



# INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

---

---

CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIONES  
Y ESTUDIOS SOBRE MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO  
(CIEMAD)

## EMISIONES DERIVADAS DE LA PRODUCCIÓN DE LADRILLOS EN EL ESTADO DE MÉXICO

**TESIS QUE PRESENTA:**

**ISA. OSCAR NORBERTO SÁNCHEZ HURTADO**

PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS EN  
MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO INTEGRADO

**DIRECTORES DE TESIS:**

**DRA. MA. EUGENIA GUTIÉRREZ CASTILLO**

**DR. LUIS RAÚL TOVAR GÁLVEZ**



**México, D.F., diciembre 2009**



SIP-14

**INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL**  
**SECRETARIA DE INVESTIGACION Y POSGRADO**

**ACTA DE REVISION DE TESIS**

En la Ciudad de México, D.F. siendo las 10:00 horas del día 2 del mes de diciembre del 2009 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CIEMAD-IPN para examinar la tesis titulada:  
"Emisiones derivadas de la producción de ladrillos en el Estado de México"

Presentada por la alumna

SÁNCHEZ  
Apellido paterno

HURTADO  
materno

OSCAR NORBERTO  
nombre(s)

Con registro: 

A	0	6	0	3	2	2
---	---	---	---	---	---	---

aspirante de: Maestro en Ciencias en Medio Ambiente y Desarrollo Integrado

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **SU APROBACION DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISION REVISORA

Director de tesis  
  
DR. LUIS RAÚL TOVAR GALVEZ

Director de tesis  
  
DRA. MARÍA EUGENIA GUTIÉRREZ CASTILLO

DR. VÍCTOR FLORENCIO SANTES HERNÁNDEZ

DR. MARIO DEL ROBLE PENSADO LEGLISE

DR. ADOLFO MEJÍA PONCE DE LEÓN

EL PRESIDENTE DEL COLEGIO

DRA. NORMA PATRICIA MUÑOZ SEMILLA





## **INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**

### COORDINACION DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

#### **CARTA DE CESIÓN DE DERECHOS**

En la ciudad de México el,7 de diciembre del año 2009, el que suscribe Oscar Norberto Sánchez Hurtado, alumno del Programa de Maestría en Medio Ambiente y Desarrollo Integrado, con el número de registro A060322 adscrito al CIEMAD – IPN, manifiesta que es el autor intelectual del presente trabajo de tesis bajo la dirección de la Dra. Ma. Eugenia Gutiérrez Castillo y el Dr. Luís Raúl Tovar Gálvez, y cede los derechos del trabajo titulado: “Emisiones derivadas de la producción ladrillos en el Estado de México”, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o directora del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección:  
saho\_encb@yahoo.com.mx/ [ciemad@ipn.mx](mailto:ciemad@ipn.mx).

Si el permiso es otorgado, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

---

Oscar Norberto Sánchez Hurtado

## **Créditos**

El trabajo de investigación que sustenta esta tesis de Maestría fue realizado en el Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo de IPN, bajo la dirección de:

Dra. Ma. Eugenia Gutiérrez Castillo

Dr. Luis Raúl Tovar Gálvez

Responsable del proyecto de investigación.

CIEMAD – IPN proyecto SIP número **20090515**

## **Agradecimientos**

El autor de este trabajo agradece:

Al CIEMAD ya que con su estructura física y humana hicieron posible el desarrollo del presente estudio.

## MAS AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quiero agradecer a **DIOS** por darme la oportunidad de continuar en este plano Tierra. Gracias a él por permanecer siempre a mi lado en los momentos más difíciles de mi vida, gracias infinitamente por su bondad e inmensa luz.

De manera muy especial quiero manifestar mi agradecimiento a la Dra. Ma. Eugenia Gutiérrez Castillo y al Dr. Luís Raúl Tovar Gálvez, no solo por su asesoría, apoyo y paciencia durante la realización del presente trabajo, si no por la amistad que siempre me han brindado.

Son muchas otras, personas que de una u otra forma contribuyeron a la conclusión del presente trabajo, por lo que enumerarlas podría llevarme a la omisión de alguna de ellas, lo que sería muy lamentable. A todas estas personas les manifiesto mi más sincera gratitud.

A mi hijito “lindo” Oscar Eduardo Sánchez Carrera por su comprensión y apoyo.

A mis Padres

Alicia Hurtado Estrella y Agustín Sánchez Lara por su amor, comprensión, y demás.

A mi adorado y querido Abuelo: Narciso Hurtado Nieves<sup>†</sup>, el “Chingón de Chingones”

A mi maestro de toda la vida, el Q.B.P José Luís Munguía Pérez <sup>†</sup>. Por todas esas palabras y actos de apoyo que fueron un impulso.

Finalmente, dedico el presente trabajo a todos mis familiares y seres queridos.

Una vez más, gracias a todos por apoyarme incondicionalmente.

# Índice

	<b>Pág.</b>
Créditos	4
Agradecimientos	5
Lista de figuras	7
Lista de tablas	8
Lista de acrónimos	9
Glosario	11
Resumen y Abstract	15
<b>1. Introducción</b>	<b>17</b>
Antecedentes	19
Objetivos del estudio	25
Hipótesis	25
<b>2. Marco teórico</b>	<b>26</b>
Sector Informal Ladrillero	26
Fabricación artesanal de ladrillo en el Estado de México	27
Proceso de Producción	29
• Países Desarrollados	29
• Países en Desarrollo	32
Evaluación de Emisiones	42
• Técnicas de estimación	
• Factores de emisión	
Inventario de Emisiones a la atmósfera en el Estado de México	45
Normatividad en ladrilleras	49
<b>3. Materiales y Métodos</b>	<b>50</b>
<b>4. Resultados y discusión</b>	<b>54</b>
<b>5. Conclusiones</b>	<b>63</b>
<b>6. Bibliografía</b>	<b>64</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>68</b>

## Lista de Figuras

<b>Figura</b>	<b>Título</b>	<b>Pág.</b>
1	Ubicación de municipios del Estado de México productores de ladrillo	28
2	Proceso para la fabricación de ladrillo en Estados Unidos	30
3	Arcilla utilizada en la preparación de la mezcla, conocida como barro por los ladrilleros del Estado de México.	33
4	Arcilla utilizada por ladrilleros del municipio de Ixtapaluca. Llamada “lama” en el ambiente ladrillero	33
5	Arcilla empleada en la elaboración de la mezcla	33
6	Herramienta manual utilizada en la fabricación de ladrillo	34
7	Operación de Moldeo de ladrillo	34
8	Etapas de secado a la intemperie	35
9	Arreglo de ladrillos en el interior del horno	35
10	Horno ladrillero, capacidad 7500 ladrillos situado en el municipio de Ixtapaluca Estado de México	37
11	Horno de forma circular instalado en Cd. Juárez Chihuahua	37
12	Materiales empleados en la cocción de ladrillo	38
13	Material combustible prohibido, usado para alimentar el horno	38
14	Material combustible permitido en los hornos ladrilleros del Estado de México	39
15	Inventario de fuentes de área ZMVCT	48
16	Mapa de los municipios estudiados	52
17	Contaminantes criterio emitidos por ladrilleras de distintos municipios de Ciudad Juárez y Estado de México.	61

## Lista de tablas

<b>Tabla</b>	<b>Título</b>	<b>Pág.</b>
1	Ladrilleras artesanales en diversos Estados de la Republica Mexicana	20
2	Producción anual de ladrilleras artesanales en diferentes Estados del País	21
3	Hornos ladrilleros distribuidos en 13 municipios en Ciudad Juárez, Chihuahua	22
4	Emisiones anuales de fuente de área y de ladrilleras en México 1999	23
5	Estratificación de la Micro, pequeña y Mediana empresa por número de trabajadores	27
6	Combustibles utilizados en la fabricación de ladrillos en el Estado de México	39
6A.	Características de combustibles y emisiones generadas en las ladrilleras	41
7	Número de hornos en municipios del Estado de México	46
8	Inventario de emisiones de fuentes de área en la ZMVCT (ton/año)	47
9	Inventario de emisiones de fuentes de área en la ZMVT (ton/año)	48
10	Información relevante de los Municipios en estudio	51
11	Factores de emisión para combustible	53
12	Factores de emisión de contaminantes criterios para producción de ladrillos	53
13	Emisiones anuales calculadas utilizando los factores de emisión desarrollados por la USEPA y relacionados con el consumo de combustible	57
14	Comparativo de emisiones estimadas por factores de emisión diferentes	57
15	Contaminantes atmosféricos que se generan por etapa del proceso de producción de ladrillos	59
16	Emisiones anuales estimadas para 11 municipios del Estado de México	59
17	Contaminantes estimados con factores de emisión en Cd. Juárez	60
18	Principales contaminantes emitidos por fuentes de área en Chihuahua, Estado de México y en la Republica Mexicana (ton/año).	62

### Lista de acrónimos

Art	Artículo
°C	Grado Centígrado
CENICA	Centro de Investigación y Capacitación Ambiental
CIIDIR	Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional
COV's	Compuestos Orgánicos Volátiles
CPEUM	Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
DGGIA	Dirección General de Gestión e Información Ambiental
DGCENICA	Dirección General del Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental
DGICURG	Dirección General de Investigación sobre la Contaminación Urbana, Regional y Global
DOF	Diario Oficial de la Federación
EUA	Estados Unidos de América
EFR	Grado del Factor de Emission Factor Rating
FE	Factor de Emisión
GEI	Gas de Efecto Invernadero
Gg	Giga gramos
HC	Hidrocarburos
INE	Instituto Nacional de Ecología
IMP	Instituto Mexicano del Petróleo
IPCC	Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático
LGEEPA	Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente
L	Litro
LMP	Límites Máximos Permisibles
NC	No Conocido

NO <sub>x</sub>	Óxidos de Nitrógeno
N <sub>2</sub> O	Óxido Nitroso
NOM	Norma Oficial Mexicana
NTE	Norma Técnica Ecológica
NTEE	Norma Técnica Ecológica Estatal
PCDD	Policloro Dibenzo-p- Dioxinas
PCDF	Policloro-Dibenzofuranos
PCT	Potencial de Calentamiento Total
PST	Partículas Sólidas Totales
PK	Protocolo de Kyoto
PM	Materia Particulada
PNUMA	Programa de Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente
SCC	Source Classification Code
SEEM	Secretaría de Ecología del Estado de México
SEMARNAT	Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales
SO <sub>x</sub>	Óxidos de Azufre
UAMI	Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa
UE	Unión Europea
USEPA	Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos
VCN's	Valores Caloríficos Netos
ZMVM	Zona Metropolitana del Valle de México
ZMVCT	Zona Metropolitana del Valle Cuautitlán Texcoco
ZMVT	Zona Metropolitana del Valle de Toluca

## GLOSARIO

**Arcillas.** Material terroso de origen sedimentario, que al mezclarse con el agua puede moldearse, y al cocerse a altas temperaturas endurece, formando piezas que se utilizan como material de construcción.

**Astillas:** Madera en bruto que se ha reducido deliberadamente a piezas de tamaño reducido, o residuos adecuados para fines energéticos.

**Banco de material pétreo.** Terreno en el que se realizan actividades de extracción de los componentes de suelo y subsuelo tales como arcillas, arenas y rocas o productos de su descomposición que se utilizan para la fabricación de materiales para la construcción.

**Bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).** Gas presente en la naturaleza, que se crea también como consecuencia de la quema de combustibles de origen fósil y biomasa, así como de cambios en el uso de la tierra y otros procesos industriales. Es el principal GEI o que afecta el balance radiativo de la Tierra. Es el gas que se toma como marco de referencia para medir otros gases de efecto invernadero, y por lo tanto su Potencial de Calentamiento Total (PCT) es de 1.

**Cambio climático.** Variación estadísticamente significativa, ya sea de las condiciones climáticas medias o de su variabilidad, que se mantiene durante un período prolongado (generalmente durante decenios o por más tiempo).

**Carbón vegetal:** residuo sólido derivado de la carbonización, destilación, pirólisis y torrefacción de la madera (de troncos y ramas de árboles) y subproductos de la madera, utilizando sistemas continuos o discontinuos (hornos de pozo, ladrillo y metal).

**Centro de Población.** Las áreas urbanas ocupadas por las instalaciones necesarias para su vida normal, las que se reserven a su expansión futura; las constituidas por elementos naturales que cumplen una función de preservación de las condiciones ecológicas de dichos centros; y las que por resolución de la autoridad competente, se dediquen a la fundación de los mismos

**Cocido de materiales.** Proceso de fraguado a que son sometidos los materiales arcillosos en el interior del horno.

**Conurbado.** El término se refiere al fenómeno de expansión de un área urbana dada, que absorbe física y funcionalmente localidades relativamente próximas a ella; se trata también de la unión de dos o más áreas urbanas pertenecientes a distintas jurisdicciones político-administrativas.

**Combustibles de origen fósil.** Combustibles a base de carbono procedentes de yacimientos de carbono fósil, que comprenden el carbón, el petróleo y el gas natural.

**Ecosistema.** Sistema de organismos vivos en interacción y su entorno físico. Las fronteras de lo que puede ser llamado ecosistema son algo arbitrarias, según el enfoque de interés o de estudio. Por eso, un ecosistema puede extenderse desde escalas espaciales muy pequeñas hasta toda la Tierra, en última instancia.

**Efecto invernadero.** Los GEI absorben efectivamente radiación infrarroja emitida por la superficie de la Tierra, por la propia atmósfera debido a los mismos gases y por las nubes. De esta manera, los GEI atrapan el calor dentro del sistema superficie–tropósfera. A esto se le llama efecto invernadero natural.

**Eficiencia energética.** Relación entre la producción de energía de un proceso de conversión o de un sistema y su insumo de energía.

**Emisiones.** En el contexto del cambio climático, el término emisiones se refiere a la liberación de gases de efecto invernadero y/o sus precursores y aerosoles en la atmósfera en una zona y por un período determinados.

**Emisión a la atmósfera.** Introducción a la atmósfera de todo material o sustancia extraña en cualquiera de sus estados físicos.

**Energía alternativa.** Energía derivada de fuentes de combustibles no fósiles.

**Energía renovable:** consiste en la energía producida y/o derivada de fuentes que se renuevan ilimitadamente (hídrica, solar y eólica) o generada por combustibles renovables (biomasa producida de madera producida en forma sostenible); se expresa generalmente en unidades de energía y, en el caso de los combustibles, se basan en valores caloríficos netos.

**Factores de emisión.** Son las relaciones entre la cantidad de contaminante emitido a la atmósfera y un dato de actividad, incluyen: niveles de producción,

consumo de materia prima, consumo de combustibles, población kilómetros recorridos, etc.

**Fuente.** Todo proceso, actividad o mecanismo que descargue en la atmósfera un GEI, un aerosol o un precursor de un GEI o de un aerosol.

**Fuente Fija.** La instalación o conjunto de instalaciones pertenecientes a una sola persona física o moral, ubicadas en una poligonal cerrada que tenga como finalidad desarrollar operaciones o procesos industriales, comerciales o de servicios o actividades que generen o puedan generar emisiones contaminantes a la atmósfera.

**Gases de efecto invernadero (GEI).** Los GEI son los componentes gaseosos de la atmósfera, tanto naturales como antropogénicos, que absorben y emiten radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación infrarroja emitido por la superficie de la Tierra, la atmósfera y las nubes.

**Hogar.** Es la parte del horno ladrillero formado por el piso del horno y los arcos en donde se realiza la combustión.

**Horno ladrillero.** Obra de ingeniería de dimensiones variables donde se realiza el cocido de las piezas de arcilla.

**Medidas de prevención y mitigación.** Conjunto de disposiciones y acciones que tienen por objeto prevenir y disminuir los impactos ambientales negativos.

**Metano (CH<sub>4</sub>).** Uno de los seis GEI que deben limitarse en virtud del Protocolo de Kyoto (PK).

**Niveles Máximos permisibles de emisiones.** Límite máximo promedio tolerable como descarga a la atmósfera de sustancias que alteren la composición del aire.

**Óxido nitroso (N<sub>2</sub>O).** Uno de los seis GEI que deben limitarse en virtud del PK. a la CMNUCC pero no están incluidos en el Anexo I de la misma.

**Proceso de Combustión:** Procedimiento mediante el cual un sistema de equipos alteran la ignición de un combustible.

**Región.** Se consideran regiones a la Zona Metropolitana de la Ciudad de México y cada una de las zonas críticas.

**Renovables.** Fuentes de energía sostenibles dentro de un período breve en relación con los ciclos naturales de la Tierra, que comprenden las tecnologías sin carbono, como la energía solar, la energía hidráulica y el viento, así como tecnologías neutras con carbono, como la biomasa.

**Zona Urbana:** Espacio territorial de influencia dominante de un centro de población.

## ABSTRACT

Mexico's brick industry is characterized by its micro size enterprises and with a large number of producers with obsolete technologies. Small-scale traditional brick production is a notorious player of the informal sector where the production's bricks are fired with a variety of cheap highly polluting fuels resulting in substantial SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> and other air pollutants. The problem of the atmospheric discharge from traditional kilns in State of Mexico has been hardly assessed; furthermore emissions inventory of this region estimate the brick industrial emission like area source but using census based emission factors and considering like a noncrucial polluter. The objective of this research was to estimate the emissions of 491 traditional brick kiln's located in eleven municipalities of the state of Mexico through the application of different emission factors to identify the discrepancies between government information reported and estimated by other assessment methods. The traditional brick kilns outcome emissions in the region showed an analogous behavior with other regions in Mexico, larger quantities of CO<sub>2</sub> followed by minor levels of CO, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub>, HC, but higher emission levels than 'traditional' brickmakers in Cd. Juárez (~4 fold upper). Chalco municipality, neighboring to Mexico City, was the region with the most emissions contribution per year. The quantity of substances emitted by the studied kilns change notably when the fuel type were considered as well as the quantities burned and when it is used the brick production bulk. The emissions increased sensibly when the estimation was calculated using the combustible emission factor. The total and relative emissions (e.g. load per year, per production bulk, or per fuel quantities burned and raw materials) by industrial category should be projected in a normalized manner, in order to explain more precisely the brick industry pollution impact. The incorporation of this data category in the emission inventory could help to support that the fact sector is a serious polluter and to encourage the national regulation of this industrial category and the use of less polluting energy sources and implementation of new and clean technology to insure a more efficient combustion that mitigate environmental impacts without significantly raising production costs.

## RESUMEN

La industria ladrillera mexicana se caracteriza por ser de tamaño micro y con un gran número de pequeños productores que aplican tecnologías obsoletas. Las ladrilleras de pequeña escala artesanales o tradicionales corresponden a un sector informal cuya producción de ladrillos es horneada con una amplia variedad de combustibles baratos pero altamente contaminantes que derivan en sustanciales cantidades de  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}_2$  y otras emisiones. El problema de las descargas atmosféricas de los hornos tradicionales en el Estado de México ha sido escasamente evaluado, aunado a que el inventario de emisiones de esta región estima a las emisiones de ladrilleras como provenientes de fuentes de área, pero empleando en sus cálculos factores de emisión, basados en censos y considerando a este tipo de industria como un contaminador no crucial. El objetivo de esta investigación fue estimar las emisiones de 491 hornos empleados por la industria ladrillera tradicional, localizados en once municipios del Estado de México, a través del uso de diferentes factores de emisión, para identificar las discrepancias entre la información reportada por las entidades gubernamentales y las estimadas por otros métodos de evaluación. Las emisiones resultantes de las ladrilleras tradicionales en la región mostraron un comportamiento similar con las ladrilleras de otras regiones de México, i.e. grandes cantidades de  $\text{CO}_2$  y menores niveles de  $\text{CO}$ ,  $\text{SO}_x$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{HC}$ , pero con niveles de emisión más altos que las ladrilleras tradicionales en Ciudad Juárez de aproximadamente 4 veces más. El municipio de Chalco, conurbado a la Ciudad de México, fue la región con mayor contribución de emisiones por año. La cantidad de sustancias emitidas por los hornos estudiados cambia notablemente cuando se considera el tipo y cantidad de combustible quemado y cuando se emplea el volumen total de producción de ladrillos. Las emisiones de las ladrilleras incrementan sustancialmente cuando la estimación se realiza usando factores de emisión por combustible. Las emisiones totales y relativas (ej. carga por año, por volumen de producción, por cantidad de combustible quemado y de materia prima) por categoría industrial deben ser proyectadas en forma estandarizada, para que puedan explicar con mayor precisión el impacto de la contaminación derivada de las ladrilleras. La incorporación de esta categoría de datos en el inventario de emisiones puede contribuir a identificar que este giro industrial es un serio contaminador, además de promover la regulación nacional del sector, así como el uso de fuentes de energía menos contaminantes y la implementación de nuevas tecnologías limpias para asegurar una combustión más eficiente que apoye la mitigación del impacto ambiental sin aumento importante en los costos de producción.

## INTRODUCCION

Tanto en México como en otros países en desarrollo, la industria ladrillera tradicional es una fuente importante de contaminación del aire, y por lo tanto, tiene directa responsabilidad en los problemas de calidad del aire de las regiones locales donde se desarrolla y es contribuyente de la contaminación atmosférica de las ciudades cercanas (Dasgupta et al., 1998; Blackman et al., 2000).

La manufactura de ladrillos a pequeña escala también denominada artesanal es una actividad económica importante en varias localidades de México y de otros países en vías de desarrollo, aunque provee de oportunidades de empleo a cientos de personas, también genera grandes cantidades de contaminantes por periodos prolongados. Generalmente, corresponde a un sector industrial informal (no organizado) y no regulado, cuyo proceso de producción no sigue un control de calidad estricto, emplea para la manufactura de sus productos combustibles altamente contaminantes como llantas, aceites gastados, residuos industriales y casi cualquier material orgánico de desecho, que generan multitud de contaminantes, afectando el aire, cuerpos de agua y suelo (Blackman and Bannister, 1998; Blackman et al, 2000).

La información sobre la naturaleza, el destino ambiental y los efectos de los contaminantes emitidos por hornos ladrilleros es limitada, debido a que resulta impracticable recopilar datos y estimar las emisiones para cada establecimiento en forma individual y por tanto es difícil clasificarlas como fuentes puntuales, de tal suerte que en nuestro país se tipifican como fuentes de área y no están consideradas, por las autoridades ambientales responsables, como una fuente importante de emisiones, bajo los argumentos de que son muy pequeñas, numerosas y dispersas, y de que liberan a la atmósfera menores cantidades de contaminantes que otros giros industriales.

Sin embargo, existen muchas razones para asumir que las pequeñas plantas son sectores de contaminación intensiva dado que muchos operan con personal poco calificado en mercados altamente competitivos no regulados por lo que es improbable que ellos se preparen para controlar su contaminación (Dasgupta et al., 1998), motivo por el cual deberían ser reguladas por las autoridades e identificarlas en los inventarios de emisiones en una forma más precisa como un

sector de importante contribución a la contaminación atmosférica al cual es necesario aplicar medidas de control.

Para mejorar el nivel de resolución de los inventarios de emisiones es necesario emplear métodos de estimación de emisiones a través de factores de emisión acordes con la actividad que se desea evaluar y que expresan la cantidad del contaminante emitido por unidad de peso, volumen, distancia o duración de la actividad que emite el contaminante (eg. kilogramos de partículas emitidas por kg de combustible quemado). En México las autoridades responsables han utilizado técnicas para estimar las emisiones derivadas de hornos ladrilleros, que consideran el uso de factores de emisión relacionados con el consumo de combustible (SEEM, 2001). Sin embargo, no han tomado en cuenta factores adicionales como la diversidad de combustibles empleados o la producción anual de las ladrilleras, que al ser integrados en las evaluaciones, permitirán analizar con mayor precisión la situación de las actividades de este giro industrial.

En este contexto este estudio presenta la estimación de las emisiones derivadas de la producción de ladrillo en once municipios del Estado de México a través de dos distintos métodos, con la finalidad de mostrar las diferencias entre las emisiones calculadas y por tanto las distintas conclusiones que se pueden derivar.

## **ANTECEDENTES**

### **La industria ladrillera en México**

La fabricación de ladrillo en México desde sus inicios se ha caracterizado por ser una actividad artesanal o familiar, que está directamente relacionada con la construcción de vivienda. Las actividades ladrilleras se han venido situando como una alternativa económica para la gente de escasos recursos, a través del esquema de economía informal y su desarrollo está en función de los centros de demanda aledaños (Romo y Córdova, 2004). No obstante, una importante proporción de las ladrilleras en México se localizan en las periferias de zonas urbanas, pero generalmente dentro de colonias abandonadas y marginadas, carentes de cualquier tipo de apoyo económico y tecnológico.

Los productores de ladrillo que logran sobresalir teniendo una venta mejor pagada o simplemente teniendo más ventas que otros son aquellos cuyas ladrilleras se encuentran automatizadas o que tienen contactos con gente involucrada en el gobierno quienes les otorgan la exclusividad del consumo de su producto para proyectos urbanos de construcción.

La producción de ladrillo es por naturaleza altamente contaminante, genera grandes cantidades de gases y partículas atmosféricas, a pesar del tiempo transcurrido desde su histórica aparición en México, no se ha logrado la modernización del proceso por lo que la emisión de contaminantes a la atmósfera sigue ocurriendo en grandes cantidades.

A pesar de que se trata de una microindustria, el número total de productores es grande, a lo largo del país existen distribuidas cerca de 13, 000 – 20,000 ladrilleras en pequeña escala (Blackman and Bannister, 1998; SEMARNAT-INE, 2002; Christian et al., 2009).

Tabla 1. Ladrilleras artesanales en diversos Estados de la Republica Mexicana

Estado	No de ladrilleras	No de ladrilleras en la frontera
Aguascalientes	413	
Baja California	210	210
Campeche	3	
Chihuahua	581	581
Coahuila	200	200
Estado de México	1,002	
Hidalgo	259	
Michoacán	102	
Nuevo León	38	38
Puebla	800	
Veracruz	36	
Querétaro	435	
Sonora	58	58
Tamaulipas	30	30
Zacatecas	508	
Total	4,675	1,117

Fuente. SEMARNAT, 1999

A pesar de que esta actividad en México contribuye al deterioro del medio ambiente, no ha sido regulada en la mayoría de los Estados donde se lleva a cabo. En la tabla 1 se proporcionan datos de algunos de los estados del país que se dedican a la fabricación de ladrillo de manera artesanal, datos del censo realizado por la SEMARNAT en el 1999. En esta tabla se observa que el Estado de México es la región del país con más ladrilleras artesanales, seguido por Puebla (ambos estados que colindan o están muy cercanamente ubicados al D.F), otro detalle importante de este censo corresponde al hecho de que aproximadamente la cuarta parte de este sector se encuentra ubicado en la frontera norte del país.

Cuando la información se presenta en cantidades de ladrillos que se producen anualmente por estado (Tabla 2), se observa que el principal productor de ladrillo es el Estado de Hidalgo, seguido por el estado de México y de Puebla todos estados cercanos o circundantes al D.F.

Tabla 2. Producción anual de ladrilleras artesanales en diferentes Estados del

País	
Estado	Ladrillos anuales
Aguascalientes	52, 680
Baja California	2, 400, 000
Chihuahua	1,200, 000
Edo. de México	329, 262, 000
Hidalgo	<b>3, 218, 000, 000</b>
Nuevo León	4, 140, 000
Puebla	185, 000, 000
Querétaro	40, 000, 000
Sonora	600, 000
Tamaulipas	960, 000
Zacatecas	91, 440, 000

Fuente: INE, 2000

Cabe mencionar, que los Estados productores de ladrillo ubicados a lo largo de la frontera con los EUA, abastecen de ladrillo a los condados estadounidenses cercanos a la frontera. Sin embargo, la demanda por el producto provocó a finales de los noventas un serio problema de contaminación del aire en éstos condados. La causa principal se atribuyó a las emisiones contaminantes liberadas por cientos de hornos localizados en esta área (Stewer, 1997). Al respecto hay ciudades en el país, por ejemplo Ciudad Juárez en donde los hornos ladrilleros son la tercera principal fuente de contaminación del aire (Blackman y Bannister, 1998).

Es pertinente mencionar que en Ciudad Juárez Chihuahua, las emisiones que resultan de la fabricación artesanal de ladrillo han originado un problema severo de contaminación del aire a nivel regional, específicamente en el área denominada Cuenca Atmosférica de la Región Paso del Norte. Por lo que, el gobierno del país vecino ha puesto en marcha diferentes iniciativas para hacer

frente a las emisiones atmosféricas derivadas de este giro industrial (Romo y Córdova, 2004).

En el año 2002, la Comisión de Calidad Ambiental en Texas Comisión (TCEQ por sus siglas en inglés) realizó un estudio para determinar la cantidad de emisiones contaminantes originadas durante la etapa de cocción del ladrillo, para lo cual utilizó un horno artesanal tradicional, que se alimentó a base de madera y aserrín. En la tabla 3 se muestran los municipios de Ciudad Juárez que se dedican a esta actividad.

Tabla 3. Hornos ladrilleros distribuidos en 13 municipios en Ciudad Juárez, Chihuahua.

<b>Distritos</b>	<b>No. Hornos ladrilleros</b>
México 68	127
Km. 20	72
Satélite	40
Felipe Ángeles	19
Fronteriza Baja	14
Km. 27	12
Valle Dorado	11
Km. 30	9
División del norte	7
Zapata	5
Río Bravo	4
FEMAP	3
Carretera a Chihuahua	2
<b>TOTAL</b>	<b>325</b>

Fuente: Gustavo, 2003

Para tener una idea de la cantidad de emisiones contaminantes que se producen en los hornos ladrilleros en México, el Instituto Nacional de Ecología (INE) estimó en el inventario de emisiones de México en 1999 (SEMARNAT-INE, 2006) que las ladrilleras generan 0.2 % de óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), 0.5 % de compuestos orgánicos volátiles (VOC), 1.5 % de monóxido de carbono (CO), 1.3 % de partículas menores o iguales a 10 µm (PM<sub>10</sub>) y 1.6 % de partículas menores o iguales a 5 µm (PM<sub>2.5</sub>) del total de los contaminantes criterio por área (Tabla 4). En Ciudad Juárez que sus ladrilleras producían 242 ton/año de partículas, 1,765 ton/año de monóxido

de carbono, 3 ton/año de óxido de azufre, 18 ton/año de óxidos de nitrógeno y 1600 ton/año de hidrocarburos y que según estos cálculos, la suma total de las emisiones generadas por el sector ladrillero representan el 0.6% del total de las emisiones generadas en la ciudad. Adicionalmente, Blackman et al. (2006), reportaron que 330 hornos ladrilleros en esta misma Ciudad producen 16 % de las PM y 43 % de SO<sub>2</sub>, que integran las cenizas urbanas.

Tabla 4. Emisiones anuales de fuente de área y de ladrilleras en México 1999

	NOx	SOx	VOC	CO	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	NH <sub>3</sub>
Toneladas / año							
Ladrilleras	618.2	---	8,058.5	36,502.4	5,471.4	5,267.2	---
total	276,32.6	194,641.7	1,743,587	2,500,852	439,253.3	320,369.2	1,297,832

Fuente: SEMARNAT-INE, 2006

En el año 2006, investigadores de la Universidad Autónoma de Nayarit revelaron datos e información sobre las emisiones que genera la industria ladrillera en el Estado de Nayarit. De acuerdo a estudios isocinéticos, se logró determinar que en 306 hornos ladrilleros construidos de forma artesanal y distribuidos en 12 municipios del Estado, se emiten aproximadamente 20,896 ton/ año de contaminantes, tales como PST, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, CO y CO<sub>2</sub>, producto de la combustión ineficiente de 24,136 ton/ año de leña aproximadamente (Zúñiga, 2004).

Otros contaminantes que han sido reportados en inventarios de emisiones a nivel nacional relacionados con la actividad ladrillera son las dioxinas (policloro dibenzo-p-dioxinas PCDD) y los furanos (policloro-dibenzofuranos PCDF), es necesario mencionar que estos dos últimos son parte de los doce contaminantes orgánicos persistentes (COPs) identificados por el PNUMA y se generan cuando se queman llantas (DGCENICA, 2003).

Aunado a lo anterior investigadores del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR-IPN U. Oaxaca), llevaron a cabo la medición de emisiones en un horno ladrillero de tipo artesanal que utiliza madera y aserrín como combustible. Se logró identificar y determinar la presencia de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, y N<sub>2</sub>O, según los investigadores estos gases se emiten cuando se quema

madera o aserrín y las condiciones de operación del horno no son eficientes (Julián y Cruz, 2006).

El abaratamiento de los costos en la producción del ladrillo y el nivel de educación de los ladrilleros, ha ocasionado que se utilicen como combustible en los hornos diversos materiales, basura, llantas, plásticos y aceites usados, generando gran cantidad de emisiones contaminantes. Aunado a esto, la falta de recursos económicos, tecnología apropiada y financiamiento, entre otros, obstaculizan el control de la contaminación en este sector.

## **OBJETIVO GENERAL**

- Estimar las emisiones derivadas de la producción de ladrillo en once municipios del Estado de México que son conurbados al área metropolitana de la Ciudad de México.
- 

## **OBJETIVOS PARTICULARES**

- Recopilar y analizar la información documental y de campo en ladrilleras del Estado de México.
- Estimar las emisiones contaminantes derivadas de la producción de ladrillo a partir de factores de emisión basados en el consumo de combustible y en la cantidad de ladrillos producidos.
- Comparar las emisiones estimadas para las ladrilleras en el Estado de México con respecto a las ladrilleras de Ciudad Juárez, Chihuahua.

## **HIPÒTESIS**

La cuantificación de emisiones contaminantes derivadas de la producción de ladrilleras ubicadas en el Estado de México está determinada por el tipo de factor de emisión empleado para su estimación, lo que genera inconsistencias de interpretación.

## **MARCO TEORICO**

### **Sector informal ladrillero**

La mayor parte de las ladrilleras que existen en el territorio nacional se sitúan en el sector informal (Pérez y Payán, 2003), por lo cual, no cuentan con un esquema regulatorio y prácticamente no pagan impuestos. Se instalan en terrenos (propiedad ejidal o comunal, en ocasiones los ladrilleros pagan renta por el uso del terreno), apartados de la urbanización, sin embargo, como consecuencia del crecimiento de la mancha urbana se han venido integrado a las ciudades o a las regiones circundantes a estas. En diversa ocasiones han quedado inmersas en zonas habitacionales, situación que origina molestia e inconformidad de los vecinos, debido a que la emisión de contaminantes afecta en gran manera la salud, la calidad de vida y el medio ambiente de las poblaciones que habitan en los alrededores en donde se localizan.

De acuerdo con el número de personas que laboran en esta actividad la industria ladrillera está clasificada en pequeña, grande y mediana según la tecnología y la capacidad de producción con que se cuenta. La Ley para el Desarrollo de la Competitividad de la Micro, Pequeña y Mediana Empresa, en su capítulo primero del artículo 3 en la fracción III, considera a las ladrilleras artesanales como una micro empresa (DOF, 2002). En la tabla 5 se presenta la estratificación general que incluyen a productores agrícolas, ganaderos, forestales, pescadores, acuicultores, mineros, artesanos y prestadores de servicios turísticos, con la finalidad de tener una idea del número de trabajadores que se consideran en cada tipo.

Como se ha mencionado anteriormente estas micros y pequeñas empresas se caracterizan por tener poca capacidad económica, además no tienen acceso a créditos bancarios y, tal vez lo más grave es la carencia de conocimientos tecnológicos (Romo, 2004). Aunado a esto, la información sobre los apoyos que pudiesen recibir para adecuar sus procesos en función de una reducción de emisiones, no les es accesible.

Tabla 5. Estratificación de la Micro, pequeña y Mediana empresa por número de trabajadores.

Sector/ Tamaño	Industria	Comercio	Servicios
Micro	0 - 10	0 - 10	0 - 10
Pequeña	11 - 50	11 - 30	11 - 50
Mediana	51 - 250	31 - 100	51 - 100

Fuente: SE, 2002.

## **Fabricación artesanal de ladrillo en el Estado de México**

### **Aspectos generales del Estado de México**

El Estado de México está constituido por 125 Municipios, su territorio 22 357 km<sup>2</sup>, representa el 1.1% del total del país, con una población al 2005 de 14 007 495 millones de 14 007 495 habitantes, que corresponden al 13.6 % del total de la población nacional (INEGI, 2005). La aportación al PIB Nacional corresponde al 9.7 %, su economía depende básicamente de la industria manufacturera. A consecuencia del acelerado crecimiento económico, y su cercanía con el Distrito Federal, el Estado de México posee una de las más altas dinámicas poblacionales del territorio nacional en él se identifican dos zonas urbanas metropolitanas: la zona metropolitana del Valle Cuautitlán Texcoco (ZMVCT) y la zona metropolitana del Valle de Toluca (ZMVT). La primera comprende 28 municipios conurbados a la Ciudad de México, ubicados en el Valle Cuautitlán Texcoco, donde habita el 69% de la población del Estado. La otra zona metropolitana se localiza en el Valle de Toluca, la cual se compone por 7 municipios; en este valle sólo se asienta un 9% de la población. En el resto de los municipios (87) se asienta el 22% de la población del estado.

Del total de los municipios que integran al estado de México, veinte de estos se dedican a la elaboración de ladrillo y son los siguientes: Huixquilucan, Naucalpan, Coyotepec, Teoloyucan, Teotihuacán, Acolman, Chiautla, Chicoloapan, Ixtapaluca, Chalco, Ozumba, Aculco, Temascalcingo, El Oro, Toluca, Metepec, Calimaya, Zinacantepec, Valle de Bravo y Tejuplico (Figura 1). Lo anterior, según

el censo realizado por la Secretaría de Ecología del Estado de México (SEEM, 2001).

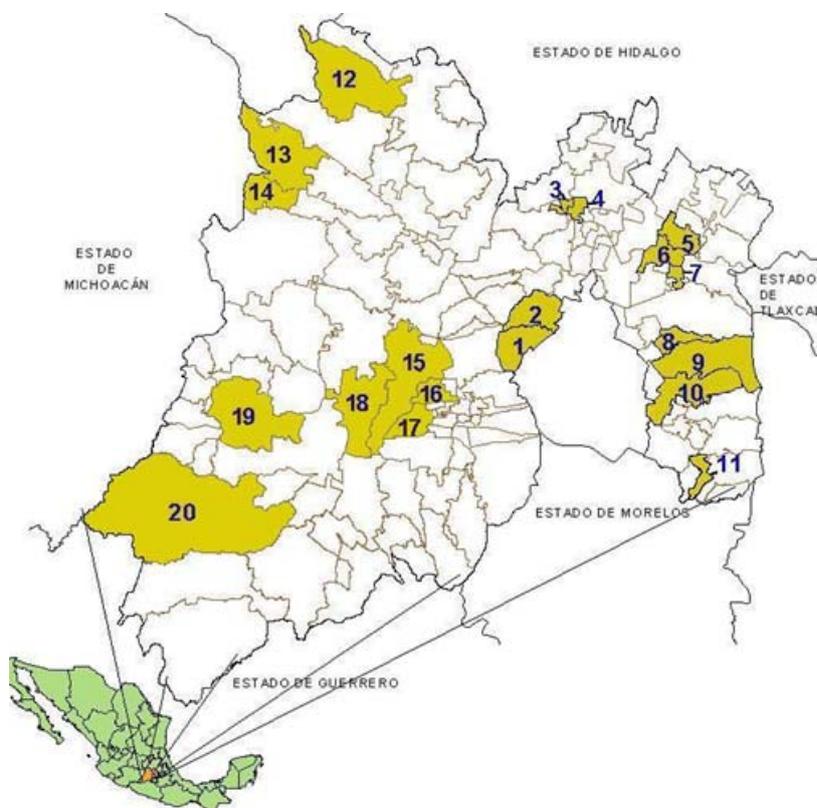


Figura 1. Municipios del Estado de México productores de ladrillo.

En el Estado de México dependen económicamente, 12,100 personas de la industria ladrillera artesanal, aproximadamente 3 familias por horno. En un horno con capacidad para 30,000 ladrillos se obtienen \$13,500.00 por mes (SEEM, 1999).

La producción de ladrillo estimada para los 20 municipios descritos es de 254,000,000 ladrillos/ anuales. El número total de hornos en la entidad corresponde a 1,263 (SEEM, 2001). La distribución y venta del ladrillo en el mercado (informal), es fácil y segura. La variabilidad de los precios está determinada por la calidad de los insumos, del mercado y del producto final.

Existen diversos factores que influyen en la producción de ladrillo en México, dentro de estos podemos citar las condiciones climatológicas de la región, la oferta y la demanda. Uno de los más importantes es el clima, que se ve reflejado en la temporada de lluvia y en invierno cuando la capacidad de fabricar ladrillo

disminuye, ocasionando que el costo del ladrillo se incremente. La relativa seguridad del mercado permite pensar en la posibilidad de impulsar financiera y tecnológicamente mejoras en el proceso productivo (Romo, 2004).

### **Proceso de producción de ladrillos**

Desde tiempos inmemoriales, se ha preferido los ladrillos para desarrollar las construcciones en el mundo. A lo largo de muchos años el proceso de fabricación de ladrillos ha cambiado muy poco. En países desarrollados se ha pasado de ladrillos hechos por el hombre, secados bajo el sol y cocidos por temperatura, a proceso automatizados, con maquinas que ágilmente moldean los ladrillos, secadores artificiales y rápido fraguado.

En contraste en los países en desarrollo y en mayor medida en sus zonas rurales y periurbanas el proceso de producción de ladrillos y organización del trabajo no ha cambiado importantemente, aún a pesar de que se han vuelto importantes mercados de venta de ladrillos.

#### **a. Países desarrollados (Moreno, 2004)**

El proceso de fabricación de ladrillos en los países desarrollados, se realiza de manera automatizada y bajo un estricto control de calidad. Es a través del uso de tecnología de punta como son: maquinas de extrusión de gran capacidad y eficiencia, mecanismos de secado (artificial y continuo), y sistemas de recuperación de calor. Como se logra aumentar la producción y disminuir el costo de fabricación. Cabe mencionar que los hornos son de alta eficiencia térmica (intermitentes, Hoffman, y túnel) y de gran capacidad, consumen cantidades menores de combustible. Los materiales con los que están contruidos son altamente refractarios generando pérdidas de calor considerablemente menores que los materiales de uso común. Utilizan sistemas de regulación automática de control de temperatura y de presión.

En la fabricación de ladrillos se llevan a cabo una serie de procesos estándar que comprenden desde la elección del material arcilloso, al proceso de empaado final. La materia prima utilizada para la producción de ladrillos es, fundamentalmente, la arcilla. Una vez seleccionado el tipo de arcilla el proceso puede resumirse en:

- Maduración

- Tratamiento mecánico previo
- Depósito de materia prima procesada
- Humidificación
- Moldeado
- Secado
- Cocción
- Almacenaje

A continuación se describen de manera general cada una de las etapas y en la Figura 2 se muestra el proceso típico de fabricación de ladrillo en los Estados Unidos.

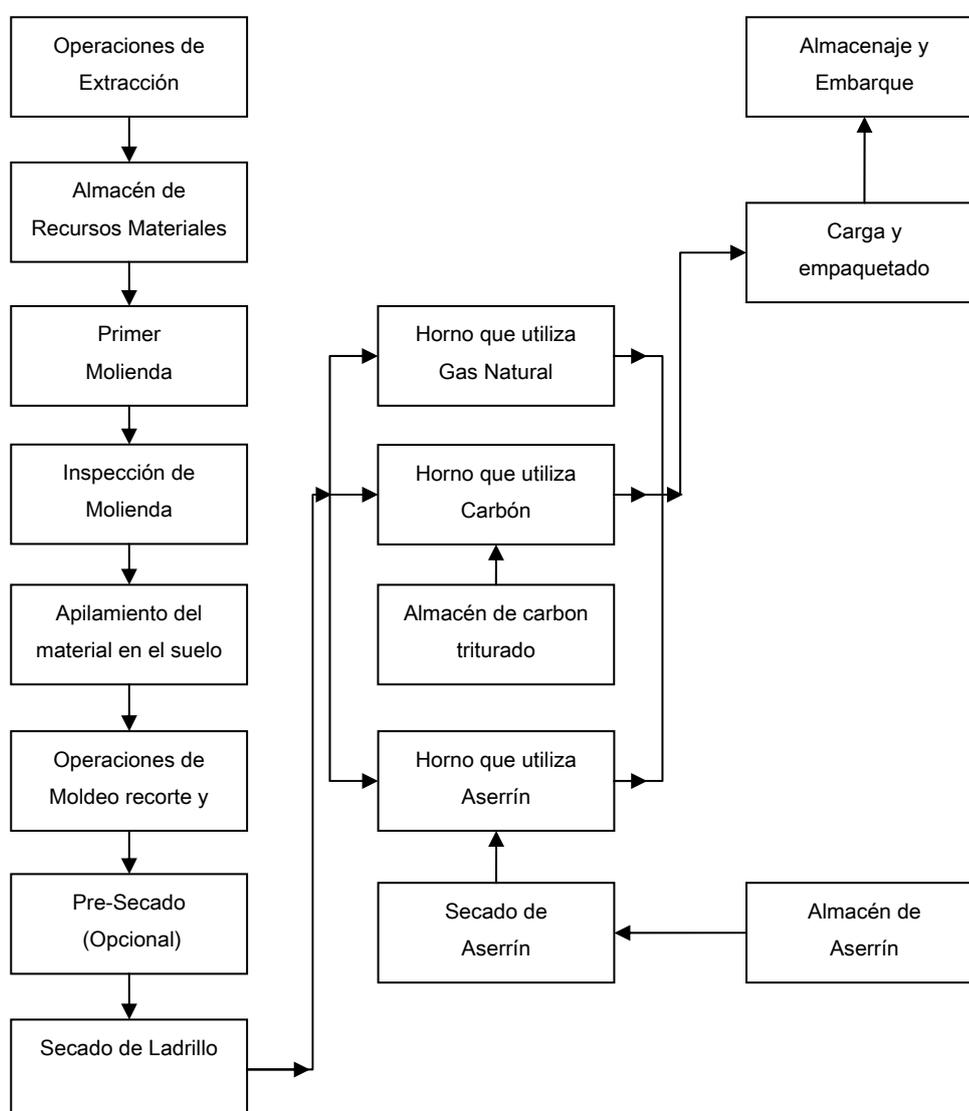


Figura 2. Proceso para la fabricación de ladrillo en Estados Unidos (USEPA, 2009).

**Maduración:** previo a la incorporación de la arcilla al ciclo de producción, debe pasar por ciertos tratamientos de trituración, homogenización y reposo, con la finalidad de obtener una consistencia y uniformidad adecuada.

**Tratamiento mecánico previo o fase de pre-elaboración:** consiste en una serie de operaciones que tienen la finalidad de purificar y refinar la materia prima.

A la fase de pre-elaboración, sigue el depósito del material en silos, donde el material se homogeniza tanto en apariencia como en características físico químicas.

Antes de la operación de moldeo, se saca la arcilla de los silos y se lleva a un laminador refinador y, posteriormente a un mezclador humedecedor, donde se agrega agua para obtener la humedad precisa.

**Moldeado:** consiste en hacer pasar la mezcla de arcilla a través de una boquilla al final de la extrusora. La boquilla es una plancha perforada que tiene la forma del objeto que se quiere producir. Se realiza en caliente utilizando vapor saturado aproximadamente a 130 °C y a presión reducida. Lo anterior, para obtener una humedad más uniforme y una masa más compacta, puesto que el vapor tiene un mayor poder de penetración que el agua.

**Secado:** tiene la finalidad de eliminar el agua agregada en la fase de moldeado para, de esta manera, poder pasar a la fase de cocción. Se lleva a cabo en secaderos y consiste en circular aire, de un extremo a otro, por el interior del secadero. Lo más normal es que la eliminación del agua, del material crudo, se lleve a cabo soplando, superficialmente, al material, aire caliente con una cantidad de humedad variable.

**Cocción:** se realiza en hornos de túnel y donde la temperatura oscila entre 900 °C y 1000 °C. En el interior del horno, la temperatura varía de forma continua y uniforme.

El material secado se coloca en carros especiales, y es alimentado continuamente por uno de los extremos del túnel (de dónde sale por el extremo opuesto una vez que está cocido).

**Almacenaje:** Antes del embalaje, se procede a la formación de paquetes sobre plataformas, que permitirán después moverlos fácilmente con carretillas. El

embalaje consiste en envolver los paquetes con cintas de plástico o de metal, de modo que puedan ser depositados en lugares de almacenamiento para, posteriormente, ser trasladados en camión.

#### **b. Países en Desarrollo (Blackman and Bannister, 1998)**

Estudios recientes sugieren que el tamaño de la planta correlaciona inversamente con su intensidad de emisiones en países en desarrollo, debido a las diferencias de escalas de las economías privadas, en control de la contaminación y las escalas en las economías públicas, en el monitoreo y fortalecimiento de la regulación ambiental. En México por ejemplo existe una gran cantidad de ladrilleras a pequeña escala (aproximadamente 20,000 en el país) que emplean un proceso de producción de ladrillos como el que se describe a continuación:

El proceso de elaboración de ladrillos en el Estado de México se basa en cinco pasos fundamentales que son: la extracción de la materia prima, la preparación de la mezcla, el moldeado, el secado y el horneado. A continuación se mencionan con mayor detalle cada paso.

#### **Extracción de la materia prima.**

Las tierras que se utilizan para la fabricación del ladrillo son aquellas en las que predominan las arcillas (estas incluyen al barro y la lama, llamadas así por los ladrilleros de la zona) y las arenas. Se extraen de canteras localizadas en regiones cercanas a las ladrilleras, por lo regular este material se compra a personas que se dedican a la extracción y venta de la materia prima (Figura 3, 4 y 5).



Figura 3. Arcilla (barro) utilizada por los ladrilleros del Estado de México.



Figura 4. Arcilla “lama” utilizada por ladrilleros del municipio de Ixtapaluca



Figura 5. Arcilla empleada en la elaboración de la mezcla.

### **Preparación de la mezcla.**

La preparación de la mezcla, se inicia mezclando la arcilla y la arena en un espacio amplio, en una proporción de 4 partes de arcilla por 3 partes de arena, se agrega agua de manera que la mezcla no quede muy aguada y tampoco muy dura. Cabe mencionar que a esta actividad también se le denomina preparación del barro. En algunos casos las proporciones pueden variar, esto depende de la experiencia del ladrillero. La actividad de mezclado se lleva a cabo de manera manual, los instrumentos de trabajo son por lo regular herramientas simples. En la mayoría de las ladrilleras el equipo básico de trabajo consiste en carretillas, botes, azadores, palas, biello, moldes y el arnero o criba (Figura 6).



Figura 6. Herramienta manual utilizada en la fabricación de ladrillo.

### **Moldeo de ladrillos**

El moldeo se realiza con rejillas de madera con 8 o 10 huecos (Figura 7), las cuales se colocan sobre el piso, en una superficie lisa, para después vaciar la mezcla en los huecos, se distribuye de manera uniforme y se retira dejando los ladrillos con las medidas deseadas y listos para iniciar el proceso de secado. Previo a esto se riega el piso con agua y se dispersa arena, esto se hace para evitar que los ladrillos moldeados se peguen a la superficie.



Figura 7. Operación de Moldeo de ladrillo.

### **Proceso de secado**

El secado se lleva a cabo de manera natural, es decir a la intemperie (Figura 8), por lo regular este proceso tiene una duración de tres a cuatro días o hasta una semana, esto depende de las condiciones ambientales. A continuación se colocan en largas hileras dejando un espacio entre ellos, con la finalidad de que el aire circule libremente y ayude a secar los ladrillos.



Figura 8. Secado a la intemperie.

La información anterior fue proporcionada por el propietario de un horno de tipo artesanal localizado en el municipio de Ixtapaluca Estado de México.

### **Carga del horno**

El acomodo de los ladrillos en el interior del horno se realiza dejando una separación entre ellos, aproximadamente 5cm. Esto se hace para que circulen los gases de combustión que provienen de la parte inferior a la parte superior del horno. Se colocan de canto y se ordenan en filas. Cada espacio entre dos ladrillos de una fila se intercala con un ladrillo de otra fila. Se forma una capa horizontal, juntando las filas de ladrillos. La carga contiene tantas capas como lo permite la altura del horno (Rodríguez et al., 2004). La dirección de las filas de una capa es perpendicular a las filas de la capa siguiente (Figura 9).

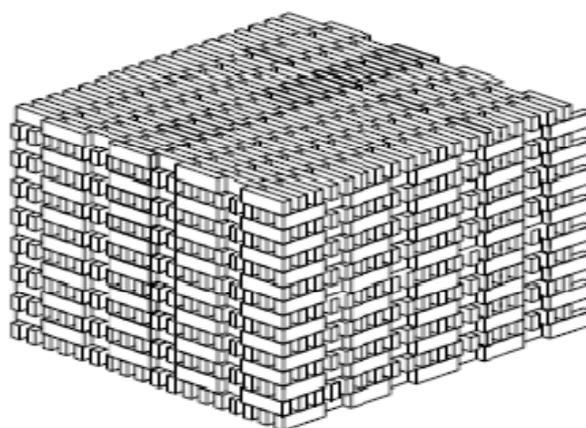


Figura 9. Arreglo de ladrillos en el interior del horno.

### **Proceso de horneado**

Una vez secos los ladrillos, es decir, cuando la humedad ha disminuido en apariencia (color y textura), se van acomodando dejando un espacio pequeño entre ellos para que circule el calor por todos los ladrillos que se encuentran en el horno (como se menciona en la etapa de carga de horno). El horneado se realiza en hornos de tipo artesanal, los cuales son construidos por los mismos ladrilleros.

El proceso de cocción, consiste en el calentamiento del horno, secado y calentamiento de ladrillos crudos, cocción y enfriamiento. Durante este proceso el operario realiza una serie de maniobras; al inicio, la parte superior del horno no se cubre para aprovechar el tiro del horno y conforme avanza el calentamiento se tapa la parte superior en secciones para dirigir los gases de combustión hacia las secciones donde juzga que hay menos temperatura (ídem). Estas operaciones las realiza de acuerdo al asentamiento del lecho de ladrillos, la emisión de los gases de combustión, la intensidad del calor que siente y el color observado en la carga.

### **Características de los hornos**

Los hornos de tipo artesanal utilizados para cocer el ladrillo en el sector informal del Estado de México, no cuentan: con un sistema de control de emisiones, quemadores y dosificadores (éste último se emplea para alimentar el combustible al horno). La mayoría consta de dos partes:

- Cámara de cocción construida a partir de bloques de adobe o arcilla mezclada con agua y estiércol o algún otro material fibroso, con estructura rectangular (Figura 10) o circular (Figura 11).
- Bóveda de alimentación de combustible localizada en la parte inferior del sistema y soporte de la cámara de cocción.



Figura 10. Horno ladrillero (capacidad 7500 ladrillos). Municipio de Ixtapaluca



Figura 11. Horno de forma circular instalado en Cd. Juárez Chihuahua.

La capacidad del horno depende de la cantidad de ladrillos por lote, en algunos casos va del orden de los 4,000 a 80,000 piezas. El funcionamiento depende de los requerimientos, es decir se puede encender desde una vez por semana hasta una vez al mes por periodos de 48 a 72 horas. Para la cocción del ladrillo se necesitan temperaturas que van desde los 600 °C hasta 1000 °C (Corral et al., 2003).

### **Combustibles.**

Los combustibles empleados para alimentar el horno en la mayoría de los casos está determinado por la disposición de los materiales y residuos localizados en el sitio donde se ubica el horno (Figuras12 y 13). Los más frecuentes en México son: madera, aserrín, combustóleo, aceites usados, diesel, basura y gas natural o gas

LP (CENICA, 2002). El uso de combustibles de desecho y altamente contaminante se debe al hecho de que varios de ellos se adquieren gratis o a bajos precios.



Figura 12. Materiales empleados en la cocción del ladrillo (lado izquierdo)



Figura 13. Material combustible prohibido y usado para alimentar el horno, (llantas, plásticos)

En el Estado de México por ejemplo los hornos ladrilleros emplean como combustibles los que se mencionan en la tabla 6.

### **Combustibles, combustión y contaminación en las actividades ladrilleras**

En la emisión de gases participan tres elementos fundamentales, el tipo de combustible, la cantidad de oxígeno disponible y la temperatura a la que tiene lugar el proceso. En teoría podría existir una combustión perfecta o también denominada completa, cuando se presentan relaciones apropiadas de aire/combustible y cuando las temperaturas de combustión son altas (debido a

que la velocidad de la reacción incrementa exponencialmente con la temperatura), bajo estas condiciones los principales productos de combustión son  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  y calor. La cantidad de este último producto depende importantemente de la velocidad de mezclado de los reactantes y del calor que se transfiere al resto de la mezcla fresca de combustible-oxidante y que permite dar continuidad al proceso de combustión.

Tabla 6. Combustibles utilizados en la fabricación de ladrillos en el Estado de México.

Combustible	Cantidad utilizada por año
Aserrín y madera	27, 000 toneladas
Aceites gastados	2,000, 000 litros
Llantas usadas	2218 toneladas( 24,000 llantas)
Residuos industriales	Se estima entre el 8% y 10% del total de combustibles usados en hornos.

Fuente: SEEM, 1999. Nota: Los residuos industriales son: plásticos, baterías, fibra de vidrio, cubierta de cable, aglomerado, solventes, tintas, químicos y residuos hospitalarios, entre otros.



Figura 14. Material combustible permitido en los hornos ladrilleros del Estado de México.

Los procesos de combustión reales, los que tienen lugar en condiciones atmosféricas, no son perfectos, y en consecuencia se originan pequeñas cantidades de carbono parcialmente oxidado y no oxidado (aun cuando se lograran condiciones ideales se produciría un insignificante nivel de emisión de subproductos). La aparición de oxidaciones incompletas y por tanto quema ineficiente del combustible se debe a las bajas proporciones de oxígeno que hay

en el aire, bajo estas circunstancias el flujo de emisión se nutre de manera inmediata con  $\text{CO}_2$  pero también con una pequeña fracción del carbono no se oxida a  $\text{CO}_2$  y permanece en forma de minúsculas partículas de hollín y ceniza, además de la generación paralela de  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  y  $\text{NO}_x$  y compuestos del tipo hidrocarburos poliaromáticos y COV's, en cantidades traza.

La cantidad de calor y emisiones que se desprenden durante la quema de combustibles depende además del tamaño molecular del combustible y de su punto de ignición, las sustancias puras tienen puntos de ignición característicos. Aunque la temperatura de ignición es esencialmente constante, el tiempo que se requiere para que se queme también depende de factores como el estado físico del combustible y por supuesto de la cantidad de aire y por tanto de oxígeno disponible. Por ejemplo, un combustible sólido se prende más rápidamente cuando se encuentra finamente dividido que cuando se encuentra en grandes trozos, el vapor de un combustible volátil se prende más rápido que cuando se encuentra en forma líquida.

En México, como en muchos otros países en desarrollo, los ladrilleros requieren obtener la mayor cantidad de energía útil de los combustibles al menor costo posible por esta razón, utilizan en su producción distintos combustibles pesados (con mayores poderes caloríficos) como madera y aserrín. La disponibilidad y precio de estos materiales hace que en la mayoría de las ocasiones se emplean mezclas de estos combustibles, de tal suerte que es muy difícil determinar con precisión el tipos de gases residuales que generan.

En la tabla no. 6A se presentan algunos de los principales combustibles empleados por los ladrilleros indicándose el valor del poder calorífico, de la sustancia pura, así como de concentraciones estimadas de gases de emisión que han sido calculadas y reportados por diversos autores (Pedroza, 2004).

Esta información da soporte a la argumentación del no uso de aceites usados como combustibles para este sector debido a que se generan emisiones tóxicas como benceno, tolueno y metales. Así mismo se ha cuestionado el uso de aserrín limpio y contaminado porque produce altas emisiones de monóxido de carbono y partículas en forma de humo y ceniza. Los niveles de emisión obtenidos para la

quemado de propano dan soporte a la promoción del uso de combustibles limpios como el propano en las ladrilleras.

Tabla no. 6A. Características de combustibles y emisiones generadas en las ladrilleras

Combustible	Aserrín		Aceite de motor usado	Propano	
	limpio	contaminado		con quemador antiguo	con quemador nuevo
	Poder calorífico promedio Kcal Kg/				
	1.8 – 2.0		10 - 20	11 - 12	
Contaminante	ppm				
Monóxido de carbono	649-1915	2671-2926	329-1987	1853-4683	255-331
Bióxido de carbono (%)	4.3-5.3	4.9-13.3	3.7-11.1	6.9-9.5	6.9-7.6
Oxígeno (%)	15.2-16.2	6.6-15.6	7.0-16.3	7.0-12.3	12.7-13.5
Monóxido de nitrógeno	12-16	36-80	12-29	40-103	19-22
Bióxido de nitrógeno	0	0	0-1	0	0
Bióxido de azufre	1-11	18.26	2-54	3-60	0-9
Arsénico			436		
Bario	10	12			
Cadmio			54		
Cromo		2	73		
Cobre	5	2	25		
Hierro	210	300			
Plomo			1114		
Manganeso	210	190			
Selenio			5		
Estroncio	7	7			
Mercurio		0.1	1		
Zinc	11	13			

Fuente: Pedroza, 2004

## **Evaluación de emisiones atmosféricas.**

### **Métodos de evaluación de emisiones derivadas de la producción de ladrillos en el Mundo.**

Para estimar las emisiones derivadas de la producción de ladrillos se han descrito cuatro técnicas (BCCPM, 1998):

1. Emission Factor (factores de emisión)
2. Fuel Análisis Data (datos de análisis de combustible)
3. CEMS Data
4. Predictive Emissions Monitoring.

De los procedimientos mencionados se explicará el correspondiente a factores de emisión dado que es la técnica que se utilizó en el estudio. Esto, por ser un método indirecto que permite estimar emisiones a la atmósfera sin realizar un muestreo directamente en la fuente de emisión.

### **Factores de emisión & AP 42**

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (por sus siglas en inglés the United States Environmental Protection Agency, USEPA), define un Factor de Emisión (FE) como aquel valor representativo que pretende relacionar la concentración de un contaminante liberado a la atmósfera con la actividad asociada a la generación del mismo. Se expresa como la masa del contaminante por unidad de peso, volumen, distancia o duración de la actividad. Estos factores son desarrollados por diversas agencias de protección ambiental alrededor del mundo. Dentro de las que destacan la USEPA, la Agencia Europea de Medio ambiente (por sus siglas en inglés the European Environment Agency, EEA), y el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) y en México el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP).

Los FE se clasifican en dos tipos: los que se desarrollan a partir de procesos (éstos se utilizan para estimar emisiones de fuentes puntuales), y aquéllos que están basados en censos (se usan para estimar emisiones en fuentes de área). Esto de acuerdo a la Guía para la elaboración de Inventarios publicada por la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2005).

## Uso de factores de emisión

Los FE permiten estimar las emisiones que provienen de diversas fuentes de contaminación del aire. Además son utilizados en la elaboración de los inventarios o reportes de emisiones en las ciudades. Por dos razones, una porque no se requiere hacer un muestreo directamente en la fuente de emisión. Otra, no es factible desde el punto de vista económico, realizar un muestreo por cada fuente de emisiones, debido a que el costo del inventario se elevaría.

A continuación se presenta la ecuación general para estimar las emisiones según la USEPA.

$$E = A \times EF \times (1 - ER/100)$$

Donde:

E = emisiones

A = intensidad de la actividad

EF = factor de emisión

ER = eficiencia de reducción de emisiones (%)

Para puntualizar, la mayoría de estos factores son simples promedios de una muestra de datos de actividad, que se utilizan para desarrollar una tasa representativa de emisión.

Cabe mencionar que existe un código o sistema de identificación asociado a los factores de emisión, este se denomina sistema de Emission Factor Rating (EFR). Y consiste en el uso de las letras: A, B, C, D y E. Cada una de ellas, simboliza o expresa el grado de confiabilidad del factor.

- A - Excelente.
- B - Sobre el Promedio
- C - Promedio
- D – Por debajo del Promedio
- E - Pobre
- U – UNRATED(sin valor, no es representativo de una muestra –azar-)

Por ejemplo un grado A o B indica mayor grado de certeza que un grado D o E.

A continuación se menciona como se obtienen los factores, según el código EFR.

A: este factor de emisión se obtiene a partir de A y B, y significa que la variabilidad de los datos de la categoría, que se tomaron en cuenta para su desarrollo es mínima.

B: sobre el promedio (se obtiene a partir de A y B)

C: promedio (A, B y C)

D: por debajo del promedio (A, B y C)

E: pobre (C y D)

U: UNRATED (sin valor, no es representativo de una muestra –azar-)

Todos los factores tienen un porcentaje de incertidumbre, el cual puede variar de acuerdo a la letra asociada al mismo.

## **Inventario de Emisiones a la atmósfera en el Estado de México.**

La importancia de los inventarios de emisiones, como instrumento de estrategias para la gestión de la calidad del aire, es reconocida a nivel internacional. Son la base sobre la cual se han elaborado programas para el mejoramiento de la calidad del aire que se han instrumentado en el país. Por ello el gobierno del Estado de México a través de la Secretaría de Ecología, ha desarrollado inventarios para clasificar a los sectores de mayor contribución por tipo de contaminante, e identificar a las fuentes en las cuales deben aplicarse medidas de control.

Para propósito de un inventario las fuentes de contaminación se agrupan en cuatro categorías:

- Industrias (fuentes puntuales),
- Comercios y servicios (fuentes de área),
- Vehículos automotores (fuentes móviles)
- Incendios forestales, erosión, biogénicas, etc. (fuentes naturales).

La clasificación antes mencionada facilita la recopilación de la información necesaria, para el desarrollo del inventario.

Las fuentes de información básica para calcular las emisiones en los inventarios es la Cedula de Operación (COA).

En general, las metodologías que se utilizan para el cálculo de emisiones contaminantes en los inventarios son: muestreo en la fuente, modelos de emisión, encuestas, cálculos de ingeniería, factores de emisión y balance de materiales. Estas se describen en los manuales: Fundamentos del Programa de inventario de emisiones para México y técnicas básicas de Estimación de Emisiones.

## **Cronología de Inventarios y diagnóstico ambiental en la entidad.**

Con la finalidad de conocer la calidad del aire en el año de 1996 la Secretaría de Ecología del Estado de México en coordinación con los municipios, realizó el Inventario de emisiones, el cual incluyó los siguientes municipios: Atizapan de Zaragoza, Coacalco, Cuautitlán, Cuautitlán Izcalli, Chalco, Chicoloapan, Chimalhuacán, Ecatepec, Huixquilucan, Ixtapaluca, La Paz, Naucalpan,

Nezahualcóyotl, Nicolás Romero, Tecámac, Tepotzotlán, Tlalnepantla, Tultitlán, y Valle de Chalco.

En este inventario aparecen las ladrilleras clasificadas como fuentes de área. Y además se logró contabilizar 1222 hornos ladrilleros distribuidos en 20 municipios del Estado de México (Tabla 7).

Cabe aclarar que de 1996 a la fecha, en que se realizó el Diagnóstico Ambiental del Estado de México el número de ladrilleras disminuyó en los municipios, de Chalco (de 400 a 154) e Ixtapaluca (de 230 a 100), así como también, desaparecieron los hornos que existían en Tlalnepantla; caso contrario, en el municipio de Chiautla en donde se incrementó de 66 a 74 el número de hornos establecidos (SEEM, 2000).

Tabla 7. Número de hornos en municipios del Estado de México

Municipios del valle Cuautitlán Texcoco	No. hornos	Municipio del valle de Toluca	No. hornos
Chalco	154	Toluca	38
Ixtapaluca	100	Meteppec	421
Coyotepec	81	Resto del estado	
Chiautla	74	Aculco	30
Naucalpan	35	Calimaya	63
Chicoloapan	29	El Oro	20
Ozumba	29	Tejupilco	27
Teoloyucan	24	Temascalcingo	30
Huixquilucan	24	Valle de Bravo	10
Acolman	12	Zinacantepec	13
Teotihuacán	8		
		<b>Total</b>	<b>1222</b>

Fuente: SEEM, 2001.

Los registros obtenidos en el inventario de emisiones para la Zona Metropolitana Valle Cuautitlán Texcoco correspondientes a las fuentes de área, se muestran en la Tablas 8 y 9. Con respecto, a la cantidad reportada de partículas emitidas a la atmósfera por los hornos ladrilleros, se dice que éstas se generan, porque durante el proceso de cocción del ladrillo se utilizan diversos combustibles, como son: aceite quemado, chapopote, combustóleo, diesel, y llantas. Se observa también que en esta categoría, la cantidad estimada de partículas atmosféricas (PM) y PM<sub>10</sub> está por arriba de los demás contaminantes reportados. Por lo que,

se deduce que en la producción de ladrillos las partículas son el principal contaminante emitido a la atmósfera.

En total la cantidad estimada de emisiones contaminantes derivadas de la fabricación de ladrillo reportadas en 1999 es de 1305 toneladas al año. Es pertinente mencionar que la categoría de bancos de materiales está directamente relacionada con la actividad ladrillera. En la figura 15 se ilustran los porcentajes de emisiones por categoría para la ZMVCT.

En el inventario de fuentes de área realizado para el Valle de Toluca el contaminante más emitido son los hidrocarburos (HC). Es curioso, pero no aparece la fabricación de ladrillo. No obstante, existe evidencia que esta actividad se lleva a cabo en algunos municipios (Figura 1) de esta zona (SEEM, 2000).

Tabla 8. Inventario de emisiones de fuentes de área en la ZMVCT (ton/ año)

Categoría	HC	NO <sub>x</sub>	CO	SO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	PM
Uso y consumo de solventes	40 079	0	0	NR	0	0
Combustión	200	4919	767	0	0	169
Servicios	4405	0	0	0	601	0
Desengrasado	3608	0	0	0	0	0
<b>Bancos de materiales</b>	0	0	0	0	<b>981</b>	<b>945</b>
<b>Fabricación de ladrillo</b>	<b>24</b>	<b>71</b>	<b>69</b>	<b>71</b>	<b>283</b>	<b>787</b>
Total de contaminantes						57 976

Fuente: (SEEM, 2000).

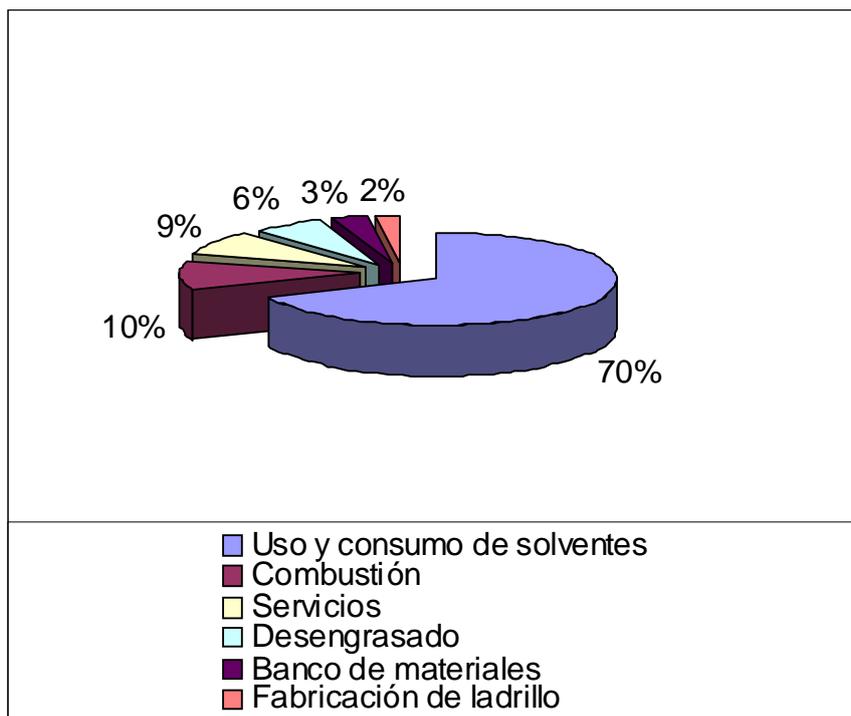


Figura 15. Inventario de fuentes de área ZMVCT (SEEM, 2000)

Tabla 9. Inventario de emisiones de fuentes de área en la ZMVT (ton/año)

Fuente de emisión	Partículas	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	HC	Pb
Lavado y desengrasado	N/A	N/A	N/A	N/A	3,214	N/A
Consumo de solventes	N/A	N/A	N/A	N/A	4,499	N/A
Almacenamiento y distribución de combustibles	N/A	N/A	N/A	N/A	1,289	N/A
Mercadeo y distribución de gas LP	N/A	N/A	N/A	N/A	3,194	N/A
Operación de lavado en seco (tintorerías)	N/E	N/A	N/A	N/A	845	N/A
Superficies arquitectónicas	N/A	N/A	N/A	N/A	2,054	N/A
Panaderías	N/E	N/E	N/E	N/E	138	N/A
Pintura automotriz	N/E	N/A	N/A	N/A	826	N/A
Pintura de tránsito	NE	N/A	N/A	N/A	39	N/A
Esterilización en hospitales	N/A	N/A	N/A	N/A	4	N/A
Combustión en hospitales	3	118	1	4	1	N/A
Combustión residencial	6	1	157	40	3	N/A
Combustión comercial/institucional	6	87	1	18	1	N/A
Total	15	206	159	62	16,107	N/A

Fuente: (SEEM, 2000). N/A no aplica, N/E no estimado

### **Normatividad en materia de emisiones de ladrilleras**

Actualmente la actividad ladrillera se encuentra regulada solo en dos Estados de la República Mexicana: Guanajuato e Hidalgo.

En Guanajuato la norma que regula esta actividad es la Norma Técnica Ecológica NTE-IEG-001/98, la misma establece las condiciones que deben reunir los sitios destinados a la instalación y reubicación de hornos ladrilleros en el Estado y las condiciones para la operación de los hornos en la elaboración y cocido de piezas elaboradas con arcillas para la construcción.

Para el Estado de Hidalgo la Norma Técnica Ecológica Estatal NTEE-COEDE-002/ 2000, la cual establece los requisitos, especificaciones y procedimientos que deben reunir en el territorio estatal los hornos para la elaboración de piezas fabricadas con arcillas, incluyendo actividades de instalación, operación, reubicación y extracción de su materia prima.

En términos generales las etapas de operación que regulan estas normas son:

- Obtención de tierras y arcillas.
- Utilización de agua, aserrín y estiércol para amasado.
- Tipo de combustible empleado.
- Tipo de horno y quemador.

Con respecto a la ubicación de los hornos ladrilleros se deben instalar en predios fuera de la mancha urbana y en dirección opuesta a los vientos dominantes. Lo anterior es parte de los aspectos más relevantes, que han sido regulados por la normatividad en los dos estados.

## **MATERIALES Y METODOS**

### **Métodos**

Se estableció un orden metodológico, el proyecto fue dividido en tres etapas.

#### Etapa 1.

Se llevó a cabo una revisión de bibliografía de libros y revistas, así como también la recopilación de datos e información existente en páginas Web relacionadas con emisiones a la atmósfera derivadas de hornos ladrilleros en México. Esto a través de la base de datos del Instituto Nacional Ecología, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Secretaría de Ecología del Gobierno del Estado de México y por otras Instituciones relacionadas con la contaminación atmosférica.

#### Etapa 2.

Con el fin de conocer el proceso de producción de ladrillo se realizó una visita a un horno ladrillero ubicado en el Municipio de Ixtapaluca en el Estado de México.

1. Se realizó una entrevista al propietario del horno para conocer el proceso de producción del ladrillo (el formato del cuestionario se encuentra en los anexos).
2. Para la caracterización de los contaminantes en el proceso, se recurrió a estudios y reportes, publicados con anterioridad.
3. Recopilación de datos e Información sobre los combustibles más utilizados en el sector informal ladrillero en el Estado México.

El trabajo de campo, consistió en visitar a Santa Bárbara, Municipio de Ixtapaluca, en donde se localizan algunos hornos ladrilleros, para aplicar un censo de productores de ladrillos en esa región. La visita se realizó en el mes de marzo y tuvo una duración de 7 días, utilizando como herramienta el cuestionario que aparece en los anexos. Se realizaron actividades para la caracterización de los hornos ladrilleros, a partir de su clasificación en función de la capacidad de operación, producción, tipos y cantidad de combustibles que utilizan y el número de quemas durante el año.

### Etapa 3.

Para el cálculo de las emisiones derivadas del proceso productivo del ladrillo, se utilizaron como referencia los factores de emisión para fuentes puntuales desarrollados por la USEPA en el documento AP - 42 Compilation of Air Pollutant Emission, section 11.3 Brick and Structural Clay Product Manufacturing, en especial aquellos factores que han sido determinados para un horno que utiliza aserrín como combustible y que no cuenta, con un sistema de control de contaminación en la fuente de emisión (Tabla 10).

Tabla 10. Factores de emisión de contaminantes criterios para producción de ladrillos.

Contaminante	kg/ton de ladrillo producido	Emission Factor Rating (EFR)
PM <sub>10</sub>	0.39	D
PM <sub>2.5</sub>	0.34	D
PM	0.42	D
SO <sub>2</sub>	0.30	C
SO <sub>3</sub>	0.05	D
NO <sub>x</sub>	0.17	E
CO	0.73	D
CO <sub>2</sub>	222.46	E

Fuente: USEPA, 2009

Para la estimación de las emisiones, se utilizará la siguiente ecuación:

$$E_C = C * F_E$$

Donde:

$E_C$  = Emisiones de contaminante.

$C$  = Multiplicar la producción promedio de cada municipio por 2.5 kg, que es el peso promedio que tiene un ladrillo. Convertir a toneladas.

$F_E$  = Factor de emisión expresados en kg de contaminante / toneladas de ladrillo producido.

Selección de factores de emisión, estos deben corresponder a los contaminantes previamente identificados en la producción del ladrillo.

Área de estudio

El área de estudio comprende a 11 municipios del Estado de México (Figura 16), que corresponden a los principales productores de ladrillos.

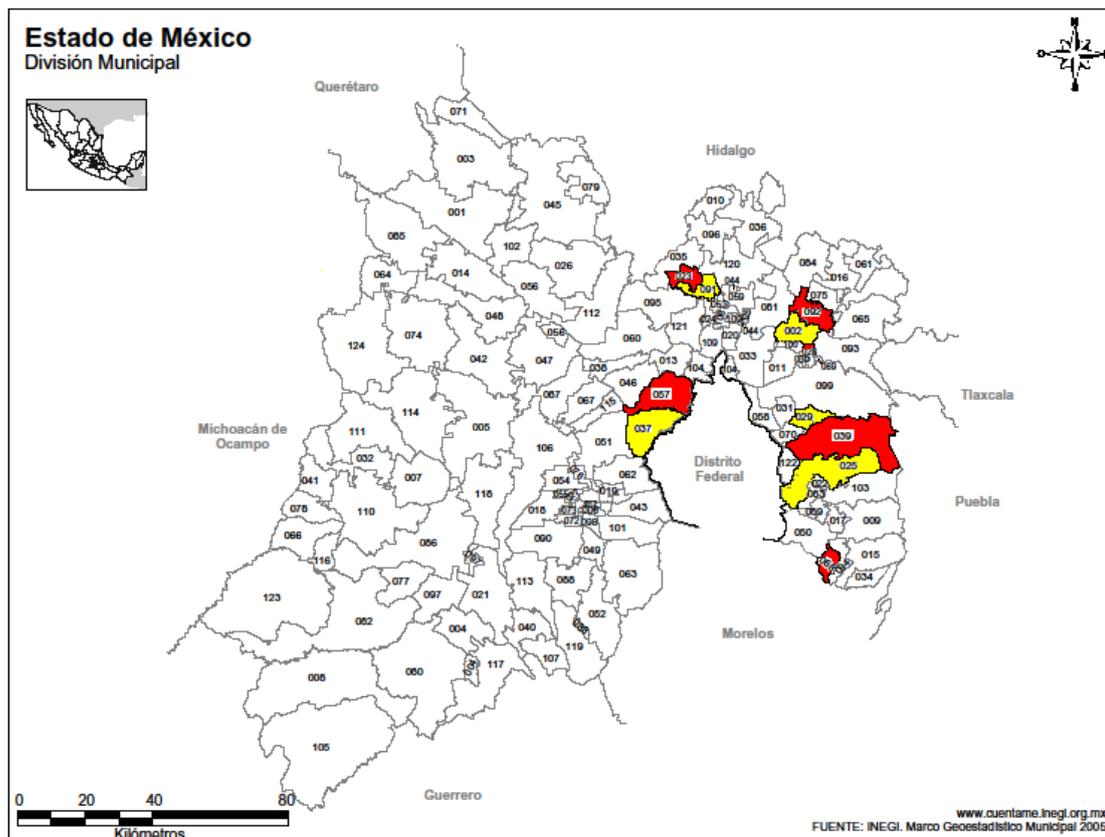


Figura16. Mapa de los municipios estudiados

Algunos datos relevantes de los municipios estudiados se presentan en la Tabla 11 como, en ella se puede observar que mayor número de hornos y producción promedio por combustión tiene lugar en el municipio de Chalco, el tercero más poblado de los estudiados.

### Fuentes de información

En el año 2000 el gobierno del Estado de México, a través de la Secretaría de Ecología del Estado de México (SEEM, 2001), llevó a cabo en 11 municipios de la ZMVCT, el programa denominado “Control de la contaminación generada por ladrilleras en municipios de los Valles de Cuautitlán y Texcoco”. Previo al programa se elaboró un estudio para conocer la problemática y la situación que prevalecía en la entidad derivado de la producción artesanal del ladrillo. Por ejemplo se logro conocer que el promedio de quemas al año por horno es de 12.

Se determino que de los 517 hornos reportados en la zona Cuautitlán Texcoco, 491 utilizan como combustible una mezcla de aserrín y madera.

Tabla 11. Información relevante de los Municipios en estudio

Clave ubicación mapa	Municipio	No. hornos	Producción promedio x quemado	Habitantes (año 2005)
025	Chalco	154	<b>46000</b>	257 403
039	Ixtapaluca	100	<b>22000</b>	429 033
028	Chiautla	74	17000	22 664
023	Coyotepec	41	28000	39 491
057	Naucalpan de Juárez	35	23000	821 442
068	Ozumba	29	4000	24 055
037	Huixquilucan	24	13000	224 042
002	Acolman	12	15000	77 035
091	Teoloyucan	8	30000	73 696
092	Teotihuacan	8	11000	46 779
029	Chicoloapan	6	32000	170 035
<b>Total promedio</b>		<b>491</b>	<b>21909</b>	2185675

Los factores de emisión que se aplicaron en esta etapa se describen en la Tabla 12. Cabe aclarar que se consideró a la madera debido a que es el combustible que se encuentra en mayores proporciones en la mezcla aserrín madera.

Tabla 12. Factores de emisión

Contaminante	(g/Kg. madera)
PM <sub>10</sub>	17,3
SO <sub>x</sub>	0,2
NO <sub>x</sub>	1,3
HC	114,5
CO	126,3

USEPA, 2009

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

A partir de la información recopilada en los estudios de campo y de la revisión bibliográfica se obtuvo un registro de emisiones contaminantes derivadas de la producción de ladrillo de ladrilleras artesanales de once municipios del Estado de México. En la Tabla 13 se presentan las emisiones calculadas para cinco contaminantes criterio monóxido de carbono (CO), óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), partículas atmosféricas menos a 10 micrómetros (PM<sub>10</sub>) e hidrocarburos (HC), a partir de factores de emisión basados en el consumo de combustible por municipio. Los datos corresponden a 491 hornos localizados en la entidad, cuya característica en común, es la quema de aserrín y madera.

El perfil de las emisiones anuales calculadas para las ladrilleras tradicionales de 11 Municipios del Estado de México demostró un comportamiento similar con las ladrilleras de otras regiones en México, grandes cantidades de CO, seguida de menores niveles de SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub>, HC. Aunque las actividades de la industria ladrillera generan diferentes tipos de contaminantes (eg. CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, compuestos orgánicos volátiles (precursores de ozono), N<sub>2</sub>O, dioxinas, etc.), en los inventarios de emisiones solo se identifican y calculan los cinco contaminantes criterio de mayor contribución y que son producto de la combustión. Partiendo de esta base en la Tabla 13 se presenta la estimación de estos últimos cinco contaminantes criterio, por el método de factores de emisión por consumo de combustible. Los resultados destacan al CO y los HC como contaminantes de importancia, dado que contribuyen con importantes proporciones de las emisiones totales, se estima que en promedio se generan entre 5,203 y 4,717 toneladas al año, respectivamente. Particularmente, las ladrilleras de esta región contribuyen con el 3 % del monóxido de carbono total que proviene de fuentes de área del Estado de México (tomando como base los datos del inventario de emisiones, Tabla 18).

Los municipios que liberan mayores cantidades de contaminantes a la atmósfera son: Chalco, Ixtapaluca y Chiautla. Es importante puntualizar que el municipio de Chalco, conurbado a la Ciudad de México, fue la región con mayor contribución de emisiones por año dado que libera el 51 % de las emisiones totales de las regiones estudiadas, se caracteriza por ser el tercer municipio más poblado del conjunto, el que integra el mayor número de hornos artesanales y con mayor producción promedio de ladrillos por quema.

El hecho de que el municipio de Chalco sea el mayor emisor de contaminantes derivados de la producción de ladrillo, en principio puede estar relacionada con el número de hornos en la región, sin embargo cuando el cálculo se normaliza en forma de emisiones anuales por horno, se observa que siguen siendo los hornos de esta región los que producen mayor contaminación, esto considerando que el valor promedio de generación de emisiones totales por horno es de  $17,199.3 \pm 9,211.7$  Kg contaminantes/año/horno (entendiéndose por totales la suma de las emisiones de contaminantes criterio y el CO<sub>2</sub> global).

Cuando la generación de emisiones derivadas de las ladrilleras se estima tomando como base factores de emisión por proceso o por consumo de combustible quemado y se comparan los resultados por municipio y por contaminante, se observa que la cantidad de sustancias emitidas por los hornos estudiados cambia notablemente. Las emisiones de las ladrilleras incrementan radicalmente cuando la estimación se realiza usando factores de emisión por proceso. En la tabla 14 se puede observar las diferencias en los valores calculados para las emisiones de el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), contaminante global, y NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub>, y CO de los 11 municipios usando los factores por combustión o factores por proceso.

Un análisis detallado de la información permite poner de manifiesto la inconsistencia entre los datos obtenidos, por ejemplo cuando se comparan las emisiones de CO, calculadas por el método de estimación de emisiones por factores de proceso se observa una producción y emisión de 5 toneladas anuales para las ladrilleras en estudio, en tanto que la valoración del mismo contaminante con el factor de consumo de combustible quemado estima la generación de 5,200 ton/anuales, contrastando estos datos con el inventario de emisiones del Estado de México para el año 1999, podemos observar una diferencia sustancial entre los datos obtenidos, dado que para este giro industrial el inventario reporta en total una producción anual de 69 toneladas de CO (SEEM, 2000). Lo que destaca es el hecho de que las emisiones estimadas por factor de combustión superan en gran medida a los factores de emisión por proceso. Debido a que los primeros, se desarrollan en base a información relacionada con la cantidad de combustible que se utiliza, durante el cocido de los ladrillos, en tanto que para los segundos, el

criterio que se consideró para su desarrollo corresponde a las cantidades de ladrillo producidos en peso (kg).

No es la primera vez que se observan y reportan importantes inconsistencias, en las estimaciones de las emisiones de distintos giros industriales. Estos resultados pueden posiblemente ser consecuencia de falta de confiabilidad y de veracidad de la información recopilada en campo y proporcionada por los responsables del proceso. Sí se parte del hecho, de que resulta más fácil para los ladrilleros, saber el número de ladrillos que producen (a través de la capacidad del horno), que ponderar la cantidad de aserrín y madera que consumen en una horneada. Pero, por otro lado, también puede ser consecuencia de la aplicación indiscriminada de factores que no han sido desarrollados para las condiciones locales de trabajo. De tal forma que es necesario y urgente contar con factores de emisiones propios de la región y del país, validados con datos en campo.

Algunos otros datos relevantes de las observaciones de campo que pueden estar influyendo en la precisión de la información son:

- a) la producción de los ladrilleros del Estado de México, no es la misma a lo largo del año, información proporcionada por los trabajadores de las nueve ladrilleras localizadas en el municipio de Ixtapaluca, indican una menor producción de ladrillo en la épocas lluviosas y frías, esta situación se refleja directamente en el número de quemas que se realizan durante el mes, se determinó que en promedio se realizan 30 quemas mensuales durante la época de primavera verano y un promedio de 21 quemas en época de otoño e invierno; a través de estos datos se puede determinar un total de 306 quemas al año.
- b) el sector ladrillero informal está dividido en dos: los dueños de pequeños hornos y un segundo grupo de ladrilleros que son dueños de varios hornos y otros que concesionan su equipo siendo este sector el más numeroso constituyéndose en un sector informal monopolístico y poco informado.

Es importante mencionar que la estimación de emisiones totales y relativas (ej. carga por año, por volumen de producción, por cantidad de combustible quemado y de materia prima) por categoría industrial, deberían ser proyectadas en forma

TABLA 13. Emisiones anuales calculadas utilizando los factores de emisión desarrollados por la USEPA y relacionados con el consumo de combustible

Contaminante	Chalco	Chicoloapan	Teoloyucan	Coyotepec	Naucalpan	Ixtapaluca	Chiautla	Acolman	Huixquilucan	Teotihuacan	Ozumba
SOx	4284.4032	116.1216	145.152	694.3104	486.864	1330.56	760.8384	108.864	188.6976	53.2224	70.1568
NOx	27848.6208	754.7904	943.488	4513.0176	3164.616	8648.64	4945.4496	707.616	1226.5344	345.9456	456.0192
PM <sub>10</sub>	370600.877	10044.5184	12555.648	60057.8496	42113.736	115093.44	65812.5216	9416.736	16322.3424	4603.7376	6068.5632
HC	2452820.83	66479.616	83099.52	397492.704	278729.64	761745.6	435579.984	62324.64	108029.376	30469.824	40164.768
CO	2705600.62	73330.7904	91663.488	438457.018	307454.616	840248.64	480469.45	68747.616	119162.534	33609.9456	44304.0192
<b>total (kg/año)</b>	<b>5561155.35</b>	<b>150725.837</b>	<b>188407.296</b>	<b>901214.899</b>	<b>631949.472</b>	<b>1727066.88</b>	<b>987568.243</b>	<b>141305.472</b>	<b>244929.485</b>	<b>69082.6752</b>	<b>91063.5264</b>
<b>total (kg/año/horno)</b>	<b>36,111.4</b>	<b>25,120.97</b>	<b>23,550.91</b>	<b>21,980.85</b>	<b>18,055.7</b>	<b>17,270.67</b>	<b>13,345.51</b>	<b>11,775.46</b>	<b>10,205.40</b>	<b>8,635.33</b>	<b>3,140.12</b>

Tabla 14. Comparativo de emisiones estimadas con factores por proceso y consumo combustible

	Chalco	Chicoloapan	Teoloyucan	Coyotepec	Naucalpan	Ixtapaluca	Chiautla	Acolman	Huixquilucan	Teotihuacan	Ozumba
<b>Consumo de Combustible</b>											
<b>kg/año</b>											
NOx	27848.6208	754.7904	943.488	4513.0176	3164.616	8648.64	4945.4496	707.616	1226.5344	345.9456	456.0192
PM <sub>10</sub>	370600.8768	10044.5184	12555.648	60057.8496	42113.736	115093.44	65812.5216	9416.736	16322.3424	4603.7376	6068.5632
CO	2705600.621	73330.7904	91663.488	438457.0176	307454.616	840248.64	480469.4496	68747.616	119162.5344	33609.9456	44304.0192
<b>Proceso</b>											
<b>kg/año</b>											
NOx	231.8124	161.2608	151.182	141.1032	115.9062	110.8668	85.6698	75.591	65.5122	55.4334	20.1576
PM <sub>10</sub>	532.542	370.464	347.31	324.156	266.271	254.694	196.809	173.655	150.501	127.347	46.308
CO	1002.432	697.344	653.76	610.176	501.216	479.424	370.464	326.88	283.296	239.712	87.168
CO <sub>2</sub>	306994.8	213561.6	200214	186866.4	153497.4	146823.6	113454.6	100107	86759.4	73411.8	26695.2

estandarizada, para que puedan explicar de forma más precisa el impacto de la contaminación derivada de las ladrilleras.

Con la finalidad de dimensionar la intensidad de emisión de las ladrilleras de los municipios del Estado de México, se calcularon las emisiones con el mismo factor de emisión por proceso para ladrilleras de Ciudad Juárez Chihuahua, empleando los datos reportados por Romo et al. (2004). Las Tablas 15 y 16 muestran los datos de los contaminantes  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ , PM,  $SO_2$ ,  $SO_3$ ,  $NO_x$ , CO y  $CO_2$  que se generan cuando se emplea madera como combustible en hornos sin control de emisiones (USEPA, 2009). Los resultados muestran que las ladrilleras del Estado de México generan más emisiones contaminantes que las ladrilleras de Ciudad Juárez (~ 4 veces por arriba). Las Figuras 17 a y 17 b, presentan estos mismos resultados pero normalizados en función de cantidad de contaminantes por horno.

La explicación a esta observación tiene distintas vertientes una de ellas puede ser una mayor ineficiencia en la quema del combustible empleado en el proceso de cocido, situación que a su vez puede estar ligada a diversos factores como:

- a. Diferentes condiciones geográficas: Cd Juárez se encuentra ubicada entre 1160 y 1180 metros del nivel del mar, en tanto que los distintos municipios del Estado de México se localizan en altitudes muy variables que van desde entre 1250 - 2100 metros a nivel del mar, por tanto existe una menor disponibilidad de oxígeno para los procesos de combustión.
- b. Diseño, capacidad y construcción del horno. Hornos rudimentarios, más viejos o de tecnología más obsoleta y los combustibles empleados son altamente contaminantes, aunado a la falta de uniformidad en la temperatura del horno que da lugar a una gran cantidad de emisiones.
- c. Mayor contribución de la etapa de cocción, dado que es el punto crítico de producción de contaminantes (Tabla 17).

Para el caso particular de los hornos ladrilleros que se utilizan en el Estado de México, se pudo constatar que se trata de hornos de producción por lotes donde se cuecen en promedio 7,500 ladrillos con aproximadamente 2700 kg de combustible, el proceso es lento, del orden de 48 a 72 horas para alcanzar la temperatura de cocción y con geometría distinta a los empleados en Ciudad

Tabla15. Emisiones anuales estimadas para 11 municipios del Estado de México, con factores de emisión por proceso

Contaminante	Chalco	Chicoloapan	Teoloyucan	Coyotepec	Naucalpan	Ixtapaluca	Chiautla	Acolman	Huixquilucan	Teotihuacan	Ozumba
PM <sub>10</sub>	532.542	370.464	347.31	324.156	266.271	254.694	196.809	173.655	150.501	127.347	46.308
PM <sub>25</sub>	469.89	326.88	306.45	286.02	234.945	224.73	173.655	153.225	132.795	112.365	40.86
PM	582.6636	405.3312	379.998	354.6648	291.3318	278.6652	215.3322	189.999	164.6658	139.3326	50.6664
SO <sub>2</sub>	419.7684	292.0128	273.762	255.5112	209.8842	200.7588	155.1318	136.881	118.6302	100.3794	5.9928
SO <sub>3</sub>	68.9172	47.9424	44.946	41.9496	34.4586	32.9604	25.4694	22.473	19.4766	16.4802	5.9928
NO <sub>x</sub>	231.8124	161.2608	151.182	141.1032	115.9062	110.8668	85.6698	75.591	65.5122	55.4334	20.1576
CO	1002.432	697.344	653.76	610.176	501.216	479.424	370.464	326.88	283.296	239.712	87.168
CO <sub>2</sub>	306994.8	213561.6	200214	186866.4	153497.4	146823.6	113454.6	100107	86759.4	73411.8	26695.2
total (kg/añual)	310302.8256	215862.8352	202371.408	188879.9808	155151.4128	148405.6992	114677.1312	101185.704	87694.2768	74202.8496	26952.3456

Tabla 16. Contaminantes estimados con factores de emisión en Cd. Juárez, con factores de emisión por proceso

Contaminante	México 68	Km 20	Satélite	Felipe Ángeles	Fronteriza Baja	km 27	Valle Dorado	Km 30	División del Norte	Zapata	Río Bravo	FEMAP	Carretera a Chihuahua
PM <sub>10</sub>	15.7844	8.9487	4.9715	2.3614	1.7400	1.4914	1.3672	1.1186	0.8700	0.6214	0.4971	0.3729	0.2486
PM <sub>2.5</sub>	13.9274	7.8959	4.3866	2.0836	1.5353	1.3160	1.2063	0.9870	0.7677	0.5483	0.4387	0.3290	0.2193
PM	17.2700	9.7909	5.4394	2.5837	1.9038	1.6318	1.4958	1.2239	0.9519	0.6799	0.5439	0.4080	0.2720
SO <sub>2</sub>	12.4418	7.0536	3.9187	1.8614	1.3715	1.1756	1.0776	0.8817	0.6858	0.4898	0.3919	0.2939	0.1959
SO <sub>3</sub>	2.0427	1.1581	0.6434	0.3056	0.2252	0.1930	0.1769	0.1448	0.1126	0.0804	0.0643	0.0483	0.0322
NO <sub>x</sub>	6.8709	3.8953	2.1641	1.0279	0.7574	0.6492	0.5951	0.4869	0.3787	0.2705	0.2164	0.1623	0.1082
CO	29.7119	16.8445	9.3581	4.4451	3.2753	2.8074	2.5735	2.1056	1.6377	1.1698	0.9358	0.7019	0.4679
CO <sub>2</sub>	9099.2569	5158.6338	2865.9077	1361.3062	1003.0677	859.7723	788.1246	644.8292	501.5338	358.2385	286.5908	214.9431	143.2954
Total(kg/añual)	9197.3060	5214.2207	2896.7893	1375.9749	1013.8763	869.0368	796.6171	651.7776	506.9381	362.0987	289.6789	217.2592	144.8395

Juárez los hay de forma circular y semicircular (ver figura 11) diseño que ha demostrado tener una mejor eficiencia para la etapa de cocción de ladrillos.

Tabla 17. Contaminantes atmosféricos que se generan por etapa del proceso de producción de ladrillos

<b>Etapas</b>	<b>Actividades que generan contaminantes</b>	<b>Tipo de contaminantes</b>
I. Extracción de arcilla	Extracción con herramientas manuales	Partículas en suspensión
II. Mezclado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tamizado y selección</li> <li>• Mezcla de arcillas con agua y arena</li> </ul>	Partículas en suspensión
III. Moldeado	No genera contaminantes	<b>Ninguno</b>
IV. Secado	<p>Durante el secado de los moldes a la intemperie, solo se desprende vapor de agua.</p> <p>Los moldes defectuosos son reciclados a la etapa de moldeado.</p>	<b>No representativo</b>
V. Carga del horno	No genera contaminantes	<b>Ninguno</b>
VI. Cocción	Uso de combustibles en la cocción de ladrillos: llantas, aceite usado, aserrín, telas ramas, leña.	Partículas en suspensión Dióxido de azufre Dióxido de Nitrógeno Compuestos orgánico volátiles
VII. Clasificación	Separación y eliminación de productos rotos, mal cocidos, etc.	Residuos sólidos inertes
VIII. Embalaje	Eliminación de productos rotos	Residuos sólidos inertes

Nota: la etapa de extracción de arcilla, mezclado y cocción son las que más contribuyen en el aporte de partículas PST (Partículas Totales en Suspensión). Fuente: Gustavo C. 2003.

Con relación al material de construcción de los hornos, por lo regular los propietarios utilizan cemento o concreto para pegar los ladrillos, en otros sitios, los construyen a base de una mezcla de arcillas y estiércol, como aglutinante. Razón por la cual, se corre el riesgo de presentar fisuras o agrietamientos en su estructura, que propicien fugas de gases contaminantes y de pérdidas de calor.

Ocasionando con ello, el incremento del nivel de emisiones y baja calidad del producto.

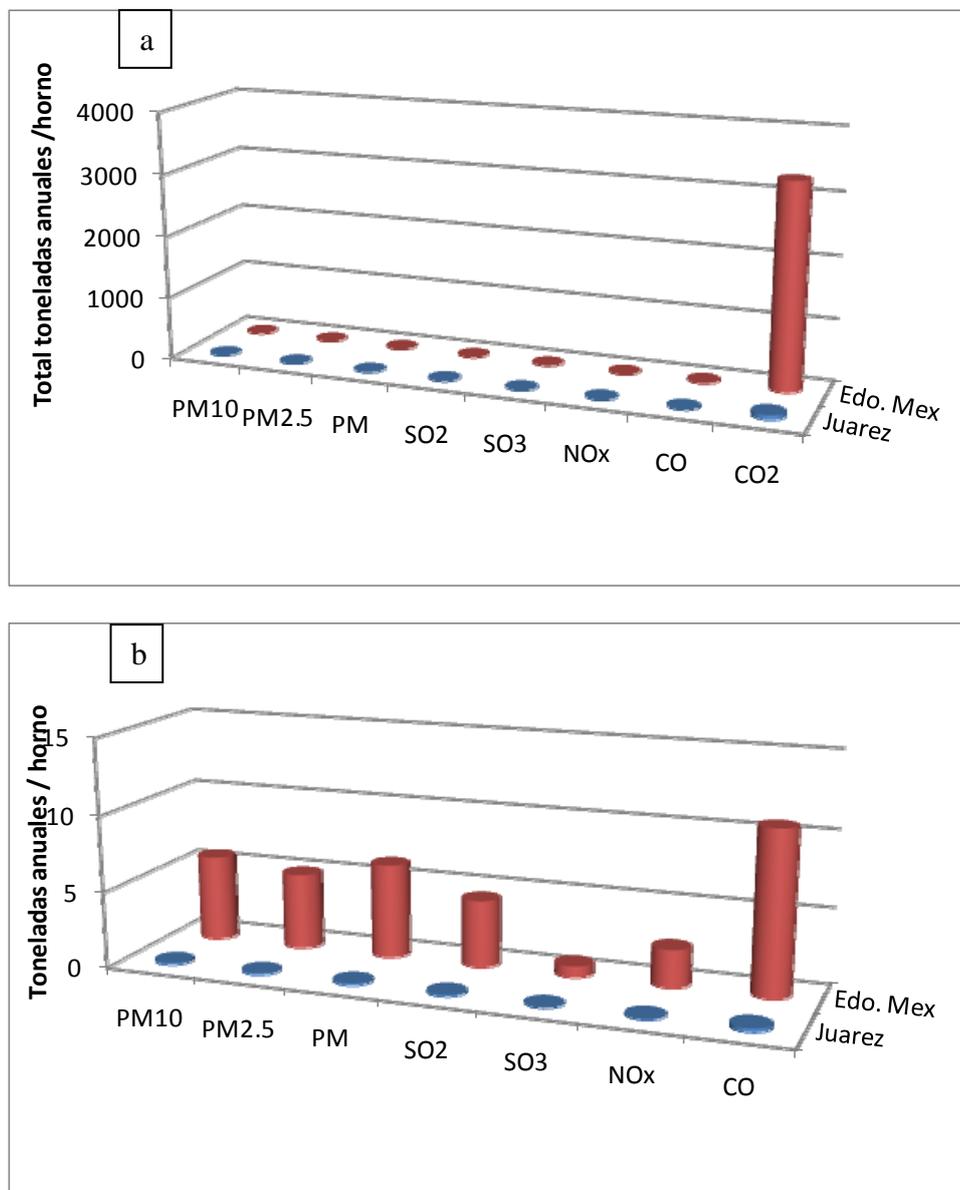


Figura 17. Contaminantes criterio emitidos por ladrilleras de distintos municipios de Ciudad Juárez y Estado de México. a) Con CO<sub>2</sub> como contaminante mayoritario, b) Sin CO<sub>2</sub>

Por otra parte, los niveles más altos de emisiones para las ladrilleras del Estado de México respecto a las ladrilleras de Chihuahua, concuerdan con los datos de las emisiones por fuentes de áreas reportadas en el inventario de emisiones de México en el 1999 (SEMARNAT-INE, 2006). Se ha determinado que el Estado de México contribuye con mayor contaminación por fuentes de área que Chihuahua (Tabla 18), resultado que está ligado con el grado de población,

numero de empresas asentadas y gasto de combustible de las regiones, entre otras cosas.

Tabla 18. Principales contaminantes emitidos por fuentes de área en Chihuahua, Estado de México y en la Republica Mexicana (ton/año).

	NOx	SOx	VOC	CO	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	NH <sub>3</sub>
Chihuahua	14,407.3	25,065.5	68,057.4	52,418.2	13,000.0	7,237.2	41,727.5
Estado de México	21,019.4	31,011.0	214,340.3	177,289.7	24,785.5	18,009.0	47,840.6
Total	276,320.6	194,641.7	1,743,587.2	2,500,852.1	439,253.3	320,369.2	1,297,832.5

Fuente: SEMARNAT-INE, 2006.

Con relación a los altos niveles de CO<sub>2</sub> que se asocian a las actividades ladrilleras en México, es pertinente comentar que su emisión es producto, no solo, de la ineficiente quema del combustible durante la cocción de ladrillo, sino también consecuencia del inadecuado mantenimiento que se proporciona a los hornos. Los subproductos de combustión del tipo hollín y cenizas (carbón parcialmente oxidado), que se generan durante las cocciones, permanecen como residuos en los hornos al termino del proceso, de tal manera que sí no se remueven, promueven una mayor ineficiencia en la siguiente quema de combustible. Las visitas de campo realizadas directamente a las ladrilleras del municipio de Ixtapaluca del Estado de México permitieron apreciar las distintas actividades del proceso de producción de ladrillos en el Estado de México y delimitar que el proceso de producción no ha cambiado mucho en el tiempo. Las distintas etapas de la manufactura mantienen un rezago, debido en gran medida a que muy pocos productores han querido mejorar dicho proceso, otros más (la gran mayoría) han rechazado la introducción de nuevas tecnología a sus procesos, debido a los altos costos que esto implicaría (adquisición de máquinas nuevas, capacitación de los trabajadores, etc.) además de que se piensa que el proceso de adaptación sería bastante largo (tiempo perdido por costo de oportunidad).

La incorporación de información normalizada (eg. emisiones/ kg de contaminante, emisiones por kg de producto, etc), en el inventario de emisiones puede contribuir a identificar que este giro industrial es un serio contaminador, puede adicionalmente apoyar la promoción de la regulación nacional del sector, tal como se ha logrado en la zona fronteriza de México, Guanajuato e Hidalgo. Así mismo

puede estimular el uso de fuentes de energía menos contaminantes y la implementación de nuevas tecnologías más limpias y amigables con el ambiente, situación que permitiría asegurar una combustión más eficiente que apoye la mitigación del impacto ambiental sin aumento importante de los costos de producción.

Finalmente, la fabricación de ladrillo es una actividad productiva que, además de dar sustento a miles de familias en los distintos municipios del Estado de México, genera un insumo básico para la industria de la construcción que opera tanto en comunidades aledañas como en grandes ciudades como el Distrito Federal. No obstante, la mayor parte de ladrilleros están incorporados al sector informal, por ser una forma factible de producir sin ser sujetos de regulación. En México, como en otros países en desarrollo proliferan rápidamente los sectores informales, que emplean tecnologías obsoletas y cuyas actividades impactan severamente la calidad del ambiente, este sector es difícil de regular por diversas razones técnicas, políticas y económicas dentro de las que podríamos señalar la falta de un censo confiable de las ladrilleras, la débil economía del sector le lleva a emplear combustibles baratos y cuya combustión los hace altamente contaminantes, los bajos niveles de educación escolar de los ladrilleros lo que dificultan el entendimiento de los efectos adversos que tiene la actividad en el ambiente y en la salud de los trabajadores y de las poblaciones aledañas. Esta situación genera entonces resistencia al cambio de sus esquemas de trabajo con el uso de nuevas tecnologías. Finalmente, aunque algunos de los trabajadores de las ladrilleras comprenden el impacto que tiene el uso de tecnologías ineficientes, las históricas crisis económicas que han acompañado al país estimulan el crecimiento desmedido del sector informal (.Blackman y Bannister, 1998; Christian et al., 2009 y Romo et al., 2004)

## **CONCLUSIONES**

1. El sector ladrillero tradicional del Estado de México:
  - Se ampara bajo el esquema de economía informal, con tecnologías obsoletas, no tiene conocimiento preciso de sus insumos y de la eficiencia de sus procesos.

- Apoya la economía regional de familias de bajos recursos socioeconómicos y contribuye con una importante cantidad de gases contaminantes,
  - Integra municipios productores de ladrillos cuyas actividades tienen mayor nivel de emisión que otras regiones con el mismo giro industrial.
  - No tiene establecido ningún esquema de regulación por parte del gobierno estatal.
2. La aplicación de distintos factores de emisión en la estimación de contaminantes derivados de las actividades ladrilleras muestra la incertidumbre a la que puede conducir la aplicación de un método que no ha sido ajustado a las condiciones de operación de los hornos de la región.
  3. No se tiene un conocimiento adecuado de la actividad ladrillera artesanal en México, situación relevante si se desea determinar el impacto de las emisiones contaminantes que se liberan a la atmósfera y establecer y desarrollar alternativas de prevención, control y mitigación que contribuyan a mejorar el problema existente.

## **BIBLIOGRAFÍA.**

1. BCCPM (Brick, Ceramics, & Clay Product Manufacturing). 1998. Emission Estimation Technique Manual. Environment Australia.
2. Blackman A and Bannister GJ. 1998. Community Pressure and Clean Technology in the Informal Sector: An Econometric Analysis of the Adoption of Propane by Traditional Mexican Brickmakers, Discussion Paper 97-16-REV. Resources for the Future.
3. Blackman A, Newbold S, Shih J-S and Cook J. 2000. The Benefits and Costs of Informal Sector Pollution Control: Mexican Brick Kilns. Discussion Paper 00-46, Resources for the Future.
4. Blackman, Allen y Geoffrey J. Bannister .1998. Pollution control in the informal sector: The ciudad Juárez brickmakers project, discussion paper 98-15, Resources for the future, Washington, D.C pág.2-3
5. Christian TJ, Yokelson RJ, Cárdenas B, Molina LT, Engling G and Hsu S-C. 2009. Trace gas and particle emissions from domestic and industrial

- biofuel use and garbage burning in central Mexico. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions* 9:10101–10152.
6. Corral AA, Bruce C, Jiménez R, Lara A y Márquez R. 2003. Implementación de una Nueva Tecnología para Minimizar la Contaminación del Aire Derivada de Hornos Ladrilleros. *Proceedings of the V Symposium and y Exposición Sección de América Latina y el Caribe de la AOAC Internacional: Desafíos Analíticos para revalorizar los productos naturales.* Lima, Perú. Noviembre 23 al 26, 2003.
  7. Dasgupta S, Lucas REB and Wheeler D. 1998. Policy Research Working Paper 2029. Small Manufacturing Plants, Pollution, and Poverty New Evidence from Brazil and Mexico. The World Bank Development Research Group Infrastructure and Environment.
  8. DGCENICA (Dirección General del Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental). 2003. Informe de la situación y los conocimientos actuales sobre las principales emisiones de dioxinas en México. Segundo reporte. Revisión 1. México. Centro de Investigación y Capacitación Ambiental. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa.
  9. Gustavo C. 2003. Censo productores de ladrillo en Cd Juárez, Chihuahua. Coordinador Eco-Tecnologías de México, S.A. de C.V.
  10. Julián F y Cruz A. 2006. Medición de emisiones a la atmósfera en hornos ladrilleros en los valles centrales de Oaxaca. CIIDIR-IPN. Presentado en el XV Congreso de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Expo - Guadalajara.
  11. MEIPM (Mexico Emissions Inventory Program Manuals). 1997. Volume V- Area Source Inventory Development Light Industrial/Commercial Sources, Brick Manufacturing.
  12. NTEE-COEDE-002/2000 (Norma técnica ecológica estatal) 2000. Periódico Oficial del Estado de Hidalgo el 10 de julio de 2000.
  13. NTE-IEG-001/98 (Norma técnica ecológica) 1998. Periódico Oficial del Estado de Guanajuato el 21 de julio de 1998.

14. Pedroza IR. 2004. Modelación de los contaminantes atmosféricos de la Industria Ladrillera en Ciudad Juárez, Chihuahua. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez pg. 6.
15. Pérez y Payán. 2003. Coeficientes de transferencia de calor y caída de presión en un horno ladrillero. Revista de Ingeniería Mecánica, Tecnología y Desarrollo 1(1): 49-50
16. Rodríguez RJ, Nava D Martínez AC, Méndez LL Aguilar LM. 2004. Perfiles de temperatura en un horno ladrillero. Revista Mexicana de Ingeniería Química, 3(002): 209-217
17. Romo MLA, 2004. Oferta de bienes y servicios ambientales para satisfacer las necesidades de micro y pequeñas empresas: el caso mexicano, CEPAL No 79, Santiago de Chile, enero. pág. 25-26.
18. Romo MLA, Córdova GB y Cervera LEG. 2004. Estudio urbano-ambiental de las ladrilleras en el municipio de Juárez. Estudios Fronterizos, 5(9): 9-34.
19. SE (Secretaría de Economía). 2002, Ley para el Desarrollo de la Competitividad de la Micro, Pequeña y Mediana, publicado en el DOF 30 de Diciembre del 2002.
20. SEEM (Secretaría de Ecología del Estado de México). 1996. Programa Estatal de Protección al Ambiente 1996-1999. México.
21. SEEM (Secretaría de Ecología del Estado de México). 1999a. Control de la Contaminación generada por Ladrilleras en los Valles de Cuautitlán y Texcoco. Folleto de difusión, febrero de 1999.
22. SEEM (Secretaría de Ecología del Estado de México). 1999b. Programa de Ordenamiento Ecológico del Territorio del Estado de México 1999.
23. SEEM (Secretaría de Ecología del Estado de México). 1999c. Sistema Estatal de información Ambiental de los valles de Cuautitlán y Texcoco. Folleto de difusión, febrero de 1999.
24. SEEM (Secretaría de Ecología del Estado de México). 2000. Diagnóstico Ambiental del Estado de México. pág 19- 26

25. SEEM (Secretaría de Ecología del Estado de México). 2001. Inventario de emisiones por la fabricación artesanal de tabique rojo en el Valle de Cuautitlán Texcoco 1999. (Disponible en: <http://www.edomexico.gob.mx/se/ladrillo.htm>).
26. SEEM. 1999. Inventario de Emisiones del valle Cuautitlán Texcoco 1998. pág. 21- 25
27. SEEM. 1999. Inventario de Emisiones del valle de Toluca 1998. pág. 24
28. SEMARNAT-INE. 2002. Dirección General de Investigación sobre la Contaminación Urbana, Regional y Global. México.
29. SEMARNAT-INE. 2006. Mexico National Emissions Inventory, 1999.
30. SEMARNAT-INE. 2005. Guía de elaboración y usos de inventarios de emisiones. México.
31. SEMARNAT-PNUD. 2005. Indicadores básicos del desempeño ambiental de México.
32. Stewer E. 1997. Characterization and Reduction OF Pollutants from Bricks Kilns Northern México. Masters Thesis, THE University of Utah.
33. Texas Commission on Environment Quality (TCEQ). Border Affairs Division. 2002. A Study of Brick-Making Processes along the Texas Portion of the US- México Border: Senate Bill 749. EUA. pag18
34. USEPA. 2009. Compilation of Air Pollutant Emission Factors, Volume 1: Stationary Point and Area Sources AP-42, fifth edition. External Combustion Sources, 1.11. Waste Oil Combustion, Table 1.11.2 y 1.11.3. A.
35. Zúñiga, R. Evaluación del Impacto atmosférico generado por la industria ladrillera en el Estado de Nayarit. Universidad Autónoma de Nayarit. 2004.

## ANEXOS

## Anexo 1. Cuestionario

---

Nombre del propietario o responsable:

---

<p>1. Materia prima.</p> <p>Cantidades:                      Costo</p> <p>Arena</p> <p>Arcilla</p> <p>Estiércol</p> <p>Agua</p> <p>Otros.</p>	<p>2. Dimensiones del ladrillo</p> <p>Peso:</p> <p>Largo:</p> <p>Espesor:</p> <p>Otros:</p>
<p>3. Etapa del proceso</p> <p>Preparación de la mezcla</p> <p>Herramientas utilizadas</p> <p>Moldeo</p> <p>Secado</p> <p>¿Utilizan ventiladores para acelerar el secado?</p> <p>¿Que apariencia debe tener el ladrillo para saber, si esta listo para el cocido?</p> <p>Carga de horno</p> <p>Horneado</p> <p>Tipo de Horno:</p> <p>Tiempo de cocción:</p> <p>Tiempo de precalentamiento:</p> <p>No de quemas al mes:</p> <p>No de quemas por temporada:</p> <p>¿Como saber que los ladrillos se encuentran cocidos?</p> <p>Producción mensual:</p> <p>¿De acuerdo con su experiencia, que propuesta haría para aumentar la producción?</p> <p>Merma:</p> <p>Transporte</p> <p>¿Como lo distribuyen?</p> <p>Ventas</p> <p>Observaciones:</p>	<p>No de personas que laboran:</p> <p>Salario:</p> <p>Otros:</p> <p>No de ladrillos Moldeados/día</p> <p>Tiempo de secado a la intemperie:</p> <p>¿Tiempo de acarreo, al horno?</p> <p>Combustible:</p> <p>Capacidad:</p> <p>Forma:</p> <p>Tiempo para alcanzar la temperatura optima:</p> <p>¿Que sucede cuando las condiciones climáticas no son las adecuadas?</p> <p>Costo por millar:</p> <p>Costo a intermediario:</p> <p>Costo al público:</p> <p>¿Que hacen con los residuos?</p> <p>Costos:</p> <p>¿Cuanto gana \$ por lote?</p>

---

## Anexo 2. Emisiones estimadas en el 2001 reportadas por la SEEM.

	PM10	SOx	NOx	HC	CO	Total/municipio
Chalco	370,64	4,37	28,02	2.452,87	2.705,73	5.561,16
Ixtapaluca	115,12	1,39	8,76	761,78	840,34	1.727,39
Chiautla	65,83	0,80	5,03	435,60	480,53	987,79
Coyotepec	60,56	56,72	7,24	397,65	439,29	961,46
Naucalpan de Juárez	42,12	0,51	3,20	278,74	307,48	632,06
Huixquilucan	16,33	0,20	1,25	108,04	119,18	245,00
Teoloyucan	12,73	19,35	1,87	83,15	91,94	209,04
Chicoloapan	10,31	29,56	2,17	66,56	73,76	182,36
Acolman	9,42	0,12	0,72	62,33	68,76	141,35
Ozumba	6,08	0,09	0,49	40,17	44,33	91,16
Teotihuacan	4,61	0,06	0,36	30,47	33,62	69,12
<b>TOTAL (ton/año)</b>	<b>713,76</b>	<b>113,18</b>	<b>59,11</b>	<b>4.717,36</b>	<b>5.204,97</b>	<b>10.807,88</b>

Las emisiones estimadas corresponden a 570 hornos. La mayoría de ellos queman madera y aserrín (491). El resto quema aceite lubricante y en algunos casos llantas .

Anexo 3. Factores de contenido de carbono y de emisión del CO<sub>2</sub> para los diversos combustibles

<b>Combustibles primarios</b>	<b>ton C/ Tera x Joule</b>	<b>Ton CO<sub>2</sub> / Tera x Joule<sub>(a)</sub></b>
Petróleo crudo	20.0	73.3
Líquidos de gas natural	17.2	63.1
Combustibles secundarios		
Gasolina	18.9	69.3
Queroseno	19.5	71.5
Gasóleo	20.2	74.1
Combustóleo	21.1	77.4
Gas LP	17.2	63.1
Asfalto	22.0	80.7
Lubricantes <sup>(b)</sup>	20.0	73.3
Coque de petróleo	27.5	100.8
Gas de refinería	18.2	66.7
Otros productos de petróleo		
Fósiles sólidos		
Antracita	26.8	
Carbón de coque	25.8	94.6
Otro carbón bituminoso	25.8	94.6
Fósiles gaseosos		
Gas natural ( seco)	15.3	56.1
Biomasa		
Biomasa sólida	29.9	109.6
Biomasa líquida	20.0	73.3
Gas de biomasa <sub>(a)</sub>	30.6	112.2

(a) Obtenido al multiplicar el C por 44/12

(b) Valores preliminares identificados por el IPCC. Los países deben usarlos sólo cuando no existen otros datos disponibles.

Referencia: Tabla 1.1 en Directrices del IPCC, Versión Revisada en 1996, vol. 3.

Nota: Las unidades energéticas se expresan en valores caloríficos netos (VCN's).