de los recursos en sus procesos de producción lo que supone un menor impacto ambiental frente al escenario de no aplicarlas. Es innegable que los retos ambientales son cada vez mayores, y es necesario constantemente repensar la manera en que producimos y consumimos diferentes bienes y servicios en el país.

En este documento técnico se presenta el marco legal minero y ambiental, se describen los impactos ambientales del proceso industrial de fabricación de productos de arcilla y se establece un listado de técnicas y prácticas ambientales aplicables al sector. De igual manera, se visibilizan algunos casos de éxito de aplicación de estas tecnologías en el país y se estiman los costos de implementación y el tiempo de retorno de la inversión. Paralelo a esto, en el documento se integran los lineamientos de la Estrategia Nacional de Economía Circular, de la Estrategia Nacional de Calidad de Aire y del CONPES 3943 “Política para el Mejoramiento de la Calidad del Aire” (ver figura 1).

Figura 1. Contenido del Portafolio de mejores tecnologías disponibles y mejores prácticas ambientales para el sector alfarero y ladrillero



## 2. ALCANCE

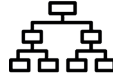
El portafolio abarca aquellas actividades industriales relacionadas con la fabricación de productos de arcilla, tales como ladrillo, bloque, tolete, ladrillo estructural, productos de alfarería, entre otros, a excepción de productos vitrificados.

## 3. MARCO LEGAL Y DE POLÍTICA PÚBLICA

  
**Plan Nacional de Desarrollo 2018 - 2020**

Pacto II: por el emprendimiento formalización y productividad.

Pacto IV: por la sostenibilidad.

  
**Documento CONPES 3943 de 2018**

Política para el mejoramiento de la calidad del aire.

  
**Estrategia Nacional de la Calidad del Aire**

2018 - 2022

  
**Estrategia Nacional de Economía Circular 2019**

  
**Zonas de exclusión**

Registro único de áreas protegidas RUNAP.

### PARTICIPACIÓN PIB

El sector de productos no metálicos (productos de arcilla, cemento, cal, yeso y piedra) aportó en 2015 el 1.2 % del PIB.

### EMPLEOS GENERADOS

En 2015:

- Permanentes: 25.348 personas
- Temporales: 3.642 personas

### CÓDIGOS CIU 1413

Clasificación de productos de arcilla

- Extracción de arcillas y otros (2691).
- Fabricación de cerámica no refractaria (2692).
- Fabricación de productos de cerámica refractaria (2693).

## MARCO LEGAL Y DE POLÍTICA PÚBLICA

  
**Ley 685 de 2001**

Código de minas: fomentar la exploración y extracción mineral.

  
**Resolución 909 de 2008 de Minambiente**

Estándares de emisión máximos permisibles por fuentes fijas.

  
**Instrumentos de planeación y ordenación**

- Territorial
- Cuencas
- Residuos sólidos y vertimientos
- Cambio climático

  
**Ley 373 de 1997**

Programa para el uso eficiente y ahorro de agua.

  
**Estrategia Nacional de Economía Circular**

2019

  
**Resoluciones 2001 de 2016 y 1499 de 2018 de Minambiente**

Determinación de zonas compatibles para extracción minera.

En este capítulo se presenta un resumen de los instrumentos normativos y documentos de política vigentes relacionados con la sostenibilidad ambiental aplicables a las actividades productivas relacionadas con la fabricación de productos de arcilla en el país.

### 3.1. Política pública

En primer lugar, en el actual Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022 **“Pacto por Colombia, pacto por la equidad”** ( Gobierno Nacional de Colombia, 2019) se define una meta específica orientada al aumento del porcentaje de estaciones de monitoreo de la calidad de aire que reporten concentraciones promedio anuales de material particulado PM10 inferiores a 30 µg/m<sup>3</sup>. Esta concentración de PM10, corresponde al objetivo intermedio 3, recomendado por la Organización Mundial de la Salud – OMS (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2019). La meta dentro del PND, establece aumentar de 22% al 35% las estaciones que cumplen esta concentración, para el año 2022. Para el cumplimiento de esta meta del cuatrienio se requiere la implementación de distintas acciones que están definidas en la Estrategia Nacional de Calidad de Aire y las establecidas en el año 2018 a través del documento CONPES 3943 de 2018 “Política para el mejoramiento de la calidad de aire”.

La Estrategia Nacional de Calidad de Aire 2018-2022, por su parte, prioriza acciones enfocadas a los siguientes ejes temáticos:

- Fortalecimiento y actualización de instrumentos normativos y técnicos que permitan la reducción de emisiones a la atmósfera.
- Generación de lineamientos para proteger la salud de los ciudadanos y prevenir los estados excepcionales de contaminación atmosférica.
- Fortalecimiento del conocimiento técnico científico.
- Fortalecimiento y actualización de instrumentos económicos y de mercado.
- Fortalecimiento de la gobernanza de la calidad del aire.

En este sentido, esta Estrategia establece acciones relacionadas con la reducción de emisiones contaminantes generadas por fuentes móviles y fijas, que para estas últimas se encuentran: actualización de los estándares de emisión, fomento a la economía circular en procesos productivos, incremento de instrumentos financieros para incentivar el sector productivo, aumento de la cobertura y disponibilidad de información de emisiones y calidad del aire y apoyo a las autoridades ambientales en el fortalecimiento al control y vigilancia de las emisiones, entre otras.

De otra parte, el Gobierno Nacional adoptó el CONPES 3943 “Política para el mejoramiento de la calidad del aire” (2018) , la cual tiene como objetivo general reducir la concentración de contaminantes que afectan la salud y el ambiente y establece tres objetivos específicos desarrollados a través de líneas de acción que implican el trabajo articulado entre las entidades del orden nacional y territorial. Las acciones indicadas en este documento se enfocan en reducir las emisiones contaminantes al aire provenientes de fuentes móviles, fuentes fijas y mejorar las estrategias de prevención, reducción y control de la contaminación del aire.

Finalmente, la Estrategia Nacional de Economía Circular adoptada por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y el Ministerio de Comercio, Industria y Turismo en 2019, busca generar los lineamientos para un nuevo modelo de desarrollo económico que incluye la valorización continua de los recursos, el cierre de ciclos de materiales, agua y energía, la creación de nuevos modelos de negocio, la promoción de la simbiosis industrial y la consolidación de ciudades

sostenibles, con el fin, entre otros, de optimizar la eficiencia en la producción y consumo de materiales y reducir la huella hídrica y de carbono.

La Estrategia Nacional de Economía Circular prioriza seis líneas de acción en función de los flujos de materiales considerando su potencial aprovechamiento, valor agregado y tecnología disponible; de las cuales para el sector alfarero y de producción de ladrillo en Colombia se destacan:

- Línea de acción 4 “Fuentes y flujos de energía” se enfoca en acciones de optimización de la generación con energías renovables o con reconversión tecnológica, así como la disminución de pérdidas, mejoras de rendimiento y menor intensidad de uso de recursos con medidas de eficiencia energética.
- La línea de acción 6 “Flujos de materiales de construcción” comprende aquellos materiales compuestos por arcillas, cemento, madera, plásticos, vidrio, yeso, entre otros materiales. Son un flujo prioritario en cuanto a su crecimiento durante la última década, debido a la construcción de edificaciones, viviendas y obras civiles, y a los requerimientos de área para la disposición final de los residuos de construcción.

En este sentido, esta estrategia plantea una meta a 2022 de mejorar la eficiencia energética en un 9,05 % a través de programas en el sector manufacturero que incluye, entre otros, a la producción de ladrillo. El cumplimiento de la meta planteada contempla la actualización tecnológica, reconversión, renovación o sustitución de equipos.

### 3.2. Marco legal minero ambiental

En las tablas 1 y 2 se resume el marco normativo minero ambiental aplicable a las actividades productivas de fabricación de productos de arcilla. Además, se presenta el marco normativo relacionado con los ecosistemas bajo exclusión y restricción minera.

Tabla 1. Marco legal minero ambiental aplicable en Colombia.

Campo	Norma	Objetivos
General	Ley 99 de 1993	Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones. <b>Títulos II, IV, VI:</b> funciones y competencias del Sistema Nacional Ambiental. <b>Título VIII:</b> de las licencias ambientales.
	Ley 685 de 2001	<b>Código de Minas:</b> el código tiene como objetivos fomentar la exploración técnica y la explotación de los recursos mineros de propiedad estatal y privada; estimular estas actividades en orden a satisfacer los requerimientos de la demanda interna y externa de los mismos y a que su aprovechamiento se realice en forma armónica con los principios y normas de explotación racional de los recursos naturales no renovables y del ambiente, dentro de un concepto integral de desarrollo sostenible y del fortalecimiento económico y social del país.
	Ley 46 de 1988	Por la cual se crea y organiza el Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres.



Campo	Norma	Objetivos
General	Ley 99 de 1993	Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones.  <b>Títulos II, IV, VI:</b> funciones y competencias del Sistema Nacional Ambiental.  <b>Título VIII:</b> de las licencias ambientales.
	Ley 685 de 2001	<b>Código de Minas:</b> el código tiene como objetivos fomentar la exploración técnica y la explotación de los recursos mineros de propiedad estatal y privada; estimular estas actividades en orden a satisfacer los requerimientos de la demanda interna y externa de los mismos y a que su aprovechamiento se realice en forma armónica con los principios y normas de explotación racional de los recursos naturales no renovables y del ambiente, dentro de un concepto integral de desarrollo sostenible y del fortalecimiento económico y social del país.
	Ley 46 de 1988	Por la cual se crea y organiza el Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres.
	Decreto 1076 de 2015	Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible.
	Decreto 1073 de 2015	Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía.  <b>Título V.</b> Del sector minero. <b>Sección 5.</b> Clasificación de la minería y requisitos.
	Decreto 2222 de 1993	Seguridad e higiene industrial en la minería a cielo abierto.  Reglamenta todo lo concerniente a la higiene y seguridad industrial de las actividades mineras a cielo abierto.
	Decreto 2041 de 2014	Por el cual se reglamenta el Título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales.
	Resolución 2206 de 2016 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Por la cual se adoptan los términos de referencia para la elaboración del estudio de impacto ambiental (EIA), requerido para el trámite de la licencia ambiental de los proyectos de explotación de proyectos mineros.
	Resolución 18-0861 de 2002 del Ministerio de Minas y Energía	Por medio de la cual se adoptan las guías minero-ambientales.
	Resolución 2400 de 1979 del Ministerio de Trabajo y Seguridad Social	Por la cual se establecen algunas disposiciones sobre vivienda, higiene y seguridad en los establecimientos de trabajo.
Suelo	Ley 388 de 1997	<b>Capítulo II:</b> ordenamiento del territorio municipal.  <b>Capítulo IV:</b> clasificación del suelo.
	Ley 09 de 1979	Código Sanitario Nacional. Medidas sanitarias sobre manejo de residuos sólidos.
	Decreto 2462 de 1989	Por el cual se reglamentan parcialmente el Código de Minas y el Decreto 507 de 1955 incorporado a la legislación ordinaria por la Ley 141 de 1961.

Campo	Norma	Objetivos
Suelo	Resolución 2001 de 2016 modificada por la Resolución 1499 de 2018 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Por la cual se determinan las zonas compatibles con las explotaciones mineras en la Sabana de Bogotá, y se adoptan otras determinaciones
	Resolución 472 de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Por la cual se reglamenta la gestión integral de los residuos generados en las actividades de construcción y demolición (RCD) y se dictan otras disposiciones.
Aire	Decreto 1076 de 2015	<b>Título 5. Capítulo 1. Sección 7.</b> Permiso de emisiones para fuentes fijas.
	Resolución 909 de 2008 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible)	Estándares de emisión máximos permisibles para fuentes fijas.
	Resolución 910 de 2008 y Resolución 1111 de 2013 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Norma nacional de fuentes móviles.
	Resolución 2254 de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Norma de calidad del aire ambiente.
Agua	Ley 79 de 1986	Por la cual se prevé a la conservación de agua y se dictan otras disposiciones.
	Ley 373 de 1997	Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua.
	Decreto 1729 de 2002	Ordenación de cuencas hidrográficas.

Sumado a lo anterior, es importante resaltar los ecosistemas bajo exclusión y restricción minera que existen actualmente en Colombia:

Tabla 2. Ecosistemas bajo exclusión y restricción minera

PROTECCIÓN	EXCLUSIONES
Parques nacionales y regionales naturales	Ley 685 de 2001 (exclusión total)
Zonas de reservas forestales protectoras nacionales y regionales	Ley 1753 de 2015 / Ley 1450 de 2011 (exclusión total)
Ecosistemas de humedales RAMSAR	Ley 1753 de 2015 (exclusión total)
Ecosistemas de páramo	Ley 1753 de 2015 (exclusión total) / Sentencia C-035
Arrecifes de coral y manglares	Ley 1753 de 2015 / Ley 1450 de 2011 (exclusión total)
Zonas de reserva forestal productora nacionales y regionales	Ley 1753 de 2015 / Ley 1450 de 2011 (sustracción)

PROTECCIÓN	EXCLUSIONES
Ecosistemas de humedales	Restringidos (actividad minera condicionada)
Pastos marinos	Restringidos (actividad minera condicionada)
Reservas ambientales temporales	Resolución 1628 del 2015 y Resolución 1814 del 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

## 4. DIAGNÓSTICO DEL SECTOR

De acuerdo con el Departamento Administrativo Nacional de Estadística – DANE, el producto interno bruto (PIB) de Colombia para el año 2018 fue de 976 billones de pesos, de los cuales 11.8 billones fueron de la fabricación de otros productos no metálicos, incluida la fabricación de productos de arcilla, entre otros materiales como cemento, cal, yeso y piedra. Así mismo, el DANE publicó en la Encuesta Anual Manufacturera - EAM del año 2017 que la fabricación de otros productos no metálicos empleó 25.348 personas de forma permanente y 3.642 de forma temporal (Departamento Nacional de Estadística - DANE, 2018).

La fabricación de productos de arcilla se encuentra dentro de los códigos de clasificación internacional actividades económicas (CIIU) 1413 – Extracción de caolín, arcillas de uso industrial y bentonitas, 2691 – Fabricación de productos de cerámica no refractaria, para uso no estructural, 2692 – Fabricación de productos de cerámica refractaria y 2693 – Fabricación de productos de arcilla y cerámica no refractaria, para uso estructural; sin embargo, el alcance de la presente guía se limita al sector ladrillero en Colombia.

La importancia de la fabricación de productos de arcilla y ladrillos dentro de la industria nacional radica en su estrecho vínculo con el sector de la construcción por ser su principal consumidor. Mejoras en los sistemas productivos e implementación de tecnologías costo-eficientes pueden representar ahorros en consumo de combustibles y en consecuencia precios más competitivos de los productos terminados.

Establecer cifras específicas para el sector ladrillero y alfarero, relacionadas con su aporte al PIB o a la generación de empleo, aún es un reto importante, ya que no existen fuentes oficiales que puedan dar cuenta de ello. Sin embargo, se han realizado algunos estudios por la Corporación Ambiental Empresarial -CAEM, filial de la Cámara de Comercio de Bogotá, en donde se han generado algunas aproximaciones para diagnosticar principalmente el sector ladrillero en Colombia.

### 4.1. Aspectos generales del sector ladrillero

De acuerdo con el *Inventario del sector ladrillero* elaborado por la CAEM, con el apoyo de la Coalición del Clima y Aire Limpio, en Colombia se han podido caracterizar 1.508 industrias ladrilleras considerando 15 departamentos con una producción anual estimada en cerca de 13 millones de toneladas de materiales cerámicos al año. Estos productos de arcilla abastecen el mercado nacional y tiene mercado en países como Estados Unidos, República Dominicana y Panamá (Corporación Ambiental Empresarial - CAEM, 2015).

Este estudio también reveló que en cuanto a la distribución geográfica del sector ladrillero para 2015, el número de unidades productivas se concentra principalmente en los departamentos de

Boyacá, Cundinamarca y Valle del Cauca, ya que en estos departamentos se encuentra el 62% de la industria ladrillera identificada. El departamento de Boyacá lidera la representatividad del sector ladrillero nacional con una participación del 28%, seguido de Valle del Cauca y Cundinamarca con el 17% cada uno. Por su parte, Huila tiene el cuarto lugar con el 7% que comparte con el departamento de Nariño. La siguiente tabla presenta la producción mensual regional estimada, así como el número de ladrilleras y hornos caracterizados, para el año 2015.

Tabla 3. Producción mensual regional para el año 2015

Departamento	Producción (t/mes)	Número de ladrilleras caracterizadas	Número de hornos
Bogotá D.C. y Cundinamarca	271.956	262	450
Norte de Santander	147.350	87	328
Antioquia	157.693	101	43
Valle del Cauca	107.903	257	282
Huila	76.232	102	195
Boyacá	40.222	418	441
Cesar	46.706	14	196
Atlántico	30.660	6	11
Santander	16.063	16	15
Caldas	12.407	08	11
Nariño región Pasto	17.007	115	149
La Guajira	8.520	64	245
Cauca	114.602	45	53
Tolima	5.946	11	14
Sucre	5.390	2	2
<b>Total</b>	<b>1.058.656</b>	<b>1508</b>	<b>2435</b>

Fuente: Corporación Ambiental Empresarial – CAEM, 2015.

En Colombia se cuenta con variedad de modelos tecnológicos que comprenden desde las unidades artesanales tales como hornos altamente tecnificados y automatizados de producción de ladrillo. A continuación, se presentan las principales categorías en función del nivel tecnológico de los hornos de cocción y de la producción anual:

- **Unidades productivas artesanales (manuales o mecanizadas):** de nivel tecnológico de producción manual, con hornos tipo fuego dormido o árabe (producción de 400 a 2.500 t/año). Las unidades artesanales manuales corresponden a hornos tipo fuego dormido con una producción entre 400 y 1000 t/año. Las unidades artesanales mecanizadas corresponden a hornos tipo árabe o colmena (1 o 2 hornos) y representan una producción comprendida entre 1000 y 2500 t/año.
- **Pequeña industria:** de nivel tecnológico semimecanizado, con hornos tipo baúl, colmena, vagón (producción de 2.500 a 5.000 t/año)
- **Mediana industria:** de nivel tecnológico mecanizado, con hornos tipo Hoffman, cámaras, zig-zag (producción semicontinua estimada en 5.000 a 10.000 t/año)



- **Gran industria:** de nivel tecnológico mecanizado o automatizado con hornos tipo túnel o rodillos (producción continua de 20.000 a 120.000 t/año).

En la siguiente tabla, se presenta la distribución del sector ladrillero en cuanto al número de hornos y producción por las categorías previamente expuestas:

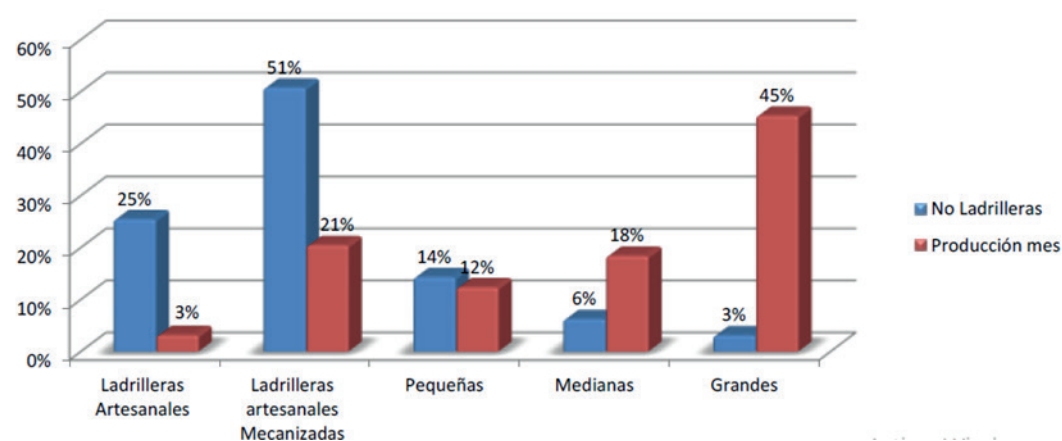
**Tabla 4. Distribución por tamaños sector ladrillero estimada para 2015**

Categoría	Número de hornos	Producción (t/mes)
Grandes	77	626.553
Medianas	152	254.660
Pequeñas	348	171.277
Ladrilleras artesanales mecanizadas	1.233	282.900
Ladrilleras artesanales	620	44.425

Fuente: Corporación Ambiental Empresarial - CAEM, 2015.

El estudio mencionado también revela que la gran industria contribuye con el 45% de la producción, a pesar de que tan solo representa el 3% de las unidades de producción de ladrillo. Las unidades artesanales de ladrillo contribuyen con el 24% de la producción a pesar de que representan cerca del 76% de las unidades ladrilleras (Corporación Ambiental Empresarial - CAEM, 2015). La siguiente gráfica representa este diagnóstico:

**Figura 2. Distribución de la producción de ladrillo a nivel nacional**



Fuente: Corporación Ambiental Empresarial - CAEM, 2015.

Ahora bien, el proceso productivo consta principalmente de tres etapas: i) la extracción minera de la arcilla, ii) la adecuación del material arcilloso y iii) la cocción del ladrillo. Estas etapas a su vez corresponden a una serie de procedimientos físicos, mecánicos y térmicos para transformar la arcilla en un producto cerámico de gran resistencia, dependiendo del nivel de tecnología y tamaño de la industria (Corporación Ambiental Empresarial - CAEM, 2016).

Con respecto al uso de combustibles, CAEM (2015) destaca que el carbón mineral predomina en el consumo intensivo de energía térmica durante la etapa de cocción, seguido de la leña.

**Tabla 5. Consumo Energético del sector 2015**

Energético	Consumo (Tcal <sup>2</sup> /año)	Porcentaje del consumo
Carbón Mineral	5.003,47	71%
Biomasa (Leña y otros)	1.403,70	20%
Mezcla biomasa y carbón	479,29	7%
Gas Natural	177,04	3%
<b>Total</b>	<b>7.063,49</b>	<b>100%</b>

Fuente: Corporación Ambiental Empresarial - CAEM, 2015.

Las ladrilleras mecanizadas son las que presentan mayor consumo de biomasa (representada por leña) para la cocción de los cerámicos. En esta categoría, también se realizan mezclas de carbón y biomasa principalmente cisco de café, residuos de madera, aserrín, residuos de caña, guadua, entre otros, según la disponibilidad de la región y la temporada de producción agrícola. A su vez, las ladrilleras artesanales emplean carbón y las ladrilleras grandes utilizan carbón en sus hornos túnel y rodillos, a excepción de algunas en el país que emplean gas natural. Las ladrilleras pequeñas y medianas principalmente emplean carbón, utilizando mezclas con biomasa para el precalentamiento del horno (Corporación Ambiental Empresarial - CAEM, 2015)

## 4.2. Características del proceso productivo

En esta sección se describen las características del proceso productivo y las particularidades que se han observado de acuerdo con la categoría tecnológica de producción. De manera general, el proceso productivo consta de las siguientes etapas:

- **Preparación del terreno y extracción de la arcilla:** esta etapa consiste en la preparación y descapote del terreno donde se realiza la extracción de las arcillas y la mezcla de los diferentes estratos del suelo, generalmente de manera mecanizada.
- **Oxidación o maduración de la arcilla** (almacenamiento y eventualmente transporte): esta etapa consiste en el almacenamiento de la arcilla en pilas donde sufren un proceso de oxidación natural en contacto con el oxígeno de la atmósfera. En la mayoría de los casos, la fabricación de ladrillos se realiza cerca de las canteras donde se extrae la arcilla, por lo que el transporte no es una actividad usual.
- **Molienda y tamizado:** esta etapa consiste en iniciar la preparación de la mezcla para la fabricación de los productos. El objetivo de esta etapa es reducir y homogenizar el tamaño de partículas.
- **Mezcla:** esta etapa consiste en preparar la mezcla o pasta cerámica con la plasticidad necesaria para poder posteriormente moldear los productos. Esta preparación puede

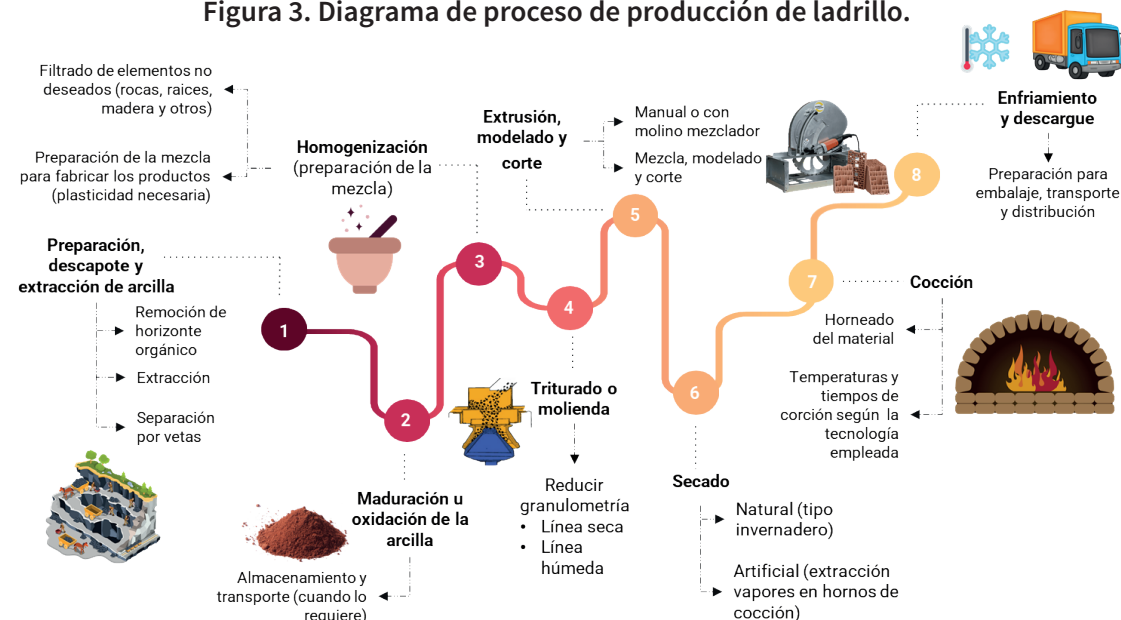
2 Unidad de energía: tercalorías / año

ser en seco o contar con un poco de humedad, lo que se conoce como una preparación semihúmeda.

- **Moldeado y corte:** el moldeado puede llevarse a cabo a través de prensado o extrusión, principalmente. El corte de ladrillos generalmente se realiza con un cortador de alambre dulce.
- **Secado:** esta etapa consiste en retirar el exceso de humedad de los productos crudos, antes de ingresar al proceso de cocción. El secado puede ser natural tipo invernadero o artificial para lo cual se destina un espacio cerrado donde se ubica el material y al cual ingresa por medio de extractores el exceso de aire caliente de los hornos de cocción.
- **Cocción o quema:** La cocción o quema de los productos se realiza en atmósferas oxidantes, en tiempos y temperaturas que difieren según la tecnología.
- **Enfriamiento y descargue:** en esta etapa, los productos luego de la cocción son recuperados posterior al enfriamiento, con el fin de alistarlos para embalaje, transporte y distribución.

En la siguiente figura se presenta un esquema con las principales etapas del proceso.

Figura 3. Diagrama de proceso de producción de ladrillo.



Fuente: a partir de lo citado por (CAEM & Swisscontact, 2011).

A continuación, se describen algunas particularidades del proceso de producción en función de las categorías identificadas en la producción de ladrillo.

#### 4.2.1. Unidades artesanales

Este tipo de unidad extractiva y transformadora involucra procesos artesanales de fabricación tales como la extracción manual de arcillas y la cocción en hornos tipo fuego dormido u horno árabe. También pueden tener grados de tecnificación, los cuales involucran procedimientos mecanizados en el beneficio de las arcillas sin un alto grado tecnológico. La selección de materiales y control de calidad son prácticamente nulos y el principal producto que se fabrica es el ladrillo tipo tolete y tejas de estilo rústico.

Desde el punto de vista socioeconómico muchas de estas unidades están integradas por familias que habitan cerca de los hornos y ven en la producción de ladrillos su único medio de sustento y con condiciones de trabajo mínimas, donde los servicios básicos son insuficientes y de baja calidad. El sistema de trabajo de un operario es a “destajo”, es decir, sin una vinculación laboral permanente ya que se hace de acuerdo con los requerimientos del proceso productivo de cada industria y al trabajador se le remunera por actividad o cantidad de producción realizada.

Las principales afectaciones al medio ambiente que se generan en este tipo de unidades productivas tienen relación con la extracción no apropiada de la arcilla, ocasionando taludes inestables y desorden en las explotaciones, lo que se refleja en la presencia de áreas extensas sujetas a erosión laminar, en surcos y cárcavas. Como efecto del bajo rendimiento térmico de los hornos se produce contaminación atmosférica por emisión de CO, CO<sub>2</sub>, azufre, óxidos de nitrógeno y partículas. En muchas explotaciones la disposición de los residuos se realiza de forma inadecuada en áreas próximas al horno.

#### 4.2.2. Pequeña industria

La pequeña industria se caracteriza por ser un poco más tecnificada y con procesos de mayor valor agregado. La extracción se adelanta en forma mecanizada usando bulldozer o retroexcavadoras, se utilizan criterios de selección y calidad de materias primas (los productos así lo requieren) y se incorpora un circuito de molienda y homogenización para la pasta cerámica; la extrusión se realiza al vacío para eliminar aire y agua y como horno tipo se tiene el de llama invertida en sus formas colmena o baúl.

Los productos que se obtienen son tubería de gres en varios diámetros, adoquines, bloques estructurales y pisos.

En el ámbito social, si bien es mayor el nivel de tecnificación e infraestructura que emplea, la población que labora en la pequeña industria es inestable ya que la situación laboral depende de la demanda de productos. Esta industria vincula indirectamente mano de obra para el transporte de productos a los sitios de compra, pero no tienen ninguna relación patronal directa con la industria.

#### 4.2.3. Mediana industria

Esta categoría relaciona empresas con inversiones en infraestructura altas, emplean procesos continuos en la cocción; el tipo de horno que caracteriza esta industria incluye empresas con hornos intermitentes como el tipo colmena (4 o más) y continuos como zigzag, cámaras continuas y Hoffman. Las etapas de extracción, molienda y homogenización son similares a la pequeña industria, pero a mayor escala, lo que implica en muchos casos que se automaticen procesos como en la implementación de secadores artificiales tipo túnel. Esta industria puede producir diferentes piezas tales como tabletas, pisos, ladrillos y tejas, pero tienen una dedicación especial a la fabricación de bloques en sus diferentes referencias. En el campo ambiental, estas empresas, por el tipo de tecnología que emplean, hacen un uso más eficiente de la energía y de los recursos; el tipo de horno, los quemadores de carbón ya sean tipo *stockers*, *eductores* o *carbojets*, la caracterización del combustible, mezclas con biomasa e incluso la implementación de sistemas de control y mejoras estructurales en los hornos ayudan a una mejor combustión, menos residuos y menos emisiones por tonelada que en las industrias anteriores.

En esta industria ya se puede hablar de un reprocesamiento de los rechazos o de los residuos post industriales, como ejemplo de economía circular, que se logra mediante una re trituración de los desechos que se incorporan nuevamente a la mezcla de arcilla para su homogenización, extrusión y posterior cocción. El porcentaje total de aprovechamiento de estos desechos depende de la etapa en donde se generan los residuos ya sea antes o después de la cocción. Por lo cual, una alternativa



de aprovechamiento de los residuos es la recuperación de las cenizas resultantes de la quema; para utilizarlas como componente de las mezclas en la preparación de ladrillos crudos.

#### 4.2.4. Gran industria

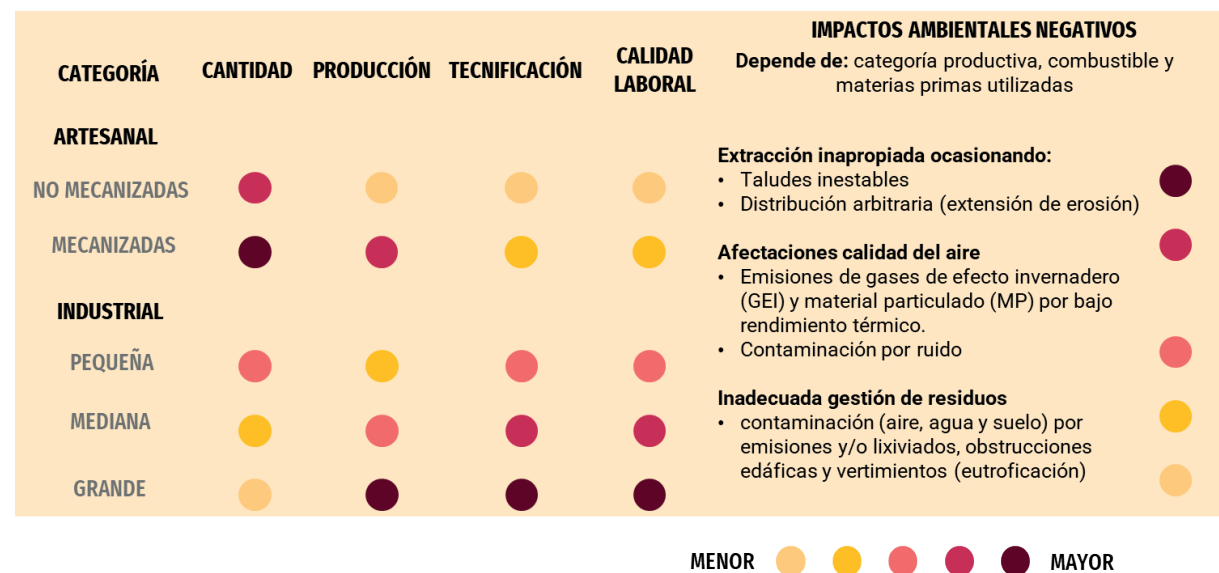
Este rango es de mayor grado tecnológico en el que se desarrollan una serie de etapas planeadas y programadas técnicamente, que van desde la caracterización y selección de materias primas, hasta procesos de cocción en hornos continuos tipo túnel o rodillos con dispositivos de control, automatización y simulación digital. En la extracción de la arcilla se involucra personal técnico capacitado; para el proceso se utilizan dispositivos que automatizan las operaciones de homogenización, molienda y secado. El manejo de los productos terminados es mucho más técnico y cuidadoso que en las otras industrias, ya que la movilización y empaque se efectúan en forma mecanizada. Los tipos de piezas que se producen son diversos e incluyen pisos, adoquines, tabletas, bloques y productos estructurales.

A nivel socioeconómico, a diferencia de las ladrilleras artesanales, que funcionan como organización familiar, la mediana y gran minería están empresarialmente jerarquizadas, cuentan con trabajadores especializados (mano de obra calificada), en donde la vinculación directa de personal es proporcional al tamaño de la industria. Esta industria involucra de forma indirecta mano de obra que depende de ella, básicamente la que tiene que ver con el proceso de transporte y puesta en obra de los materiales. Vincula gran número de empleos directos e indirectos, requeridos para los volúmenes de producción que tienen.

### 4.3. Impactos ambientales de la industria ladrillera

Las empresas de fabricación de ladrillos y productos de alfarería, sin importar su tamaño, causan una serie de impactos ambientales derivados del proceso de producción (ver figura 4). Dependiendo del tipo del proceso que tengan implementado las industrias, el combustible utilizado y las materias primas, los impactos al ambiente por las emisiones atmosféricas, al agua y al suelo pueden variar. A continuación, se presentan los principales impactos industriales que derivan de la fabricación de productos de arcilla:

Figura 4. Impactos sociales, económicos y ambientales por categoría.



#### 4.3.1. Sobre el aire

**Incremento en los niveles de ruido y vibraciones:** en el proceso productivo se generan ruido y vibraciones que provienen de los equipos utilizados para el triturado, molienda y transporte de mineral durante los procesos de beneficio y transformación (Ministerio de Minas y Energía; Ministerio del Medio Ambiente, 2002).

**Emisión de material particulado:** el procesamiento de arcillas y otros materiales cerámicos conlleva a la formación de polvo, especialmente durante el procesamiento de materiales secos y preparación de la materia prima, como en el tamizado, clasificación, manipulación, mezcla o almacenamiento de las arcillas, etapas en las cuales se emiten partículas finas, por lo que se recomienda contar con equipos de extracción de polvo dentro de las instalaciones en caso de llevarse a cabo en instalaciones cerradas (Comisión Europea, 2007). Durante el proceso de cocción, se realiza un proceso de combustión para garantizar las temperaturas deseadas, por lo que se generan emisiones de gases y partículas típicas de dichos procesos.

**Emisiones gaseosas:**

**Óxidos de nitrógeno:** se producen principalmente por la “fijación” térmica del nitrógeno y el oxígeno presente en el aire de combustión. Esta reacción se favorece a altas temperaturas, especialmente mayores a 1200 °C y en presencia de oxígeno en exceso. Además, los compuestos de nitrógeno presentes en los combustibles (principalmente sólidos o líquidos), o en aditivos orgánicos, forman óxidos de nitrógeno (NOx) durante la combustión a temperaturas mucho más bajas (Comisión Europea, 2007).

**Óxidos de azufre:** las emisiones de azufre dependen generalmente del contenido de azufre del combustible utilizado. Los materiales cerámicos pueden contener azufre en forma de pirita (FeS2) u otros compuestos de azufre. Los combustibles gaseosos son prácticamente libres de azufre.

**Monóxido de carbono:** el monóxido de carbono se emite generalmente durante la combustión incompleta y con proporciones de oxígeno menores a las requeridas por la estequiometría de la combustión.

**Dióxido de carbono:** es el principal óxido de carbono formado en los procesos de combustión de combustibles fósiles

**Compuestos orgánicos volátiles (COV):** la emisión de compuestos orgánicos volátiles se debe generalmente a procesos de combustión incompleta durante el proceso de calentamiento por la carbonización de compuestos orgánicos y a la aplicación de aditivos o aglutinantes.

**Metales pesados:** en cuanto a metales pesados, el contenido de metales es generalmente bajo en las materias primas, principalmente asociado al uso de combustibles sólidos, como el carbón, la leña o la biomasa; es posible la emisión de mercurio o algún otro metal pesado presente en el energético.

**Cloruro de hidrógeno (HCl):** la mayoría de las arcillas contiene trazas de cloro, aunque también puede contener cloro el agua utilizada durante los procesos de moldeado y preparación de la mezcla de arcilla. Debido a la descomposición de las sales minerales que contienen cloro a temperaturas superiores a 850 °C y a la descomposición de compuestos orgánicos que contienen cloro entre 450 y 550 °C, la formación de HCl ocurre durante el proceso de cocción en los hornos (Comisión Europea, 2007).

**Fluoruro de hidrógeno (HF):** el flúor se encuentra presente en las arcillas y su contenido puede oscilar entre 20 y 200 mg/kg según algunas caracterizaciones de la arcilla en el país. Sin embargo, no se cuenta con un dato oficial al respecto. La emisión de HF depende principalmente del

contenido de flúor en las materias primas, la curva de temperatura en el horno, la presencia de otros elementos en las materias primas, los sistemas de control de emisiones de HF, entre otros.

### 4.3.2. Sobre el agua

**Vertimientos al agua:** se dan por medio de aguas negras y aportes de sedimentos por la explotación de la arcilla y por construcción de carreteras. Los vertimientos contienen principalmente elementos minerales (partículas insolubles) y también otros materiales inorgánicos, pequeñas cantidades de materiales orgánicos y algunos metales pesados (Ministerio de la Producción de Perú & COSUDE, 2010).

### 4.3.3. Sobre el suelo

**Residuos del proceso de fabricación:** las pérdidas del proceso derivadas de la fabricación de productos cerámicos consisten, sobre todo, en diferentes tipos de lodo, piezas rotas, moldes de yeso usados, agentes de absorción y adsorción usados, residuos sólidos (polvo, cenizas) y residuos de envases (Ministerio de la Producción de Perú & COSUDE, 2010).

### 4.3.4. Consumo energético

Todos los sectores de la industria cerámica muestran un consumo intensivo de energía, ya que una parte fundamental del proceso es el secado, seguido de la cocción a temperaturas comprendidas entre los 800 y 2000 °C (Ministerio de la Producción de Perú & COSUDE, 2010). El consumo energético de los ladrilleros artesanales representa el 67% del consumo energético del sector, pero solo representan el 38% de la producción total. En cuanto al uso de combustibles se utiliza un 78 % carbón mineral, 16 % leña y el 6% restante lo constituyen aserrín, cascarilla de café, gas licuado de petróleo (GLP) y gas natural, para un consumo total nacional de 25203 TJ/año (Corporación Ambiental Empresarial - CAEM, 2015)

En la tabla 6 se resumen los requerimientos energéticos promedio para cada una de las etapas de la actividad de producción de ladrillos. Se destaca que la etapa de cocción es la que demanda mayor consumo de energéticos, por lo que, el uso de combustibles menos contaminantes genere un impacto directo en las emisiones de contaminantes y de gases de efecto invernadero.

Tabla 6. Indicadores promedio de consumo energético en el sector ladrillero

Etapa	Consumo total	Unidades
a. <i>Energía eléctrica</i>		
Preparación y molienda	7.33	kWh / t producto
Molienda	10.47	kWh / t producto
Extrusión	24.09	kWh / t producto
b. <i>Energía térmica</i>		
Preparación y molienda	25.0	kBTU/t producto
Molienda	35.7	kBTU/t producto
Extrusión	82.2	kBTU/t producto
Secado	670.4	kBTU/t producto
Cocción	1396.6	kBTU/t producto

Fuente: García-Ubaque, Vaca-Bohorquez & Talero, 2013.

## 5. MEJORES TÉCNICAS DISPONIBLES Y MEJORES PRÁCTICAS AMBIENTALES

A pesar de la diversidad de industrias que fabrican ladrillos en el país, todas tienen el mismo proceso productivo. Por esta razón, a continuación, se presenta una serie de mejores técnicas y buenas prácticas ambientales discriminadas por las etapas del proceso productivo, además de describir algunas prácticas de salud y seguridad en el trabajo y mejoras en la organización y la administración. En las siguientes figuras se resumen cada una de estas por etapa del proceso productivo y las acciones en economía circular que se pueden potenciar en cada una de estas.

Figura 5. Resumen de mejores técnicas disponibles y mejores prácticas ambientales por etapa del proceso.

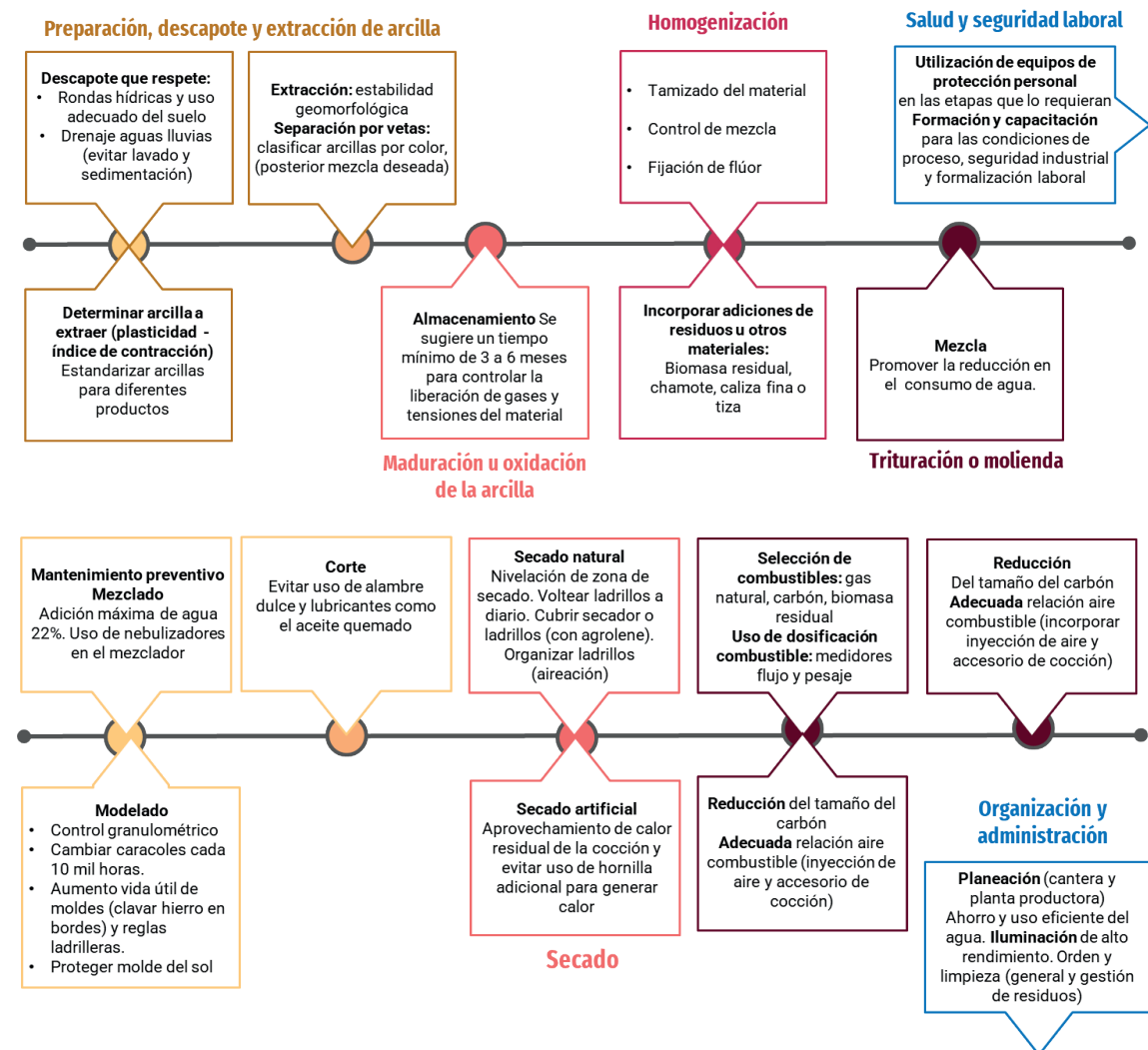




Figura 6. Acciones de economía circular por etapa del proceso.

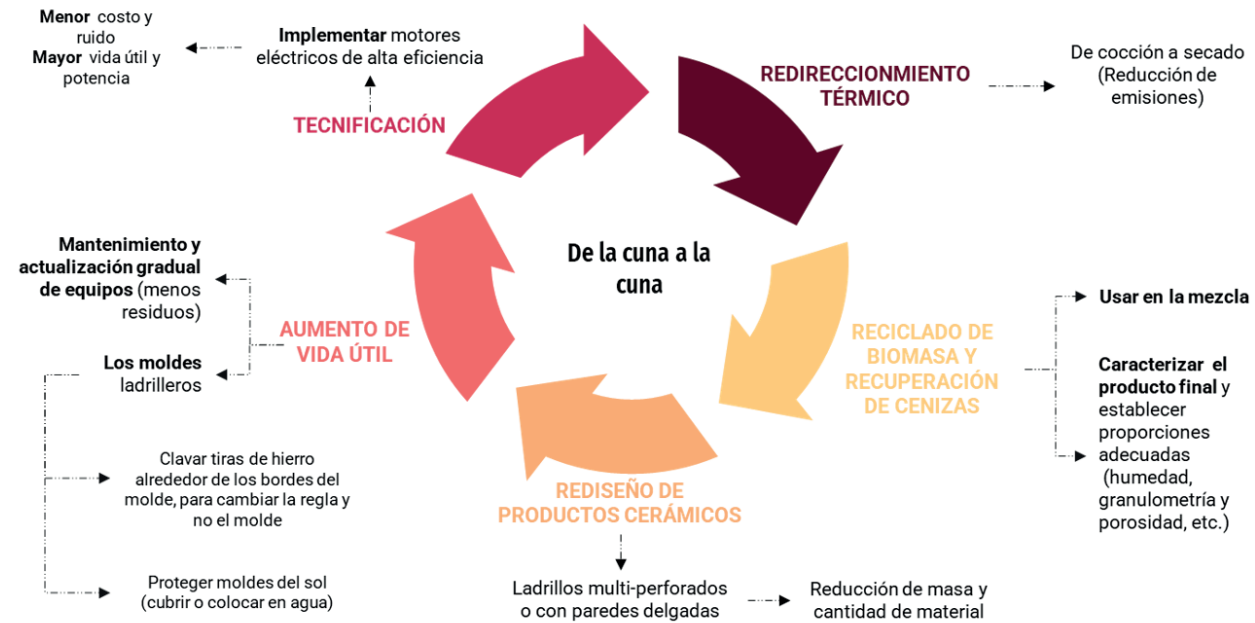
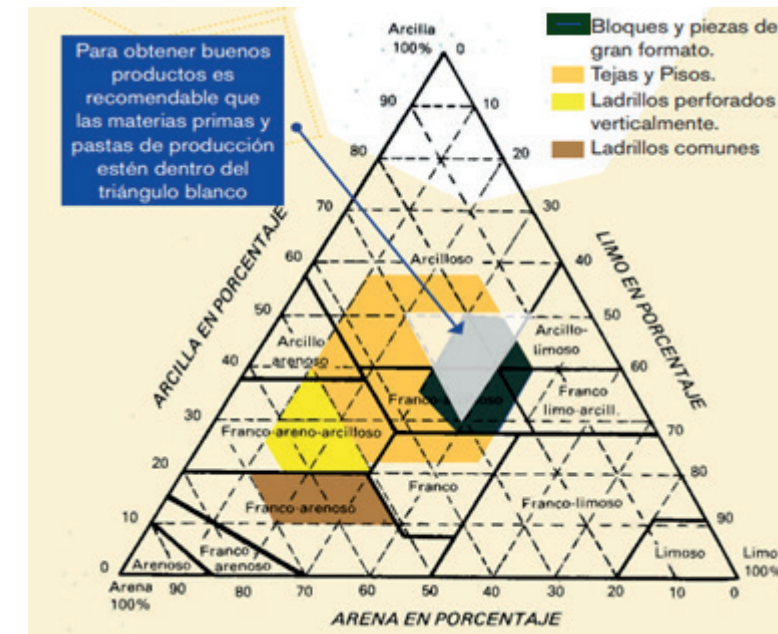


Figura 7. Triángulo de textura para selección del material para producir ladrillos. Fuente: (Swisscontact, 2013)



Las aguas lluvias se deben manejar prioritariamente a través de su control y conducción en lugares críticos, mediante la construcción y mantenimiento de obras de drenaje como cunetas y filtros, entre otras. Simultáneamente, se debe realizar una campaña de capacitación y difusión para desarrollar la conciencia de las personas relacionadas con el proyecto minero, sobre la necesidad del manejo adecuado de los recursos hídricos y el medio ambiente. Para garantizar el correcto manejo de las aguas lluvias, especialmente en zonas de ladera, se puede construir un canal interceptor sobre el perímetro de la instalación (Ministerio de Minas y Energía; Ministerio del Medio Ambiente, 2002). En la siguiente figura se presenta un esquema de las obras típicas de drenaje.

## 5.1. Preparación, descapote y extracción del material

### Determinar el tipo de arcilla a explotar

Antes de iniciar la explotación se deben establecer las características básicas de la materia prima a explotar para determinar si se trata de un material de elevados contenidos de arcilla, o si, por el contrario, se trata de un material muy arenoso. Para ello se hace uso de la información brindada por el Triángulo de Textura y de la fracción de los materiales retenidos sobre las mallas 200 (Swisscontact, 2013).

La caracterización de la arcilla que se pretende explotar se hace mediante análisis de laboratorio, generalmente económicos, que permiten conocer la composición química elemental y su composición mineralógica, en términos de óxidos, hidróxidos, silicatos, aluminatos, entre otros. Conocer el contenido de los minerales permite estandarizar las arcillas necesarias para hacer los diferentes productos a través de características como la plasticidad y el índice de contracción.

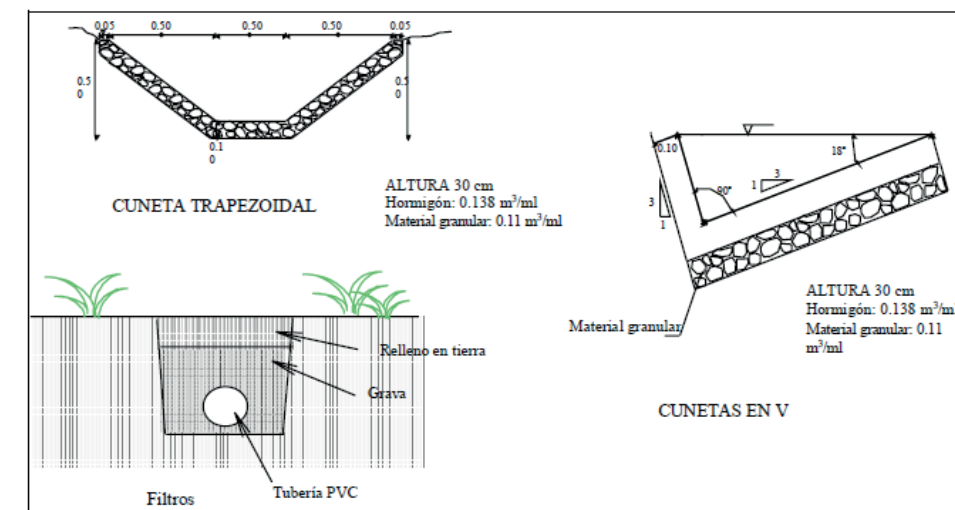
### Preparación del terreno:

Es importante que del terreno a explotar se retire el material foliar presente (plantas, ramas, hojas, raíces), para que una vez que se comience con la explotación, no se encuentren materiales ajenos a la arcilla. Este proceso puede llevarse a cabo mediante el uso de maquinaria pesada, o bien, a mano. Asimismo, se debe destinar un sitio para acopiar la arcilla que también debe estar limpio (SERNA & Swisscontact, 2013). El sitio de acopio debe estar a distancia de fuentes y cuerpos de agua (respetando la franja de protección de rondas hídricas establecidas en los instrumentos de ordenamiento territorial vigentes), y contar con sistemas de canalización de aguas lluvias para evitar el lavado por escorrentía y generación de sedimentos.

### Extracción:

En esta etapa es fundamental tener en cuenta dos criterios que asegurarán que la extracción de la arcilla se haga de forma segura: la estabilidad geomorfológica y el manejo de aguas lluvias.

Figura 8. Esquema típico de obras de drenaje. Fuente: citado por (Ministerio de Minas y Energía; Ministerio del Medio Ambiente, 2002)





**Separación por vetas:**

Cada arcilla extraída se debe diferenciar por color y en lo posible, no debe mezclarse. Cada tipo de arcilla debe ser separada en montones diferenciados para posteriormente mezclarse en las proporciones deseadas (SERNA & Swisscontact, 2013).

## 5.2. Maduración u oxidación de la arcilla

Las buenas prácticas de manejo de materias primas cerámicas recomiendan que la arcilla sea extraída como mínimo 3 meses antes de que se vaya a utilizar en la fabricación de productos, aunque algunos productores sugieren que sea mínimo 6 meses. La maduración hace que se liberen gases y tensiones dentro de la arcilla, proporcionando mejores características al producto terminado (Ministerio de la Producción de Perú & COSUDE, 2010).

Así mismo, la experiencia muestra que una buena maduración de la arcilla consigue un menor consumo de energía eléctrica de los equipos en la etapa de trituración, lo que se traduce en menores gastos de producción en las industrias.

## 5.3. Homogenización (preparación de la mezcla)

**Tamizado de la materia prima:**

Es importante tamizar la materia prima para eliminar piedras, raíces, pedazos de madera y otros elementos indeseables que afectan la calidad de la mezcla y del producto final. Durante esta etapa es importante utilizar un tapabocas con filtro para partículas para protección de los operarios y trabajadores (Ministerio de la Producción de Perú & COSUDE, 2010).

**Ingredientes de la mezcla:**

En algunas partes del país utilizan biomasa residual en la mezcla junto con la arcilla, como la cáscara de café, para acelerar el proceso de cocción de la arcilla. Esto aplica para materiales macizos y puede afectar estéticamente el producto. La cantidad más adecuada de biomasa dependerá de la calidad de la arcilla que se utiliza, por lo que debe establecerse probando en cada cocción pequeñas cantidades de ladrillos preparados con diferentes porcentajes de estos materiales (Ministerio de la Producción de Perú & COSUDE, 2010). Cabe aclarar que la adición de compuestos se debe hacer solo para materiales macizos y estos pueden tener un efecto negativo sobre la estética del producto final.

Es posible utilizar materiales en la mezcla como el chamote para conseguir mayor fluidez en la extrusora, además de que el chamote, al estar cocido, tiene una menor demanda energética que la arcilla cruda y de este modo, se reduce la masa térmica de los bloques de arcilla y se necesita menos energía para la cocción (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino de España, 2011).

Aun así, adicionar chamote en exceso a la mezcla puede causar que el producto final pierda resistencia mecánica (establecida en la Norma Técnica Colombiana 4205 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación - ICONTEC, 2000)), por lo cual, se deben hacer pruebas para establecer la cantidad adecuada de este material en la mezcla.

Por otro lado, una reducción en el contenido requerido del agua de mezcla ayuda a ahorrar energía en el secado. La cantidad de agua de mezcla necesaria depende principalmente de la composición del material arcilloso y de la granulometría (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino de España, 2011).

De acuerdo con el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino de España (2011), la adición de caliza fina o tiza en los cuerpos cerámicos tiene un efecto de dilución, pero los aditivos ricos en calcio también reaccionan a temperaturas relativamente bajas, de entre 700 °C y 850 °C, con materias primas que contengan fluoruro y cloruro, y con óxidos de azufre formados durante la cocción de materias primas que contienen azufre, para conservar el flúor, el cloro y el azufre en el cuerpo cocido. Esta reacción química sirve para fijar el flúor y puede reducir de forma significativa las emisiones de fluoruro de hidrógeno (HF). Además de fijar el flúor, la adición de esta caliza puede ayudar a evitar el amarillamiento de los ladrillos cocidos.

A su vez, el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino de España (2011) sugiere el registro y control del uso y consumo de materias primas midiendo las cantidades de arcilla, tierra, agua y otros materiales que se agregan en la mezcla, de manera que permita conocer la composición real y así cumplir con los requisitos del producto final. Se debe relacionar esta composición comparando con los resultados obtenidos en el secado y en la quema para saber qué mezcla seca más rápido, quema mejor y da más resistencia mecánica. Una vez establecida la composición más adecuada y de mejor rendimiento, se debe preparar siempre la mezcla con esas cantidades (Ministerio de la Producción de Perú & COSUDE, 2010).

Adicionalmente, determinar la composición de la mezcla, además de optimizar el proceso de cocción y mejorar la calidad de los productos, también puede ayudar a determinar el color deseado de un ladrillo.

## 5.4. Trituración o molienda

La trituración puede hacerse por línea seca o por línea húmeda. Si la línea es húmeda hay adición de agua a la mezcla y se usan equipos como desintegradores y laminadores. Si la línea es seca, se usan molinos de martillo, de bolas o de cuchillas.

## 5.5. Extrusión

**Limpieza y mantenimiento:**

Es importante realizar mantenimiento preventivo oportuno y obligatorio del motor, transmisión y partes móviles de la extrusora, así como limpiar los residuos y lavar los equipos una vez terminada la operación mecanizada (Ministerio de la Producción de Perú & COSUDE, 2010).

**Mezclado:**

Es importante trabajar bien la mezcla en el mezclado manual o con la ayuda de un molino mezclador, apisonando y golpeando convenientemente para deshacer los terrones gruesos de arcilla y sacar el aire (Ministerio de la Producción de Perú & COSUDE, 2010).

La adición de agua es fundamental en la fabricación de ladrillos (el porcentaje de humedad en esta etapa debe ser alto, con máximo del 22%), pues permite que la arcilla se pueda moldear. Se recomienda el uso de nebulizadores en el mezclador.

La relación entre el amperaje de la extrusora y la humedad de la arcilla puede ayudar a optimizar el proceso, pues si se aumenta el amperaje se abre la válvula de agua para humedecer más la arcilla y reducir el amperaje en la extrusora.

**Moldeado:**

Para un buen moldeado de los ladrillos es importante controlar la granulometría de la mezcla, así como la humedad, pues una mezcla preparada de forma correcta evita sobreesfuerzo de la



maquinaria. Al mismo tiempo, es importante monitorear la bomba de vacío. Los caracoles se cambian cada 10 mil horas.

Es importante tener en cuenta el desgaste del molde y de la regla para hacer ladrillos cuando estos son de madera (gaveras). Para aumentar su tiempo de vida útil, es importante disponer tiras de hierro clavadas alrededor de los bordes del molde de manera que el desgaste sea en la regla más fácil de cambiar y no en el molde, así como proteger los moldes de madera de excesiva exposición al sol, cubriéndolos o colocándolos en agua (Ministerio de la Producción de Perú & COSUDE, 2010).

El rediseño de los productos cerámicos presenta un enfoque de economía circular en etapas tempranas del proceso productivo, pues puede ayudar a reducir la masa y la cantidad de material requerido; por ejemplo, los ladrillos multiperforados o los ladrillos con paredes más delgadas. Cuando son factibles técnicamente, estos cambios también pueden reducir los consumos de energía y las emisiones. De otra parte, la adición de vapor en la fase de extrusión facilita la salida de la arcilla extrusionada y permite alcanzar el contenido de humedad exacto para la arcilla. (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino de España, 2011)

#### Corte:

Es importante realizar el mantenimiento periódico de la cortadora y procurar usar materiales de alta resistencia para el corte, evitando el uso de materiales como el alambre dulce. Es importante mantener nivelada la mesa de corte con la extrusora, ya que un desnivel entre ellas puede causar malformaciones en el producto moldeado. Además, el uso de lubricantes puede facilitar el proceso de corte cuando el producto sale de la extrusora. Sin embargo, se recomienda evitar el uso de lubricantes que puedan afectar la calidad del producto moldeado, como el aceite quemado, por ejemplo.

## 5.6. Secado

#### Secado natural:

Es importante mantener nivelado y arenado el tendal o cancha de secado para obtener una superficie lisa, pues si la superficie de secado está desnivelada, el ladrillo que se está secando se deformará. Se recomienda voltear al menos una vez al día los ladrillos que se están secando.

Se recomienda también tener un secador de los ladrillos moldeados cubierto para evitar que estos puedan llegar a mojarse, especialmente si son ladrillos de losa delgada. Si en la zona las lluvias son poco comunes, puede simplemente cubrir los ladrillos cuando hay lluvias ligeras. Materiales como el Agrolene, además de ser económicos, han tenido buenos resultados al utilizarse en las enramadas de los patios de secado.

Adicionalmente para ayudar a mejorar los tiempos de secado, es una buena práctica de acuerdo con el espacio destinado para el secado, organizar los bloques o ladrillos de manera que permitan el flujo de aire entre ellos y que se encuentren separados para evitar fisuras al manipularlos manualmente.

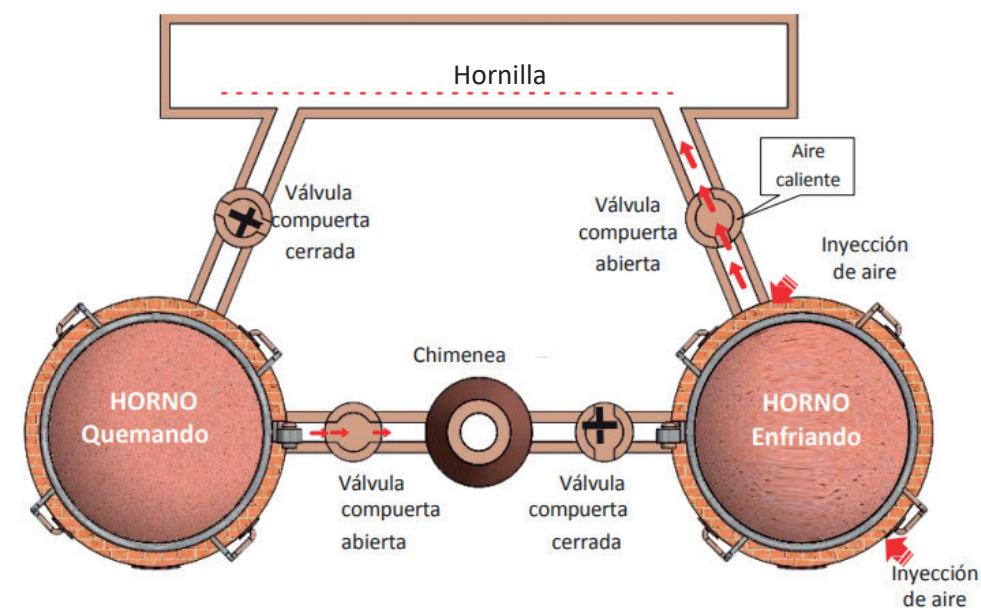
#### Secado artificial:

En el secado artificial se busca acelerar el proceso de secado de los productos cerámicos. Lo ideal es aprovechar el calor residual de la etapa de cocción y evitar el uso de una hornilla adicional para generar calor. En industrias donde la producción de ladrillos es alta, los sistemas de recuperación de calor son una opción viable para el secado. Los hornos para producción de ladrillos, aun los mejores, presentan por lo general pérdidas de calor del orden de 30 a 60%, a través de los gases

de extracción, así como en la etapa de enfriamiento. Por lo tanto, se trata de una proporción muy elevada y que puede aprovecharse en muchas situaciones (Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de Brasil, 2015).

La recuperación de calor en hornos cerámicos para secado de piezas es una práctica bastante usual. Varios tipos de hornos permiten la recuperación de aire caliente en la fase de enfriamiento para su uso en el secadero. Este procedimiento se hace a través de la inyección de aire frío a través de las puertas en la cámara o en el horno una vez terminada la quema, el aire caliente es retirado a través de ductos con la ayuda de un extractor. El mayor desafío en este tipo de iniciativa es conjugar la operación continua de un secador con la operación en los hornos, que en general no es continua (Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de Brasil, 2015). El siguiente esquema presenta un diseño para la recuperación de calor en una hornilla.

Figura 9. Diseño de la recuperación de calor para estufa (secador). Fuente: Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de Brasil, 2015.



Para que se realice un buen secado es importante contar con sistemas de control de humedad y temperatura al interior de los secaderos, con sistemas mecánicos de movilización de aire en zonas con una contribución térmica independiente que ayuden a homogenizar el flujo de aire para conseguir la temperatura necesaria y con longitud de las tuberías cortas, es decir, que la distancia entre la generación del excedente de calor y el lugar de uso sea limitada, así como el aislamiento térmico adecuado de las tuberías que transportan el calor. De este modo se han conseguido ahorros energéticos muy importantes. Algunos procesos también emplean intercambiadores térmicos para recuperar el calor de los gases de combustión del horno para precalentar el aire de combustión, pero esta aplicación es limitada porque, por un lado, los gases de combustión ácidos pueden provocar posibles problemas de combustión y, por otro, las temperaturas de los gases de combustión suelen ser demasiado bajas (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino de España, 2011).

## 5.7. Cocción

La cocción de piezas en el horno es la principal etapa del proceso de fabricación de productos en términos energéticos, haciendo uso, en general, del 95% de toda la energía térmica demandada por la empresa. El 5% restante está relacionado con el proceso de secado, solo en aquellas empresas que han implementado este proceso. Por lo tanto, lo ideal es que se pueda producir utilizando la menor cantidad de energía posible, lo que puede conseguirse destinando una menor cantidad de calor en puntos donde no hay cocción de los productos cerámicos, o bien, buscar algún tipo de recuperación de calor para usarlo en el proceso productivo, como es el caso del secado de las piezas en un área cerrada (Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de Brasil, 2015).

Una buena combustión exige una serie de cuidados, pero debe partir de un correcto dimensionamiento de las hornillas o cámaras de combustión (volumen y forma de la cámara de acuerdo con el tipo de combustible y la carga a ser procesada). Por ejemplo, una cámara de combustión muy pequeña, alimentada con mucho combustible, puede no recibir aire suficiente para una buena quema y generar mucho hollín y desperdicio de energía. Por lo tanto, cada tipo de combustible debería implicar una hornilla específica para conseguir una combustión bien dirigida y equilibrada (Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de Brasil, 2015).

Se recomienda no cargar ladrillo húmedo al horno porque el requerimiento de energía aumentará drásticamente con mayor demanda de combustible y el riesgo de fracaso en la quema será muy alto. Igualmente, es importante que se cumpla el tiempo establecido para que el ladrillo crudo se encuentre seco, con 13% de humedad aproximadamente. Este porcentaje se logra después de cinco a siete días de secado y se comprueba observando que el ladrillo ha adquirido una coloración más clara que cuando se preparó, además de que no debe mostrar señales de humedad en ninguna de las caras (Ministerio de la Producción de Perú & COSUDE, 2010).

La optimización, es decir la minimización, de la etapa entre el secadero y el horno, y el uso de la zona de calentamiento previo del horno para completar el proceso de secado siempre que sea posible en el proceso de fabricación, evita un enfriamiento innecesario del equipo de secado antes de iniciar el proceso de cocción (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino de España, 2011).

### Selección de combustibles:

El sector ladrillero tiene una gran demanda energética para sus procesos de secado y cocción y el uso de combustibles alternativos a partir de biomasa permite obtener reducciones importantes en emisiones atmosféricas y no afecta las condiciones técnicas del proceso de producción de ladrillos.

Se recomienda eliminar el uso de combustibles altamente contaminantes y utilizar combustibles más eficientes en la quema o cocción, ya sea mediante sustitución parcial o total de acuerdo con los requerimientos energéticos específicos del proceso y la capacidad calorífica de la mezcla de combustibles.

Los combustibles factibles de usar por ser menos contaminantes son:

- Gas natural (GN)
- Carbón
- Biomasa residual

El gas es el combustible más limpio en términos de menores emisiones de material particulado en comparación con el uso de un combustible líquido o sólido, sin sistemas de control de

partículas. Si se cuenta con disposición de gas en la zona de producción es la mejor opción de uso, desde la perspectiva de reducción de emisiones. Los hidrocarburos líquidos son menos limpios y, generalmente, más costosos que el gas. La biomasa residual es una buena opción para encender los hornos. El carbón es un combustible poco contaminante si se logran las condiciones de una combustión eficiente y con sistemas de control de partículas, de precio aceptable, de fácil transporte y almacenamiento, por lo que es una de las mejores opciones donde no hay disponibilidad de gas (Ministerio de la Producción de Perú & COSUDE, 2010).

Si bien, en algunos hornos se plantea la alternativa de incorporar llantas usadas como combustibles, su uso dependerá de la tecnología de horno (debe evitarse en hornos artesanales) y se sugiere incorporar sistemas de control de emisiones adicionales, en especial, para material particulado. Sin embargo, estos materiales se consideran de baja eficiencia toda vez que si bien cuentan con alto poder calorífico reduciendo los tiempos de cocción generan altos niveles de contaminación (material particulado y sustancias tóxicas) (Ministerio de la Producción de Perú & COSUDE, 2010).

Así mismo es importante conocer las propiedades fisicoquímicas del combustible utilizado, a manera de ejemplo el carbón debe tener las siguientes características para una mejor combustión:

- Cenizas: el valor máximo recomendado es del 10% ya que si es mayor disminuye el poder calorífico del combustible.
- Humedad: se considera que la humedad máxima permitida es del 3% ya que por encima de este valor la energía que se debe usar para la cocción del ladrillo se utilizaría en secar el material combustible con lo que se generarían sobrecostos en el proceso productivo.
- Material volátil: el contenido en material volátil nos indica la facilidad que tiene el combustible para que haga ignición. Para el caso de los combustibles sólidos este contenido no debe ser menor del 30% para que la ignición se realice con facilidad.
- Azufre: por normativa ambiental se exigen contenidos menores al 1% (Resolución 898 de 1995 modificado por el artículo 1 de la Resolución 623 de 1998 del Ministerio de Ambiente).
- Poder calorífico: para que el proceso resulte económicamente rentable el poder calorífico debe ser superior a 6.500 kcal/kg.
- Índice de hinchamiento: este valor nos indica la tendencia que tienen los combustibles (carbones específicamente) a aglomerarse. Un alto índice de hinchamiento sugiere que durante la combustión la partícula de carbón se expandirá para formar residuos porosos de poco peso, que se emitirán con los gases de combustión y podrán contribuir de esta forma, a unos elevados niveles de inquemados en las cenizas, además de proporcionar una llama corta afectando así la calidad del producto final.

En la tabla 7 se resume el índice de consumo energético en los hornos ladrilleros de Colombia para condiciones promedio de producción, tecnología y consumo de combustibles.



Tabla 7. Índice de consumo energético en hornos ladrilleros en Colombia (línea base 2015)

Tipo de proceso	Tipo de Horno	Índice de Consumo energético (IC) (MJ/t arcilla)
Continuos	Rodillo	1291
	Túnel	1514
	Hoffman	1659
	Cámaras continuas	1892
Semicontinuos	Zigzag	2143
	Hoffman semicontinuo	1946
	Cámaras semicontinuas	2268
	Vagón	2790
Intermitente	Colmena	3726
	Baúl	4148
	Fuego dormido	4156
	Pampa	5612

Fuente: Corporación Ambiental Empresarial – CAEM, 2015.

**Dosificación del combustible:**

Es importante establecer sistemas para medir y controlar la dosificación de combustible de tal manera que se lleve un registro del total de combustible consumido (por lote de producto producido), tales como:

- Medidores de flujo para el caso de combustibles líquidos o gaseosos.
- Balanzas de pesaje para combustibles sólidos.

**Granulometría del carbón:**

Cuando se tritura y se reduce el tamaño del carbón se puede hacer más eficiente el uso de la energía contenida en él, además de que se genera menor cantidad de cenizas e inquemados. Sin embargo, la granulometría del carbón a utilizar también depende del tipo de horno y granulometría requerida por el equipo dosificador. Por ejemplo, en los hornos tipo Hoffman se requieren trozos de un diámetro relativamente grande que no hagan combustión inmediatamente después de ingresar al horno, sino que caigan al interior para que haya una combustión más homogénea en toda la cámara.

**Relación aire combustible:**

Debe buscarse una parametrización de la mejor relación entre aire y combustible, para encontrar la proporción donde la combustión sea óptima sin afectar la calidad del producto. Una manera de parametrizar es mediante el uso de un *carbojet*, ensayando diferentes relaciones hasta obtener la que rinda mejores resultados, teniendo en cuenta que una concentración mayor de CO es sinónimo de una mala combustión. A manera de autogestión y autocontrol del proceso

de combustión, se recomienda contar con un monitoreo continuo de CO como indicador de la eficiencia energética de la combustión.

De acuerdo con la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca -CAR, se establece que, en la práctica, debido a la dificultad de suministrar la cantidad exacta de aire a la combustión es preferible adicionar un pequeño exceso manejable que garantice la mejor eficiencia de la combustión. Por experiencia en diferentes procesos, se ha encontrado que los valores típicos recomendados para el exceso de oxígeno son:

Tabla 8. Valores típicos recomendados para Inyección de O<sub>2</sub>

Tipo de combustible	Rango típico de mínimo exceso de O <sub>2</sub> %
Gas natural	0,3 a 3
Fuelóleo	2 a 4
Carbón pulverizado	3 a 6
Carbón	4 a 8

Fuente: CAR, s.f.

**Empleo de aire forzado (inyección de aire):**

La inyección de aire de combustión por medio de ventiladores (aire forzado), cuando es bien operada, puede permitir la reducción del tiempo de quema y del consumo de combustible en el orden de 30%, así como la mejora en la calidad del producto por el adecuado suministro de calor a la carga del horno. Esta solución permite reducir problemas frecuentes de mala distribución del calor en hornos, evitando la quema con llama de color amarillenta, lo que indica combustión ineficiente. Evidentemente se genera consumo de electricidad con los ventiladores, que puede ser compensado por el ahorro en el combustible (Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de Brasil, 2015).

**El menor uso de accesorios para cocción o el uso de accesorios para cocción hechos de silicio-carbono (SiC) o superaleación,** reducen el consumo energético para el calentamiento del sistema de horno; los accesorios para cocción SiC también pueden aplicarse a los hornos de tecnología de cocción rápida (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino de España, 2011).

**La reducción del flujo de aire** en el horno rotatorio (Hoffman, túnel, cámaras continuas) para la fabricación de agregados de arcilla expandida puede reducir el consumo de energía (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino de España, 2011).

Las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV) que se producen en el área de calentamiento del horno como resultado de la descomposición y la combustión incompleta de los componentes orgánicos de las mezclas de materias primas (conocidas como gases de carbonización), pueden quemarse en el horno, siempre y cuando éste haya sido especialmente modificado. La combustión interna puede lograrse dirigiendo los gases de carbonización desde la zona de calentamiento del horno de vuelta a la zona de cocción, en la que se quemarán a continuación gracias a las altas temperaturas que allí se mantienen. Para lograrlo, la zona de cocción en la que se producen las emisiones de COV (conocida como zona de carbonización) debe

estar separada del resto del horno. Esto se consigue instalando una o más puertas correderas en el horno, o con un sistema de extracción especial para los gases de carbonización. Con esta técnica se reducen de forma significativa no sólo las emisiones de COV, sino también las de CO (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino de España, 2011).

La alternativa tecnológica de utilizar los ventiladores logra reducir problemas frecuentes de mala distribución del calor en el horno, evitando la quema con llama de color amarillenta y generación excesiva de hollín. Si bien, el uso de ventiladores genera un consumo de electricidad o combustibles líquidos (gasolina, diésel) adicional, Éste no representa una afectación negativa en la estructura de los costos de producción, al contrario, puede ser compensado por la eficiencia en el consumo de combustibles, la reducción en los tiempos de operación y el mejoramiento de la calidad final de los productos (Zavaleta, 2018).

#### Acomodo de las piezas en el horno:

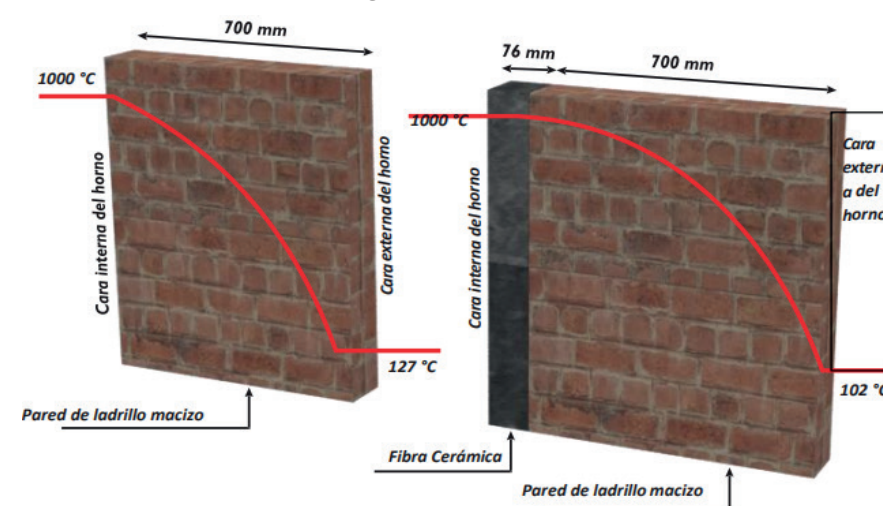
Los productos deben acomodarse y alinearse de forma tal que permitan una buena circulación de los gases calientes de combustión entre las piezas cerámicas, de modo que se vuelva más homogéneo el intercambio de calor con la carga del horno, alcanzando la temperatura correcta de quema y el tiempo necesario para la sinterización de los productos. 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, recordando que este procedimiento no presenta un costo de inversión, sólo un cambio en el ordenamiento de las piezas al interior del horno (Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de Brasil, 2015).

#### Diseño mejorado de hornos y secaderos:

La eficiencia de los hornos puede mejorar con el uso de sistemas adecuados de aislamiento térmico, buscando reducir las pérdidas de calor por radiación y convección en las paredes y el techo del horno. Estas pérdidas pueden alcanzar porcentajes de hasta 30% de la energía térmica total suministrada a través de la quema de combustible. El aislamiento térmico se consigue con el empleo de capas externas de ladrillos aislantes después de las capas internas de refractarios. En algunos hornos también pueden emplearse mantas y coberturas de fibra cerámica al interior del horno, principalmente en aquellos donde no hay contacto físico con empleados y materiales. Finalmente, el dimensionamiento adecuado de las paredes y el perfecto sellado de puertas y hornillas también contribuyen a una mayor economía de la energía. La economía conseguida por el uso de material aislante apropiado es bastante variable, pero puede representar entre 5 a 12% del consumo de combustible (Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de Brasil, 2015).

Un mayor aislamiento térmico de los hornos, p. ej.: mediante el uso de revestimientos refractarios de aislamiento o fibras cerámicas (lana mineral), ayuda a reducir las pérdidas de calor. La mejora de los revestimientos de los hornos refractarios y en las cubiertas de las vagonetas reduce el tiempo de parada por enfriamiento y las pérdidas de calor asociadas («pérdidas de salida») (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino de España, 2011). La siguiente figura presenta un esquema para mejorar el aislamiento térmico del horno.

Figura 10. Esquema sobre cómo mejorar el aislamiento térmico del horno. Fuente: Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de Brasil, 2015.



De otra parte, es importante ordenar el área de producción en los alrededores del horno estableciendo las siguientes zonas: (Ministerio de la Producción de Perú & COSUDE, 2010)

- Patio de labranza o tendal
- Pesaje y acopio de combustible
- Almacenamiento de combustible
- Acopio de ladrillos crudos para cargar el horno
- Acopio de ladrillos cocidos para venta
- Acopio de ladrillos rotos y rechazados
- Cenizas de quemado de combustible
- Almacén de implementos de seguridad personal

#### Recuperación de calor para horno:

Este proceso es utilizado en algunos tipos de hornos donde es posible interconectar las cámaras e incluso los propios hornos. Así, es posible hacer el precalentamiento de los productos en una cámara en la que aún no se ha quemado aprovechando los gases calientes de la cámara que está siendo quemada. La recuperación de calor puede hacerse en hornos tipo cámara como el Paulistinha, bóveda, Hoffmann, cedan, entre otros. En los hornos intermitentes (por lotes), por ejemplo, del tipo abovedado (colmena), debe tenerse cuidado de no interferir negativamente en la quema en el horno que está operando, donde el control de temperatura debe ser bien monitoreado (Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de Brasil, 2015).

#### Implementación en motores de alta eficiencia:

Últimamente se ha generalizado en el mercado la oferta de motores eléctricos de alta eficiencia con margen superior al 5% con respecto a motores convencionales, el menor costo de funcionamiento, mayor vida útil, menor nivel de ruido y mayor factor de potencia, justifican la selección de motores de alta eficiencia en tamaños superiores a 20 hp (CAR, s.f).



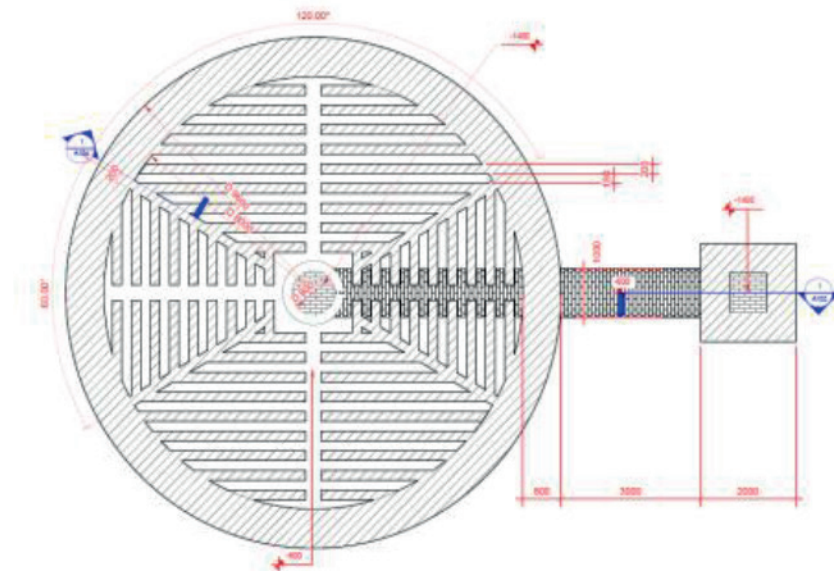
**Hornos:**

Existen varias tecnologías de hornos para la cocción disponibles para implementar en las industrias ladrilleras. De acuerdo con una caracterización realizada por CAEM & Swisscontact en el año 2011, los siguientes hornos, por sus características, resultan tener ventajas ambientales y económicas:

**- Horno colmena:**

También conocidos como hornos redondos de llama invertida, son hornos cerrados, intermitentes en donde a diferencia de los hornos pampa se puede regular mejor el tiro, el cual puede ser natural o forzado. Debido a sus bajos costos de fabricación, es la primera opción para migrar de otras tecnologías de hornos intermitentes.

**Figura 11. Esquema horno colmena.**



Fuente: Corporación Ambiental Empresarial -CAEM, 2015.

Una ventaja de estos hornos es que el combustible y sus residuos no están en contacto inmediato con el producto debido a la pared separadora y conductora de gases del hogar. La bondad de esta ventaja radica en que la coloración de los productos presenta tonalidades rojizas muy homogéneas y no se presentan productos tiznados por efectos del humo ni de las cenizas.

En este tipo de hornos, el diseño parte de la ubicación, pues dependiendo la zona del país, la presión es diferente y la relación de oxígeno cambia. Esto hace que con la altura cualquier sistema de combustión cambie. Para que este horno tenga las mejores eficiencias, es necesario contar con un sistema de dosificación del combustible. A continuación, se presenta información general de esta tecnología:

**Tabla 9. Información general, técnica y financiera de hornos tipo colmena.**

INFORMACIÓN GENERAL		INFORMACIÓN TÉCNICA	
Nivel de mecanización	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dosificación manual en el inicio y mecanizado en el proceso de quema</li> <li>• Cargue y descargue manual</li> </ul>	Consumo de energía	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Índice de consumo: 2 – 4 MJ/kg cerámico.</li> <li>• 113 kg carbón/ t arcilla.</li> </ul>
Capacidad de producción	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidad nominal horno: 125 t de arcilla/ quema.</li> <li>• Producción mes: 375 t material cerámico/ mes. (75 millares)</li> </ul>	Capacidad de producción	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pequeña industria (1 a 5 hornos): 500 a 1000 millares de ladrillos.</li> <li>• Mediana industria (&gt; 5 hornos): 1001 a 5000 millares de ladrillos.</li> </ul>
Tipos de productos que se pueden fabricar		Eficiencias	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Material macizo: ladrillo tolete y adoquín.</li> <li>• Material perforado: ladrillo rejilla, prensado.</li> <li>• Material cerámico hueco: bloque, bloquelon, vertical</li> <li>• Material de fachada y pisos: tabletas, fachaletas, tejas.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eficiencia térmica: 33 %.</li> <li>• 9 kg arcillas/kg carbón</li> </ul>	
DESCRIPCIÓN TÉCNICA		INFORMACIÓN FINANCIERA	
Tipo de cocción	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Combustión cerrada.</li> <li>• Traslado de la corriente de calor a través del horno – carga fija durante la quema.</li> <li>• Inicio de quema por hornilla</li> </ul>	Costo construcción del horno	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidad: 375 t material cerámico/ mes.</li> <li>• \$ 30 a 50 mil (USD). Construcción del horno.</li> <li>• \$ 20 – 40 mil (USD). Sistema de dosificación.</li> </ul>
Tiraje	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Natural o inducido.</li> <li>• Tiro invertido.</li> <li>• Llama ascendente.</li> </ul>	Desempeño financiero	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tasa interna de retorno (TIR): 48 %.</li> <li>• Valor actual neto (VAN): 44.546.</li> <li>• Tiempo de recuperación: 06 – 1,7 años.</li> <li>• Tiempo de recuperación de la inversión: 1 año.</li> </ul>
Modo de carga	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Piso – parrilla.</li> <li>• Cargue: acomodación manual del material cerámico ocupando el área útil del horno.</li> <li>• Descargue manual.</li> </ul>	Costo producción	<ul style="list-style-type: none"> <li>• \$ 80 COP/kg material cerámico = 0,040 USD/kg material cerámico.</li> <li>• 8 a 10 operarios. (315 UDS 1 quema).</li> <li>• Combustible: 13 t/carbón 720 USD 1 quema.</li> </ul>
Combustible	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Carbón mineral (granulado), biomasa (leña, cascarilla de café).</li> </ul>		

Fuente: CAEM & Swisscontact, 2011.

A continuación, se presenta información sobre estudios isocinéticos realizados con esta tecnología:

Tabla 10. Prueba isocinética de gases en un horno tipo colmena

Parámetro	Estándares de emisión admisibles de contaminantes (mg/m³). Resolución 909 de 2008 de Minambiente	Resultado emisiones (mg/m³)
Partículas en suspensión totales (TSP)	250	131,59
Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	550	190,1
Óxidos de nitrógeno (NO <sub>x</sub> )	550	42,13
O <sub>2</sub> de referencia (%)	18	14,27%
Temperatura salida-Max. (°C)	250	209,62

Fuente: CAEM, 2011.

**- Horno de cámaras continuas:**

Consiste en una serie de cámaras individuales pero conectadas entre sí que comparten el mismo cañón de chimenea. Existen hasta de 20 cámaras en algunos casos, son hornos de alta producción. Su funcionamiento es muy sencillo, el encendido se inicia en la primera cámara haciendo pasar el calor residual de los gases de combustión a las siguientes cámaras para precalentar y completar el secado de los productos cargados, cuando la primera cámara ha alcanzado la temperatura de cocción, la segunda cámara estará entre los 300 a 400 °C, para cuando esto suceda se inicia la combustión en la segunda cámara y la tercera cámara aprovechará el calor residual de la segunda cámara así sucesivamente hasta completar la serie, cabe indicar que cada cámara tiene su compuerta para la combustión. Estos hornos son muy eficientes puesto que reducen enormemente el tiempo de operación y sus costos.

Es importante tener presente que, siendo un horno continuo, por estar conformado por múltiples cámaras paralelas interconectadas, cada cámara se puede considerar como un horno independiente, donde se pueden ajustar las tres etapas básicas para la quema de productos cerámicos: precalentamiento, cocción y enfriamiento.

Su funcionamiento es muy sencillo y similar al Hoffman, ya que el fuego se desplaza a través de las cámaras y por ductos en la parte inferior del horno, el cual constituye otra trampa adicional para las cenizas que no se depositen en el hogar de combustión. Cada cámara consta de la zona de combustión, zona de arrume del material y laberintos de tiro y succión-conducción del aire a la siguiente cámara.

En la zona de combustión están las toberas de quema y el ducto de tiro y está separada de la zona del material mediante un muro. En la zona del material se encuentran las mirillas o cánulas para control de temperatura y observación y la tobera de recuperación de aire caliente para el secadero. Cabe anotar que el piso de esta zona es un emparrillado compensado que permite el paso del aire caliente hacia la otra cámara a través del laberinto; laberinto diseñado de tal manera que la succión sea homogénea en toda la cámara. La zona de combustión es una sección dentro de cada cámara y es donde se mezcla el aire secundario de combustión con el primario y el combustible; el aire secundario proviene de las cámaras inmediatamente anteriores y que no se aprovecha en la recuperación para el secadero. Este aire por encontrarse a temperaturas entre 600- 700 °C benefician la combustión.

Entre sus mayores ventajas operativas está la posibilidad de producir diferentes productos (en cada cámara); una calidad superior y uniforme en el material cerámico cocido dado que

el producto no entra en contacto directo con llama viva o ceniza y las reducidas pérdidas por recocido. A continuación, se presenta información general de esta tecnología:

Tabla 11. Información general, técnica y financiera de hornos tipo cámaras continuas

INFORMACIÓN GENERAL		INFORMACIÓN TÉCNICA	
Nivel de mecanización	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dosificación mecanizado.</li> <li>Cargue y descargue manual.</li> </ul>	Consumo de energía	<ul style="list-style-type: none"> <li>Índice de consumo: 2,37 MJ/kg cerámico.</li> <li>74 kg carbón/t arcilla.</li> <li>12,5 kg arcillas/kg carbón.</li> </ul>
Capacidad de producción	<ul style="list-style-type: none"> <li>Capacidad por cámara (12 a 20 ton de arcilla)</li> <li>Horno semicontinuo (6 cámaras) = 75 ton/quema - 7200 ton/año. (1440 millares)</li> <li>Horno continuo: (24 cámaras) = 556 ton/quema, - 26.726 ton/año (5345 Millares)</li> </ul>	Capacidad de producción	<ul style="list-style-type: none"> <li>Semicontinuo: 600 t de material cerámico mes, equivalente a 120 millares de unidades cerámicas.</li> <li>Continuos: 2200 t de material cerámico mes, 445 millares.</li> </ul>
Tipos de productos que se pueden fabricar		Eficiencias	<ul style="list-style-type: none"> <li>Eficiencia térmica: 22%.</li> <li>Eficiencia de combustión: 63,5 %.</li> </ul>
Tipo de cocción		Costo Construcción horno	<ul style="list-style-type: none"> <li>Capacidad: 375 t de material cerámico/mes.</li> <li>\$ 30 a 50 mil (USD). Construcción del horno.</li> <li>\$ 20 - 40 mil (USD). Sistema de dosificación.</li> </ul>
Tiraje		Desempeño financiero	<ul style="list-style-type: none"> <li>TIR: 48 %.</li> <li>VAN: 44.546</li> <li>Tiempo de recuperación: 06 - 1,7 años.</li> <li>Tiempo de recuperación de la inversión: 1 año.</li> </ul>



DESCRIPCIÓN TÉCNICA	Modo de carga	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Piso – parrilla.</li> <li>•Cargue: acomodación de material cerámico – con perforaciones u orificios en orientación vertical.</li> <li>•Distancia de 5 cm de las paredes del horno.</li> </ul>	INFORMACIÓN FINANCIERA	Costo producción	<ul style="list-style-type: none"> <li>• \$ 80 COP/kg material cerámico = 0,040 USD/kg material cerámico.</li> <li>• 8 a 10 operarios. (315 UDS 1 quema).</li> <li>• Combustible: 13 t/carbón 720 USD 1 quema.</li> </ul>
	Combustible	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Carbón mineral (granulado), biomasa (leña, cascarilla de café).</li> </ul>			

Fuente: CAEM y Swisscontact, 2011.

A continuación, se presenta información sobre estudios isocinéticos realizados con esta tecnología:

Tabla 12. Prueba isocinética de gases en un horno tipo cámaras continuas

Parámetro	Estándares de emisión admisibles de contaminantes (mg/m <sup>3</sup> ). Resolución 909 de 2008 de Minambiente	Resultado emisiones (mg/m <sup>3</sup> )
Partículas en suspensión totales (TSP)	250	76,66
Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	550	285
Óxidos de nitrógeno (NO <sub>x</sub> )	550	70,32
Ácido clorhídrico (HCl)	8	2,85
Ácido fluorhídrico (HF)	410	1,53
O <sub>2</sub> de referencia (%)	18	17,60%
Temperatura salida-Max (°C)	250	58

Fuente: CAEM, 2014.

**- Horno vagón:**

Consiste en 1 o 2 cámaras rectangulares con techo plano o curvo, en las cuales se introduce un vagón cargado con las piezas a quemar. La alimentación es lateral y el tiro se realiza por el lado opuesto a la zona de quema, interiormente tiene un revestimiento de ladrillo refractario en la bovedilla de quema y semirefractario en las paredes internas del horno. En el techo tiene un recubrimiento de fibra refractaria. El tiempo promedio de quema es de 36 horas y la capacidad del vagón es de 19.600 unidades por quema. La carga se monta sobre un gran vagón del tamaño del horno.

**- Horno zigzag:**

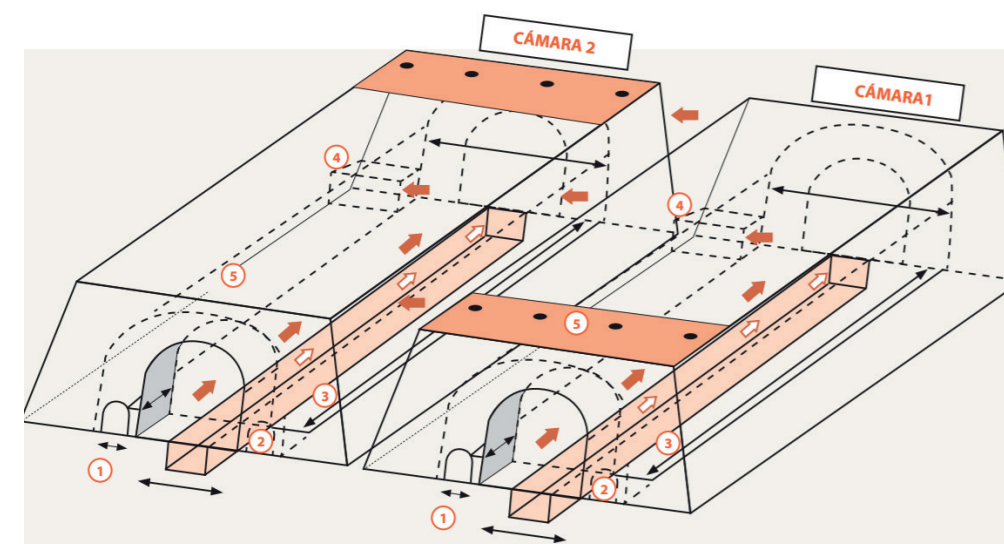
Horno semicontinuo o continuo de mayor producción que los hornos intermitentes; posee entre 10 a 30 cámaras. La característica técnica más relevante del horno es el recorrido segmentado del fuego desde una cámara a otra. Las cámaras son paralelas, las 2 laterales son de mayor

longitud que las centrales, las cuales están cortadas y separadas de la zona de los conductos de gases y de recuperación de calor. Se emplea generalmente para pequeñas y medianas producciones, requiere menos espacio que el horno Hoffman tradicional y se diferencia de éste por el movimiento del fuego a través de las cámaras de forma horizontal (CAEM & Swisscontact, 2011). En la figura 7 se presenta el esquema para una de las cámaras del horno.

Entre sus principales ventajas están:

- Menores pérdidas en envolvente
- Versatilidad en referencias y tipos de producto
- Cumplimiento normativo de emisiones
- Corto ciclo de 3 días de quema
- Posibilidad de adicionar cámaras según disponibilidad de recursos

Figura 12. Esquema horno zigzag.



Fuente: Corporación Ambiental CAEM, 2015.

A continuación, se presenta información general de esta tecnología:

Tabla 13. Información general, técnica y financiera de hornos tipo zigzag

INFORMACIÓN GENERAL		INFORMACIÓN TÉCNICA	
Nivel de mecanización	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dosificación mecanizado</li> <li>Cargue y descargue manual</li> </ul>	Consumo de energía	Índice de consumo: •4.2 MJ/Kg cerámico •139 kg carbón / ton arcilla
INFORMACIÓN GENERAL		INFORMACIÓN TÉCNICA	
Capacidad de producción	•Horno semicontinuo: 2 cámaras = 310 ton arcillas por ciclo	Capacidad de producción	•Continuos: 342 Ton material cerámico mes, 76 millares
Tipos de productos que se pueden fabricar	• Material Cerámico hueco: Bloque, Bloquelón	Eficiencias	Eficiencia de combustión = 40%
DESCRIPCIÓN TÉCNICA		INFORMACIÓN FINANCIERA	
Tipo de Cocción	<ul style="list-style-type: none"> <li>Combustión cerrada</li> <li>Frente de llama móvil.</li> <li>Inicio de quema por hornilla con carbón grueso y/o madera</li> </ul>	Costo Construcción horno	165000 USD
Tiraje	•Forzado dámper y válvula de cruce de fuego	Desempeño financiero	La capacidad de producción se puede incrementar de un 10 a 15%, con un incremento de ingreso de aproximadamente 50.000,00 dólares americanos por año debido al menor uso de combustible.
Modo de carga	•Cargue: Endague de material cerámico con orientación similar a Hoffman	Costo producción	Sin información
Combustible	Biomasa, carbón mineral		

Fuente: CAEM y Swisscontact, 2011.

**- Horno Hoffman:**

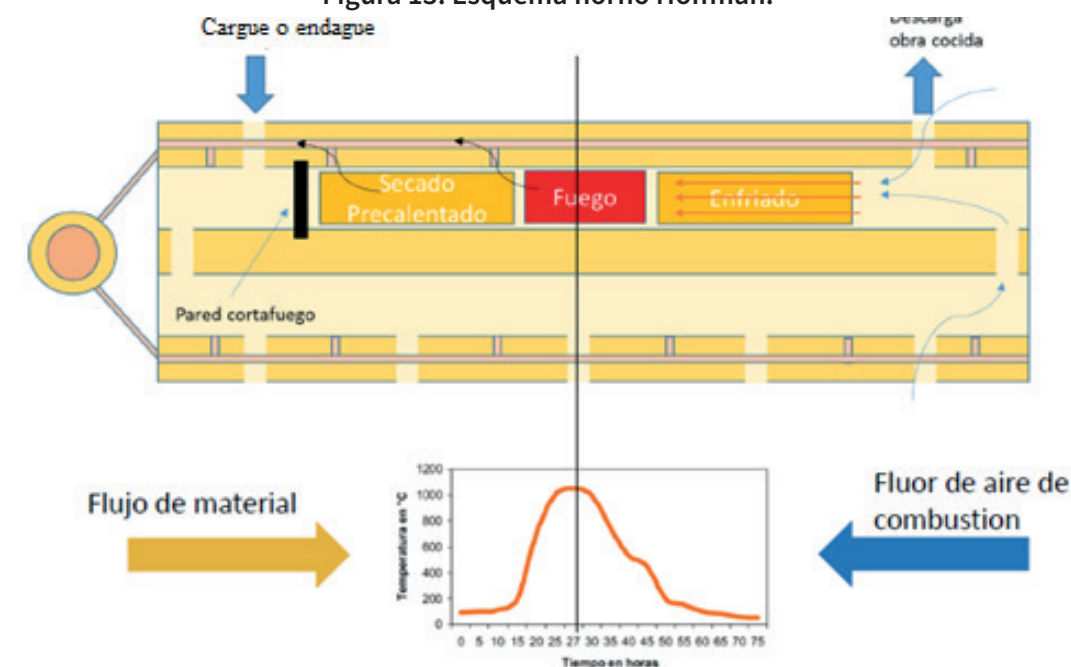
Consiste en 2 galerías paralelas, formadas por compartimientos contiguos, en cuyos extremos se unen por un pasafuegos. Son hornos continuos de alta producción, donde no se pueden producir materiales vitrificados como se esquematiza en la figura 8. En estos hornos el fuego se mueve a través del horno en dirección opuesta a las manecillas del reloj, este sistema permite obtener una alta eficiencia térmica y de producción ya que el calor obtenido en la cámara de combustión se utiliza en el precalentamiento de las cámaras precedentes.

Aproximadamente una semana es el tiempo que toma realizar un ciclo completo de quema (el fuego llega al punto de donde partió). Cada galería está formada por varias cámaras, cada una de ella con su respectiva puerta, para el cargue y descargue del horno y un canal de salida que va al colector principal que conduce a la chimenea, cada cámara comunica con el colector, por un conducto de humos, los cuales se cierran herméticamente con válvulas. Para mantener la circulación horizontal de los gases a través de las cámaras, es preciso que la carga deje libre 1/3 de la sección transversal. La alimentación del combustible se realiza en la parte superior del horno, mediante alimentación manual o con la ayuda de *carbojet* (alimentación neumática), la cual debe realizarse en forma dispersa, evitando chorros que provoquen combustión incompleta. (CAEM & Swisscontact, 2011).

Entre las principales ventajas de este horno están:

- Alto rendimiento de combustible
- Aprovechamiento del calor residual
- Versatilidad en referencias y tipos de producto
- Disponibilidad de calor residual para secadero
- Cumplimiento normativo de emisiones

Figura 13. Esquema horno Hoffman.



Fuente: Corporación Ambiental Empresarial – CAEM, 2015.3

3 Carga o endague: Operación mediante la cual se introducen los ladrillos en el horno ordenadamente para iniciar el proceso de cocción



Tabla 14. Información general, técnica y financiera de hornos tipo Hoffman

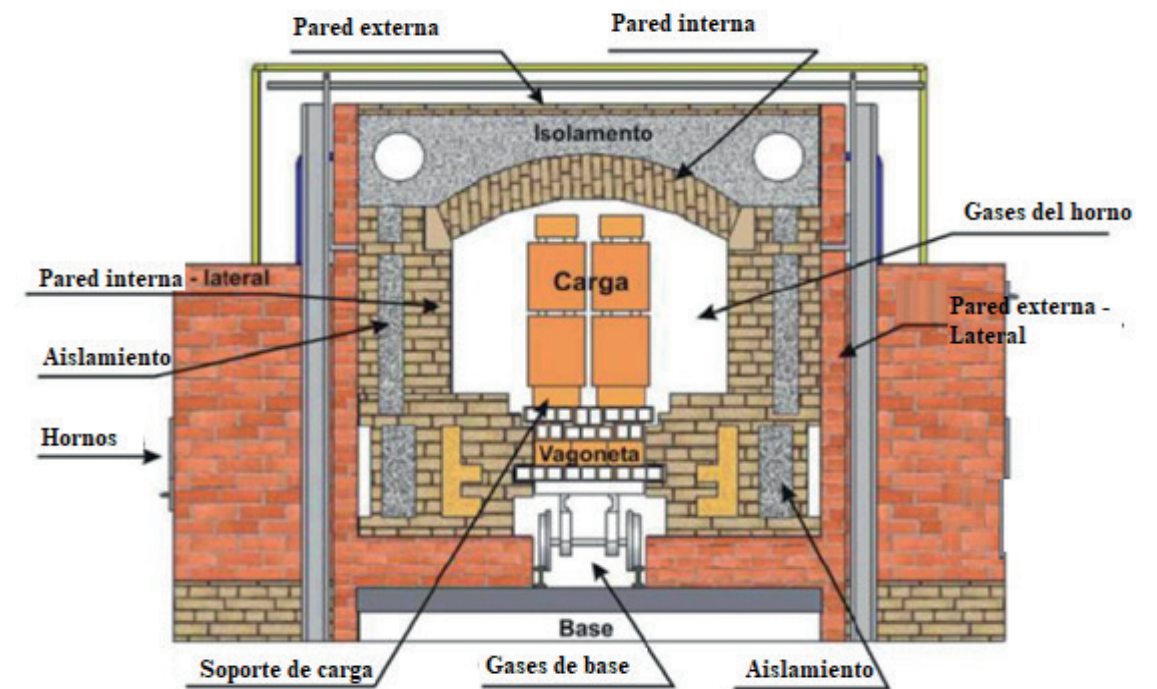
INFORMACIÓN GENERAL		INFORMACIÓN TÉCNICA	
Nivel de mecanización	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dosificación mecanizado.</li> <li>Cargue y descargue manual.</li> </ul>	Consumo de energía	Índice de consumo: •1.09 MJ/kg cerámico. •36.2 kg carbón/t arcilla. •28.02 Kg arcillas/kg carbón.
Capacidad de producción	<ul style="list-style-type: none"> <li>Horno continuo: (134 líneas) = 310 t arcillas por ciclo.</li> </ul>	Capacidad de producción	<ul style="list-style-type: none"> <li>Continuos: 3100 t de material cerámico mes, 720 millares.</li> </ul>
Tipos de productos que se pueden fabricar	<ul style="list-style-type: none"> <li>Material macizo: ladrillo tolete y adoquín.</li> <li>Material cerámico perforado: ladrillo rejilla, prensado, portante, multiperforado, perforación vertical, y estructural.</li> <li>Material cerámico hueco: bloque, bloquelon, vertical, BIS.</li> </ul>	Eficiencias	
DESCRIPCIÓN TÉCNICA		INFORMACIÓN FINANCIERA	
Tipo de cocción	<ul style="list-style-type: none"> <li>Combustión cerrada.</li> <li>Frente de llama móvil.</li> <li>Inicio de quema por hornilla con carbón grueso o madera.</li> </ul>	Costo construcción horno	100000-150000 USD
Tiraje	<ul style="list-style-type: none"> <li>Forzado</li> <li>Controlado por válvulas ubicadas sobre el ducto principal de gas de salida obturadas independientemente</li> </ul>	Desempeño financiero	<ul style="list-style-type: none"> <li>Retorno simple 0.8-1.1 años.</li> <li>Retorno descontado (6.5%) 0.9-1.2 años.</li> </ul>
Modo de carga	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cargue: arrume o acomodo de material cerámico con orientación axial, espacio de cargue de combustible en cada bramera.</li> </ul>	Costo producción	22.500 USD.
Combustible	<ul style="list-style-type: none"> <li>Carbón mineral (granulado), biomasa (leña, cascarilla de café).</li> </ul>		

Fuente: CAEM y Swisscontact, 2011.

**-Horno túnel:**

Son hornos continuos, de bajo nivel de contaminación, en donde el material se moviliza mediante vagones que se desplazan a través de la galería (figura 9). La concepción de este horno responde a la idea de fijar una zona de fuego y hacer pasar los productos a cocer, siguiendo la curva de calentamiento del horno. Ello supone la ventaja de ahorro de calorías en el enfriamiento y precalentamiento del horno, además de la economía de mano de obra en el cargue y descargue de los ladrillos y mayor rapidez en la etapa de cocción. La longitud del horno fluctúa entre 70 a 150 m. El combustible se suministra por la parte superior mediante un sistema de transporte neumático, el cual disminuye totalmente la contaminación en esta etapa. Este horno es utilizado por industrias altamente tecnificadas y con altos niveles de producción.

Figura 14. Esquema horno túnel.



Fuente: Corporación Ambiental Empresarial -CAEM, 2015

A continuación, se presenta información general sobre esta tecnología:

Tabla 15. Información general, técnica y financiera de hornos tipo túnel

INFORMACIÓN GENERAL		INFORMACIÓN TÉCNICA	
Nivel de mecanización	Mecanizado. Uso de furgones cargados de ladrillos.	Consumo de energía	•Consumo: 30 – 50 Kg carbón/t. •Consumo específico de energía térmica: 341 a 422 kcal/kg.
Capacidad de producción	Capacidad mensual: > 1,100 millones/mes (> 2,000 t/mes).	Capacidad de producción	Grande. Capacidad máxima: > 10 millones de ladrillos.
Tipos de productos que se pueden fabricar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Material macizo: ladrillo tolete y adoquín.</li> <li>• Material cerámico perforado: ladrillo rejilla, prensado, portante, multiperforado, perforación vertical, y estructural.</li> <li>• Material cerámico hueco: bloque, bloquelon, vertical, BIS.</li> </ul>	Eficiencias	Eficiencia térmica: 66%.
DESCRIPCIÓN TÉCNICA		INFORMACIÓN FINANCIERA	
Tipo de cocción	Zona de prequema, zona de quema, y zona de enfriamiento. La duración del ciclo de quema puede variar de 30 a 72 horas	Costo Construcción horno	Un horno túnel de capacidad de 2,000 t puede costar alrededor de \$ 1.2 millones USD.
Tiraje	Flujo contracorriente entre los ladrillos y el aire.	Desempeño financiero	Retorno simple ~ 2 años. Retorno descontado (@6.5%) ~ 2.2 años.
Modo de carga	Los furgones cargados con ladrillos crudos secos son empujados hacia el horno y se mueven dentro de este intermitentemente a intervalos fijos.	Costo producción	Sin información.
Combustible	•Carbón mineral (Granulado), Biomasa (Leña, cascarilla de café)		

Fuente: CAEM y Swisscontact, 2011.

En la tabla 15 se presenta el resumen de las alternativas u opciones tecnológicas para la etapa de cocción en función de mejorar la eficiencia energética en los procesos de cocción de los ladrillos ya que para tener una buena operación en un horno y generar productos de calidad, es importante tener una buena combustión.

Tabla 16. Índice de consumo energético en hornos ladrilleros en Colombia (línea base 2015)

Tipo de horno	Capacidad de producción (Millares/año)	Nivel de inversión (USD)	Combustible usado	Consumo específico de energía (MJ/kg producto)
Colmena	445 (continuo) 120 (semi continuo)	90.000	Carbón mineral (granulado), biomasa (leña, cascarilla de café)	2.37
Zigzag	76	165.000	Biomasa, carbón mineral	4.2
Vagón				
Hoffman	720	100.000-150.000	Carbón mineral (granulado), biomasa (leña, cascarilla de café)	1.09
Túnel	92	1.200.000	Carbón mineral (granulado), biomasa (leña, cascarilla de café)	1,43-1,77

Fuente: Corporación Ambiental Empresarial – CAEM, 2015; EELA & CCAC, 2015.

## 5.8. Buenas prácticas para la salud y seguridad en el trabajo

### Formación y capacitación:

Es importante formar y capacitar permanentemente al personal sobre condiciones del proceso, seguridad industrial, manejo de materiales, salud laboral y ocupacional. (Ministerio de la Producción de Perú & COSUDE, 2010).

## 5.9. Mejoras en organización y administración

### Ubicación de la cantera:

Es importante identificar las canteras de materias primas con los mejores rendimientos para la fabricación de ladrillos. Se recomienda adquirir solo material proveniente de estas fuentes exigiendo al transportador que la materia prima provenga de la cantera seleccionada. De otra parte, si las canteras están lejos y se deben transportar las materias primas hasta los hornos, se recomienda contratar preferentemente los vehículos con mayor capacidad de transporte (Ministerio de la Producción de Perú & COSUDE, 2010).

En el caso de incluir materias primas secundarias, como parte de procesos de economía circular, es importante realizar las pruebas fisicoquímicas correspondientes, con el fin de caracterizar el material y definir condiciones determinantes como la humedad, la granulometría, la porosidad, entre otros criterios que definen la calidad del producto final.



**Ubicación de la planta productora:**

La mayoría de las plantas ubican sus hornos en la periferia de las ciudades. Si bien la tendencia es instalar la planta de producción adyacente o lo más cercana posible a las canteras de arcilla, en algunos casos se prefiere instalarla más cerca de la ciudad donde están los compradores.

Es importante identificar las canteras de materias primas (arcilla, tierra, agregados) con los mejores rendimientos para la fabricación de ladrillos, teniendo en cuenta costos de producción, transporte, almacenamiento y distribución.

**Ahorro y uso eficiente del agua:**

Para el lavado de planta, maquinaria y equipos están disponibles los equipos de lavado centralizado, bombas de alta presión y las boquillas de aspersion que es posible adicionar al sistema centralizado, disminuyendo los tiempos y el uso de grandes volúmenes de agua. De igual forma, es indispensable dotar las mangueras de pistolas con válvulas de cierre para evitar el desperdicio (CAR, s.f).

Se recomienda hacer aprovechamiento de aguas lluvias, diseñando un tanque para su captación teniendo en cuenta las condiciones meteorológicas de la zona donde se ubica la empresa (pluviosidad). Las aguas lluvias sirven también para lavado de pisos o uso en sanitarios (CAR, s.f).

Es importante renovar redes internas. Las redes hidráulicas de hierro galvanizado con el tiempo se perforan y son causa de fugas de agua que algunas veces tardan años en hacerse visibles. Siempre que sea posible y que no interfiera con los usos del agua dentro de la industria, es recomendable reemplazar los tubos de hierro galvanizado por tubos de PVC (CAR, s.f).

La experiencia muestra que las inversiones realizadas para establecer un programa de uso racional y ahorro del agua se recuperan en menos de un año y frecuentemente ocurre que su puesta en práctica no implica gastos o esfuerzos significativos para la empresa (CAR, s.f).

**Fuentes de iluminación en áreas administrativas u oficinas:**

Se recomienda seleccionar de la fuente de luz con mayor rendimiento lumínico y considerar un diseño arquitectónico que involucre iluminación natural. Es importante tener en cuenta el nivel de contraste o relación entre mínimo y máximo nivel lumínico, puesto que un mal diseño ocasiona cansancio de los músculos del ojo. También se recomienda definir un programa de mantenimiento regular de las fuentes de iluminación, en ambientes polucionados el rendimiento lumínico cae hasta un 40% y más (CAR, s.f).

**Prácticas de orden y limpieza en lugares de almacenamiento:**

Es importante adoptar prácticas de orden y limpieza en los lugares de almacenamiento y manipulación, así como dedicar espacios distintos para almacenar materias primas, productos, residuos y combustible. Se recomienda llevar un control de su uso y un inventario permanente de las cantidades existentes con el fin de programar la frecuencia y oportunidad de las adquisiciones.

Con el fin de reducir principalmente las emisiones difusas hacia el aire libre de polvo generado por materias primas minerales en ubicaciones de almacenamiento a granel, esas ubicaciones de almacenamiento pueden cubrirse mediante apantallamiento, amurallamiento o con un revestimiento consistente de vegetación vertical (barreras de viento artificiales o naturales para la protección contra el viento de las pilas abiertas al aire libre). Aunque las emisiones de polvo no puedan evitarse en los puntos de descarga de los emplazamientos de almacenamiento, sí pueden reducirse adaptando la altura de descarga a la altura variable de la pila, de ser posible de forma automática, o reduciendo la velocidad de descarga. Adicionalmente, las ubicaciones pueden

mantenerse húmedas –especialmente en zonas secas– mediante dispositivos de pulverización (si el punto donde se origina el polvo está localmente limitado, se puede instalar un sistema de agua atomizada o pulverizada) y limpiarse con camiones de limpieza urbana (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino de España, 2011).

**Gestión de residuos:**

Es importante separar los residuos en el lugar donde se generan. En conexión con la aplicación de criterios de orden y limpieza, se recomienda establecer espacios para depositar en forma segregada los residuos generados en el proceso (cenizas, escombros, bolsas, etc.), tratando de evitar traslados excesivos o innecesarios. El uso de letreros o placas es muy útil para esta tarea. Siempre que se pueda, se recomienda separar los residuos peligrosos (tales como los aceites usados, trapos sucios, pilas, baterías) para gestionarlos correctamente (Ministerio de la Producción de Perú & COSUDE, 2010).

Se recomienda recuperar las cenizas resultantes de la quema, para utilizarlas como componente de las mezclas en la preparación de ladrillos crudos (Ministerio de la Producción de Perú & COSUDE, 2010).

Se recomienda utilizar los escombros de ladrillo procedentes de la quema o chamote:

- Como relleno para mejorar los caminos de acceso a la zona.
- Como base para pisos de las viviendas.
- Para levantar paredes de baja altura permanentes o provisionales que separen las zonas de producción.
- Para reintegrar mediante reuso los rechazos de producción que tengan utilidad como materia prima secundaria.

Se sugiere la implementación de una auditoría interna de reducción de desechos, que se realiza en una instalación industrial para ver qué llega a la planta y qué sale, para asegurar que los recursos se usen eficientemente y para identificar medios, reducir o eliminar la generación de desechos (CAR, s.f).

En una ladrillera se generan gran cantidad de residuos o subproductos que pueden ser utilizados por otras empresas si no se contaminan y mezclan indebidamente mediante procesos de simbiosis industrial, por esto la necesidad de implementación de un programa de manejo de residuos sencillo enfocado en la clasificación y almacenamiento adecuados, para su posterior comercialización (CAR, s.f).

La separación de los residuos en la fuente permite optimizar el aprovechamiento y la disposición final. Es importante realizar una recolección selectiva de los residuos que se separaron para que estos no pierdan su valor dentro del ciclo productivo. La clasificación de los residuos se debe hacer siguiendo la Guía Técnica Colombiana 24 o GTC 24 - *Guía para la separación en la fuente* (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación - ICONTEC, 2009), como se presenta a continuación.

Tabla 17. Código de colores para la separación en la fuente

Sector	Tipo de residuo	Color
Industrial, Comercial Institucional y de Servicios	Residuos aprovechables como plástico, vidrio, metales, multicapa, papel y cartón.	Blanco
	Residuos no aprovechables	Negro
	Residuos orgánicos aprovechables	Verde

NOTA 1. Se adoptan la clasificación de residuos y código de colores de acuerdo con lo reglamentado en la Resolución 2184 de 2019 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

NOTA 2. Se recomienda que cada generador establezca un código de colores particular para aquellos residuos no incluidos en la tabla.

NOTA 3. Para residuos peligrosos se establecerá el código de colores e íconos de la guía para residuos peligrosos (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación - ICONTEC, 2009).

Fuente: (ICONTEC, 2009)

Tabla 19. Variaciones porcentuales por implementación de técnicas combinadas (combustibles alternativos + ventiladores o inyectores de aire)

Mejor técnica disponible	Mejora de ingreso (%)	Inversión USD (%)
Dosificadores	20 %	12.1 %
Hornos	46 %	82.4 %
Control operacional	27 %	2.3 %
Adecuación	7 %	3.2 %
<i>Total</i>	100 %	100 %

Fuente: Zavaleta 2018.

### 5.10. Análisis costo-beneficio en la implementación de mejores técnicas disponibles en el sector

La implementación de mejores técnicas genera impactos positivos en la producción que, de manera general, son positivos. Por ejemplo, en la etapa de cocción incluyendo el uso de ventilador la calidad del producto mejora y los costos y tiempos utilizados para la cocción de ladrillo son menores, reduciendo los costos de inversión inicial. A continuación, se presentan los resultados para un caso de estudio para un total de 50 hornos que implementaron ventiladores y, con ello, cambio de combustible para la cocción de ladrillos. Dichos datos deberán ser reportados y analizados para el sector ladrillero en Colombia.

Tabla 18. Variaciones porcentuales por implementación de técnicas combinadas (combustibles alternativos + ventiladores o inyectores de aire)

Tipo de combustión Horno	Calidad	Costo	Tiempo	Emisiones CO <sub>2</sub>
Combustión con Leña	-	-	-	-
Combustión con leña y ventilador	+5%	-31.5%	-34.13%	-31.5%
Combustión con cáscara de castaña y ventilador	Variable	-83.24%	-20.96%	-53.22%

Fuente: Zavaleta, 2018.

Para el sector colombiano, en la tabla 19 se resumen los resultados de estas estrategias en algunas industrias de este sector durante el año 2016, tomando como variable de resultado la mejora de ingresos por reducción del consumo de combustible asociada a cada mejora técnica implementada, dichas medidas están enfocadas a conversión tecnológica (cambios de hornos) y control operacional (dosificación, ventiladores). La medida más costo efectiva es la de control operacional en un corto plazo, sin embargo, a largo plazo la conversión de los hornos resulta ser la más rentable.

## 6. INDICADORES DE PROCESO Y DE GESTIÓN

**Consumo específico de energía:** el consumo específico de energía es un índice de gran importancia para la evaluación del desempeño energético de una industria o de las etapas de su proceso productivo y hasta de sus principales equipos. También tiene importancia en la evaluación de los resultados de la implementación de medidas de eficiencia energética (combustible y electricidad), permitiendo comparar los resultados antes y después de la aplicación de un nuevo proyecto o equipamiento. La evolución de los valores de consumo energético específico a lo largo del tiempo permite hacer un seguimiento del desempeño energético y compararlo con el de otras empresas. Estos valores también hacen posible la comparación entre distintas tecnologías, por ejemplo, la de los diversos tipos de hornos existentes. Para esto, se hace necesario establecer correctamente estos índices a través de mediciones detalladas. (Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de Brasil, 2015)

El consumo energético específico se refiere a la cantidad de energía eléctrica o térmica consumida para la producción de determinado producto. A continuación, se muestran algunos tipos de índices de consumo energético específico que pueden establecerse en la empresa (Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de Brasil, 2015).

– **Energía térmica:** idealmente la unidad de control debería ser kcal/kg de producto final (kilocaloría por kilogramo), pero esto requiere aplicar conversión de unidades según el poder calorífico de cada combustible o su mezcla. Este indicador permite comparar alternativas de sustitución de combustibles por otros con mayor eficiencia y menos emisiones.

Como información de entrada para calcular el consumo energético según el combustible se requiere:

Para el caso de carbón se solicita el valor en kilogramos (kg),

Para el caso de combustibles líquidos diferentes a crudo se usan galones (gal).

Para el caso de crudo/petróleo se usan barriles.

Para el caso de combustibles gaseosos se usan metros cúbicos (m<sup>3</sup>).

Para el caso de otros combustibles sólidos, se usa metro cúbico (m<sup>3</sup>) o kg de leña por tonelada (t) de producto final o por millar (1 000 piezas).



– **Energía eléctrica:** kWh/t de arcilla procesada o kWh/t de producto salido del horno o kWh/t de producto final (descontando las pérdidas).

Si para la electricidad tenemos la medición del consumo mensual (kWh) informado en la cuenta de suministro del distribuidor de energía eléctrica, para la leña y otros tipos de biomasa (residuos agrícolas e industriales) es necesaria una evaluación más cuidadosa. Se debe evitar el control del consumo específico de energía térmica por m<sup>3</sup> de leña/millar de producción, considerando las grandes variaciones posibles de masa de leña por m<sup>3</sup>, así como de masa de producto por millar. Lo ideal sería pesar la leña consumida (pesado de muestra) y la producción obtenida (cálculo de la masa producida), llegándose a valores de kg (o tonelada) de leña por kg (o tonelada) de producción. Los valores necesarios para el cálculo del consumo energético específico deben ser confiables y medidos con rigor, en todo caso se deberán utilizar los valores de poder calorífico por combustibles reportados por la Unidad de Planeación Minero-Energética de Colombia (UPME) (Unidad de Planeación Minero-Energética - UPME, 2020)<sup>4</sup>. También se sugiere el uso de factores de emisión específicos para combustibles colombianos.

## 7. REGISTRO DE EMISIONES

En materia del cumplimiento normativo de la regulación de emisiones, se recomienda llevar un análisis de los resultados de los muestreos isocinéticos históricos realizados en las diferentes fuentes de emisión. De otra parte, se recomienda registrar la información en el Registro Único Ambiental (RUA) y el Registro de emisiones y transferencias de contaminantes (RETC) con el fin de contribuir al registro nacional de emisiones del país.

Así mismo, de manera indicativa y para conocer el impacto de la adopción de las técnicas sugeridas en esta guía y en particular aquellas enfocadas a la eficiencia energética se sugiere el registro de los proyectos de reducción de gases de efecto invernadero en la plataforma del Registro Nacional de Reducción de Emisiones de Gases Efecto Invernadero (RENARE, <http://renare.siac.gov.co/GPY-web/#/ingresar>) con el fin de contribuir al registro y contabilización nacional de emisiones y capturas de gases de efecto invernadero (GEI) y su aporte a las metas nacionales de reducción.

<sup>4</sup> <https://www1.upme.gov.co/InformacionCifras/Paginas/BalanceEnergetico.aspx>

## REFERENCIAS

- CAEM & Swisscontact. (2011). *CARACTERIZACIÓN DE LAS UNIDADES PRODUCTIVAS DE LA INDUSTRIA LADRILLERA: Documento resumen que muestra de manera general las características principales de la industria ladrillera existente en Colombia*. Bogotá D.C: Proyecto EELA Colombia.
- CAEM & Swisscontact. (2011). *CARACTERIZACIÓN DE LOS HORNOS USADOS EN LA INDUSTRIA LADRILLERA*. Bogotá D.C: Proyecto EELA.
- CAEM & Swisscontact. (2011). *Programa de Eficiencia Energética en Ladrilleras de América Latina - EELA*. Cámara de Comercio de Bogotá - COSUDE.
- CAEM. (2011). *Prueba isocinética de gases*. Bogotá D.C.
- CAEM. (2014). *Prueba isocinética de gases*.
- CAR. (s.f). *Oportunidades De Producción Más Limpia En La Industria Ladrillera*. Bogotá D.C: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca.
- Comisión Europea. (2007). *Reference document on Best Available Techniques in the Ceramic Manufacturing Industry*.
- Corporación Ambiental Empresarial - CAEM. (2015). *Inventario nacional del sector ladrillero colombiano*. Bogotá D.C.
- Corporación Ambiental Empresarial - CAEM. (2016). *Modelo de Intervención y Resultados del Programa Eficiencia Energética en Ladrilleras, EELA Colombia*. Bogotá D.C.
- Departamento Nacional de Estadística - DANE. (2018). *Encuesta Anual Manufacturera (EAM) 2017*. Bogotá. Obtenido de [https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/eam/boletin\\_eam\\_2017.pdf](https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/eam/boletin_eam_2017.pdf)
- Departamento Nacional de Planeación - DNP. (2018). *CONPES 3943: POLÍTICA PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AIRE*. Bogotá. Obtenido de <http://www.andi.com.co/Uploads/CONPES%203943%20Calidad%20del%20Aire.pdf>
- EELA & CCAC. (2015). *Manual de hornos eficientes en la industria ladrillera*. EELA. Obtenido de [http://www.redladrilleras.net/apps/manual\\_ccac/pdf/es/Manual-de-hornos-eficientes.pdf](http://www.redladrilleras.net/apps/manual_ccac/pdf/es/Manual-de-hornos-eficientes.pdf)
- García- Ubaque, C., Vaca-Bohorquez, M., & Talero, G. (2013). Aprovechamiento de Biomasa Peletizada en el Sector Ladrillero en Bogotá-Colombia: Análisis Energético y Ambiental. *Información tecnológica*, 24(3), 115-150. doi: 10.4067/S0718-07642013000300013
- Gobierno Nacional de Colombia. (2019). *Ley 1955 de 2019: Plan Nacional de Desarrollo. 2018-2022. Pacto por Colombia, pacto por la equidad*.
- ICONTEC. (2009). *Norma Técnica Colombiana: Guía Para la Separación en la Fuente*. Bogotá D.C.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación - ICONTEC. (2000). *Norma Técnica Colombiana 4205*. Bogotá.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación - ICONTEC. (2009). *Norma Técnica Colombiana GTC 24 Guía para la separación en la fuente*. Bogotá.
- Minambiente. (2019). *Estrategia Nacional de Economía Circular*. Bogotá D.C: Gobierno de Colombia.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2019). *Estrategia nacional de calidad del aire*. Colombia. doi:978-958-5551-14-5
- Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de Brasil. (2015). *Programa EELA: Manual de eficiencia energética en la industria ladrillera: Explotación y preparación de materias primas para la elaboración de ladrillos de arcilla*. Managua.
- Ministerio de la Producción de Perú & COSUDE. (2010). *Guía de Buenas Prácticas Para Ladrilleras Artesanales*.
- Ministerio de la producción; COSUDE; SWISCONTACT. (2010). *Guía de buenas practicas para ladrilleras artesanales*. Peru.
- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino de España. (2011). *Mejores Técnicas Disponibles de referencia europea. Sector de la fabricación cerámica. Documento BREF*. Madrid.
- Ministerio de Minas y Energía; Ministerio del Medio Ambiente. (2002). *Guía Minero Ambiental. Exploración*. Bogotá D.C: Gobierno de Colombia. Obtenido de [https://www.anm.gov.co/sites/default/files/normativas/guia\\_mineroambiental\\_de\\_exploracion.pdf](https://www.anm.gov.co/sites/default/files/normativas/guia_mineroambiental_de_exploracion.pdf)
- SERNA & Swisscontact. (2013). *Cartilla de buenas prácticas en la explotación, preparación y operación de mezclado en la fabricación de productos de arcilla*. Honduras: Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente.
- Swisscontact. (2013). *Cartilla de buenas prácticas: Explotación y preparación de materias primas para la elaboración de ladrillos de arcilla*. Managua, Nicaragua.
- Unidad de Planeación Minero-Energética - UPME. (2020). *Balance energético Nacional - BECO*. Obtenido de <https://www1.upme.gov.co/InformacionCifras/Paginas/BECOCONSULTA.aspx>.
- Zavaleta, P. (2018). Análisis de impactos productivos y ambientales de la implementación de ventiladores y cambio de combustible en ladrilleras artesanales de Riberalta, Beni. *ACTA NOVA*, 8(4), 679-699. Obtenido de [http://www.scielo.org.bo/pdf/ran/v8n4/v8n4\\_a11.pdf](http://www.scielo.org.bo/pdf/ran/v8n4/v8n4_a11.pdf)



Portafolio de **mejores técnicas disponibles  
y mejores prácticas ambientales**  
para el **SECTOR ALFARERO Y DE  
PRODUCCIÓN DE LADRILLO EN  
COLOMBIA**



**MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE**  
Dirección de Asuntos Ambientales, Sectorial y Urbana

**BOGOTÁ D.C. 2021**