

UCLV
Universidad Central
"Marta Abreu" de Las Villas



FC
Facultad de
Construcciones

Departamento de Ingeniería Civil

TRABAJO DE DIPLOMA

Título del trabajo: Evaluación de la producción de
ladrillos en el municipio Cabaiguán para el
mejoramiento ambiental del Hábitat

Autor del trabajo: Ricardo Ramón Rodríguez Yera

Tutor del trabajo: Dr. Ing. Iván Machado López

Santa Clara , junio del 2018
Copyright©UCLV

Este documento es Propiedad Patrimonial de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, y se encuentra depositado en los fondos de la Biblioteca Universitaria “Chiqui Gómez Lubian” subordinada a la Dirección de Información Científico Técnica de la mencionada casa de altos estudios.

Se autoriza su utilización bajo la licencia siguiente:

Atribución- No Comercial- Compartir Igual



Para cualquier información contacte con:

Dirección de Información Científico Técnica. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Carretera a Camajuaní. Km 5½. Santa Clara. Villa Clara. Cuba. CP. 54 830

Teléfonos.: +53 01 42281503-1419

Pensamiento

“La Coalición de Calidad de Aire y Clima es un ejemplo impresionante de un Partenariado que da resultados. Nosotros debemos actuar urgentemente para limitar las emisiones de dióxido de carbono para mantener el incremento de la temperatura global por debajo de dos grados Centígrados. Adicionalmente, necesitamos actuar de manera inmediata para controlar los contaminantes climáticos de vida corta, no sólo mitigar el calentamiento, sino reducir la contaminación del aire y mejorar la salud pública.”

Ban Ki-Moon - Secretario General de las Naciones Unidas

Discurso en la COP21

DEDICATORIA

En estas páginas se encierra una parte de mis sueños: la meta más alta de mi vida estudiantil y el inicio de mi carrera profesional; por eso se las dedico a mi familia, especialmente a mis padres porque me dieron la vida y me enseñaron a caminar por el camino correcto, a mi hermano que es mi mejor amigo, a todos mis compañeros que compartieron las buenas y las malas.

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a todas las personas que me ayudaron e hicieron posible que culminara esta etapa de mi vida, a mi tutor Iván, a mis viejos los cuales me apoyaron económica y moralmente durante todo el trayecto, a mi hermano que siempre me apoya y tiene un consejo oportuno para guiarme, a Filostete, el Pescado, el Largarucho, el Bolo, Eric, el Amarillo, el Murga, Barbarito, y a todos mis compañeros en general. He citado a mis amigos por sus sobrenombres porque así los he llamado durante 5 años y así los recordaré por el resto de mi vida. Le agradezco también a mi novia por acompañarme y aguantarme en las buenas y las malas.

RESUMEN

En el presente trabajo se realiza el análisis del ciclo de vida (ACV) en la ladrillera "El Tejar", identificando factores críticos en el proceso productivo de la fabricación de los ladrillos. Se analizan cada una de las etapas de este proceso para identificar los impactos negativos que tienen en la comunidad. A partir de factores de emisión se realiza un estudio de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) que se producen en la empresa durante la cocción de los ladrillos, esto junto al estudio de la eficiencia del horno ladrillero provee la información necesaria para proponer un plan de medidas que permitan el mejoramiento del hábitat del municipio Cabaiguán desde el punto de vista ambiental.

Abstract

In the present work, the life cycle analysis (LCA) is carried out in the "El Tejar" brickyard, identifying critical factors in the production process of brick making. Each of the stages of this process is analyzed to identify the negative impacts they have on the community. Based on emission factors, a study is made of the greenhouse gas (GHG) emissions that occur in the company during the firing of the bricks. This, together with the study of the kiln efficiency, provides the necessary information to propose a plan of measures that allow the improvement of the habitat of the Cabaiguán municipality from the environmental point of view.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I: ESTADO DEL ARTE.....	1
1.1-Los materiales cerámicos. Conceptos	1
1.2-Retrospectiva histórica de la cerámica roja	2
1.2.1-Retrospectiva histórica de la cerámica roja en Cuba	3
1.3 Proceso de fabricación de los materiales cerámicos	5
1.3.1 Transformaciones que tienen lugar durante la cocción	8
1.3.2- Transformaciones que se presentan en los silicatos y silico - aluminatos	9
1.3.3- Transformaciones que presentan las impurezas	9
1.4. Tipos de hornos	10
1.4.1 Aspectos medioambientales relacionados con el proceso de fabricación de los ladrillos de cerámica roja 12	
1.4.1.1 Emisiones de gases de efecto invernadero y otros durante la producción de ladrillos.....	13
1.4.2 Alternativas para mejorar el perfil medioambiental del proceso de fabricación de los ladrillos de arcilla cocida.	14
1.5 Propiedades de los materiales cerámicos	15
1.6 Análisis del ciclo de vida. (ACV)	18
1.6.1 Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero	19
1.6.1.1 Evaluación de emisiones a partir de medidas/cálculo/estimación	21
1.7 Marco Legal	23
1.8 Conclusiones parciales del capítulo	24
 CAPITULO 2: INCIDENCIAS SOBRE EL MEDIO AMBIENTE DEL PROCESO TECNOLÓGICO EN ESTUDIO	 1
2.1 Introducción	1
2.2 Ubicación geográfica de la ladrillera	2

2.2.1 Estudio del proceso productivo de la fábrica	4
2.2.2 Extracción de la materia prima	4
2.2.3 Preparación de la pasta	5
2.1.4- Desechado	7
2.1.5-Cocción	8
2.3 Análisis de la calidad de los ladrillos bajo estas condiciones.	9
2.3.1 Ensayo de Planicidad	9
2.3.2Determinación de la absorción de agua	10
2.3.3Determinación de las dimensiones	11
2.3.4 Determinación de la resistencia a compresión.....	13
2.4 Análisis técnico del horno	14
2.4.1 Funcionamiento del horno	15
2.4.2 Análisis del combustible	16
2.4.3 Determinación de la eficiencia del proceso.....	17
2.5 Resultado del monitoreo de la quema	19
2.6 Descripción de los factores contaminantes del medio presentes en el proceso productivo	21
2.6.1 Inventario de emisiones	22
2.7 Ficha de costo de los ladrillos.	24
2.8 Conclusiones parciales del capítulo.....	25
 CAPITULO 3: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	 26
3.1 Análisis de los resultados de los ensayos realizados a los ladrillos	26
3.1.1 Ensayo de planicidad	26
3.1.2 Ensayo de absorción	27
3.1.3 Ensayo de dimensiones	27
3.1.4 Ensayo de resistencia a compresión	29
3.2 Análisis de la calidad de los ladrillos	30
3.3 Impactos ambientales generados por la ladrillera El Tejar y propuestas de soluciones para su mitigación	32
3.3.1 Etapa de molienda	32
3.3.2 Etapa de moldeado.....	33
3.3.4 Etapa de cocción.....	33

3.3.5 Tratamiento de residuos sólidos	35
3.3.6 Ubicación geográfica de la ladrillera.....	35
3.4 Análisis del inventario de emisiones	37
3.5 Conclusiones parciales.....	38
CONCLUSIONES GENERALES	40
RECOMENDACIONES.....	42
BIBLIOGRAFÍA.....	43
ANEXOS	46

INTRODUCCIÓN

En la mayoría de las actividades humanas se emplean actualmente y de manera indiscriminada, combustibles fósiles para generar energía, muchos procesos industriales resultan altos consumidores y emisores de contaminantes destacando entre ellos la producción de materiales de construcción, de este modo la producción de ladrillos igualmente es una de las principales industrias contaminantes.

Debido a que los productos de la industria de la cerámica se obtienen por cocción de las materias primas, la convierte en la mayor consumidora de combustible después de la industria del cemento. La cocción de piezas en el horno es la principal etapa del proceso de fabricación de productos cerámicos en términos energéticos, haciendo uso, en general, del 95% de toda la energía térmica demandada por la actividad, el 5% restante está relacionado con el proceso de molienda y secado (Anon., 2015).

Por otro lado, en la producción de los ladrillos de cerámica roja se generan contaminantes que afectan al medio y a la salud humana, además de provocar cambios en la morfología del terreno debido a la extracción de la materia prima. Entre 1970 y 2010, las emisiones de CO₂ provenientes de la combustión de combustibles fósiles y de procesos industriales han contribuido con un 78% del incremento total de gases de efecto invernadero a nivel mundial (Dellepiani, 2016).

La fabricación de ladrillos se realiza tanto de forma artesanal como industrial; en los países del tercer mundo predomina la producción artesanal por pequeños y medianos productores, con muy bajo nivel tecnológico y alta ineficiencia de los hornos que se emplean en estas fábricas, usando como combustible en muchos casos grandes volúmenes de leña procedente de la tala indiscriminada de los bosques, lo que trae como consecuencia la deforestación, una de las principales causas de los cambios climáticos a nivel global (Anon., 2011).

Las emisiones producidas por la industria ladrillera pueden producir afectaciones a la salud humana: genera problemas respiratorios, e incluso puede producir asma y cáncer de pulmón. El hollín que se produce en condiciones desfavorables de combustión de los combustibles fósiles posee un tiempo de permanencia en la atmósfera que puede variar desde unos pocos días hasta algunas semanas, durante ese tiempo su potencial de calentamiento puede ser entre 460 y 1500 veces más potente que el CO₂ (Anon., 2010).

Este contaminante influye en el calentamiento global, porque sus partículas oscuras, al absorber la luz, emiten calor e incrementan la temperatura de la atmósfera. Se ha comprobado que estas partículas también se depositan sobre los glaciares y la nieve, lo

que contribuye al derretimiento de dichas superficies. Adicionalmente, altera las propiedades de las nubes y cambia los patrones de precipitación (QUICHIMBO, 2010).

Cabe señalar que, si bien los niveles de emisiones de Cuba con respecto a los gases de efecto invernadero causantes del cambio climático, no son comparables con los del mundo industrializado, inferior al 0,02%, resulta igualmente importante accionar en la mitigación de este grave problema. Con relación a las fuentes que generan la contaminación atmosférica en las condiciones actuales, se cuenta con escasos recursos para asumir un monitoreo adecuado que permita cuantificar y conocer a fondo las emisiones y las concentraciones, para a partir de ello determinar con exactitud la presión a que está sometido el medio ambiente y los efectos de estos gases en nuestra atmósfera (Anon., 2017).

En América latina muchos son los países que han tomado cartas en el asunto y han implementado sistemas para reducir el impacto ambiental producido por la actividad ladrillera, por ejemplo: en Perú El Ministerio de la Producción, a través de la Dirección General de Asuntos Ambientales del Viceministro de MYPE e Industria, promueve el buen desempeño ambiental de estas empresas. En México cuenta con una Ley General de Cambio Climático y con una dependencia federal rectora en materia de conservación medioambiental que impulsa la protección, restauración y conservación de los ecosistemas y recursos naturales. Nicaragua cuenta con la Ley General del Medioambiente y los Recursos Naturales (Ley N° 217), y su reglamento establece las normas para la conservación, protección, mejoramiento y restauración del medioambiente y los recursos naturales. Ecuador aprobó el Plan Nacional del Buen Vivir 2013-2017, donde se incluyen criterios novedosos para el desarrollo en materia energética con énfasis en el uso eficiente de la energía en los sectores industrial y residencial. (Dellepiani, 2016)

De esta forma **la importancia del tema de estudio** está dado en la necesidad actual de que todos los sectores industriales colaboren con sus buenas prácticas a lograr la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero, en este sentido con respecto a la producción local de materiales cerámicos (ladrillos de barro cocido), sin embargo, estos aspectos en Cuba, no han sido abordados en toda su profundidad.

El **objeto de estudio** del presente tema de investigación es la producción de ladrillos y su relación con el medio ambiente, referido específicamente a las emisiones de gases resultantes de dicha actividad y cómo influyen en el hábitat.

A partir de los antecedentes expuestos se plantea la siguiente **situación problemática**: En la comunidad Cabaiguán de la provincia Sancti Spiritus se ha desarrollado la

producción artesanal de ladrillos, con la utilización de un horno con una capacidad de 13000 ladrillos el cual usa el fuel como combustible. Producto de su accionar han sido varias las quejas de los pobladores en las asambleas de rendición de cuentas y otras, producto de ello el CITMA municipal implementa un plan de medidas entre las que se encontraba el cierre parcial e la empresa, afectando de este modo la producción de ladrillos y con ello la construcción de viviendas y obras sociales, además de la disminución de empleos. Sin embargo, no existen pruebas bien fundamentadas de la afectación al ambiente causada por dicha empresa.

Resumiendo lo expresado anteriormente conduce a plantear las siguientes **interrogantes científicas**:

¿Qué relación existe entre la producción de ladrillos en la comunidad Cabaiguàn y el potencial daño ambiental ocasionado por la quema del combustible empleado en el proceso implementado en la región?

- **Hipótesis del trabajo:**

Si se evalúan los procedimientos utilizados durante la producción de ladrillos, al determinar el impacto ambiental que generan, entonces es posible diseñar un plan de medidas y estrategias que mejoren el hábitat en la región de estudio.

- **Objetivo General:**

Evaluar los procedimientos utilizados durante el proceso productivo de la ladrillera El Tejar, identificando factores críticos que provean información para diseñar estrategias viables que contribuyan con la disminución del impacto ambiental negativo.

- **Objetivos específicos:**

- Realizar un estudio a partir de las mediciones sobre calidad del aire que permitan la elaboración del diagnóstico ambiental de la ladrillera El Tejar.
- Identificar y valorar los impactos ambientales generados por la ladrillera El Tejar.
- Diseñar sistemas de prevención de la contaminación asociados al proceso en estudio.
- Elaborar un plan de medidas que permitan disminuir el impacto causado por la entidad de estudio durante el proceso de producción.

Métodos de Investigación Científica:

Métodos Teóricos

Histórico- Lógico: se basa en la caracterización de un contexto determinado, estudiando sus antecedentes mediante la recolección de datos y búsqueda de información por diferentes vías como son las encuestas, cuestionarios, entrevistas, entre otros.

Analítico- Sintético: se desarrolla a partir del análisis del objeto o sitio de estudio, donde se caracterizan las diferentes variables, se conceptualiza y se define el objeto en cuestión.

Inductivo- Deductivo: método matemático estadístico para el procesamiento de la información que permite facilitar la definición de conclusiones.

Métodos Empíricos

Observación: método que se basa en la observación de la realidad para constatar la relevancia de determinados indicadores a medir en la investigación.

Entrevista: método que parte de la obtención de datos a través de una encuesta o preguntas a productores y ejecutores los cuales ayudan a determinar la satisfacción de la población con los precios de construcción e información con especialistas en el tema.

Análisis de Documentos: método utilizado para el estudio de legislaciones y regulaciones cubanas y otras bibliografías para que la investigación realizada obtenga validez.

Criterio de Especialistas: se consultarán especialistas relacionados con el tema de estudio como bibliografía principal obteniendo información que permitan una adecuada y correcta investigación.

Novedad Científica de la Investigación:

Con este trabajo se define el escenario en el que es posible la producción de ladrillos en las condiciones del proceso estudiado al propiciar que disminuya el potencial daño ambiental. En específico se **considera como aspecto novedoso** en este trabajo lo siguiente:

El uso de tecnologías de monitoreo de la calidad del aire aplicadas a instalaciones ladrilleras con combustibles fósiles al establecer la relación entre el proceso de fabricación de ladrillos estudiado y el medio circundante, al aplicar las técnicas del análisis del ciclo de vida a la actividad ladrillera en la región de estudio.

Estructura del Trabajo.

El trabajo se estructurará en: Introducción, 3 capítulos, conclusiones, recomendaciones, bibliografía y anexos.

En el Capítulo I se reflejará la situación sobre el estado del arte, después de haberse hecho una amplia revisión bibliográfica de la literatura nacional e internacional más actualizada sobre el tema.

Introducción

En el Capítulo II se mostrarán los pasos seguidos para llevar a cabo el estudio ambiental de la producción de ladrillos en el municipio Cabaiguán.

En el Capítulo III se exponen los resultados del estudio ambiental realizado y las medidas concretas en cada caso para mitigar el impacto ambiental de la instalación.

Posteriormente se reflejarán las Conclusiones y Recomendaciones del trabajo.

Por último, se mostrará la bibliografía organizada de acuerdo con las normas vigentes y los anexos correspondientes al trabajo realizado

CAPITULO I: Estado del Arte

1.1-Los materiales cerámicos. Conceptos

Las cerámicas son materiales inorgánicos, unidos por enlaces iónicos o covalentes, constituidos por metales y no metales, que pueden tener una gran diversidad de estructuras cristalinas. Su nombre proviene del término griego “keramikos”, que significa “quemado”, dado que su proceso normal de obtención requiere un tratamiento térmico o, en términos cerámicos, una cocción a alta temperatura.

Los ladrillos se han utilizado como material de construcción desde los tiempos más remotos en muchas partes del mundo. Cuando se hacen y se cuecen de manera apropiada son más perdurables que algunas piedras, resistentes a las condiciones climatológicas y a los grandes cambios de temperatura y humedad. El ladrillo es un rectángulo de tamaño normalizado que varía ligeramente de una región a otra, pero que básicamente resulta adecuado para ser manipulado con una mano por un albañil; las tejas son placas delgadas, planas o curvas; las baldosas también se emplean como pavimento.

Todas las propiedades de la cerámica, incluidas la forma y el tamaño, deben determinarse por adelantado desde las primeras etapas del proceso cerámico. La integridad estructural de cada pieza debe preservarse a lo largo de la gran variedad de tensiones térmicas y mecánicas a que se somete durante el proceso, hasta que finalmente es colocada y entra en servicio (Anon., s.f.).

Los principales productos producidos se pueden clasificar en diferentes familias:

- Ladrillos
- Tejas
- Bovedillas
- Bloques
- Pavimentos
- Adoquines
- Celosías
- Rasillas
- Paneles
- Otros

Un ladrillo es una pieza cerámica, generalmente octaédrica, obtenida por moldeo, secado y cocción a altas temperaturas de una pasta arcillosa, cuyas dimensiones suelen ser: 24 x

11,5 x 6 cm. Se emplea en albañilería para la ejecución de fábricas de ladrillo, ya sean muros, tabiques, tabicones, etc. (Anon., s.f.).

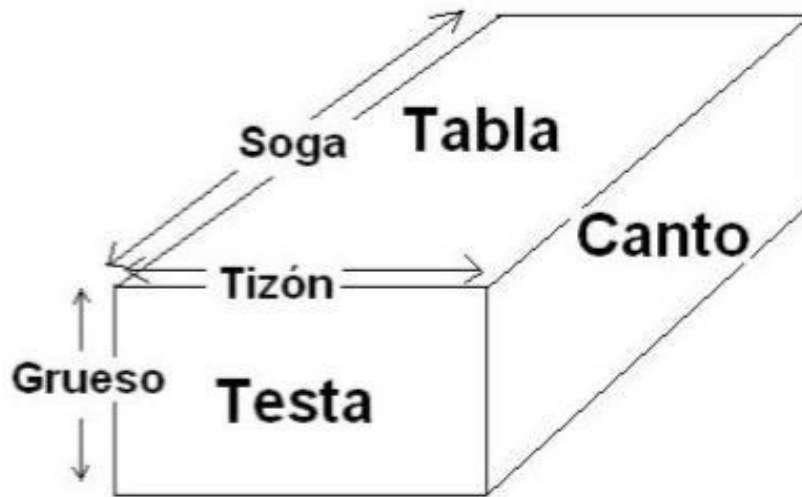


Fig. 1- Partes del ladrillo Fuente: Tema 4 Materiales cerámicos. Pdf

1.2-Retrospectiva histórica de la cerámica roja

Probablemente los principios básicos de la alfarería o cerámica se remontan al dominio del fuego por el hombre, hace 25.000 años; entonces debió descubrir que algunas tierras sobre las cuales había hecho fuego se endurecían enormemente. Pero como tal, la cerámica no aparece hasta el período de transición del Mesolítico al Neolítico, junto a otro descubrimiento trascendental, la agricultura, que hace que el hombre se haga sedentario (Anon., 2000).

El ladrillo constituyó el principal material en la construcción de las antiguas Mesopotamia y Palestina, donde apenas se disponía de madera y piedras. Los habitantes de Jericó en Palestina fabricaban ladrillos hace unos 9.000 años. Los constructores sumerios y babilonios levantaron zigurats, palacios y ciudades amuralladas con ladrillos secados al sol, que recubrían con otros ladrillos cocidos en hornos, más resistentes y a menudo con esmaltes brillantes formando frisos decorativos. En sus últimos años los persas construían con ladrillos al igual que los chinos, que levantaron la gran muralla. Los romanos construyeron baños, anfiteatros y acueductos con ladrillos, a menudo recubiertos de mármol (Anon., 2004).

En el curso de la edad media, en el imperio bizantino, al norte de Italia, en los Países Bajos y en Alemania, así como en cualquier otro lugar donde escaseara la piedra, los constructores valoraban el ladrillo por sus cualidades decorativas y funcionales. Realizaron construcciones con ladrillos templados, rojos y sin brillo creando una amplia variedad de

formas, como cuadros, figuras de punto de espina, de tejido de esterilla o lazos flamencos. Esta tradición continuó en el renacimiento y en la arquitectura georgiana británica, y fue llevada a América del Norte por los colonos. El ladrillo ya era conocido por los indígenas americanos de las civilizaciones prehispánicas. En regiones secas construían casas de ladrillos de adobe secado al sol. Las grandes pirámides de los olmecas, mayas y otros pueblos fueron construidas con ladrillos revestidos de piedra (Anon., 2004).

Durante el siglo XV, el principal centro de producción de cerámica en Europa fue España, que heredó y transmitió la tradición musulmana; más adelante cobraron importancia países como Italia, Francia, Bélgica, Alemania y Gran Bretaña. En este sentido, en el siglo XVI los alfareros de Faenza (Italia) innovaron las técnicas de decoración de la loza vidriada y exportaron sus técnicas y productos a distintos países europeos. En el siglo XIX aparece la cerámica industrial y la producida con posterioridad a 1860 era de una gran calidad. El Art Nouveau, la Exposición Universal de París de 1900 y la Bauhaus, durante la década de 1920 ejercieron una gran influencia en el diseño de la cerámica industrial de nuestros días (Anon., 2004).

El ladrillo industrial, fabricado en enormes cantidades, sigue siendo un material de construcción muy versátil. Existen tres clases: ladrillo de fachada o exteriores, cuando es importante el aspecto; el ladrillo común, hecho de arcilla de calidad inferior destinado a la construcción; y el ladrillo refractario, que resiste temperaturas muy altas y se emplea para fabricar hornos.

1.2.1-Retrospectiva histórica de la cerámica roja en Cuba

No se conoce la fecha precisa en que se comenzó a producir la cerámica roja en Cuba, pero según Emilio Roig de Leuchsering, ya en 1550 “algunos de los vecinos más ricos de La Habana poseían residencias de piedra y tejas” y en 1569 aparece una solicitud al Cabildo para la construcción de un tejero en los terrenos de Guanabacoa. En 1617 en la ciudad de Puerto Príncipe (Camagüey) se fabricaban ladrillos y tinajones en un tejero del alcalde de la villa (Cuevas, 1993).

En todo el siglo XIX, la producción de elementos a partir de arcilla cocida, estuvo íntimamente ligada a la industria azucarera; los tejares, al igual que las caleras, eran centros de producción que casi todos los centrales tenían, debido a que el azúcar se depositaba en tinajas de barro. Pero al igual que la cal en el proceso de creación de los grandes ingenios azucareros, la cerámica se separa de la industria que la había prolijado (Cuevas, 1993).

Al finalizar el siglo XIX y culminar la dominación de España, la herencia dejada por la colonia en cuanto a la cerámica roja se refiere y los tipos de hornos para la cocción en particular, fueron los llamados hornos criollos o intermitentes que aún hoy existen en las fábricas artesanales para quemar ladrillos y tejas. En la década del 20 al 30 del siglo XX se reporta el comienzo de la construcción en el país de hornos de llama invertida y el más desarrollado para la época: el Hoffman (Traore, 2003).

En la primera mitad del siglo XX los principales tejares del país se concentraban en La Habana, Matanzas y en la antigua provincia de Oriente, en la que se conoce existían en las principales ciudades: Holguín, Santiago de Cuba, Guantánamo y Palma Soriano varios tejares de importancia, con producciones promedios entre 30 y 40 000 unidades mensuales (Cuevas, 1993).

En la segunda mitad de este siglo, la producción de elementos de cerámica roja se desarrollaba en 307 centros diseminados por todo el país. Estas producciones se caracterizaban por lo artesanal e inhumano del trabajo. Casi ningún centro contaba con extrusora, por lo que los productos se moldeaban a mano; además, los hornos eran criollos, de llama directa y con notable pérdida de calor y el principal combustible utilizado era la leña, excepto en la ciudad de La Habana donde se reporta que en la década del 50 existían siete hornos Hoffman, incluso hace su aparición por estos años el primer horno Túnel construido en Cuba para la fabricación de cerámica roja en una fábrica de la Lisa de fabricación norteamericana (Anon., 2005).

Después del triunfo de la Revolución, el Gobierno Revolucionario se trazó entre sus líneas fundamentales para lograr el desarrollo económico del país, la modernización de la Industria de Materiales de Construcción y la ampliación de la capacidad instalada en ese momento; es por ello que ya en el año 1962, el MICONS contaba en sus centros subordinados con 103 hornos (Cuevas, 1993).

En el año 1967 se puso en funcionamiento un combinado de cerámica roja con un horno túnel en Isla de Pinos, con tecnología húngara, y preparado para producir ladrillos, losas, tubos y conexiones de barro. En 1971 se instaló en Bayamo una planta moderna para producir elementos de pared de cerámica roja, con una capacidad anual de dos millones de bloques aligerados (Cuevas, 1993).

En la década del 80 se realizó una modernización de esta industria con la construcción de cuatro fábricas automatizadas de gran capacidad con tecnología de fabricación española y hornos túneles de gran capacidad de 5 m de ancho y 103m de largo, de estas dos se destinaron a la producción de elementos de pared en Pinar del Río y Camagüey respectivamente que aún hoy continúan en funcionamiento y otras dos para la fabricación

de tubos sanitarios de 1,5 m de largo en Camagüey y Bayamo, esta última mantuvo su producción de tubos de cerámica hasta el año 1995 en que dejó de producir.

La década de los 90 comienza para esta industria con la construcción de la fábrica de cerámica roja más moderna que existe en Cuba en la actualidad (de tecnología italiana), en este año se construyó en la misma un horno túnel de gran capacidad que posteriormente en el año 1999 fue demolido para ser sustituido por otro mayor de 4m de ancho y 108 m de largo con tecnología española y sistema automático en cuanto a las vagonetas de carga y descarga; actualmente no se encuentra trabajando a su máxima capacidad (Traore, 2003).

En Pinar del Río en el año 1994 en San Cristóbal se puso en marcha una fábrica semi automatizada con horno túnel de 3m de ancho para la fabricación de losas de azotea, que, aunque ha tenido problemas tecnológicos debido principalmente a la errónea selección de la materia prima sigue en funcionamiento actualmente, produciendo bloques aligerados y losas de azotea. Después de la década del 90 no se han realizado en esta industria nuevas inversiones de gran envergadura, estas se han concentrado, sobre todo, en la construcción de mayor cantidad de hornos y secaderos, fundamentalmente en los combinados que ya existen.

1.3 Proceso de fabricación de los materiales cerámicos

La cerámica es la industria más antigua de la humanidad, es una idea genial del hombre y fecunda pues se ha desarrollado ampliamente a lo largo de la historia no sólo en cantidad sino en la variedad de productos, algunos de ellos, de importancia trascendental para las tecnologías modernas.

Para su preparación estos materiales deben pasar por una serie de etapas:

1. Extracción

Las canteras de arcilla, también llamadas barreros, suelen estar cerca de las fábricas, son explotaciones a cielo abierto y la extracción se realiza por medios mecánicos. Es necesario quitar una capa de material no apto para la fabricación de ladrillos (Otero, 2018).

2. Preparación de la pasta

La arcilla extraída en la cantera hay que convertirla en una masa adecuada para la operación de moldeo en forma de ladrillos, tejas, tubos, bloques. Para proceder al moldeo tiene que cumplir ciertas condiciones:

-Depuración: es indispensable que la pasta no tenga guijarros, módulos de cal, sales solubles que puedan producir perturbaciones en los tratamientos posteriores

-Estado de división: reducción a pequeños fragmentos

-Homogeneidad de la pasta: las distintas clases de arcillas y desengrasantes han de mezclarse íntimamente

-La cantidad de agua: será la elegida según el método de moldeado empleado

Para que las pastas reúnan las condiciones necesarias de trabajabilidad y calidad, se les puede someter a uno o varios de los procesos siguientes:

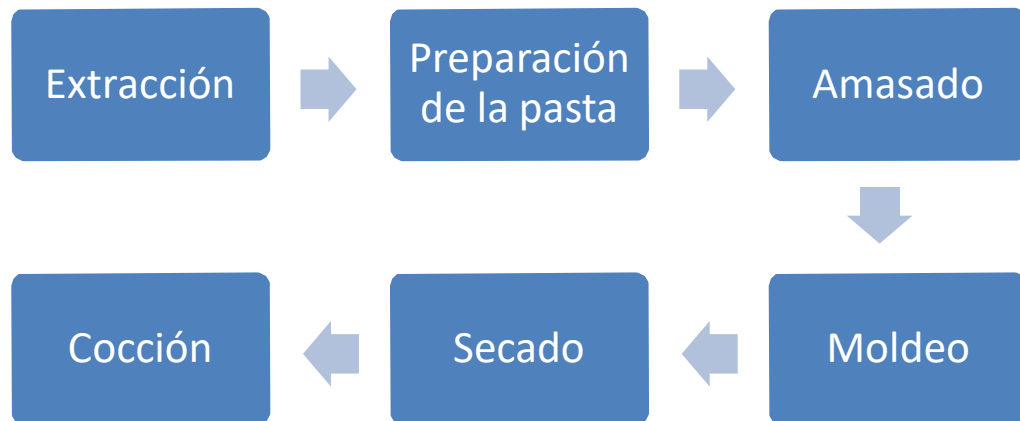


Fig. 2- Etapas para la producción de ladrillos Fuente: Elaboración propia

-Meteorización: consiste en someter a las arcillas a la acción de los elementos atmosféricos. Se dispone en capas de pequeño espesor adicionando en esta fase los desengrasantes. La meteorización mejora las condiciones de moldeado. El agua disuelve y elimina las sales solubles y la helada desintegra los terrones.

-Maduración: consiste en un reposo. Se realiza en naves y tiene por objeto la repartición de la humedad

-Podrido: consiste en conservar la pasta en naves frías, sin circulación de aire y con poca luz, procurando que la arcilla tenga una humedad constante. Este proceso produce una fermentación que aumenta la plasticidad y reduce la tendencia al agrietamiento y el alabeo.

-Levigación: colocación en balsas de las arcillas donde se deslíen en agua para que sedimenten los componentes de mayor densidad eliminando la cal

-Tamizado: aumenta el valor cerámico. Se eliminan partículas sueltas e impurezas. Suele usarse una “criba rotativa o tromel” (cilindro de paredes de chapa con perforaciones; entra el material por un extremo y sale por el otro como consecuencia del giro y la inclinación)

-Lavado: se hace pasar el agua por la criba rotativa o tromel a la vez que se le añade agua

-Preparación mecánica: maquinas que hacen la preparación de la pasta con menor costo y mayor rapidez (Otero, 2018).

3. Mezclado y Amasado

Consiste en conseguir una perfecta homogeneización de la materia prima, es decir, de las diversas arcillas que se vayan a utilizar, de éstas con los desgrasantes y de todos éstos elementos sólidos con el agua. Para ello disponemos de diversa maquinaria:

-Mezcladoras-amasadoras

-Amasadoras de doble eje: puede aumentarse la energía de amasado construyendo la amasadora con

dos ejes paralelos en lugar de uno que gira en sentido contrario

-Raspadores

-Molino de rulos: se usa si la arcilla tiene piedras. Son dos cilindros que giran en un eje horizontal.

-Laminadores

4. Moldeo

Lo que se consigue con el moldeo es dar al producto una configuración externa. El moldeo tiene repercusión en los procesos subsiguientes por lo que debe cuidarse y controlar su corrección. El moldeo se puede realizar de diversas maneras:

Moldeo a mano

Método rudimentario útil para producciones a pequeña escala o periódica. Su aspecto es más rugoso y más estético. La tierra se prepara en fosas mediante la adición de agua y un amasado con palas hasta que se suficientemente homogénea. En estado muy plástico y con mucho líquido se comprime en una gradilla.

Moldeo por Extrusión

Consiste en empujar una masa de arcilla para hacerla pasar a través de una boquilla formadora, es, por tanto, un proceso utilizado para formar piezas que tengan una sección transversal constante: Se obliga a salir la pasta por una boquilla

Moldeo por prensas

Si las piezas a fabricar tienen relieves y superficies curvas (por ejemplo, tejas)

Prensado

Se utiliza para obtener un producto de apariencia impecable. Tiene la ventaja de que no necesita pasar por el secadero, pero tiene el inconveniente de la posible falta de homogeneidad debido a la dificultad de conseguirla cuanto más seca sea la tierra.

5. Secado

Las piezas recién moldeadas si se cocieran se romperían por la que hay que someterlas al proceso de secado. Consiste en la eliminación de la pasta de amasado, hasta reducirla a un 5%. Se realiza de forma lenta y gradual, para evitar alabeos y resquebrajamientos.

Industrialmente se utilizan cámaras secaderos, que consisten en unos locales en los que se hace pasar aire caliente procedente del calor de recuperación de los hornos. (10)

6. Cocción

Cuando se cuecen las arcillas a altas temperaturas, se producen unas reacciones que provocan en el material una consistencia pétrea y una durabilidad que las hacen adecuadas para el fin que se las destina. Existen distintos tipos de hornos (hornos hormigueros, hornos continuos, etc.). La temperatura en los hornos y el tipo de estos es variable en función de producto:

- Azulejos y tejería. 900 - 1000 °C
- Loza y gres cerámico. 1000 - 1300 °C
- Porcelana. 1300 - 1500 °C

1.3.1 Transformaciones que tienen lugar durante la cocción

Durante la operación de cocción intervienen tres factores fundamentales: temperatura, tiempo y atmósfera del horno.

Los fenómenos que se desarrollan durante la cocción pueden clasificarse en fenómenos físicos y fenómenos químicos.

Los fenómenos físicos se manifiestan en todos los materiales crudos o cocidos y pueden citarse la dilatación térmica, las transformaciones alotrópicas, la densificación, la fusión de ciertos constituyentes, etc. (Anon., 2018)

La dilatación térmica es un efecto de la elevación de la temperatura y se manifiesta de modo que el volumen aumenta en ausencia de transformaciones que modifiquen la naturaleza del material. En el caso general, la dilatación es isotrópica.

Las transformaciones alotrópicas son propias de las fases cristalinas y pueden producir grandes perturbaciones en el material. Así, por ejemplo, el cuarzo presenta una transformación $\rightleftharpoons$ a los 573 °C. (Anon., 2018)

Esta transformación va acompañada de una variación de volumen del 0.8 %. Este fenómeno es necesario considerarlo en productos crudos o cocidos que presenten cuarzo libre.

A más alta temperatura, a partir de los 920 °C y bajo la acción de mineralizadores, el cuarzo-D> da cristobalita - < con un aumento de volumen del 14.3 %.

En los productos cocidos, la cristobalita se transforma reversiblemente en la variedad β , entre 240 y 170 °C, con una variación de volumen comprendida entre el 3 y el 7%. De estas transformaciones se deriva la baja resistencia al choque térmico de los productos refractarios a base de sílice.

Entre los fenómenos químicos que se pueden producir se pueden citar, esencialmente, los que conciernen a los silicatos y silico - aluminatos, compuestos fundamentales de las materias primas cerámicas, y los que conciernen a los compuestos denominados impurezas, presentes en las mismas.

De modo general, los diferentes constituyentes pueden entrar en reacción y dar nuevos componentes según la atmósfera del horno. (Anon., 2018).

1.3.2- Transformaciones que se presentan en los silicatos y silico - aluminatos

Muchos de los silicatos y silico - aluminatos que constituyen las materias primas naturales contienen agua bajo diferentes formas, según el tipo de unión química presente en estos silicatos. Se pueden distinguir diferentes tipos de agua ligada: el agua libre (humedad), el agua ligada por adsorción, el agua zeolítica y el agua de constitución. (Anon., 2018)

Después de la deshidratación tiene lugar la destrucción del retículo cristalino y la formación de nuevas fases cristalinas y vítreas.

1.3.3- Transformaciones que presentan las impurezas.

- Descomposición de carbonatos, que tiene lugar entre 800 y 900 °C. En las pastas a base de silicatos de aluminio se nota que su descomposición se acelera y se forma progresivamente wollastonita, gelenita y anortita en las pastas cálcicas y diópsido en las dolomíticas.

- Los carbonatos ferrosos se descomponen a óxido férrico sobre los 370 °C y a alta temperatura se forma magnetita (Fe_3O_4).

- Los hidróxidos de aluminio hidratados pasan a óxidos sobre los 300 °C.

- La presencia de materia orgánica produce una descomposición gradual, en atmósfera oxidante, entre los 300 y 900 °C.

-El sulfato de cal es estable hasta los 1100 °C y el sulfato de magnesio descompone antes de los 1000 °C.

Por tanto, el proceso esquematizado en la cocción es el siguiente:

- DE 0° A 400°: SE ELIMINA RESIDUO DE HUMEDAD CON DILATACIÓN DE LA PASTA.

- DE 400° A 600°: ELIMINACIÓN DEL AGUA COMBINADA.

DESCOMPOSICIÓN EN ÓXIDOS.

RETRACCIÓN DE LA PASTA Y AUMENTO DE POROSIDAD.

- DE 600° A 900°: FORMACIÓN DE UN METACAOLÍN INESTABLE.

- DE 900° A 1000°: FORMACIÓN DE SILICATOS POR REACCIÓN DE LOS ÓXIDOS.

- MÁS DE 1000°: TRANSFORMACIÓN MOLECULAR DE LOS SILICATOS CRISTALIZANDO EN AGUJAS.

- SOBRE 1800°: FUSIÓN DEL MATERIAL VITRIFICANDO. (Anon., 2018)

1.4. Tipos de hornos

El horno para la cocción de elementos de cerámica en general no es más que una cámara construida con tabiques refractarios y provistos de un equipo de calentamiento alimentado por diferentes combustibles (electricidad, gas, leña, etc.), y que, al alcanzar altas temperaturas, hace posible el horneado, cocción o quema de las piezas. Están los *hornos de ensayos y de laboratorios*, tanto de carbón o leña como eléctricos y de gas y los hornos cerámicos.

Hornos de laboratorio. Hornos experimentales o de ensayo, se usan para hacer pequeñas pruebas de cochura de cualquier tipo de pasta o barniz, comprobar la temperatura de fusión, frita o muestra de un pigmento o colorante. Los hornillos eléctricos son especialmente prácticos. Empleando gas como combustible, pueden utilizarse hornillos con quemadores de Bunsen o quemadores Méker para temperatura, hasta 1200 a 1300° C. Con ventiladores se pueden alcanzar temperaturas más elevadas.

Hornos Cerámicos: Los hornos cerámicos generalmente son para la cocción de ladrillos y se dividen en dos grandes grupos los de caldeo directo y los de caldeo indirecto y dentro de ellos están los periódicos y los continuos.

Los hornos de caldeo directo o llama directa son los que se emplean para cocer manufacturas bastas, normalmente sin barniz, como pueden ser ladrillos, tejas macetas de pasta de arcilla y chamota, algunos tubos etc. Los objetos aquí cocidos pueden someterse a la llama directa.

Los hornos de caldeo indirecto o llama indirecta son los empleados en el caso de que las manufacturas estén barnizadas ya que, las mismas, no deben exponerse a la llama directa, humo o cenizas, pues influiría negativamente en el resultado final, por lo que, los objetos cocidos en este tipo de horno, deben aislarse en cápsulas cerradas que se estiban una encima de otra, o bien se emplea un horno que tenga un departamento interior, donde las llamas no tengan ningún tipo de incidencia dentro de esta cámara y solamente, las llamas incidirán en las paredes exteriores de este compartimento calentando el interior de la cámara.

El caldeo indirecto requiere siempre un mayor consumo térmico.

Los hornos de caldeo periódico son aquellos que deben calentarse en cada cochura, dejándose enfriar antes de colocar la siguiente.

1. Los hornos periódicos pueden hacerse trabajar según los principios de tiro ascendente, tiro horizontal o tiro descendente, siendo mucho más satisfactorios los últimos. Se colocan las piezas en el horno y a continuación se calienta este gradualmente, se mantiene a la temperatura máxima durante un cierto periodo y se deja enfriar. Seguidamente puede extraerse la carga e introducirse una carga nueva. Aparte de su ineficiencia por pérdidas de calor a través de las paredes y hacia la chimenea, etc., un horno periódico debe consumir una gran cantidad de combustible para calentar la estructura con cada carga de material, cantidad de calor que se pierde totalmente durante el enfriamiento. El calentamiento y enfriamiento continuado de la estructura la debilita mucho más rápidamente que lo haría una temperatura elevada constante.

Los hornos de caldeo continuo e ininterrumpido son los que como su nombre lo indica no se enfrían para la realización de cada carga.

2. Los hornos continuos aprovechan el calor residual desprendido durante el enfriamiento.

Consiste en esencia en una serie de hornos intermitentes conectados en circuito. Se regula la circulación de aire de forma que pase primero a través de las piezas que se han cocido ya y se están enfriando, y a continuación, una vez caliente, pasa al horno que se encuentra en fase de cochura. Los gases residuales calientes pasan sobre las piezas que se encuentran próximas a la cochura, precalentándolas, de tal forma que éstas precisan una menor cantidad de combustible en la cochura propiamente dicha. El principio fundamental es que el fuego se mantiene siempre encendido y en movimiento alrededor del circuito de hornos. Se aprovecha el calor residual, pero todavía ha de calentarse la estructura del horno y dejarse enfriar para cada carga, este es el principio de funcionamiento del horno tipo Hoffman. (G, 2003)

Fig. 3 Ejemplos de Hornos



Fuente: Manual de hornos eficientes

1.4.1 Aspectos medioambientales relacionados con el proceso de fabricación de los ladrillos de cerámica roja.

La parte más compleja del proceso artesanal de elaboración de ladrillos, desde el punto de vista de su impacto sobre el medio ambiente, se centra en su cocción y principalmente, en el encendido del horno. Este consiste en hacer arder leña contenida en las troneras. Dada la mala ventilación de estas, se produce un fuego carente de oxígeno, lo que provoca abundante emisión de humos y olores de leña mal combustionada. De acuerdo al tamaño

del horno, se procede a cerrar las troneras, de manera que se produzca un tiraje de calor hacia las capas superiores. Es aquí donde se producen emisiones de vapores de agua del ladrillo y olores de emisiones del carbón. (Cura, 2005)

Esta última sub-etapa no produce emisiones visibles dado que el proceso se realiza en forma muy lenta. Algunos hornos adicionan aserrín o viruta de pesebreras de caballos a la parte superior de la pirámide. Esta se enciende al final del proceso, emitiendo vapores y humos producto de la humectación del aserrín.

Una de las etapas del proceso de producción del ladrillo es la extracción de las materias primas que provoca el deterioro del medio ambiente. En esta etapa la extracción de la arcilla se ha perdido parte de la tierra cultivable. Esta modalidad hizo que se multiplicaran los hornos, que se explotaran zonas destinadas al asentamiento de las personas o al desarrollo de la agricultura, perdiendo tierras ricas para cultivos intensivos o generando áreas de riesgo para la población. (Cura, 2005)

Los efectos más notorios en el ambiente son:

1. Contaminación de aguas superficiales y subterráneas.
 2. Inducción de inundaciones
 3. Transformaciones en los acuíferos en áreas de relleno
 4. Emisión de gases, polvo y partículas. Vibración y ruidos
 5. Pérdida de tierras y polución
 6. Inducción de la erosión y compactación de tierras
 7. Pérdidas de asociaciones de flora y fauna, alteración de ecosistemas naturales
 8. Alteraciones morfológicas (cavas, montículos)
 9. Inducción de inestabilidad de pendientes naturales y artificiales
 10. Impropio uso del suelo luego del abandono de la actividad (basurales).
 11. Impacto visual en el paisaje con cambios de forma, volumen y color
- Cambios en las formas de vida de las comunidades humanas adyacentes
12. El uso excesivo de combustibles fósiles no renovables y la deforestación por el uso indiscriminado de la leña en la producción artesanal de ladrillos. (Anon., 2006)

1.4.1.1 Emisiones de gases de efecto invernadero y otros durante la producción de ladrillos.

En la tabla 1.1 se enumeran los fenómenos naturales y actividades antropogénicas que dan origen a los gases de efecto invernadero, su concentración y tasa de crecimiento anual en la atmósfera.

Tabla 1.1 Fuentes Generadores de gases de efecto invernadero

Gas	Fuente	Concentración Actual (Ppm*)	Crecimiento Anual (%)
Vapor de Agua	-Evaporación	Variable	-
Dióxido de Carbono	-Combustión de Carburantes Fósiles (Petróleo, Gas, Hulla) y Madera-Erupciones Volcánicas	353	0.5
Metano	-Descomposición Anaeróbica de Vegetales En Tierras Húmedas (Pantanos, Ciénagas, Arrozales)	1.7	0.9
	-Combustión de Biomasa		
	-Venteo De Gas Natural		
Óxido Nitroso	-Prácticas Agrícolas (Uso de Fertilizantes Nitrogenados)	0.31	0.8
	-Combustión de Carburantes Fósiles		
Clorofluocarbonos	-Origen Sintético (Propelentes de Aerosoles, Refrigeración, Espumas)	0.00028 - 0.00048	4
Ozono Troposférico	-Combustión de Carburantes Fósiles	0.02 - 0.04	0.5 – 2.0

Fuente: <http://www.cricvt.edu.ar/enciclopedia/terminos/GasesEfect.htm>

Las emisiones de dióxido de carbono originadas en una instalación industrial, se clasifican en emisiones de combustión y emisiones de proceso. Las emisiones de combustión son las que se producen durante la reacción exotérmica de un combustible con oxígeno. Las emisiones de proceso son las que se producen como resultado de las reacciones intencionadas y no intencionadas entre sustancias o su transformación.

Durante la fabricación de baldosas cerámicas, se originan emisiones de combustión en todas las etapas en las que se necesita el aporte de energía térmica.

La reducción de las emisiones de dióxido de carbono en el proceso de fabricación de ladrillos rojos cocidos puede implicar la disminución del consumo de energía térmica y el aumento de la eficiencia energética de las instalaciones. En la etapa de cocción, existe también la posibilidad de modificar la composición de las materias primas para reducir el contenido en carbonatos y por tanto las emisiones. (A. Mezquita, 2018)

1.4.2 Alternativas para mejorar el perfil medioambiental del proceso de fabricación de los ladrillos de arcilla cocida.

La industria del ladrillo debido a la ineficiencia energética y a los problemas económicos y medioambientales generados por su fabricación ha perdido competitividad en cuanto a costos, consumo de energía en la producción y calidad del producto final con respecto a

otros materiales para muros, como por ejemplo el bloque de hormigón, paneles prefabricados y aligerados, etc.

Es por eso que para recuperar la competitividad de la industria del ladrillo de barro es necesario acometer toda una serie de acciones dirigidas a disminuir el consumo de energía y costos de producción fundamentalmente por la reducción del consumo de combustible, sobre todo los derivados del petróleo ya sea aumentando la eficiencia del proceso en sí, o por la utilización de adiciones a las mezclas con vistas a disminuir la temperatura de fusión de las arcillas o la utilización de arcillas cuya composición química y mineralógica permitan que la cocción ocurra a más bajas temperaturas. (Cura, 2005)

Otro aspecto importante a considerar es la reducción del impacto ambiental que dicha fabricación presupone a través de la sustitución de la arcilla por residuos u otras materias primas de composición química y mineralógica similares a estas. Obviamente cada una de estas alternativas deberá contar con los estudios correspondientes para determinar su viabilidad técnica, económica, social y sobre todo ambiental.

La formulación de proyectos de inversión, tanto públicos como privados, hasta hace muy poco estaban basados solamente en la evaluación económica y social, sin embargo en los últimos años, debido a la evolución de las nuevas concepciones de “desarrollo sostenible” la concepción de la economía ha pasado de una etapa en la cual el capital obtenido por el hombre era el factor clave del desarrollo de la economía, a otra en la que el factor fundamental es el capital natural, por lo tanto la evaluación de proyectos debe hacerse teniendo como base los criterios de conservación y de impactos ambientales. (Cura, 2005)

1.5 Propiedades de los materiales cerámicos

CARACTERISTICAS FISICAS:

Las propiedades físicas de los materiales cerámicos dependen de su propia naturaleza, algunas pueden ser medidas y cuantificadas a través de ensayos y/o pruebas de laboratorios. Es más, muchas de estas pruebas se hallan normalizadas y cuentan con protocolos exactos que describen la forma de desarrollarlas y llevarlas a cabo.

1 - TERMICAS:

C - Calor específico: Kcal. / Kg. °C Igual para todos los tipos.

K - Conductividad térmica: Kcal. / m . h . °C Variable por estructura interna.

M.E. - Densidad: Kg. / dm³ Variable por estructura interna

Ladrillo macizo 1.75 kg/dm³.

Ladrillo hueco 1 kg/dm³. (variable según cantidad de huecos)

La conductividad térmica es inversamente proporcional a la densidad del material.

2 - HUMIDICAS:

Permeabilidad.

Es la propiedad que permite a un fluido moverse en el interior de un cuerpo bajo la influencia de una diferencia de presión.

En general un material de baja porosidad es también de baja permeabilidad, pero no se conocen leyes físicas que relacionen ambas propiedades.

Porosas - Estructura celular abierta.

Permeables al agua y al vapor (ladrillo, ticholo, bovedilla).

Vítreas - Estructura continua.

Impermeables (porcelana, gres, azulejos).

Absorción del agua.

Es la proporción de poros que se llenan de agua cuando el material es humedecido.

Este ensayo es fundamental a los efectos de clasificar los distintos tipos de materiales cerámicos e influye sobre otras características de los mismos (resistencia al congelamiento, entre otros).

Consiste en la inmersión de la pieza en un recipiente con agua, con presión estipulada, y llevar a punto de ebullición por un tiempo predeterminado.

La pieza es luego escurrida y secada superficialmente a los efectos de ser pesada, y medir así el % de variación de peso sufrido contra el peso de la misma pieza totalmente seca.

- Porosas - Absorben y difunden agua de lluvia, vapor de agua) hasta un 18% de su peso
- Vítreas - Absorben hasta un 0.12 % de su peso. Condensan.

CARACTERISTICAS MECANICAS:

Las características mecánicas son las determinantes en especial en los ladrillos.

tiene que ver con la resistencia a los esfuerzos simples y a su dureza.

En general estos se emplean para trabajar a la compresión por lo que este es el ensayo que más se realiza. Depende también del mortero de la junta.

OTRAS CARACTERISTICAS:

- **Resistencia a la abrasión:** consiste en someter a una probeta de material a la acción abrasiva conjunta de una rueda con polvo de corindón.

Luego de un tiempo determinado (200 revoluciones) se procede a medir el hueco dejado en el material, en mm³. a menor volumen del material removido, mayor resistencia del material ensayado.

- Porosos: mala.
- Vítreos: aceptable a buena.
- **Resistencia a la heladicidad:** en porosos puede generar deterioro para esto se realizan ensayos que miden la resistencia de una probeta ante heladas y deshielos.
- **Envejecimiento:** buen comportamiento (excepto azulejos).
- **Disolución:** son atacados por sales solubles (sulfatos, nitratos).
- **Combustibilidad:** no inflamables.
- **Reciclabilidad:** algunos productos.
- **Eflorescencias:** son debidas a la cristalización de las sales solubles contenidas en los ladrillos o tejas.

No es posible fijar un mínimo de sales para que no se produzcan eflorescencias. Parece ser que la presencia de diversas sales juntas, su proporción relativa y el sistema capilar de la pieza son las causas decisivas para que aparezcan.

El ensayo para determinar si existen o no en una pieza de cerámica, se basa en la observación de las piezas cuando se desecan después de haber estado parcialmente sumergidos en agua destilada. (Anon., 2018)

PROPIEDADES.

1) PLASTICIDAD

Es la propiedad de un material que al recibir la acción de una fuerza puede permanecer deformado luego que esta se retira.

Es una propiedad natural, la cual puede obtenerse también artificialmente.

Es esencial para facilitar el moldeado. Depende del contenido en arcilla, un alto porcentaje puede producir hinchamiento y retracción, lo que tampoco es adecuado para la fabricación de ladrillos.

- 2) COHESION: La estructura molecular permite conservar la forma.
- 3) CONTRACCION: Depende del secado (aproximadamente 10 % del volumen). Los elementos principales para regularla son la temperatura, humedad y volumen del aire
- 4) COCHURA

1.6 Análisis del ciclo de vida. (ACV)

Para conseguir que el desarrollo sostenible alcance su máxima expresión es necesario la implementación de los diferentes conceptos y herramientas de gestión ambiental. Dichos conceptos y herramientas son de necesaria implementación para lograr obtener de esta manera productos de gran calidad que no dañen el medioambiente que nos rodea.

La fabricación de ladrillos, tejas y otros productos de arcilla cocidos de forma artesanal, se ha convertido en un problema ecológico en muchas ciudades y localidades alrededor del mundo, debido al tipo de combustibles y las ineficientes tecnologías que se utilizan para la cocción de esos productos, se produce la emisión de una gran cantidad de gases nocivos a la atmósfera, tales como monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, bióxido de azufre y partículas sólidas.

De acuerdo con un informe de EELA (Herrera, Septiembre 2014) la emisión de gases de efecto invernadero por tonelada de ladrillo se aproxima a los 300 kilogramos de dióxido de carbono equivalente. Lo anterior representa un problema que afecta directamente la salud de las personas, lo que ha obligado a las autoridades correspondientes a enfrentar el problema.

El ACV (LCA por sus siglas en inglés) analiza los impactos ambientales de un producto durante todo su ciclo de vida, o más exactamente, del sistema que es requerido para que un producto cumpla una determinada función. El ACV implementa inventarios que permiten a un fabricante cuantificar que cantidad de energía, de agua y de materias primas se utilizan y cuales son (cualitativa y cuantitativamente) los residuos sólidos, líquidos y gaseosos generados en cada una de las fases del proceso de fabricación, en el uso o consumo y su eliminación final, es decir, en su ciclo de vida completo.

La meta principal de los ACV es la de valorar cuantitativamente los impactos a la salud y al medio ambiente ocasionados por los productos en todo su ciclo de vida. Las compañías, ONG y otros, pueden usar el ACV para evaluar y mejorar su actuación medioambiental global con respecto a procesos industriales o la

fabricación de productos. Además puede ser empleado con propósitos reguladores y así establecer las mejores técnicas disponibles o proponer las normas del producto para reúso, reciclado, recuperación y disposición.

Según la norma ISO 14040 (INTERNATIONAL STANDARD ISO 14040, 2006-07-01), un ACV “se compone de cuatro fases: definición de objetivos y alcance del estudio; análisis de inventario; evaluación de impactos e interpretación de los resultados. Sin embargo, estas etapas no se cumplen sistemáticamente una después de la otra, sino que el ACV es un proceso iterativo, en el cual cada iteración puede alcanzar un nivel superior de detalle o bien, realizar cambios en las etapas precedentes de acuerdo a los resultados obtenidos en las últimas etapas. Existen reportes en la literatura consultada sobre el uso de esta herramienta de evaluación ambiental aplicada a la producción artesanal de ladrillos en países tales como, México (Anon., abril 2018), Ecuador, Perú y otros en Asia, África y otras regiones, sin embargo, al parecer no han sido aplicados estos conceptos en el ámbito de la producción local de ladrillos en Cuba.

1.6.1 ventario de emisiones de gases de efecto invernadero

La fabricación artesanal de ladrillo es considerada una importante fuente de emisión de contaminantes a la atmosfera (Anon., Septiembre 2006), clasificándose como fuentes de área, caracterizándose por una variedad muy amplia de tipos y cantidades de combustibles utilizados para la cocción del ladrillo.

En muchos casos el desarrollo industrial económico y poblacional, acarrea problemas ambientales en muchas ciudades en los países en desarrollo y otros, los problemas ambientales entre otros están asociados a la mala calidad del aire causada por un inadecuado control de las emisiones a la atmósfera, por los diferentes tipos de fuentes de emisión, entre las que se encuentra la fabricación artesanal de ladrillo, cuyo impacto ambiental a la salud de la población y a los ecosistemas en general no se ha estudiado a fondo.

Con financiamiento de la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), la organización Swiss Contact coordina el Programa de Eficiencia Energética en Ladrilleras Artesanales de América Latina para Mitigar el Cambio Climático; entre los países que participan se encuentra México, Perú, Ecuador y otros. El objetivo general de dicho proyecto es contribuir a mitigar el cambio climático a través de la reducción de las

emisiones de gases de efecto invernadero de América Latina y mejorar la calidad de vida de su población.

En ese sentido, cualquier investigación conlleva inicialmente la determinación de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) para establecer la línea base del estudio, tanto a nivel local como en regiones más abarcadoras, al determinar las emisiones de gases de efecto invernadero por la actividad artesanal ladrillera hasta el nivel de país. Es posible para establecer parámetros de control y comparación el uso de los factores de emisión de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos y/o los factores de emisión reportados por el IPCC así como los reportes a partir de mediciones experimentales (INEGEI, 2006).

En la tabla 1.2 se muestran los resultados del inventario de emisiones de gases de efecto invernadero (CO_2 , CH_4 y N_2O) generadas por la producción artesanal de ladrillos en la comunidad de El Refugio (C. Márquez, 2011), a partir de la actividad ladrillera determinada, considerando todos y cada uno de los hornos que operan regularmente

Es posible considerar los factores de emisión provenientes de mediciones puntuales, los reportados en IPCC por consumo de energía para la cocción de un kilogramo de ladrillo y los reportados por la US-EPA para producción industrializada de ladrillos, u otros con un análogo origen y las mismas posibilidades de aplicación.

Tabla 1.2 Inventario de emisiones de GEI con la aplicación de diferentes factores de emisión.

¹⁵ Factores de Emisión EPA: Proceso industria, manufactura de ladrillo (Kg/Ton Ladrillo producido)			
Tecnología	FE CO ₂	FE CH ₄	FE N ₂ O
Curado y disparo: Horno de túnel dispersión de aserrín	222.26	0.017	---
Curado y disparo: Horno de túnel combustión con gas	181.44	0.017	---
Curado y disparo: Horno de túnel combustión con carbón	136.08	0.017	---
Secador de Ladrillo: calienta con residuos y quemadores de gas suplementario	32.21	0.050	---
⁵ Factores de Emisión Medidos en México (Kg/Ton ladrillo cocido)			
Combustible	FE CO ₂	FE CH ₄	FE N ₂ O
Combustóleo	376.12	0.13	---
Madera	291.85	0.92	---
⁹ Factores de Emisión IPCC, 2006			
Combustible	FE (Ton CO ₂ /TJ)	FE (Kg CH ₄ /GJ)	FE (Kg N ₂ O/GJ)
Combustóleo	76.59	10	2
Coque de petróleo	99.83	2	0.6
Carbón bituminoso	92.71	1	1.4
Madera	109.63	100	15

Fuente: (C. Márquez, 2011)

1.6.1.1 Evaluación de emisiones a partir de medidas/cálculo/estimación

La evaluación de las cargas contaminantes emitidas anualmente de un determinado contaminante por focos puntuales, se puede realizar adoptando diferentes enfoques (Anon., Noviembre 2005)

- Datos Medidos (M): Cálculos realizados con base en los resultados de las mediciones directas, en continuo o discontinuo, realizadas en chimenea o canal de humos, relativas a caudal de emisión y concentración en emisión del contaminante.
- Datos Calculados (C): Cálculos realizados a partir de factores de emisión, balances de materia y variables de los procesos tales como el combustible utilizado, índices de producción, etc.
- Datos Estimados (E): Estimaciones realizadas con base en opiniones o experiencias de expertos o en la aplicación de guías de buenas prácticas.

Un dato de emisión es “medido cuando se deduce a partir de los resultados de controles directos de procesos específicos con base a medidas reales de concentración de contaminante y para una determinada vía de emisión. Los

métodos de medición deben ser siempre métodos normalizados o aceptados nacional o internacionalmente”.

Las mediciones pueden ser de forma continua, estas pueden desarrollarse mediante equipos fijos (medición in situ) o móviles. Los equipos de medida, existentes en el mercado, suelen incorporar microcomputadores para realizar el control y la sincronización de secuencias, crear los algoritmos de conversión, compensar las medidas de presión y temperatura, revisar continuamente los parámetros operativos del equipo, almacenar los datos en memoria y establecer los protocolos de comunicación para la transmisión de datos.

Las medidas igualmente pueden ser de forma discontinua o puntual, estos métodos consisten en la determinación puntual e individual de determinados parámetros en un periodo de tiempo limitado. Los métodos de medición en discontinuo se basan en la toma de una muestra, representativa de la corriente emisora, mediante el uso de equipos o técnicas extractivas y la utilización de sistemas de filtración, absorción o adsorción sobre un medio específico, destinados a fijar el contaminante objeto de la medida, para su posterior análisis en laboratorio.

Existen variadas metodologías para realizar los inventarios de emisiones según sus propósitos y alcances. Con el fin de armonizar las distintas metodologías utilizadas en los países miembros de la Comunidad Europea, en lo referente a inventarios de emisiones, la Comisión de Comunidades Europeas desarrolló la metodología CORINAIR de la cual se toman las ideas fundamentales para el presente trabajo, (EMEP/CORINAIR, 2007). También la metodología explicada en el documento de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (U. S. EPA. Documento, AP-42, 1995a) ha contribuido al desarrollo del presente inventario, el cual toma como año base el 2014.

En el contexto nacional también se han desarrollado trabajos en este sentido, los que fundamentalmente se han dirigido a conocer las emisiones de gases de efecto invernadero, apareciendo reflejado en los trabajos de (López, 2009), más reciente se han desarrollado los trabajos (Cuesta, 2010), (Cuesta, et al., 2012) estando encaminados estos últimos a cuantificar las emisiones de fuentes puntuales industriales.

En Cuba para la realización de inventarios de emisiones de contaminantes atmosféricos a escala local se siguen los procedimientos reflejados en la NC 1049: 2014, la cual establece los datos tecnológicos que se han de tener en cuenta para la realización de inventario de emisiones, generada por fuentes puntuales industriales.

Estos datos son fundamentales para efectuar un cálculo adecuado de dichas emisiones a la atmósfera. La metodología se propone normalizar la estimación de las emisiones, a partir de conocer un conjunto de parámetros tecnológicos de las fuentes industriales estacionarias, con el propósito de establecer un ordenamiento en las actividades nacionales de gestión orientadas a la prevención, reducción y control de la contaminación.

El cálculo de las emisiones utilizando factores de emisión, con frecuencia, constituyen el mejor o el único método disponible para calcular las emisiones, a pesar de sus limitaciones. En general, se considera apropiado utilizar factores de emisión cuando los materiales que se emplean se consumen o combinan químicamente en los procesos, o cuando se producen bajas pérdidas de material, por liberación a la atmósfera, en comparación con las cantidades que se tratan en proceso (Digesa, 2005).

$$E = FE * A * (1-ER/100)$$

donde:

E - Emisión en g/s

FE - Factor de emisión en g/kg

A - Nivel de intensidad de la actividad (consumo de combustibles, producción), en unidades de masa o volumen por tiempo

ER - Eficiencia global en la reducción de emisiones (%)

1.7 Marco Legal.

En nuestro país las primeras regulaciones jurídicas sobre el ambiente se remontan a principios de siglo.

Al concluir la primera intervención norteamericana en 1902 y organizarse la República con un sistema Presidencial se crearon las Secretarías que conformarían el Gobierno; entre las cuales surgió la Secretaría de Sanidad y Beneficencia que dirigiría técnicamente los

aspectos relacionados con la Salud Pública y que promulgó en el Decreto 674 de 1914 las primeras "Ordenanzas Sanitarias" que establecían las normas sanitarias en lo relacionado con el abastecimiento de agua, el procesamiento y expendio de alimentos, la limpieza de calles y recogida de basuras; los servicios fúnebres, la disposición de cadáveres y los cementerios, los baños públicos, la limpieza de letrinas, sumideros, la construcción de casas y establecimientos, los hospitales, casas de salud y enfermerías, los transportes y las estaciones de transporte, las instituciones de enseñanza, los hoteles, las posadas, las casas de huéspedes, las casas de dormir, las oficinas, teatros y lugares públicos, las barberías y peluquerías, las industrias y establecimientos peligrosos e insalubres, la tenencia de animales, las enfermedades transmisibles, la vacunación y revacunación antivariólica, los narcóticos, etc.

El 1ro de junio de 1926 entró en vigor el Primer Reglamento para la Ciudad de La Habana, cuyo objetivo era regir todos los servicios de recogida de basuras y limpieza de parques, calles, portales de tránsito, aceras, fachadas y solares yermos, estas funciones estaban a cargo de la Secretaría de Obras Públicas. Esto demuestra que desde hace más de 80 años se establecieron principios de higiene pública encaminados a salvaguardar la salud de la colectividad. Actualmente el marco legal de los aspectos vinculados con el control del ambiente en Cuba, se caracteriza por una normativa dispersa, contenida en leyes, decretos, reglamentos y otras disposiciones.

1.8 Conclusiones parciales del capítulo.

- El problema más acuciante que enfrenta la industria de la cerámica en el momento actual es el gran consumo de energía que requiere la producción de los elementos cerámicos, en contraposición con la crisis energética que enfrenta el mundo, al considerar que esta industria (conjuntamente con la del vidrio), consume cerca del 6% de la energía total del sector industrial.
- Las tendencias actuales para aumentar la eficiencia de la producción de ladrillos se concentran en: a) Mejoras tecnológicas en el proceso de cocción, en específico la sustitución o mejoramiento de los hornos por tecnologías más eficientes, b) La sustitución parcial de la materia prima (arcilla) por materiales de desechos o de reciclaje, que puedan tener un

menor impacto ambiental, c) Uso de combustibles con menor impacto ambiental

.

- En muchos casos las alternativas para el mejoramiento ambiental en la producción cerámica implican significativas inversiones para hacer cambios tecnológicos en el proceso productivo, que permitirán implementar de forma práctica mejoras en la eficiencia del proceso. Esto requiere de disponibilidad de recursos, lo que, en países en vías de desarrollo, puede no ser una prioridad a corto plazo, pues compite con otros acuciantes problemas.
- La producción de ladrillos ha constituido en el pasado y aún en el presente de una fuente importante de materiales de construcción para el desarrollo del hábitat, sin embargo, el mismo desarrollo de las ciudades ha provocado el enclaustramiento de los productores y la mayor incidencia de la afectación ambiental sobre las poblaciones.
- El uso de herramientas de evaluación ambiental logra determinar las oportunidades y riesgos de un producto y puede ayudar en la toma de adecuadas decisiones con respecto al mejoramiento del hábitat, lo cual puede ser aplicado a la industria de la cerámica.

CAPITULO 2: Incidencias sobre el medio ambiente del proceso tecnológico en estudio.

2.1 Introducción

En este capítulo el estudio se enmarca dentro del “Análisis de Ciclo de Vida”, este enfoque identifica tanto las oportunidades como los riesgos de un producto o tecnología, desde la materia prima hasta el proceso de desecho. (INTERNATIONAL STANDARD ISO 14040, 2006-07-01). Por tanto, este concepto tiene en cuenta todas las etapas de la vida útil de un producto, proceso o servicio. Es por ello que en esta clase de estudios se identifican y cuantifican los consumos de recursos (entradas) y la generación de emisiones y vertidos (salidas), que se producen desde la extracción de la materia prima hasta la disposición final (“desde la cuna a la tumba”), pasando por la fabricación y el uso.

Sin embargo, la tarea que se asume en el presente trabajo, evaluación ambiental de la producción de ladrillos para el mejoramiento del hábitat, permite acotar el análisis a las entradas y emisiones que se producen en la entidad el Tejar del municipio Cabaiguan, siendo reconocida la etapa de cocción de los ladrillos como la que puede producir una mayor cantidad de emisiones.

De este modo, una vez definido el objetivo, se propone el análisis de inventario y la evaluación de impactos, en este marco se instrumenta el horno ladrillero para la realización de mediciones in situ, se aplica la metodología del IPCC para la estimación de las emisiones de los gases de efecto invernadero, GEI, se realiza el análisis de la tecnología existente y se toman muestras de los ladrillos producidos para corroborar si el proceso alcanza sus objetivos de calidad para una adecuada comercialización.

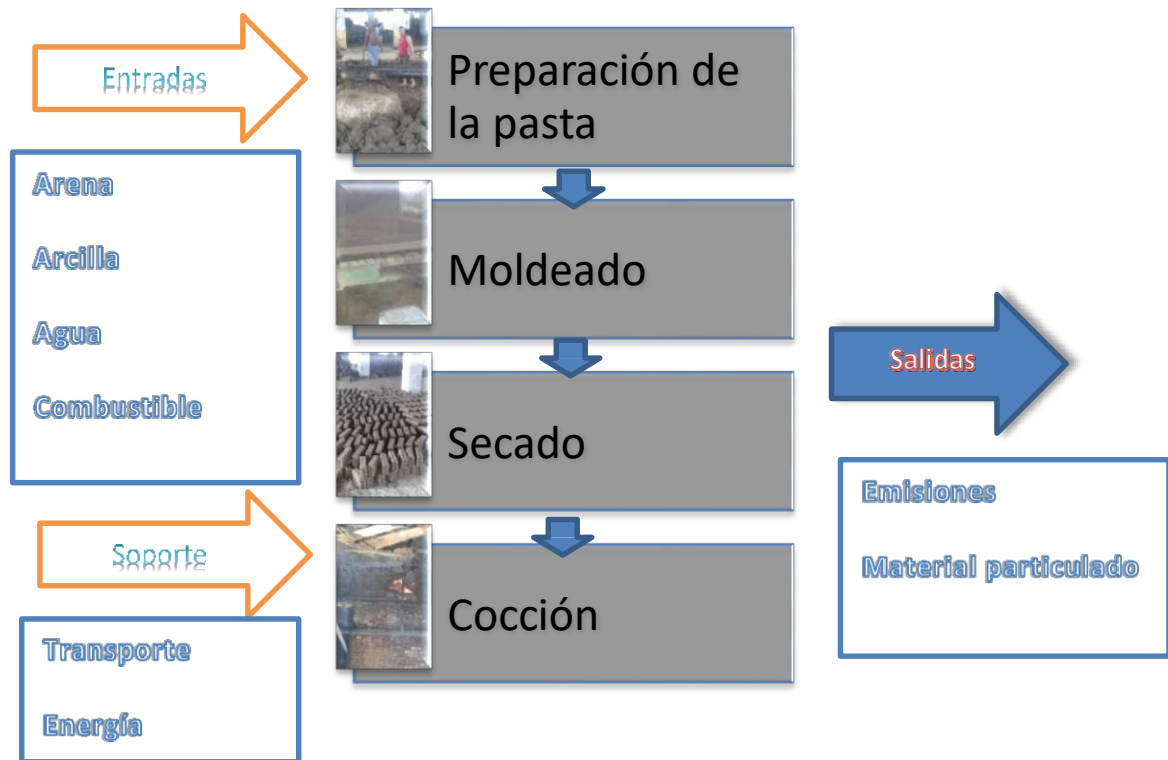
El trabajo no aborda en la comunidad el análisis detallado de la salud, entendida como el estado de completo bienestar físico, mental y social, aunque se hace uso de los mecanismos establecidos que permiten a través de las quejas de la población evaluar la satisfacción de un producto o servicio.

Se identifica que los puntos críticos susceptibles de mejoramiento ambiental corresponden a las etapas de extracción en mina, molienda, trituración, maduración, conformado y cocción,

Las etapas mencionadas anteriormente hacen referencia a los focos capaces de adoptar estrategias para el mejoramiento del desempeño ambiental de la organización mediante acciones que permitan disminuir la presión sobre los recursos naturales, la generación de contaminantes y el incremento de los costos de ineficiencia en el proceso productivo, para velar por el cumplimiento de la normatividad ambiental y de las exigencias del mercado. En ese sentido en la figura 4 se muestran los límites o fronteras que abarca el presente

análisis del ciclo de vida en la fabricación de los ladrillos en la municipalidad de Cabaiguán, es de señalar que la etapa de extracción de la arcilla y el de ventas y uso de los ladrillos no es considerada en el presente trabajo.

Fig. 4 Límites del ACV. Ladrillo cocido



Fuente: Elaboración propia

2.2 Ubicación geográfica de la ladrillera

La instalación en estudio se encuentra ubicada en la provincia de Sancti Spíritus, específicamente a las afueras de la ciudad (Ver fig.3). La instalación se encuentra en un estado técnico aceptable, cuenta con dos naves techadas para el secado de los ladrillos, un molino, una máquina de moldeado, y un horno abovedado con dos cámaras, de capacidad 13000 unidades cada una (Ver fig.4) En la actualidad la fábrica está produciendo solo algunos de sus productos iniciales (ladrillos, bloques, mosaicos, cal, viguetas y tabletas), debido al deterioro de algunas de sus instalaciones.

El funcionamiento de estas máquinas se logra gracias a los esfuerzos de todo un grupo de mecánicos que están todo el tiempo controlando el funcionamiento de las mismas y de los hornos con los que cuenta la empresa, con el objetivo de darle solución lo más pronto posible a cualquier anomalía que se pueda presentar, para así garantizar que la fábrica se mantenga produciendo.

Por otra parte, destacar que aun con el estado de deterioro que presenta la maquinaria, el combinado tiene producciones mensuales que reportan valores superiores a los 80000 cup, que se pudieran mejorar más si se sustituyeran los hornos artesanales por un horno del tipo Hoffman o Túnel ya que estos pueden satisfacer la quema de grandes producciones de una forma más eficiente, sin embargo, el cambio tecnológico puede requerir de una importante inversión lo cual en las condiciones actuales de la economía cubana puede no ser una solución viable.



Fig.5 Ubicación geográfica de “El Tejar” Fuente: Google Maps

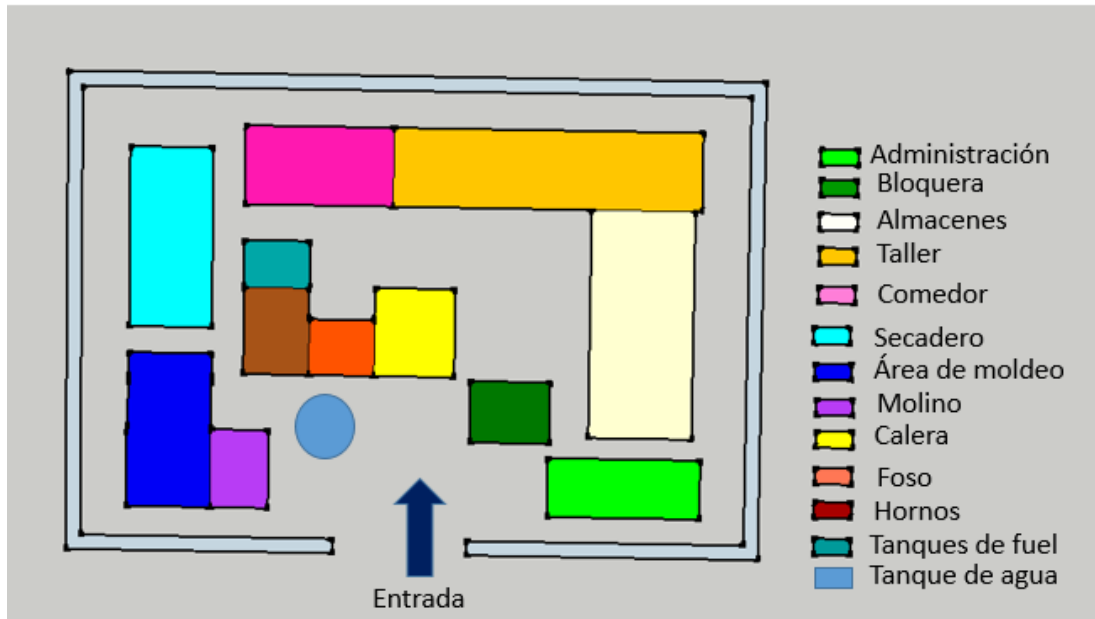


Fig. 6. Vista en planta de la ladrillera. Fuente: Elaboración propia

2.2.1 udio del proceso productivo de la fábrica

El presente trabajo se realizó en la ladrillera “El Tejar” que pertenece a la industria de materiales de construcción. Estas empresas producen: ladrillos, bloques, mosaicos, cal, viguetas y tabletas. El primer paso seguido para acometer el trabajo investigativo fue recopilar toda la información posible sobre el proceso productivo de la fábrica a través de la observación directa del mismo y mediante entrevista a los trabajadores y directivos de la industria. El proceso productivo consta de las siguientes partes:

2.2.2 Extracción de la materia prima

La materia prima (el material arcilloso) se transporta hacia la fábrica desde la cantera que se encuentra en “La Trinchera” a 11km de la fábrica y el material arenoso de “Nieves Morejón” a 7km. Es una práctica traer las materias primas y almacenarlas (al aire libre) para las operaciones que se realizan en varios días, asegurando así la producción continua de los productos, independientemente de las condiciones atmosféricas.



Fig.7 Almacenamiento de la arcilla. Fuente: Elaboración propia

2.2.3 Preparación de la pasta

-Trituración del material arcilloso.

Durante la etapa de trituración la materia prima pasa por una etapa de molienda: se muele el material arcilloso hasta un tamaño de partícula deseado. (Ver Fig.8)

- Mezclado.

En esta etapa es donde se logra la mezcla adecuada de agua y arcilla. La norma cubana NC 360: 2005. Ladrillos cerámicos de arcilla cocida. Requisitos; estipula que la humedad óptima que debe tener la materia prima durante el proceso de mezclado debe estar en un rango entre el 20 – 25%, pero en esta fábrica específicamente por las características y la tecnología del proceso de fabricación, no se controla dicha humedad, por lo cual la relación entre agua y arcilla se escoge basada en la experiencia de los trabajadores. (Ver la Figura 9)



Fig.8 Trituración y molienda de la arcilla Fuente: Elaboración propia



Fig.9 Mesclado de la arcilla Fuente: Elaboración propia

- Moldeado por extrusión.

En el proceso de extrusión, la arcilla se mezcla con suficiente agua para darle plasticidad. Después de un mezclado cuidadoso, el barro es llevado hasta una máquina que empuja el barro contra una boquilla que lo moldea en forma de ladrillos, y un operario los corta al tamaño deseado. En el anexo 3 se muestra el funcionamiento de la máquina.



Fig.10 Máquina de moldeado por extrusión Fuente: Elaboración propia



Fig.11 Boquilla de la máquina de moldeado Fuente: Elaboración propia

2.1.4- Dsecado

Antes de que comience el proceso de la quema, las piezas pasan por un proceso de secado bajo techo a temperatura ambiente dentro de la fábrica. El tiempo de secado varía entre 7 y 8 días, en dependencia de las condiciones climáticas. (Ver figura 12)



Fig.12 Posición de los ladrillos en las naves de secado Fuente: Elaboración propia

2.1.5-Cocción.

La fábrica posee un horno abovedado con capacidad para 13000 unidades por cámara, si se llenan las dos cámaras a la vez su capacidad total es de 26000 unidades que podrían quemarse al mismo tiempo 26000. El tiempo que requiere el horno para ser llenado es de dos a cuatro jornadas de trabajo dependiendo por supuesto de la capacidad que tiene cada uno en sus cámaras de cocción El plan mensual de producción de la fábrica es de 13 mil unidades.

El combustible utilizado en la cocción es el fuel oil (pesado) y el precalentamiento de los hornos se realiza con leña. Después de colocados los bloques cerámicos dentro del horno se comienza el precalentamiento durante 2 horas hasta una temperatura alrededor de 350°C a 400°C posteriormente se comienza a elevarla paulatinamente hasta alcanzar la temperatura de quema alrededor de 900°C a 950°C. En el caso de estos hornos no existe control de la temperatura de cocción y toda la operación se controla empíricamente.

La etapa que le sigue a la cocción es el enfriamiento del horno. El tiempo de enfriamiento del horno varía entre 3 – 5 días. La velocidad de enfriamiento tiene un efecto directo en el color del ladrillo y también en la tendencia de agrietarse, es por lo tanto sumamente importante. Cuando los ladrillos están ya fríos, se pasa al vaciado del horno para pasar a la etapa de almacenamiento del producto terminado y su posterior comercialización.



Fig.13 Precalentamiento del horno con leña Fuente: Elaboración propia

2.2 Análisis de la calidad de los ladrillos bajo estas condiciones.

De los ladrillos producidos en la última quema se selecciona una muestra, a la cual se le realizaron un grupo de ensayos de calidad para comprobar si bajo estas condiciones de producción los ladrillos cumplen con los parámetros establecidos en la correspondiente normativa cubana. Como la quema realizada no sobrepasó las 10000 unidades la muestra seleccionada fue de 6 ladrillos para resistencia y 3 para absorción, según lo establecido en la NC 359 -2005. (Ver tabla 2.1)

Tabla 2.1— Tamaño de la muestra

Lote (unidades)	Tamaño		
	Muestra (unidades)		
	Resistencia compresión	Absorción	Total
Hasta 10 000	6	3	9
Mayor 10 000	9	3	12

Fuente: NC 359 del 2005

2.2.1 sayo de Planicidad

Este ensayo se realiza con el objetivo de determinar las deformaciones presentes en las piezas que integran la muestra seleccionada. El procedimiento, según la NC 359 es el siguiente: se coloca la cara del producto que visualmente la presenta sobre una superficie lisa horizontal y se determina con la ayuda de un pie de rey, regla graduada o cinta métrica

la distancia máxima entre la superficie horizontal y la cara del ladrillo, siempre se medirá por la cara cóncava.

Los valores admisibles se recogen en la NC 360 del 2005 en la tabla 2.2.

Tabla 2.2

Longitud de la diagonal (cm)	Tolerancia (mm)	
	V	NV
$L > 30$	4	6
$30 \geq L > 25$	3	5
$L \leq 25$	2	3

Fuente: NC 360 del 2005

Los ladrillos que componen la muestra escogida, en general, cumplen con las especificaciones, aunque en algunos casos las deformaciones son muy grandes observándose alabeos a simple vista. Los resultados obtenidos se recogen en la tabla 2.3.

Tabla 2.3- Resultados del ensayo de planicidad.

Muestra	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	P-6
Valor(mm)	3	3	1	6	2	2

Fuente: Elaboración propia

2.2.2 Determinación de la absorción de agua

Este ensayo se realiza con el objetivo de determinar la capacidad de absorción de agua del ladrillo. El procedimiento a seguir según la NC 359:2005 es el siguiente: se introducen las muestras en una estufa a temperatura de 105 a 110°C, pesándolas pasadas 21 horas y luego a las 24, si la diferencia entre pesadas es menor de 0.1% se dan por desecados, en caso contrario se continúa desecando hasta obtener la diferencia deseada, el intervalo mínimo entre pesadas será de tres horas, siendo la última pesada el peso seco M1.

Después de enfriada a temperatura ambiente las, muestras se introducen de canto en un tanque, de forma que su inmersión completa se consiga en un tiempo mínimo de 3h. Se mantienen sumergidas durante 24 h, se saca del agua cada elemento, se le pasa un paño húmedo para eliminar la excesiva humedad y se pesa, volviéndose a introducir en el agua; se pesa cada 24 h con las mismas operaciones hasta que dos pesadas consecutivas no difieran en más de 0.1%, la última pesada es el peso después de la absorción M2

La absorción de cada muestra se calcula por la formula siguiente:

$$A = \frac{M2-M1}{M1} * 100\% \text{ donde:}$$

A: Absorción de agua del ladrillo, (%).

M1: Masa seca del ladrillo, (Kg.).

M2: Masa húmeda del ladrillo, (Kg.).

Los resultados del ensayo realizado a la muestra seleccionada de tres ladrillos, se recoge en la tabla 2.4, observandose que los valores cumplen con lo establecido.

Tabla 2.4- Resultado del ensayo de absorción

MUESTRA	MASA SECA	MASA HUMEDA	% ABSORCION
P-1	3,57	4,04	11,6
P-2	3,55	4	11,25
P-3	3,56	4,03	11,66

Fuente: Elaboración propia

2.2.3 Determinación de las dimensiones

El objetivo del ensayo es determinar las dimensiones de los elementos. Se efectúa la medición de cada elemento que constituye la muestra de ensayo y se determina el promedio de cada una de las dimensiones. Las mediciones se efectuarán según se establece en la Tabla 2 de la NC 359 del 2005. (Tabla 2.5)

Fig.14 Características de los ladrillos producidos en “El Tejar”

	Características	Unidad	Cantidad
	Dimensiones	cm	25x12x6.5
	Volumen	cm ³	1950
	Peso	Kg	3.56

Fuente: Elaboración propia

Tabla -2.5

Dimensión	Procedimiento Medición	Valor promedio Individual
Longitud	4 mediciones (l), una por el centro de cada cara	$l = \frac{\sum l_i}{4}$
Anchura	6 mediciones (hi), 3 puntos distribuidos uniformemente en la cara superior y 3 en la cara inferior	$h = \frac{\sum h_i}{6}$
Grosor	4 mediciones (ci) 2 puntos distribuidos en la cara inferior	$e = \frac{\sum e_i}{4}$

Fuente: NC 359 del 2005

La Norma Cubana establece que, para cada una de las dimensiones, las tolerancias admitidas son las recogidas en las tablas 2.6 y 2.7.

Tabla 2.6 -Tolerancia (mm) sobre la dispersión.

Dimensiones nominales (cm)	Tolerancia (mm)	
	V	NV
25 L > 10	5	6
L ≤ 10	3	4

Fuente: NC 360 del 2005

Tabla 2.7- Tolerancia sobre el valor nominal

Dimensiones nominales (cm)	Tolerancia (mm)	
	V	NV
25 ≥ L > 10	3	6
L ≤ 10	2	4

Fuente: NC 360 del 2005

Después de realizadas las mediciones pertinentes según se establece los resultados obtenidos se recogen en la tabla 2.8 para su posterior análisis en el próximo capítulo.

Tabla 2.8- Resultados del ensayo de dimensiones

	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	P-6
Longitud(cm)	26,35	25,8	25,25	26.27	26.17	26
Anchura(cm)	7,1	7,65	7,25	7,125	7,3	7,075
Grosor(cm)	12.56	12.31	12,65	12,51	12.26	12.43

Fuente: Elaboración propia

2.2.4 Determinación de la resistencia a compresión

Las muestras seleccionadas no pueden haber sido sometidas anteriormente al ensayo de absorción.

Se prepara mezcla de cemento P-350 y yeso lento en proporción 4:1 (cemento-yeso) añadiendo agua hasta que adquiera una consistencia pastosa capaz de asentar el elemento y no disgregarse bajo su peso.

Se colocan capas de nivelación con la mezcla preparada sobre la superficie de carga y apoyo con el fin de nivelar estas.

Para la aplicación de la capa de nivelación se vestirá la mezcla preparada sobre la superficie engrasada y se esparcirá con la espátula formando una capa uniforme, rápidamente se coloca el elemento sobre la capa, comprobándose su perpendicularidad con la base por medio del nivel de burbuja en porción vertical, acomodando con ligeros golpes aplicadas con el mango de la espátula hasta que quede bien asentado, retirándose el material sobrante por los lados una vez rematados éstos con un movimiento de la espátula entrante hacia arriba. El grosor de la capa será aproximadamente de 3 mm.

Se cuidará no dañar las capas de nivelación en las distintas manipulaciones del elemento, esperándose 24 h para efectuar el ensayo.

Al poner en contacto la cara superior del elemento con el plato superior de la máquina de ensayos a la compresión se hará suavemente sin que se produzcan impactos, garantizándose un buen contacto entre ambas superficies.

En el momento en que entre las superficies de la cara superior de la máquina y se alcance un buen contacto, se comienza a aplicar la carga a una velocidad de aproximadamente 80 N/s (800 kg/s) hasta la rotura.

Los valores obtenidos se recogen en la tabla 2.9

Tabla 2.9 Resultados del ensayo de resistencia a compresión.

Muestra	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	P-6
Resistencia (MPa)	5.1	5.4	5.2	5.3	5.2	5.2

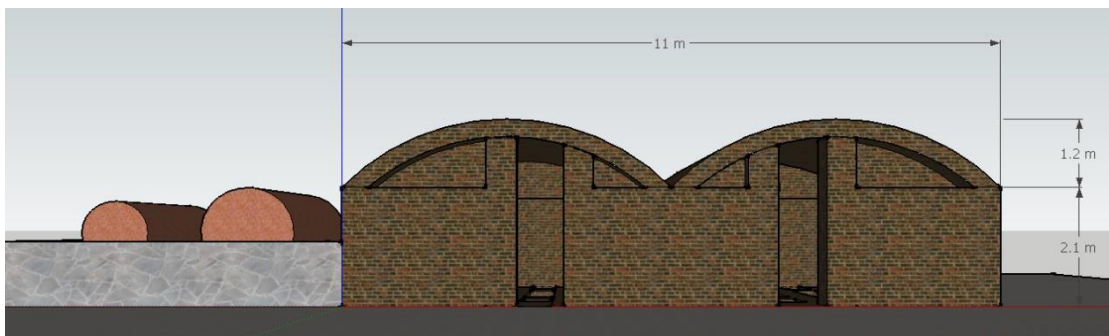
Fuente: Elaboración propia

2.3 Análisis técnico del horno

El estado técnico del horno en general no es bueno, ya que a simple vista se observan grietas por las cuales se escapa el humo y el calor, haciendo que se pierda eficiencia en el proceso, además de causar molestias a los habitantes. También se observaron derrames de combustibles en algunos puntos de la instalación. Este horno cuenta con 2 cámaras abovedadas con capacidad para 13000 ladrillos cada una, cuenta también con 2 tanques de combustible, 1 pre calentador, 2 quemadores, 1 ventilador acoplado a un motor eléctrico trifásico y 15 chimeneas cada bóveda ubicadas en tres hileras de a cinco. (Ver fig.15).

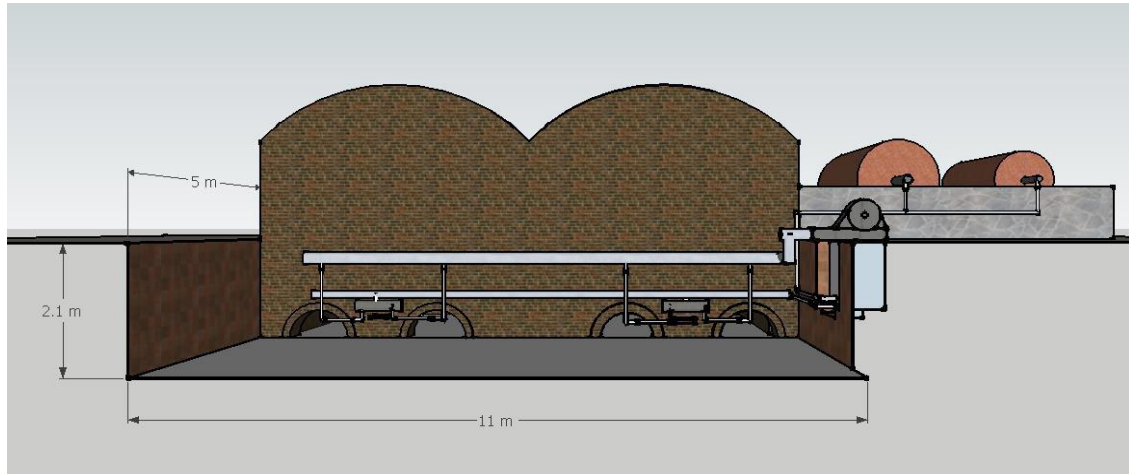
Estos hornos están contruidos con ladrillos macizos, las paredes alcanzan hasta 55 cm de espesor y el combustible usado para la cocción es el fuell oil.

Fig. 15. Vista frontal del horno



Fuente: Elaboración propia

Fig. 16. Vista posterior del horno



Fuente: Elaboración propia

Fig. 17 Estado constructivo del horno



Fuente: Elaboración propia

2.3.1 miento del horno

La estructura de este horno es de ladrillos macizos, el espesor de los muros es de 55cm, mientras que los arcos se construyeron con ladrillos refractarios importados. El combustible utilizado inicialmente en el precalentamiento es la leña, se comienza calentando el petróleo pesado para disminuir su viscosidad y también elevar la

temperatura en el hogar de fuego para disminuir un poco el gradiente térmico y mejorar la combustión del petróleo.

Dicho horno genera la energía necesaria mediante el empleo de un quemador fabricado con medios propios de la entidad con un diseño dado por la experiencia acumulada por los productores, el combustible es precalentado con leña y conducido por tuberías hasta la parte inferior o cenicero del horno donde a su vez es impulsado por el aire que produce un ventilador acoplado a un motor eléctrico trifásico (ver figura 18). La temperatura de este horno se controla de forma empírica ya que el mismo no cuenta con ningún dispositivo mediante el cual se puedan obtener lecturas de temperatura. El tiempo aproximado en que se realiza una quema completa es de 20 a 25 horas.

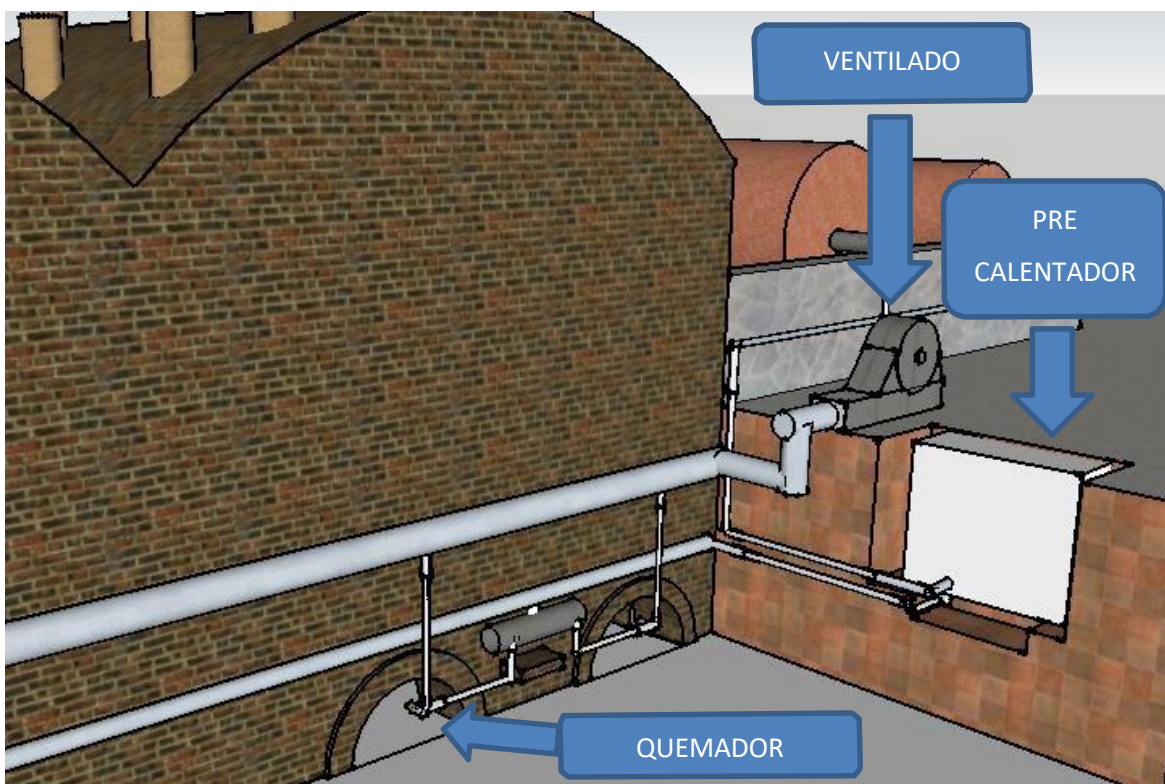


Fig.18. Parte posterior del horno Fuente: Elaboración propia

2.3.2 Análisis del combustible

El combustible usado en la ladrillera durante la etapa de cocción del proceso productivo es el fuel oil, igualmente conocido como petróleo pesado cubano, también llamado fuelóleo o combustóleo en España y otros países hispano parlantes es una fracción del petróleo que se obtiene como residuo en la destilación fraccionada. Es el combustible más pesado de los que se pueden destilar a presión atmosférica. Está compuesto por moléculas con más de 20 átomos de carbono, y su color es negro. El fuel oil se usa como combustible para plantas de energía eléctrica, calderas y hornos.

El combustible que se usa en la ladrillera proviene de la refinería “Sergio Soto” de Cabaiguán ubicada a escasos 800 m de la ladrillera. Cuando se realiza la compra del combustible la refinería entrega un certificado donde se recogen todas sus propiedades las cuales deben cumplir con los requisitos pre establecidos en las correspondientes normativas ramales, en la tabla 2.10 se reflejan los valores de los diferentes parámetros controlados al combustible.

2.3.3 Determinación de la eficiencia del proceso.

El consumo específico de energía para la tecnología simple y media de fabricación de ladrillos está en el rango de 2,3 a 8.0 MJ / Kg (L.I.Machado, Agosto 2011). En la tabla 2.11 se muestra el cálculo del consumo de energía necesario para la quema con fuel oil en el horno artesanal en estudio, los cálculos están realizados considerando 4.3 Kg. el peso promedio de los ladrillos verdes justo antes de entrar al horno y de 3.56 Kg. el peso promedio de los ladrillos quemados. en los cálculos tabulados se observa un consumo específico de 11.6 MJ / Kg.

Tabla 2.10- Certificado de calidad del petróleo pesado

No.	INDICE	UM	LIMITES		RESULTADO
1	Visc. 50 °C	mm ² /s	400-651		40
2	Pto. Inflamación CC	°C	63 mín		97
3	Cenizas	% m/m	0,10 máx		0,04
4	Sed. X Extracción	% m/m	0,10 máx		0,01
5	Azufre Total	% m/m	3,5 máx		1,6
6	Temp. De Fluidéz	°C	17 máx		12
7	Carbón Conradson		15,0 máx		9,85
8	Densidad 15°C	g/cm ³	0,9959 máx		0,9627
9	Agua X Destilación	% v/v	1,5 máx		0,2
10	Vanadio	ppm	Bajo Vanadio	Alto Vanadio	148
11	Asfaltenos	% m/m	10 máx		6,7
12	Aluminio + Silicio	ppm	80 máx		9,8
13	Sodio	ppm	40 máx	60 máx	8,6
14	Gravedad a 150°C	° API	10,5 mín		15,4
15	Valor calórico Neto	Kcal/Kg	9500 mín		9757
16	Razón Sodio /Vanadio		0,33 máx		0,06

Fuente: Empresa refinería de petróleo Sergio Soto

La energía mínima necesaria para lograr la sinterización de los ladrillos tiene tres componentes: Primeramente al introducir el ladrillo en el horno el calor necesario para elevar la temperatura del agua contenida en el ladrillo verde hasta la temperatura de

evaporación; seguidamente el calor necesario para convertir el líquido saturado en vapor saturado y finalmente el calor que se precisa para elevar la temperatura del ladrillo hasta la temperatura de sinterización donde ocurren los cambios que definitivamente lo convierten en el material de construcción conocido como ladrillo rojo cocido.

El cálculo teórico del consumo de energía necesario para la transformación de la arcilla no depende directamente de las condiciones de fabricación de los ladrillos (tipo de horno, calidad del combustible, estado del tiempo, etc.) y permite estimar la relación entre el valor del consumo real con respecto al consumo teórico necesario para la sinterización de los ladrillos, la eficiencia energética del horno es del 30% calculado por el método directo según los resultados tabulados.

Tabla 2.11 Eficiencia del proceso de quema de ladrillos en horno artesanal.

Evaluación de una quema	PETROLEO CABAIGUAN	
Variables	Valor	U/M
Cantidad de ladrillos por quema	13000	Uno
Masa de un ladrillo sin cocer	4.3	kg
Masa de ladrillos sin cocer por quema	55900	kg
Energía total consumida por quema	150656	MJ
Energía total consumida/ladrillo	2.7	MJ/kg
Energía teórica requerida/ladrillo	0.81	MJ/kg
Energía mínima / ladrillo	3.48	MJ/Uno
Energía real consumida / ladrillo	11.59	MJ/Uno
Energía mínima requerida / quema	45279	MJ/quema
Efic. energ. del horno método directo.	30.1	%
Pérdidas	69.95	%
Valor nominal de las perdidas	105377	MJ

Fuente: Elaboración propia

2.4 Resultado del monitoreo de la quema

Resulta conveniente evaluar el nivel de riesgo para las comunidades y núcleos de población cercanos a la zona de estudio, ante los potenciales impactos locales producidos por la industria artesanal de los ladrillos.

El principal problema que se genera en este caso son las emisiones gaseosas producto de la combustión incompleta y las emisiones de partículas, se trata de lograr las mejores condiciones posibles para una adecuada combustión, de modo que se minimice el impacto ambiental, dado por la emisión de gases contaminantes responsables del calentamiento global del planeta (CO_2) y de la lluvia ácida (SO_2), (NO_x).

En este epígrafe se reporta el estudio de las emisiones que tiene lugar en los hornos tradicionales artesanales donde se obtienen los ladrillos, para esto se ha instrumentado el horno adaptándole los dispositivos que permiten realizar la evaluación del proceso. Las mediciones se realizaron con una periodicidad aproximada de 30 minutos a partir del encendido inicial del horno.

Para la medición y evaluación de la concentración de las emisiones contaminantes del aire en el horno se utilizó el método conocido como Sistema Automático de Medida (SAM) para lo cual se utilizó el instrumento analizador de gases I-br-ECOM-SG, para las mediciones de CO_2 , O_2 , CO , NO_x y SO_2 en el horno ladrillero discontinuo de la localidad.

Para la realización de las tomas de muestras la sonda del instrumento se ubicó convenientemente en la zona superior del horno con acceso directamente al flujo de gases del horno como se muestra en la figura 19, en la tabla 2.12 se muestran los resultados de algunas de las mediciones realizadas durante la quema del combustible empleado, sin embargo, al parecer debido a las condiciones de la quema (ver en la figura 21, el excesivo volumen de humo negro generado) el equipo dejó de funcionar por lo que el método de las mediciones no podrá ser aplicado siendo necesario mayor concentración en los cálculos y estimaciones.

Tabla 2.12 Chequeo de las emisiones

Parámetros	M-1(10:00)	M-2(10:20)	M-3(10:35)	M-4(11:40)	M-5(12:00)
O ₂	0,158	0,205	0,193	0,204	0,177
CO	0 ppm	11 ppm	0 ppm	21 ppm	29 ppm
NO	26 ppm	0 ppm	0 ppm	0 ppm	0 ppm
NO ₂	0 ppm	0 ppm	0 ppm	0 ppm	0 ppm

NOX	16 ppm	0 ppm	0 ppm	0 ppm	0 ppm
SO2	4 ppm	2 ppm	2 ppm	1,2 ppm	7 ppm
Tgas	27,0°C	42,0°C	46,0°C	36,0°C	37,0°C
Troom	25°C	27°C	32°C	33°C	37°C
CO2	0,029	0,005	0,014	0,012	0,009
Lambda	5,53	35	11,05	13,13	12,05
Eff	0,98	0,808	0,936	0,979	0,991
Losses	0,02	0,142	0,064	0,021	0,009

Fuente: Elaboración propia



Fig. 19 Colocación del equipo de medición Fuente: Elaboración propia



Fig. 20 RBR - ECOM - SG PLUS Fuente: Elaboración propia

2.5 Descripción de los factores contaminantes del medio presentes en el proceso productivo

La industria ladrillera es una potencial contaminadora del medio ambiente, en este epígrafe se exponen algunos de los factores críticos identificados durante el proceso productivo en el área de estudio, así como algunas de las quejas planteadas por la población residente en las cercanías de la entidad. A raíz de los planteamientos realizados durante el último proceso de rendición de cuentas, relacionados con un grupo de afectaciones presentes en “El Tejar” las cuales inciden de manera negativa en el medio afectando a la comunidad de vecinos, en consecuencia, el gobierno municipal ha aplicado un plan de medidas entre las que se encontraba el cierre temporal de la actividad ladrillera.

Durante las diferentes etapas del proceso productivo se identificaron algunos factores contaminantes. Por ejemplo, la etapa de molienda se realiza en un área abierta del combinado no existiendo ningún apantallamiento constructivo para minimizar las afectaciones por ruido y o polvo.

Otra deficiencia encontrada son los derrames de combustible provenientes de los salideros los cuales penetran en el manto freático amenazando con contaminar las aguas. Se observó a si mismo que no se tiene un plan de manejo de los desechos sólidos, es decir, que no se tiene definido qué hacer con los desechos y piezas defectuosas. En algunos casos estos desechos van a parar a la franja hidrorreguladora de la cañada provocando en algunos casos el arrastre de los desechos por las aguas pluviales.

Los derrames de agua proveniente del área donde se procesa la arcilla también son frecuentes. La afectación más crítica y la que mayor cantidad de quejas genera es la que produce el humo negro de las quemas.

Durante la quema realizada se destacan algunos factores que influyen en estos problemas. Entre las deficiencias observadas, se encuentra en primer lugar las condiciones técnicas del horno, ya que a simple vista se observan grietas en su estructura por las cuales se escapa el humo y el calor haciendo que se pierda eficiencia en el proceso. Otro factor que influye es el mal o insuficiente sellado del horno a la hora de la quema, ya que es por la puerta por donde sale el mayor volumen de humo (Ver fig. 21).



Fig. 21. Salida de gases por la puerta del horno Fuente: Elaboración propia

El horno cuenta con 15 pequeñas chimeneas para cada cámara, pero muchas están rotas y en general son muy bajas (Ver fig. 22), lo que provoca que el humo incida directamente en la población. Al parecer el humo proveniente de la quema con fuel contiene un gran porcentaje de partículas en suspensión las cuales pueden ser perjudiciales para la salud (ver tabla 2.13), el humo negro puede estar provocado por inadecuadas condiciones de combustión con las consecuentes partículas en suspensión.



Fig. 22. Estado de las chimeneas Fuente: Elaboración propia

Tabla 2.13 Material particulado

Definición:	Cualquier material sólido o líquido dividido finamente, diferente al agua no combinada, según medición por los métodos federales de referencia (Ministerio de ambiente, 2010)
Fuentes:	Hornos, trituradoras, molinos, afiladores, estufas, calcinadores, calderas, incineradores, cintas transportadoras, acabados textiles, mezcladores y tolvas, cubilotes, equipo procesador, cabinas de aspersión, digestores, incendios forestales
Efectos:	Efectos en la respiración y el sistema respiratorio, agravamiento de afecciones respiratorias y cardiovasculares ya existentes, daños en el tejido pulmonar, carcinogénesis y mortalidad prematura.

Fuente: (Ministerio de ambiente, 2010)

2.5.1 ventario de emisiones.

La metodología IPCC 2007 ha sido desarrollada por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), este método detalla los factores de caracterización de cambio climático del IPCC para intervalos de tiempo de 20, 50 y 100 años, permitiendo calcular los impactos generados por las emisiones de gases de efecto invernadero de los ciclos de vida estudiados (C. Márquez, 2011).

Tabla 2.13 Factores de emisión del IPCC

Combustible	Factores de emisión del IPCC		
	CO ₂ (Ton/TJ)	CH ₄ (Kg/TJ)	N ₂ O (Kg/TJ)
Wood/Waste Wood	109.63	30.00	4.00
Waste oil	109.63	30.00	4.00
Charcoal/Waste	109.63	30.00	4.00

Fuente: IPCC 1996

La metodología del IPCC caracteriza las emisiones de acuerdo a su potencial de calentamiento global, a través de la valorización de los gases de efecto invernadero dentro de los cuales podemos mencionar al dióxido de carbono, metano, óxidos de nitrógeno, clorofluorocarbonos, entre otros. El potencial es evaluado en términos de CO₂-eq de modo que la emisión de 1 kg de algún gas de efecto invernadero en particular es expresado como la emisión de 1 kg de dióxido de carbono equivalente mediante factores de conversión establecidos.

El combustible utilizado en el proceso de cocción es el petróleo crudo cubano. El factor de emisión establecido para el petróleo crudo cubano es de 3,28 kg. de CO₂ por kg. de combustible consumido (Anon., 2017). El índice de consumo de crudo cubano estimado en las condiciones del horno en la entidad en estudio para producir 13000 unidades es de alrededor de: 3765 kg. de crudo, lo que supone un índice de consumo de 3.45 kg de crudo / ladrillo. Entonces, para producir una quema de 13000 ladrillos que es la capacidad de cada cámara del horno instalado en la entidad en estudio, y por la quema del crudo, se emite: 12350 kg. de CO₂/quema.

De igual modo el crudo cubano tiene un factor de emisión de 0.0084kg.NO_x/kg. crudo debido a la combustión (Anon., 2017), Por tanto se emite a la atmosfera por la quema del crudo 31.6 kg de NO_x. /quema, de igual manera se establece que el factor de emisión de CH₄ es de 0.25 Kg CH₄/Kg de combustible quemado (Anon., 2017), ver resumen en tabla 2.14.

Tabla 2.14: Cálculo de las emisiones de GEI

Escenario	Ladrillos/ quema	Producción (Ton/año)	CO ₂ (Ton/año)	NO _x (Ton/año)	CH ₄ (Ton/año)
FE – Cuba- Fuel-oil	13000	462.8	123.5	0.316	9.42

GEI	Equivalencia CO ₂ -eq	Emisiones (Ton/año)	CO ₂ -eq
CO ₂	1	123.5	123.5
CH ₄	21	9.42	197.82
NO _x	310	0.316	97.95
Total CO ₂ -eq			418.57

2.6 Ficha de costo de los ladrillos.

La Empresa Provincial Productora de Materiales de Construcción produce continuamente Ladrillos Huecos a partir de yacimientos concesionados en varias partes de la provincia, es por este documento por el cual se establece el costo de producción y precio de venta de los ladrillos. Los gastos se recogen en la tabla 2.15.

Para la elaboración de la ficha de costo de los ladrillos huecos del combinado, se toman en cuenta todos los gastos, comenzando por las materias primas y materiales fundamentales, los salarios de los trabajadores, las vacaciones, ropa, calzado, combustible etc.

Este análisis se realiza con el fin de conocer de una manera lo más exacta posible los gastos que son necesarios para la producción de los ladrillos, facilitando así el análisis de la factibilidad económica de su producción. Cabe señalar que como resultado de este estudio se llegó a la conclusión de que la fabricación y comercialización de este surtido brindará beneficios económicos ascendentes a 300 000 pesos por cada año con incidencia favorable directa en los consumidores pues se oferta a bajo precio. En el anexo 1 se muestra la ficha de costo de los ladrillos huecos para el caso específico de Cabaiguàn.

Lo anteriormente dicho tiene una repercusión favorable en el desarrollo del habitat de Cabaiguàn, ya que la producción de ladrillos a nivel local y a un precio asequible es muy importante para el desarrollo de construcciones, ya sean de viviendas u obras sociales.

2.7 Conclusiones parciales del capítulo.

- El proceso de cocción de los ladrillos resulta altamente ineficiente en relación con el diseño del horno, el deficiente mantenimiento, así como el descontrol de los parámetros de trabajo y de las materias primas.
- La determinación de la eficiencia del horno por el método directo, sobre la base del consumo de combustible, arroja un valor del 30 %, lo que representa en relación con procesos industriales y/o artesanales un muy bajo aprovechamiento.
- El control del consumo de combustible por quema, permite, a partir de los factores de emisión, calcular el volumen de emisiones producidos por la instalación, demostrando en este sentido la responsabilidad de los productores con el alto nivel de emisión de CO₂ en la región en el entorno de 125 Ton/año.
- El análisis del ciclo de vida (ACV) resulta una adecuada herramienta para la realización de estudios ambientales evaluando de forma objetiva la influencia de los factores de mayor incidencia.

CAPITULO 3: Análisis de los resultados.

3.1 Análisis de los resultados de los ensayos realizados a los ladrillos

Los ladrillos extraídos del horno fueron sometidos a ensayos de calidad: Resistencia a la compresión, absorción, dimensiones y planicidad. A continuación, se muestran dichos resultados, los cálculos realizados para llegar a estos resultados y el análisis correspondiente.

3.1.1 Ensayo de planicidad

La muestra seleccionada fue ensayada de acuerdo a lo establecido en la NC 359: 2005 y NC 360: 2005, los resultados obtenidos fueron recogidos en la tabla 3.1 y comparados con los valores que en ellas se establece.

Se colocaron los ladrillos en una superficie plana (en este caso, un vidrio), y se procedió a realizar la medición de la mayor distancia entre la superficie y el ladrillo.

Tabla 3.1- Resultados del ensayo de planicidad.

Muestra	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	P-6
Valor(mm)	3	3	1	6	2	2

Fuente: Elaboración propia

Si se comparan estos valores con los establecidos en la norma, se puede apreciar que del total de muestras ensayadas 5 cumplen con los requisitos establecidos, en el caso de una de las muestras sobrepasa el valor en las que las deformaciones son permisibles, esto puede estar relacionado con las características iniciales de las materias primas y el proceso en general, más adelante, se realiza el análisis de todos los resultados de los ensayos de forma global.

Tabla 3.2



Longitud de la diagonal (cm)	Tolerancia (mm)	
	V	NV
$L > 30$	4	6
$30 \geq L > 25$	3	5
$L \leq 25$	2	3

Fuente: NC 360: 2005

3.1.2 Ensayo de absorción

Después de someter los ladrillos a los ensayos, y comparar los valores con los establecidos en la NC 360: 2005 en la cual se establece que el valor medio de la absorción que deberá estar entre 8 % y 18 %. Los valores obtenidos se recogen en la tabla 3.3.

Tabla 3.3- Resultado del ensayo de absorción

MUESTRA	MASA SECA	MASA HUMEDA	% ABSORCION
P-1	3,57	4,04	11,6
P-2	3,55	4	11,25
P-3	3,56	4,03	11,66

Fuente: Elaboración propia

Los resultados del ensayo demuestran que se encuentran dentro del rango establecido Por lo que los ladrillos tienen una respuesta satisfactoria ante la adsorción.

3.1.3 Ensayo de dimensiones.

Para la determinación de las dimensiones se siguieron los pasos que establece la NC 359 :2005. Se realizaron mediciones a una muestra de 6 ladrillos, los resultados se

promediaron dando un valor promedio de cada una de ellas, para facilitar su análisis. Estos resultados se recogen en la tabla 3.4.

Tabla 3.4- resultados del ensayo de dimensiones

	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	P-6
Longitud(cm)	26,35	25,8	25,25	26.27	26.17	26
Anchura(cm)	7,1	7,65	7,25	7,125	7,3	7,075
Grosor(cm)	12.56	12.31	12,65	12,51	12.26	12.43

Fuente: Elaboración propia

El análisis de los resultados muestra que las dimensiones de los ladrillos no cumplen con lo establecido en la norma, las dimensiones de los ladrillos producidos por la empresa deben ser de 25x12x6.5 cm, sin embargo, se observa que los valores nominales de cada dimensión exceden los rangos que para ellos son admisibles, esto puede estar relacionado con el desgaste de la maquinaria, las escasas acciones de mantenimiento y dificultades en el proceso.

Tabla 3.5 — Tolerancia sobre el valor nominal



Dimensiones nominales (cm)	Tolerancia (mm)	
	V	NV
$25 \geq L > 10$	3	6
$L \leq 10$	2	4

Fuente: NC 360: 2005

Tabla 3.6 — Tolerancia (mm) sobre la dispersión



Dimensiones nominales (cm)	Tolerancia (mm)	
	V	NV
$25 L > 10$	5	6
$L \leq 10$	3	4

Fuente: NC 360: 2005

3.1.4 Ensayo de resistencia a compresión.

La NC 360: 2005 establece que el valor característico no será inferior a 10,0 MPa para los ladrillos macizos y perforados, ni a 5,0 MPa para los ladrillos huecos que se utilicen en muros de cargas. En este caso se trata de la producción de ladrillos huecos, por lo tanto, en la tabla 3.7 se muestran los resultados de los ensayos realizados a cada muestra, se observa que la muestra cumple lo establecido en la NC para la resistencia a compresión.

Tabla 3.7 Resultados del ensayo de resistencia a compresión.

Muestra	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	P-6
Resistencia (MPa)	5.1	5.4	5.2	5.3	5.2	5.2

Fuente: Elaboración propia



Fig. 23 Colocación de los ladrillos en la prensa

Cálculos

La resistencia a la compresión de cada elemento se calcula por la fórmula siguiente:

$$Ri' = \frac{Fi}{Ai} * f \text{ (MPa)}$$

donde:

Fi = Carga de rotura del elemento (kgf)

Ai = Área de la cara del ladrillo expuesta a la carga cm²

Ri' = Resistencia a la compresión de cada elemento MPa

f = factor de conversión de kgf/cm² a MPa

NOTA Si la máquina de ensayos a la compresión indicara la carga Fi en N entonces:

$$Ri' = \frac{Fi * 100}{ai} \text{ (MPa)} \quad ai = (MPa)$$

La aproximación será hasta las décimas.

3.2 Análisis de la calidad de los ladrillos.

Si se analizan los resultados anteriores, se puede concluir que, en general, los ladrillos producido en la ladrillera 'El Tejar' cumplen con los parámetros que para ellos se establece en la NC en cuanto a absorción y resistencia a compresión, sin embargo, se han encontrado defectos en algunos de sus atributos. La NC 360 :2005 establece que en una muestra de seis (6) elementos se deberá cumplir que el número de piezas desconchadas no será superior a 1 y que ningún desconchado en las caras no perforadas tendrá individualmente una dimensión media superior a 15 mm, sin embargo, en la muestra analizada se encuentran al menos dos ladrillos con desconchados en sus caras superiores al límite normalizado, esto puede ser causa de un inadecuado proceso o régimen térmico de cocción.

Otro aspecto observado es la presencia de fisuras, lo cual aparece con frecuencia en gran cantidad de piezas, esto pudiera deberse a una serie de factores, por ejemplo, la composición de las materias primas, la temperatura del horno o la dosificación agua-arcilla, las mejores arcillas para fabricar las unidades son las impuras, con alrededor de 33% de arena y limo, pues éstos reducen las contracciones y agrietamientos al momento del secado y quemado (Colán, setiembre 2013). al parecer y dado los resultados de los controles realizados la mezcla de suelo arcilloso puede no reunir todos los requisitos necesarios para garantizar en el proceso de este establecimiento la máxima calidad.

Es de señalar que la operación de mezclado del agua con la arcilla tiene más importancia de lo que en general se supone, ya que incluye, por una parte, el concepto de dosificación y, por otra, el concepto de adecuada distribución del agua en la masa arcillosa. La adición

del agua a la arcilla no es —por supuesto— una operación tan sencilla como echar agua en un vaso vacío. La experiencia ganada en una fábrica durante las operaciones de moldeo y secado, aconseja que la masa deba tener un determinado grado de humedad para ser moldeada. Ahora bien, la arcilla que viene de la cantera no está seca, y el grado de humedad que contiene varía de unos días a otros según las cambiantes condiciones meteorológicas y según se hayan realizado las operaciones de extracción, transporte y almacenaje. La cantidad de agua a añadir para alcanzar el grado de humedad deseado depende del contenido de humedad que inicialmente posee la arcilla, en este sentido en el taller no existe en la actualidad personal con la suficiente experiencia para determinar de forma segura el contenido de agua, por lo que la operación se realiza prácticamente a tientas.

El alabeo es un problema frecuente en algunas piezas, esto pudiera deberse fundamentalmente a la etapa de secado, pues es difícil encontrar dos arcillas con las mismas propiedades y que absorban la misma cantidad de agua, es precisamente de estas propiedades de las cuales depende el modo de secado. La contracción experimentada por el ladrillo durante el secado y la cocción se llama contracción total y no debe exceder de un 12% para evitar dificultades en la fabricación de los ladrillos (Morales, Noviembre, 2005). Debe tenerse en cuenta que, las unidades de arcilla al momento de secarse se contraerán (4 a 16% en volumen). Dado que es difícil evaluar de antemano la contracción de las arcillas, este hecho explica las variaciones dimensionales que se encuentran en las unidades de arcilla (Colán, setiembre 2013). El efecto del alabeo es semejante al de la variación dimensional, puesto que el mayor alabeo – concavidad o convexidad – del ladrillo conduce a un mayor espesor de la junta. Asimismo, puede disminuir la adherencia con el mortero al formarse vacíos en las zonas horizontales alabeadas, afectando directamente la resistencia y la fuerza cortante del muro de albañilería o incluso, puede producir fallas de tracción por flexión en la unidad.



Fig. 24 Defectos en los ladrillos.

Otras deficiencias encontradas fueron la presencia de exfoliaciones, los desconchados y en algunos casos la presencia de caliche como se muestra en la figura 24.

3.3 Impactos ambientales generados por la ladrillera El Tejar y propuestas de soluciones para su mitigación.

A partir del análisis realizado al proceso productivo de la empresa, fue posible identificar y valorar los impactos ambientales negativos que esta genera en cada una de las etapas del proceso productivo, basándose en la observación del mismo, así como la entrevista a trabajadores y directivos de la empresa y los vecinos que viven cerca de ella.

3.3.1 Etapa de molienda.

En esta etapa es donde se procesa la materia prima para conseguir el tamaño de partículas deseado, en esta empresa dicha operación se realiza al aire libre, cerca de las viviendas

circundantes, por lo que son frecuentes las molestias producto del ruido y el polvo. No se ha implementado ningún apantallamiento constructivo que pueda servir para minimizar dichas molestias. Además, los derrames de agua provenientes de los salideros en las tuberías también afectan la comunidad, pues dichos salideros en ocasiones alcanzan tal magnitud que crean cañadas en plena calle.

Una solución viable sería la construcción de alguna estructura que aíse los ruidos y el polvo, solución sencilla y poco costosa con lo cual se evita que polvos y ruidos sean un problema ambiental para la comunidad. También es oportuno un mantenimiento de todo el sistema de abasto de agua en la entidad para evitar las molestias por salideros.

3.3.2 Etapa de moldeado.

En esta etapa no se encontraron deficiencias que puedan afectar el entorno de manera significativa, solo podría citarse el ruido de la máquina de moldeado por extrusión el cual produce un sonido algo molesto para los vecinos más cercanos a la entidad, también podría considerarse como parte del inventario de emisiones las provocadas por el consumo de energía eléctrica del motor que acciona la maquinaria, sin embargo, dado que relativamente son valores muy pequeños se decide no calcularlos ni estimarlos.

3.3.4 Etapa de cocción.

Es en esta etapa donde se concentra las mayores deficiencias, empezando por los derrames de combustible presentes en varios puntos de la instalación las cuales pueden filtrarse al manto freático y contaminar las aguas.

Sin lugar a dudas el principal daño que produce la empresa y que mayormente percibe la comunidad es el que ocasiona el humo proveniente de las quemaduras. Primeramente, la etapa de precalentamiento libera un volumen de humo considerable, en esta etapa sin embargo se trabaja fundamentalmente con leña, pero para acelerar el proceso se derrama petróleo crudo sobre la leña con la consiguiente humareda y daño ambiental, esta práctica ha sido criticada por expertos del CITMA y por las autoridades locales. Sin embargo, cuando se sobrepasa la etapa de precalentamiento y se abren los quemadores de petróleo a plena capacidad comienza el verdadero y gran problema, pues los volúmenes de humo que se producen apenas permiten a los operarios realizar su trabajo y resulta evidente la afectación a la vecindad circundante. Estos gases contienen una gran cantidad de partículas en suspensión las cuales pueden traer consecuencias a la salud humana, aunque en este trabajo, por su alcance, no se presenten evidencias al respecto.

El mal estado técnico del horno, con grietas en muchas partes de sus paredes y techo, por las cuales se escapa el humo y el calor haciendo que se pierda eficiencia en el proceso productivo, puede ser la principal causa del daño ambiental. Esto podría resolverse con un mantenimiento constructivo al horno. Otro factor que influye es el sellado del horno, pues por la puerta de carga y descarga escapan grandes concentraciones de humo, una solución prevista en todas las instalaciones de este tipo, podría ser utilizar una capa de arcilla por encima de los ladrillos para garantizar el sellado y así se evitaría la pérdida de calor y los escapes de gases.

Las malas condiciones técnicas de las chimeneas también influyen en la ineficiencia del horno y su gran consumo de combustible y las largas jornadas de quema necesarias para completar la fabricación de los ladrillos, es de señalar además que los quemadores de combustible son fabricados por los trabajadores del establecimiento sin un proyecto técnico bien fundamentado que garantice una adecuada eficiencia.

Las cámaras de cocción del horno cuentan con 15 pequeñas chimeneas distribuidas por toda la bóveda superior en cinco filas de a tres chimeneas cada una, pero su deterioro y posiblemente su insuficiente diseño le impiden cumplir a cabalidad con su función, pues muchas están en mal estado y son muy bajas liberando los gases a baja altura lo que hace que incidan directamente en la población, este problema pudiera ser resuelto con un nuevo proyecto técnico que considere la evacuación del humo a través de una chimenea de mucho más caudal y altura.

Otra solución sería la implementación de resistencias eléctricas en el pre calentador lo que contribuiría positivamente a la mitigación de los gases provenientes de su calentamiento previo, además podría mejorar sensiblemente la eficiencia de la combustión disminuyendo las emisiones de productos de una combustión ineficiente. En este sentido aumentar la temperatura de cocción, siempre y cuando no afecte la calidad de los ladrillos pudiera ser una solución al problema de las emisiones, al mejorar la ineficiente combustión del fuel. También un estudio para sustituir totalmente o en parte el combustible actualmente en uso por otro con un factor de emisión de contaminantes menor, puede ser una solución desde el punto de vista ambiental. Un adecuado mantenimiento del sistema de quema, incluyendo la falta de hermeticidad en las tuberías, verificar el caudal de aire suministrado por el ventilador, el pre calentador y los quemadores, logrando una mezcla correcta fuel – aire, son algunas de las medidas al alcance de la entidad que pueden disminuir el daño ambiental que causa mejorando su entorno.

La introducción del carbonato de calcio como fundente, se ha demostrado en trabajos investigativos precedentes (García, 2010) puede mejorar la eficiencia ya que su utilización

como aditivo disminuye la temperatura de sinterización de los ladrillos y con ello el tiempo de cocción, en este sentido el carbonato de calcio, que reacciona como un fundente, acelera los procesos que ocurren en la cocción del bloque de arcilla, por lo tanto, al ser más corto el tiempo de quema también será menor la emisión de gases.

3.3.5 Tratamiento de residuos sólidos.

Después de cada quema se desechan las piezas defectuosas, así como las que se dañan en el proceso de descarga del horno. Para estos residuos en la actualidad no existe un plan de manejo definido por lo que muchas veces van a parar a la franja hidrorreguladora de la cañada llegando a obstruirla producto del arrastre de las aguas en la época de lluvia. Una solución pudiera ser elaborar un plan de manejo de recursos sólidos para así darle algún destino a estos, por ejemplo, pudieran reciclarse para la elaboración de LC3, ya que según estudios realizados es posible considerar que los materiales cerámicos provenientes de procesos térmicos donde la temperatura promedio máxima es inferior a los 900 °C pueden resultar adecuados para su uso en la producción local de LC3 (Dr. L.I. Machado, Abril, 2017).

3.3.6 Ubicación geográfica de la ladrillera.

Al realizar el análisis de la ubicación geográfica de la ladrillera, podemos observar que se encuentra en las afueras de la ciudad de Cabaiguán, en la zona industrial donde también se encuentra la Refinería Sergio Soto de la cual obtiene el combustible.

Según datos del Instituto de Meteorología Provincial de Sancti Spíritus (ver tabla 3.7), los vientos preponderantes en el municipio Cabaiguán van en dirección NW y NNW por lo que en muchos casos el arrastre del humo por el viento lo envía directamente sobre el área de viviendas de la comunidad.



Fig.25 Dirección de los vientos en “El Tejar”. Fuente: Elaboración propia.

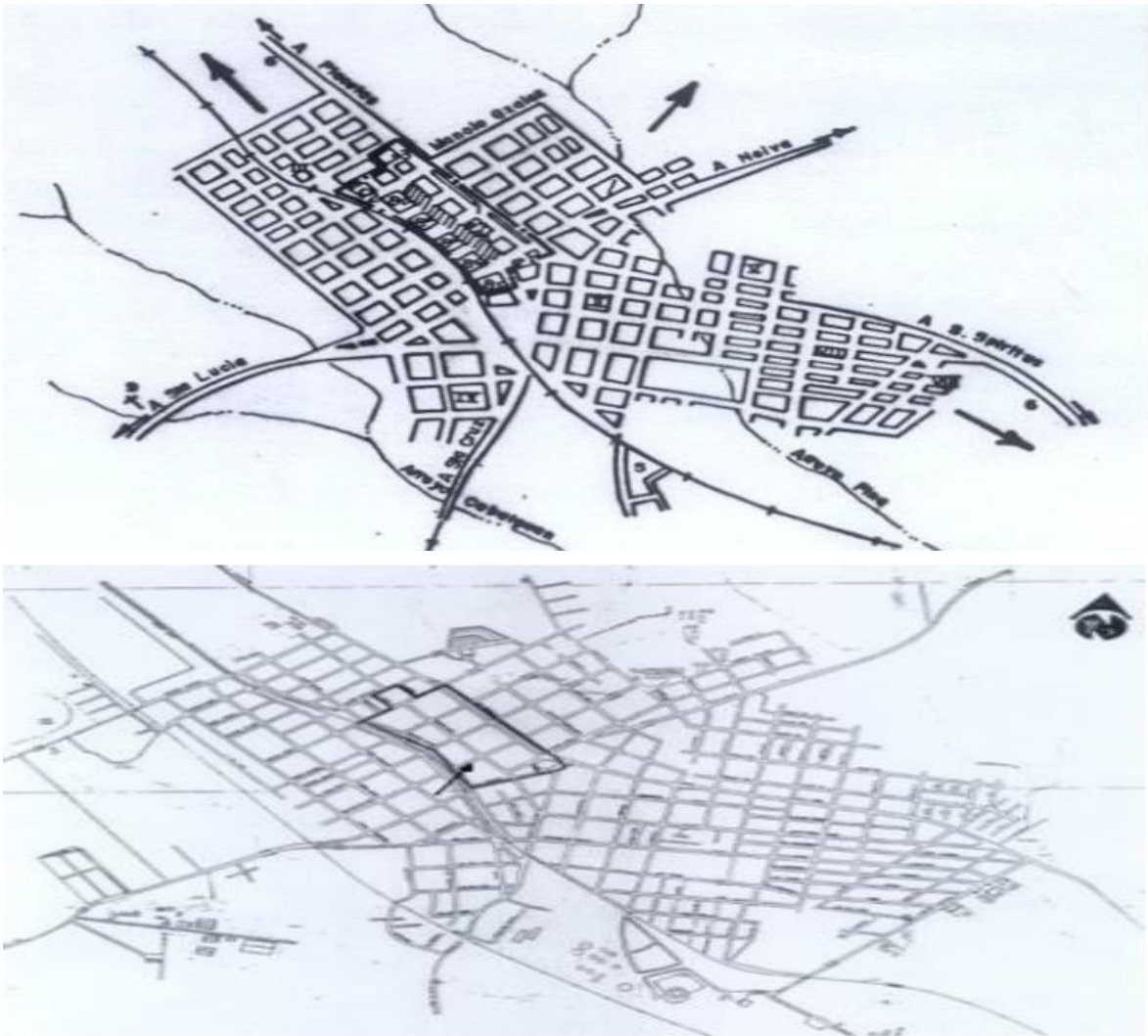
Tabla 3.7 Dirección y velocidad de los vientos en Cabaiguán

Año	Dirección Predominante del viento (Rumbos)	Velocidad Media del viento (Km/h)
2008	NW	5
2009	NNW	5
2010	NNW	5
2011	NNW	3
2012	NW	3
2013	NW	2
2014	NNW	2
2015	NNW	3
2016	NW	2
2017	NW	3

Fuente: Instituto de meteorología de Sancti Spíritus

En la figura 26 se muestra el crecimiento de la ciudad de Cabaiguán desde el año 1980 hasta el presente, la contribución de la ladrillera al desarrollo de las construcciones en la ciudad ha sido importante pues es el único establecimiento productor de ladrillos en la región, sin embargo, el propio crecimiento de la ciudad ha ido cercando y/o acercándose a la ladrillera de modo que en estos momentos muchas viviendas se encuentran justos en el perímetro dela entidad, en este sentido las autoridades de planeamiento urbanístico deben decidir la mejor solución.

Fig. 26 Crecimiento de la ciudad de Cabaiguàn



Fuente: Instituto de Planificación Física de Cabaiguàn.

3.4 Análisis del inventario de emisiones

La fabricación de ladrillos, tejas y otros productos de arcilla cocidos de forma artesanal, se ha convertido en un problema ecológico en muchas ciudades alrededor del mundo, debido a las ineficientes tecnologías que se utilizan para la cocción de esos productos asociados a combustibles como leña, llantas, madera, plásticos o textiles, derivados de combustibles fósiles, entre otros, al ser quemados, emiten una gran cantidad de gases nocivos a la atmósfera, tales como monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, bióxido de azufre y partículas sólidas. Por ello es prioritario atender el problema de las fuentes emisoras de estos gases.

En la entidad de estudio los cálculos realizados para determinar la eficiencia del horno ladrillero (30 %), demuestran el bajo rendimiento del proceso con una inversión en energía por ladrillo equivalente a 3.17GJ/Ton, al compararlo por ejemplo con hornos equivalentes en la ciudad de Guanajuato (México) (C. Márquez, 2011) con un consumo energético de 1.99 GJ/Ton, se hace evidente la mayor ineficiencia del horno enclavado en la localidad de Cabaiguàn.

En ese sentido y proporcionalmente al alto consumo de combustible se tiene un valor de las emisiones de GEI dados en toneladas equivalentes de CO₂ igual a 418.57 Ton/año, algunos reportes internacionales establecen para este tipo de actividad un valor de 0.350 Ton CO₂eq/Ton ladrillo producido (Anon., abril 2018), en cualquier caso resulta evidente que el proceso de producción en la ladrillera el Tejar resulta altamente contaminante por lo que será indispensable aplicar medidas correctivas para llevar el proceso a un nivel tolerable de emisiones contaminantes.

Se calculó la emisión de dióxido de carbono equivalente en tonelada por cada tonelada de ladrillo producido, para lo cual se dividieron las 418.57 toneladas de CO₂eq entre las 462.8 toneladas de ladrillo producido; dando como resultado u factor de 0.904 Ton CO₂eq/Ton ladrillo producido para El Tejar; el cual es mucho mayor que 0.350 Ton.

3.5 Conclusiones parciales

- La mejora de la calidad ambiental del entorno de las ladrilleras artesanales representa un aspecto importante de la problemática alrededor de esta actividad, sobre todo en entidades cercadas por el crecimiento de las ciudades, el inventario de emisiones puede ser una adecuada herramienta para que productores, decisores y la comunidad puedan evaluar alternativas para el saneamiento ambiental.
- Los inventarios de emisiones constituyen una herramienta básica para todo programa de prevención y control de la contaminación del aire en una localidad.
- Existe potencial para mejorar el proceso de producción de ladrillos en la entidad y con ello disminuir la alta carga contaminante valorada en 418.57Ton/año CO₂-EQUIV que se produce en la actualidad en la entidad de estudio.

- Los niveles de producción de ladrillos fabricados en la entidad aún no satisfacen la demanda pues el 100 % de la producción se comercializa, no obstante, la calidad de los ladrillos no es totalmente satisfactoria en relación con las normas cubanas, en este sentido cumplen con respecto a la resistencia y adsorción (5MPa, 11%), sin embargo, en el caso de algunos atributos como dimensiones, presencia de grietas, desconchados y otros presentan dificultades, lo que está motivado por el no adecuado control del proceso.
- El desarrollo de la ciudad ha provocado que la entidad productora haya quedado enclaustrada dentro de la trama urbana, situación que se está agravando con el tiempo, dadas las condiciones de cocción de los ladrillos, provoca múltiples quejas de los pobladores, en este sentido las autoridades locales podrían evaluar las tendencias del desarrollo urbano y/o trasladar la industria.
- Resulta imprescindible encontrar solución para el control de los humos que se producen, en ese sentido se deben sanear todas las grietas del cuerpo del horno y recalcular el sistema de chimeneas, canalizando adecuadamente los productos de la combustión.

Conclusiones generales

- El análisis del ciclo de vida (ACV) resulta una adecuada herramienta para la realización de estudios ambientales, de este modo, el inventario de emisiones en el marco de la producción local de materiales cerámicos, puede ser una adecuada herramienta para que productores, decisores y la comunidad puedan evaluar alternativas para el saneamiento ambiental.
- Existe relación directa entre la alta ineficiencia del proceso de obtención de los ladrillos y las emisiones producidas, sin embargo, existe potencial para mejorar el proceso y con ello disminuir la carga contaminante valorada en 418.57Ton/año CO₂ -EQUIV que se produce en la entidad de estudio.
- Los niveles de producción de ladrillos fabricados en la entidad no satisfacen la demanda pues el 100 % de la producción se comercializa, no obstante, debido al no adecuado control del proceso, la calidad de los ladrillos no es totalmente satisfactoria en relación con las normas cubanas.
- El desarrollo de la ciudad ha provocado que la entidad productora haya quedado enclaustrada dentro de la trama urbana, de este modo las condiciones de cocción de los ladrillos provocan múltiples quejas de los pobladores, por lo cual resulta imprescindible encontrar solución para el control de las emisiones, minimizando y canalizando adecuadamente los productos de la combustión.
- El problema más acuciante que enfrenta la industria de la cerámica en el momento actual es el gran consumo de energía que requiere la producción de los elementos cerámicos, de ahí que las tendencias actuales para aumentar la eficiencia de la producción de ladrillos se concentran en: a) Mejoras tecnológicas en el proceso de cocción, en específico la sustitución o mejoramiento de los hornos por tecnologías más eficientes, b) La sustitución parcial de la materia prima (arcilla) por materiales de desechos o de reciclaje, que puedan tener un menor impacto ambiental, c) Uso de combustibles con menor impacto ambiental.
- En muchos casos las alternativas para el mejoramiento ambiental en la producción cerámica pueden implicar significativas inversiones para hacer cambios

Conclusiones Generales

tecnológicos en el proceso productivo, en este sentido la producción de ladrillos ha constituido en el pasado y aún en el presente una fuente importante de materiales de construcción para el desarrollo del hábitat, de ahí su imprescindible modernización.

- En este sentido cumplen con respecto a la resistencia y adsorción, sin embargo, en el caso de algunos atributos como dimensiones, presencia de grietas, desconchados y otros presentan dificultades, lo que está motivado por el no adecuado control del proceso en relación con el diseño del horno, el deficiente mantenimiento y el descontrol de los parámetros de trabajo y de las materias primas,

Recomendaciones

1. Elaborar un plan de reparación general del horno, así como una revisión por parte de expertos que valoren la posibilidad de un nuevo diseño para el horno, el cual es altamente ineficiente.
2. Aplicar la implementación de mecanismos de control para las etapas de mezclado y cocción pues de estas depende fundamentalmente la calidad de las piezas.
3. Es necesarios un estudio por parte del IPF y directivos correspondientes para buscar una solución al crecimiento poblacional alrededor de la ladrillera.
4. Las entidades de salud pública y otras entidades decisoras, en atención al alto nivel de emisiones, podrían realizar estudios detallados sobre la probable incidencia sobre la población circundante de enfermedades respiratorias y otras asociadas a los altos niveles de contaminación.

Bibliografía

A. Mezquita, E. M. V. Z., 2018. *Sector azulejero y comercio de emisiones: reducción de emisiones de CO2, benchmarking europeo*, España: s.n.

Anon., 2011. Mejora de la eficiencia energética de la producción de ladrillos de cerámica roja a partir del empleo como biocombustible de material lignocelulósico densificado.. *Revista Ingeniería de Construcción*.

Anon., 2015. *PROGRAMA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LADRILLERAS DE AMÉRICA LATINA PARA MITIGAR EL CAMBIO CLIMÁTICO*, s.l.: s.n.

Anon., 2000. *Ladrillo*. *Wikipedia*. [En línea]
Available at: <http://es.wikipedia.org/wiki/Ladrillo>

Anon., 2004. *Siglos XIX y XX*. [En línea]
Available at: <http://www.es.encarta.msn.com>.

Anon., 2005. *Manufacture of Burned Building Brick*. [En línea]
Available at: <http://www.sleekfreak.ath.cx:81/3wdev/VITAHTML/SUBLEV/EN1/BURNBRIK.HTM>

Anon., 2005. *Calcium Carbonate Powder*, s.l.: s.n.

Anon., 2006. *Prevención de la contaminación en el sector cerámico estructural. Centro de Actividad Regional para la Producción Limpia*. [En línea]
Available at: <http://www.cprac.org>.

Anon., 2010. *Guía de buenas prácticas para ladrilleras artesanales*, Perú: s.n.

Anon., 2017. *Inventario nacional de emisiones atmosféricas de las principales fuentes fijas*. *Revista Cubana de Meteorología*, 23(2).

Anon., 2018. *CERAMICAS /// Lección 7.- COCCION*, s.l.: s.n.

Anon., 2018. *DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA DE LAS TECNOLOGÍAS DE LA CONSTRUCCIÓN*. [En línea]
Available at:
<http://www.farq.edu.uy/estructura/catedras/construccion/construccion1/CERAMICOS.doc>

Anon., abril 2018. *Determinación de emisiones por la quema de combustibles en la fabricación de ladrillos y cerámica*, México: s.n.

Anon., s.f. *Ceramics estructural*. [En línea]
Available at: <http://www.gestiopolis.com/recursos/documentos/fulldocs/eco/ceramica>.htm

Bibliografía

Anon., Noviembre 2005. *Guía para la medición y estimación de emisiones al aire*, s.l.:s.n.

Anon., Septiembre 2006. *Inventario Nacional de Emisiones México*, s.l.:s.n.

C. Márquez, B. C., 2011. *Determinación de gases de efecto invernadero en base a factores de emisión y monitoreos de eficiencia energética en la comunidad ladrillera el Refugio*, Mexico: s.n.

Colán, R. C. S., setiembre 2013 . *VARIABILIDAD DE LAS PROPIEDADES DE LOS LADRILLOS INDUSTRIALES DE 18 HUECOS EN LA CIUDAD DE PIURA* , Piura: s.n.

Cuesta, O., Fonseca, M. & Carrillo, R. M. y. E., 2012. *Evaluación de la calidad del aire en ciudades de Cuba*, s.l.: s.n.

Cuesta, O. W. A. M. d. O. L. P. A. T. V., 2010. *Cuesta, O., Wallo, A, Montes de Oca, L., Pierra, A., Tricio, V.*, s.l.: s.n.

Cuevas, T. D. I., 1993. *La Industria cubana de Materiales de Construcción*. Ministerio de la Industria de Materiales de la Construcción, s.l.:s.n.

Cura, M. A. D., 2005. *Utilización del carbonato de calcio como adición mineral en la producción de ladrillos de cerámica roja*, s.l.: s.n.

Dellepiani, J. J., 2016. *MANUAL DE CAPACITACIÓN SECTOR LADRILLERO EN AMÉRICA LATINA*, Perú: Swisscontact, Fundación Suiza de Cooperación para el Desarrollo Técnico.

Digesa, 2005. *Dirección general de salud ambiental. Protocolo de monitoreo de la calidad del aire y gestión de los datos.* , Perú: s.n.

Dr. L.I. Machado, D. H. M. D. J. M., Abril, 2017. *MEJORA DEL IMPACTO AMBIENTAL DE LA PRODUCCIÓN DE LADRILLOS, SOBRE LA BASE DEL EMPLEO COMO BIOCOMBUSTIBLE DE MATERIAL LIGNOCELULÓSICO DENSIFICADO Y EL RECICLAJE DE LOS DESECHOS CERÁMICOS GENERADOS* , s.l.: Cáceres, Dpto. Arte y Ciencias del Territorio de la Universidad de Extremadura.

EMEP/CORINAIR, 2007. *Guía para la realización del inventario de emisiones atmosféricas de la Agencia Europea de Medioambiente.* , s.l.: s.n.

García, M. B. D., 2010. *Estudio técnico-económico de la introducción del carbonato de calcio en el proceso de producción del ladrillo en el Combinado de Cerámica Roja de Cienfuegos*, Santa Clara: s.n.

G, C., 2003. of bricks used in the conservation of historic buildings-influence of composition and microstructure. *Journal of Cultural Heritage* 4 91-90.

Bibliografía

- Herrera, A. A., Septiembre 2014. *Estudio ambiental y social del Ciclo de Vida de la producción de ladrillos artesanales, utilizando combustibles tradicionales y alternativos en el Algarrobal, Mendoza*, s.l.: s.n.
- INEGI, 2006. *Factores de emisión*, s.l.: s.n.
- INTERNATIONAL STANDARD ISO 14040, 2006-07-01. *Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework*, Suiza: s.n.
- L.I.Machado, Agosto 2011. MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA PRODUCCIÓN DE LADRILLOS DE CERÁMICA ROJA A PARTIR DEL EMPLEO COMO BIOCOMBUSTIBLE DE MATERIAL LIGNOCELULOSICO DENSIFICADO. *Ingeniería de Construcción*.
- López, C. P. V. F. R. W. M. A. L. A. V. G. C. G. S. M. E. M. N. R. J. D. M. E. G. R. B. I. L. D. P. H. R. S. F. P. J. M. A. A. M. A. Á., 2009. *Determinación de Emisiones y Absorciones de Gases de Invernadero en Cuba. Reporte preliminar para el año 2004*, s.l.: s.n.
- Morales, I. H. R. B., Noviembre, 2005. *Caracterización de las arcillas para la fabricación de ladrillos*, Guatemala: s.n.
- Oficina Nacional de Estadísticas e Información, 2016. *Anuario estadístico de Cabaiguán*, s.l.: s.n.
- Otero, A. V., 2018. *Tema 4 Materiales Cerámicos*, s.l.: s.n.
- PROGRAMA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LADRILLERAS DE AMÉRICA LATINA PARA MITIGAR EL CAMBIO CLIMÁTICO , septiembre 2015. *Manual de hornos eficientes en la industria ladrillera*, s.l.: s.n.
- Pujol, M. M., 2018. *Viabilidad, planificación e implantación de una industria de materiales cerámicos para la construcción en Catalunya* , España: s.n.
- QUICHIMBO, N. M. D., 2010. *DEFINICIÓN DE UN PROCESO DE PRODUCCIÓN SEMIINDUSTRIAL DE LADRILLOS EN LA PARROQUIA SUSUDEL* , Cuenca: s.n.
- Traore, T. S. K. P. B., 2003. Gehlenite and anorthite crystallization from kaolinite and calcite mix. *Ceramics International* 29, 377-383. .
- Universidad Católica de Perú, 2018. *Análisis de ciclo de vida de ladrillos y bloques de concreto San Jerónimo*, Perú: s.n.

Anexos

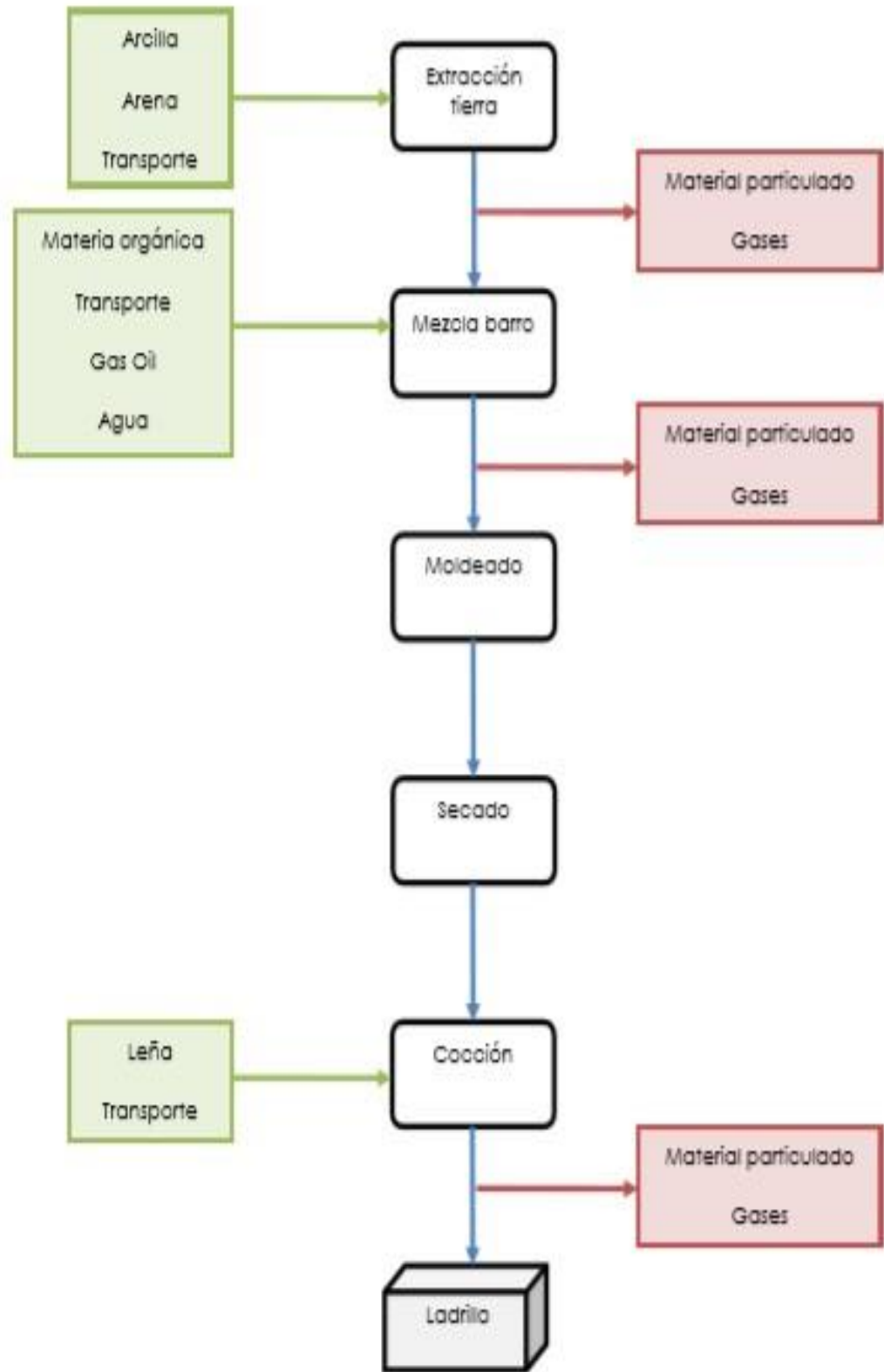
Anexo 1: Ficha de costo de ladrillos huecos.

EMPRESA: PROMAC		PLAN DE PRODUCCION:		CODIGO:
ORGANISMO: Poder Popular Provincial				
PRODUCTO O SERVICIO: Ladrillos Huecos				CAPAC INSTALADA
% UTILIZ:				
CODIGO PROD O SERV:	ANTERIOR	UM: MU	PRODUC	
CONCEPTOS DE GASTOS	FILA	TOTAL UNITARIO	DE ELLO CUC	
Materias primas y Materiales	1	289,0		
Materias primas y Materiales fundamentales	1,1	217,289		
Combustibles y lubricantes	1,2	50,47		
Energía eléctrica	1,3	19,683		
Agua	1,4	1,55		
Sub total (Gastos de Elaboración)	2	422,8983882		
Otros gastos directos	3	0		
Depreciación	3,1	0		
Arrendamiento de equipos	3,2	0		
Ropa y Calzado (Trabajadores directos)	3,3	0		
Gastos de Fuerza de Trabajo	4	210,5437		
Salarios	4,1	193		
Vacaciones	4,2	17,5437		
Estimulación en pesos convertibles	4,3	0		
Gastos indirectos de Producción	5	146,0541647		
Depreciación	5,1	0		
Mantenimiento y reparación	5,2	0		
Gastos Generales y de Administración	6	66,30021113		
Combustibles y lubricantes	6,1	0		
Energía eléctrica	6,2	0		
Depreciación	6,3	0		
Ropa y Calzado (Trabajadores indirectos)	6,4	0		
Alimentos	6,5	0		
Otros	6,6	0		
Gastos de distribución y ventas	7	0		
Combustible y lubricantes	7,1	0		
Energía eléctrica	7,2	0		

Depreciación	7,3	0	
Ropa y Calzado (Trabajadores indirectos)	7,4	0	
Otros	7,5	0	
Gastos Bancarios (Financieros)	8	0,0003124	
Gastos Totales o Costo de Producción	9	711,8903882	
Contribución a la Seguridad Social	10	26,3179625	
Gastos de Seguridad Social a corto plazo	11	3,1581555	
Impuestos por Utilización de la Fuerza de Trabajo	12	21,05437	
Margen utilidad s/ base autorizada	13	142,3780776	
PRECIO	14	904,7989539	
% sobre el gasto en divisas	15		
Componente en pesos convertibles	16		

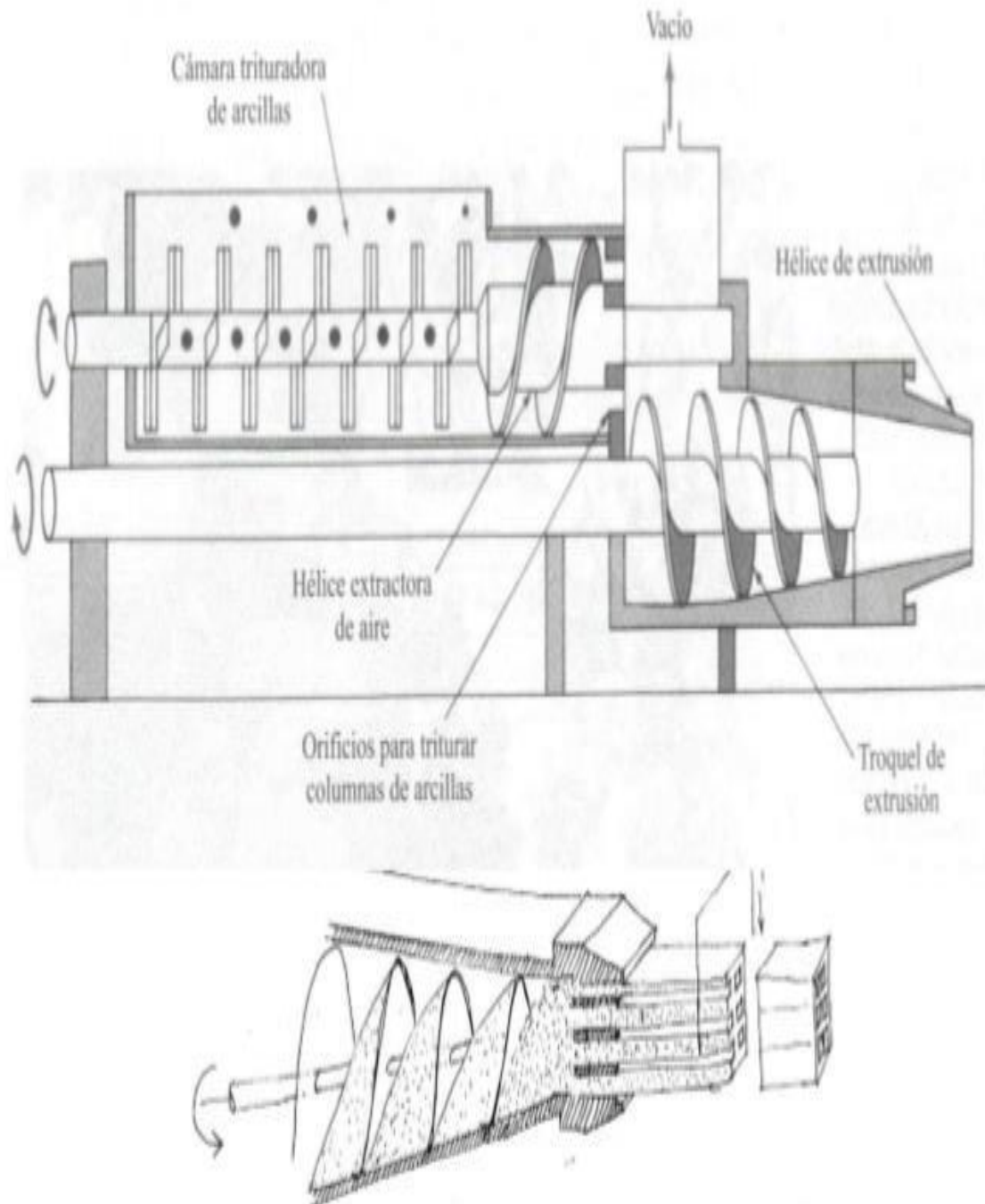
Fuente: Empresa de Los Materiales de la Construcción de Sancti Spíritus

Anexo 2: Proceso de fabricación

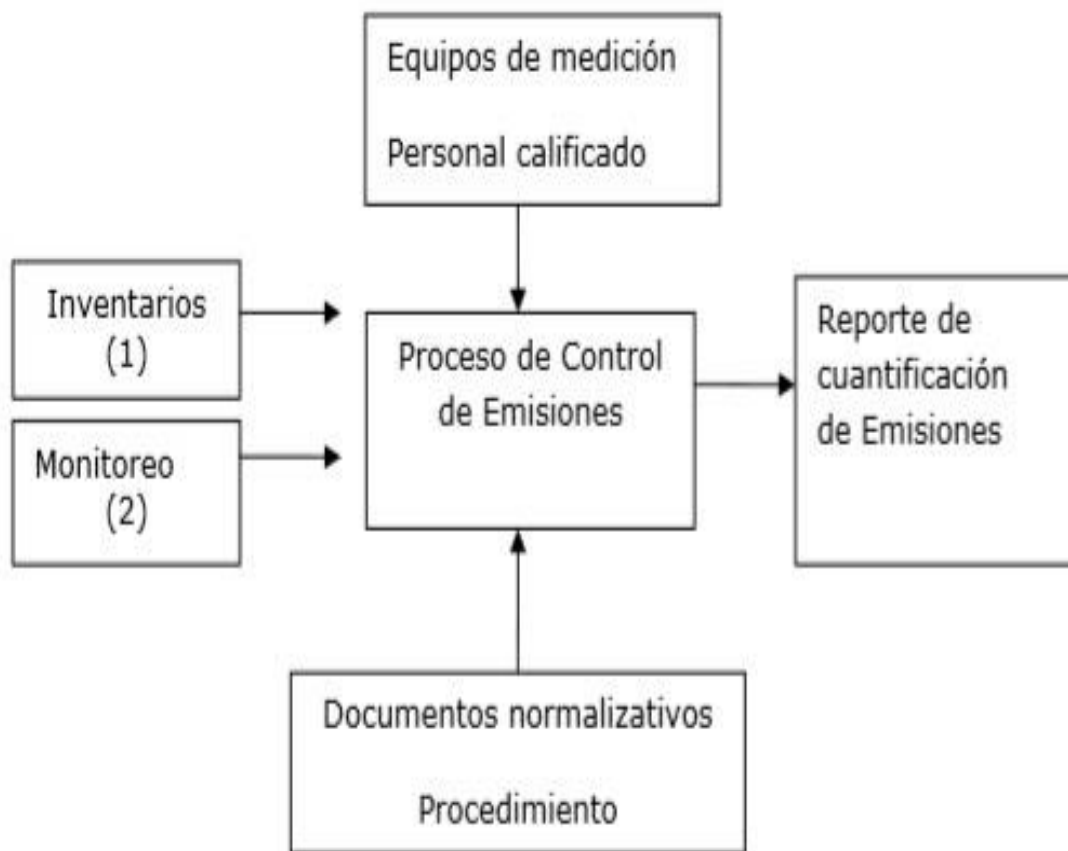


Anexo 3: Máquina de moldeo por extrusión

Conformación por extrusión (vía húmeda)



Anexo 4: Proceso de Control de Emisiones.



Anexo 5:

PROPUESTA DE PROCEDIMIENTO PARA EL CONTROL DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS EN AMBIENTES URBANOS

