

Título

“EXPERIENCIAS PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LOS HORNOS TRADICIONALES DE LADRILLO PARA LA COCCIÓN DE LADRILLO, TEJA, BALDOSA, DE ARCILLA”.

Oscar David Chojolan Duarte¹, Jorge Ivan Cifuentes²

depic2000@gmail.com

jicifuentes@ing.usac.edu.gt

1 Cursante de Maestría en Energía y Ambiente, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala 01012

2 Catedrático de Maestría en Energía y Ambiente, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala 01012

Abstracto o Resumen

De los trabajos investigados tenemos un estudio de realizado en la republica de Guatemala en donde nos indica el Directorio Nacional de Empresas –DINEL- del año 2002 el Instituto Nacional de Estadística, que del total de empresas solo el 8% se dedica a la fabricación de ladrillo teniendo una producción nacional por año de 6,420,000 ladrillos. Y cada ladrillo necesita de 0.7677 kilogramo de leña en su proceso de fabricación, o sea que se necesita de 4,928,634 kilogramos de leña al año.

De la experiencia mexicana en la comunidad el Refugio en el año 2010 un estudio en la fabricación de 196,461 Ton de ladrillo cocido (49,011,000 ladrillos), se emitieron los GEI de la siguiente tabla.

Tabla 1. Emisiones de GEI por la producción artesanal de ladrillos

Escenario	Producción anual de ladrillos	Producción anual (Ton ladrillo cocido)	Emisiones CO2 (Ton)	Emisiones CH4 (Ton)	Emisiones N2O (Ton)
1. FE Medidos	49,011,000	196,461	57,336	180.744	-----
2. FE EPA	49,011,000	196,461	43,665	3.340	-----
3. FE IPCC	49,011,000	196,461	42,828	39.075	5.860

De los cuales al realizar calculos y se estableció la línea base con las emisiones totales de GEI en las ladrilleras de la comunidad de El Refugio utilizando los resultados del escenario uno para CO₂ y CH₄, y del escenario tres para N₂O, se determinó el bióxido de carbono equivalente (CO₂eq), convirtiendo al metano y al óxido nitroso a su valor de CO₂eq; multiplicando la masa del gas en cuestión por su potencial de calentamiento global como se muestra en la Tabla 2; obteniendo un valor de CO₂eq total de 62,948.379 toneladas.

Tabla 2. Resultado de la equivalencia de GEI en CO₂eq

Gases de Efecto Invernadero	Equivalencia en CO ₂ de una medida de gas (CO ₂ eq) ¹¹	Emisiones de GEI (Ton)	CO ₂ eq
Bióxido de Carbono (CO ₂)	1	57,336.156	57,336.156
Metano (CH ₄)	21	180.744	3,795.623
Óxido Nitroso (N ₂ O)	310	5.860	1,816.600
Total CO ₂ eq			62,948.379

Así mismo en varios departamentos de la republica de Peru se realizó el estudio de eficiencia energética de los cuales en los Departamentos de Cajamarca, San Martín y Ayacucho, el problema de la escasez de leña y su demanda para quema de ladrillos, también reviste caracteres alarmantes. En zonas como Ayacucho y Trujillo, donde antes se empleaba sólo madera o combustible Diesel en la quema de ladrillos artesanales, debido a la escasez mencionada y al sinceramiento del precio de los combustibles derivados del petróleo a partir de los años noventa, ahora emplean principalmente las quemas mixtas. Usan principalmente carbón mineral en la carga del horno, mientras que el Diesel o la madera son empleados sólo durante el encendido, reduciendo así los costos de producción. En zonas de Piura, como Catacaos, se emplea también la cascarilla de arroz como combustible, sin embargo este uso no está difundido principalmente porque las experiencias no están sistematizadas.

Introducción

En america latina se han realizado varios estudios donde se analiza la contaminación que producen los hornos artesanales provocados por el uso de leña como energía para la cocción de los productos como el ladrillo tayuyo, ladrillo perforado, teja, balosa, producidos con arcilla.

Tambien se han realizado estudios en los que se analizan y proponen otros materiales como energía de biomasa como una forma de detener el consumo de leña y el deterioro de los bosques, y mejorar la energía calorifica entro de los hornos artesanales construidos de ladrillo.

Así mismo los estudios existentes proponen mejoras en los hornos, pero en este caso varios estudios proponen el uso insdustrial, lo que implica una mayor inversión económica que los propietarios no tienen capacidad de invertir para mejorar sus hornos.

Es por eso que se necesita una alternativa energética que mejore la energía calorifica del horno, que los niveles de contaminación sean bajos, que disminuya el uso de la leña para evitar el avance de la deforestación de los bosques y que para los propietarios sea accesible y fácil de trabajar.

Metodos

Como primer punto analizamos los estudios, tesis o articulos de revistas que continen los niveles de contaminación producidos por la quema de leña de dichos hornos de ladrillo.

El Concepto De Ecoeficiencia

Ecoeficiencia: La ecoeficiencia tiene sus orígenes en el concepto de desarrollo sustentable presentado en abril de 1987 por la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente, en la Asamblea General de las Naciones Unidas. El resultado más importante de esta Comisión fue el reporte “Nuestro Futuro Común”, también llamado “Reporte Brundtland”, donde el desarrollo sustentable fue entendido como “el desarrollo que satisface las necesidades

actuales, sin comprometer la capacidad de que generaciones futuras puedan satisfacer sus propias necesidades”.

Indicadores, definición y evolución: Siguiendo la definición dada en UNCTAD (Sturm et al. 2004), un indicador es una medida específica de cierto elemento para demostrar su rendimiento a través del reconocimiento y valoración de información relevante. Utilizando esta definición, se pueden construir diferentes indicadores para un mismo elemento, dependiendo de la información disponible; estos pueden ser tanto cualitativos como cuantitativos. En particular, los indicadores de ecoeficiencia miden la relación entre el funcionamiento ambiental y el funcionamiento financiero de la empresa, para ciertos problemas ambientales globales. Para este trabajo, se analizaron diferentes modelos de indicadores desarrollados con base en el concepto de ecoeficiencia, utilizando las siguientes definiciones generales (Sturm y Müller 2001):

$$\text{Ecoeficiencia} = \frac{\text{Valor del producto o servicio}}{\text{Influencia ambiental}}$$

ó

$$\text{Ecoeficiencia} = \frac{\text{Valor del producto o proceso}}{\text{Influencia ambiental}}$$

Metodología UNCTAD: existen diferentes propuestas para medir y divulgar los indicadores de ecoeficiencia. Sin embargo, el modelo propuesto por UNCTAD es el único con información clara y completa, además de permitir la comparación de ecoeficiencia entre compañías incluso cuando hay poca información disponible. Por lo anterior se considera que actualmente es la opción más adecuada para medir el desempeño ambiental de las empresas mexicanas pequeñas. Este modelo propone que la determinación de la ecoeficiencia se realice con respecto a cinco ecoindicadores que se definen y calculan de la siguiente manera:

a. Consumo de agua por unidad de valor agregado neto:

$$I_1 = \frac{\text{Consumo de agua}}{\text{Valor neto agregado}}$$

b. Requerimientos energéticos por unidad de valor agregado neto:

$$I_2 = \frac{\text{Requerimientos energéticos}}{\text{Valor neto agregado}}$$

c. Contribución al calentamiento global por unidad de valor agregado neto:

$$I_3 = \frac{\text{Contribución al calentamiento global}}{\text{Valor neto agregado}}$$

d. Dependencia de sustancias que deterioran la capa de ozono por unidad de valor agregado neto:

$$I_4 = \frac{\text{Dependencia de sustancias que deterioran la capa de ozono}}{\text{Valor neto agregado}}$$

e. Residuos sólidos generados por unidad de valor agregado neto:

$$I_5 = \frac{\text{Basura generada}}{\text{Valor neto agregado}}$$

Además, la metodología que debe seguirse para el cálculo de los indicadores se basa en tablas que reúnen información sobre la cantidad de materia prima utilizada, el tipo de emisiones producidas y las fuentes y características particulares de cada uno de estos elementos, lo que convierte a la guía de la UNCTAD en una base de datos valiosa, que permite comparar y mejorar el desempeño ambiental de la empresa a través del tiempo.

En este punto, debe destacarse que los ecoindicadores propuestos por la UNCTAD pueden ser aplicados a todo tipo de empresa. Sin embargo, es posible que alguno de ellos no requiera ser calculado dependiendo del proceso productivo analizado. De hecho, en la siguiente sección se aplica este modelo a dos empresas que no producen sustancias que deterioren la capa de ozono, por lo que el ecoindicador asociado a este elemento ambiental puede ser omitido.

Consumo de leña en ladrilleras a nivel nacional, por municipio.

En el estudio de Marcos Martín Larrañaga de marzo de 2012, nos expresa su estudio que la cantidad de leña anual en toneladas secas, que se utiliza en las fábricas de ladrillos de cada municipio del país. Y que para la determinación de los valores de la variable, se siguieron los siguientes pasos:

Tomando como base el Directorio Nacional de Empresas y sus locales comerciales DINEL, del Instituto Nacional de Estadística (2002), se procedió a seleccionar a las empresas categoría uno, dos y tres (aquellas que tienen entre 1 y 19 empleados). Estas empresas son aquellas ladrilleras que consumen leña a nivel nacional. Son empresas catalogadas de pequeñas, medianas y grandes artesanas¹. La cantidad de ladrillos que estarían produciendo las empresas artesanales (y que corresponde a un 8%) de la producción nacional, es de unos 535,000 ladrillos de forma mensual, es decir unos 6,420,000 ladrillos al año.

Para la determinación de la cantidad de leña que se consume para la producción de un ladrillo en promedio en estas industrias se realizó una revisión bibliográfica y se entrevistó telefónicamente a referentes en la temática. De este modo, Solórzano Arce y Rodríguez Rivera, 2001 en su trabajo de Investigación de alternativas energéticas y mejoramiento de hornos de producción de ladrillos y tejas de Barro en el municipio de la Paz, Centro, León Nicaragua² mencionan un modelo de horno eficiente diseñado por el arquitecto guatemalteco Alan Molina, el cual es capaz de producir los ladrillos con un consumo de 0.34 Kg/ladrillo, mejorando en un 13% la eficiencia de los hornos tradicionales. Esto se traduce en que la eficiencia de los hornos artesanales se estimó en 0.3842 Kg de leña/ladrillo promedio. No obstante, en comunicación personal con el Arquitecto Molina, (2/9/2011) indicó que en los hornos artesanales del municipio de El Tejar del departamento de Chimaltenango se han encontrado en promedio, consumos de 6 tareas de leña convencionales (1 tarea = 0.87 m³ de leña), para la producción de 4000 ladrillos³. De este modo, la mayoría de los hornos de fabricación de ladrillos artesanales en Guatemala estarían consumiendo 0.735480505 Kg de leña por ladrillo producido.

Por otra parte un estudio de la FAO refiere que el consumo de leña por ladrillo producido en Guatemala es igual a 0.8 Kilogramos de leña por ladrillo. En virtud de los valores encontrados como referencia, se tomó el criterio de asumir un valor promedio entre (0.7354 y 0.80), el cual es igual a 0.7677 Kilogramos de leña por ladrillo producido.

La proporción de empresas existentes por municipio en relación al total nacional, se estimó dividiendo el número de empresas en el municipio, dentro del total de empresas reportadas por el DINEL a nivel nacional. La cantidad de ladrillos producidos a nivel municipal se ha estimado dividiendo la producción nacional de empresas artesanales (8% del total) dentro de la proporción de empresas a nivel municipal. Es decir 6,420,000 por la proporción municipal de producción.

Finalmente se calculó el total de toneladas de leña consumida anualmente por las ladrilleras de cada municipio del país, multiplicando la cantidad de ladrillos, por el valor de 0.7677 Kg de leña por ladrillo.

Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero – línea base

De la experiencia mexicana tenemos que los factores de emisión de la producción artesanal de ladrillos son usualmente expresados en términos de masa del gas por masa del ladrillo producido, por lo que el total de ladrillos estimados en la comunidad de El Refugio durante 2010, tiene que ser expresado en términos de masa de ladrillo; para lo cual se multiplico la masa del ladrillo por el número de ladrillos producidos dando como resultado 196,461 Ton de ladrillo cocido (49,011,000 ladrillos).

Para el cálculo de las emisiones se realizaron tres escenarios cada uno con diferentes tipos de factores de emisión, mismos que se presentan en el Anexo 1 en Excel: (1) utilizando los factores de emisión medidos por el INE⁴, la capacidad de cada uno de los hornos (en número de ladrillos), el número de quemas anuales y la masa del ladrillo (Kg); (2) utilizando los factores de emisión de la EPA⁹, la capacidad de cada uno de los hornos (en número de ladrillos), el número de quemas anuales y la masa del ladrillo (Kg); y (3) utilizando los factores de emisión de IPCC⁶, la capacidad de cada uno de los hornos (en número de ladrillos), el número de quemas anuales, la cantidad de combustible por quema (incluyendo el 6% del aserrín contenido en la materia prima del ladrillo), y el calor de combustión de la leña de 14,486 MJ/ton⁸. En la Tabla 1 se presenta los resultados de la estimación de emisiones de GEI de las ladrilleras artesanales de la comunidad de El Refugio para los 3 distintos escenarios.

Tabla 1. Emisiones de GEI por la producción artesanal de ladrillos

Escenario	Producción anual de ladrillos	Producción anual (Ton ladrillo cocido)	Emisiones CO ₂ (Ton)	Emisiones CH ₄ (Ton)	Emisiones N ₂ O (Ton)
1. FE Medidos	49,011,000	196,461	57,336	180.744	-----
2. FE EPA	49,011,000	196,461	43,665	3.340	-----
3. FE IPCC	49,011,000	196,461	42,828	39.075	5.860

Los resultados de GEI en la comunidad de El Refugio a considerarse para establecer la línea base, muestran que la estimación con el uso de los tres tipos de factores de emisión son comparables:

1. En el primer escenario los factores de emisión utilizados son los determinados por mediciones en hornos ladrilleros artesanales en la misma comunidad de El Refugio en 2009⁴, por lo que se considera el valor de línea base más adecuado, obteniendo 57,336 toneladas de CO₂ y 180.744 toneladas de CH₄.

2. En el segundo escenario los factores de emisión reportados por la EPA son muy parecidos a los medidos en magnitud, pero se trata de ladrilleras industrializadas, considerando el valor de “Curado y disparo: Horno de túnel dispersión de aserrín”.
3. En el tercer escenario con los factores de emisión de IPCC, las emisiones de GEI son muy similares, dado que se consideró la cantidad de energía utilizada para la cocción del ladrillo por la quema del combustible (madera) y por el contenido de materia orgánica en los ladrillos (6% de la masa del ladrillo).

Se estableció la línea base con las emisiones totales de GEI en las ladrilleras de la comunidad de El Refugio utilizando los resultados del escenario uno para CO₂ y CH₄, y del escenario tres para N₂O, se determinó el bióxido de carbono equivalente (CO₂eq), convirtiendo al metano y al óxido nitroso a su valor de CO₂eq; multiplicando la masa del gas en cuestión por su potencial de calentamiento global como se muestra en la Tabla 2; obteniendo un valor de CO₂eq total de 62,948.379 toneladas.

Tabla 2. Resultado de la equivalencia de GEI en CO₂eq

Gases de Efecto Invernadero	Equivalencia en CO ₂ de una medida de gas (CO ₂ eq) ⁷	Emisiones de GEI (Ton)	CO ₂ eq
Bióxido de Carbono (CO ₂)	1	57,336.156	57,336.156
Metano (CH ₄)	21	180.744	3,795.623
Óxido Nitroso (N ₂ O)	310	5.860	1,816.600
Total CO ₂ eq			62,948.379

Comparando los resultados de CO₂eq del Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 2006⁷, las cuales ascienden a 709 millones de toneladas de CO₂eq y las emisiones por las ladrilleras de El Refugio de 62.9 mil toneladas de CO₂eq, equivalen a 0.009% de las emisiones a nivel nacional. De acuerdo al inventario nacional de ladrilleras⁵ las emisiones de CO₂eq ascienden a 6.62 millones de toneladas, equivalen a 1.09% de las emisiones a nivel nacional. Y en el caso de El Refugio las emisiones de CO₂eq equivalen al 0.95% de las emisiones a nivel nacional generadas por las ladrilleras.

Se calculó la emisión de bióxido de carbono equivalente en tonelada por cada tonelada de ladrillo producido, para lo cual se dividieron las 62,948 toneladas de CO₂eq entre las 196,461 toneladas de ladrillo producido; dando como resultado un factor de 0.320 Ton CO₂eq/Ton ladrillo producido para El Refugio; el cual es comparable con el determinado a nivel nacional de 0.350 Ton CO₂eq/Ton ladrillo producido⁵.

En cuanto a la eficiencia energética en los hornos ladrilleros se determinó dividiendo la energía necesaria para la cocción de ladrillo en GJ entre cada tonelada de ladrillo producido; para lo cual se dividió 390,651 GJ de energía utilizada en El Refugio por el uso de madera e incluyendo el 6% de materia orgánica contenida en los ladrillos como aserrín, entre las 196,461 toneladas de ladrillo producido; dando como resultado 1.99 GJ/Ton ladrillo producido.

Uso eficiente de la energía en los hornos

El principal problema que enfrentan los productores rurales en varios departamentos de Peru, es la creciente escasez de leña para los procesos de quema. El motivo es el acelerado

avance de la desertificación, que representa una pérdida de bosques de más de 22,000 ha anuales sólo en la costa norte. Conviene mencionar que la especie forestal que se emplea preferentemente para producir carbón para su uso en pollerías o leña para quema de ladrillos es el algarrobo, cuyos bosques se encuentran en peligro permanente de desaparición.

El programa ITDG de la organización *PRACTICAL ACTION*, ha evaluado el consumo típico de leña en un horno pequeño, para la quema de 12 millares de ladrillos; para ello se requieren 8.5 toneladas. Considerando que el productor efectúa un promedio de 10 quemas al año, su consumo anual será de 85 toneladas de madera por lo general de algarrobo, lo que representa la tala promedio de 8 ha, o lo que es lo mismo de 520 árboles de algarrobo por año.

En los Departamentos de Cajamarca, San Martín y Ayacucho, el problema de la escasez de leña y su demanda para quema de ladrillos, también reviste caracteres alarmantes. En zonas como Ayacucho y Trujillo, donde antes se empleaba sólo madera o combustible Diesel en la quema de ladrillos artesanales, debido a la escasez mencionada y al sinceramiento del precio de los combustibles derivados del petróleo a partir de los años noventa, ahora emplean principalmente las quemas mixtas. Usan principalmente carbón mineral en la carga del horno, mientras que el Diesel o la madera son empleados sólo durante el encendido, reduciendo así los costos de producción. En zonas de Piura, como Catacaos, se emplea también la cascarilla de arroz como combustible, sin embargo este uso no está difundido principalmente porque las experiencias no están sistematizadas.

Estos antecedentes, así como otros reportados por diferentes entidades que laboran en UK, Zimbabwe, Bolivia, Brasil y Ecuador, orientaron las primeras actividades de selección de técnicas probadas que puedan ser adaptadas a los requerimientos de las empresas ladrilleras seleccionadas en las zonas de trabajo del proyecto. De igual modo el equipamiento accionado a motor para moldeo de ladrillos usado en Moyobamba, así como la información sobre equipos de baja potencia empleados en UK y Zimbabwe, orientan nuestras actividades de adaptación de tecnología apropiada para tal fin.

Durante el primer año del proyecto, se desarrollaron estudios base, se investigó bibliografía y se recopiló información sobre experiencias previas sobre el tema. Ese primer año culminó con un Taller de intercambio de información, en el que fuera de los trabajos ejecutados en Perú, destacaron los aportes de la Escuela Superior Politécnica del Litoral de Guayaquil - ESPOL sobre investigaciones bibliográficas y de campo, así como de IT-UK e IT-Zimbabwe con información sobre sus experiencias y con el avance en una metodología estándar para evaluación de quemas en diferentes hornos, con propósitos comparativos.

Las actividades de campo posteriores, a partir de abril de 1998, se basan en los resultados obtenidos el primer año. Podemos separarlas en 4 temas: quema en el horno, equipos para los procesos, evaluaciones de insumos/productos y transferencia de resultados. En el presente trabajo, se presentan resultados sobre quemas y evaluaciones de insumos/productos.

Notas de texto

¹ Las empresas categoría 6 son aquellas que emplean alta tecnología para la producción de ladrillos y sus hornos son tipo Hoffman. Como combustible utilizan mayormente cascabillo de café, bagazo de caña, aserrín y otros desechos sólidos, para su producción. Según datos

de la cámara de la Construcción de Guatemala, las empresas grandes (dos) aportan en conjunto, un 92% de toda la producción de ladrillos a nivel nacional, la cual se estima según esta publicación en unos 5350 m³ de arcilla al mes. Con este volumen se producirían unos 6,687,500 ladrillos mensuales (con un rendimiento medio de 1250 ladrillos por tonelada de arcilla).

² Proyecto regional centroamericano de apoyo a la promoción y ejecución de proyectos nacionales para microempresarios (Promicro).

³ El horno diseñado por el Arquitecto Molina, tiene la capacidad de reducir este consumo hasta en un 60% es decir emplear solo 2 tareas para producir los 4000 ladrillos.

⁴ INE-UAMI, 2009. Informe Final: “Evaluación preliminar del impacto ambiental por la producción artesanal de ladrillo: cambio climático, eficiencia energética y calidad del aire”. México D.F.

⁵ INE-UAMI, 2010. Evaluación preliminar del impacto ambiental por la producción artesanal de ladrillo: eficiencia energética y calidad del aire” (Segunda Etapa). México D.F.

⁶ SEMARNAT -INE, 2006. INEGEI 1990-2002 y Factores de emisión IPCC, 2006.

⁷ SEMARNAT-INE, 2009. Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero México: 1990-2006. Cuarta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.

⁸ SENER 2010. Balance Nacional de Energía, 2009.

⁹ U.S. EPA, 1995. Emission Factors (AP-42). <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/>

Referencias

1. OFERTA Y DEMANDA DE LEÑA EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA, Marcos Martín Larrañaga, Marzo 2012.
2. DETERMINACIÓN DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN BASE A FACTORES DE EMISIÓN Y MONITOREOS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA COMUNIDAD LADRILLERA EL REFUGIO, LEÓN GUANAJUATO, M. en C. Claudia Márquez Estrada. Coordinadora de proyectos, Consultoría en Ingeniería de Proyectos S de RL. (cmarquez@cinpro.mx), Septiembre 2011.
3. USO EFICIENTE DE LA ENERGIA EN LA PRODUCCION DE LADRILLOS A PEQUEÑA ESCALA Autores: Emilio Mayorga, Teodoro Sánchez Programa de Energía ITDG-Perú hidro@itdg.org.pe, teo@itdg.org.pe
4. LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA PRODUCCIÓN DE LADRILLOS: MINI REVISIÓN, MSc. Ing. Edelvy Bravo Amarante*, Ing. J. Miguel García Díaz**, Ing. Jorge Pérez Gómez***, Ing. Claudia Rodríguez Consuegra****, *Ing. Mecánico, Máster en Eficiencia Energética y Diseño Térmico Profesor Asistente, Universidad de Sancti Spiritus “José Martí Pérez”. E-mail: edelvy@uniss.edu.cu, **Ing. Civil, Asesor UNAICC Sancti Spiritus. E-mail: edelvy@uniss.edu.cu, ***Ing. Eléctrico, Refinería “Sergio Soto”. E-mail: antonio@refssp.cupet.cu, ****Ing. Química, IPROYAZ. E-mail: claudia.rodriguez@iproyazss.azcuba.cu.
5. CÁLCULO DE INDICADORES DE ECOEFICIENCIA PARA DOS EMPRESAS LADRILLERAS MEXICANAS, Eric RINCÓN y Ann WELLENS, Recibido noviembre 2010, aceptado agosto 2011, Facultad de Ingeniería, DIMEI - Departamento de Sistemas, UNAM, Cd. Universitaria, México DF, México. Apdo. Postal 70-256, wann@unam.mx.