



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y
MATERIA ORGÁNICA EN LA FABRICACIÓN DE ECOLADRILLOS
PARA EL PARQUE ECOLÓGICO TUZANDEPETL, VERACRUZ.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGA

P R E S E N T A:

MAYRA ITZEL MALDONADO PÉREZ



DIRECTORA DE TESIS:

DRA. MARÍA NEFTALÍ ROJAS VALENCIA

Septiembre, 2014.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNAM – Dirección General de Bibliotecas

Tesis Digitales

Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©

PROHIBIDA SU REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Hoja de Datos del Jurado

1. Datos del alumno
Maldonado
Pérez
Mayra Itzel
51 18 60 76
Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ciencias
Biología
306207976
2. Datos del tutor
Dra.
María Neftalí
Rojas
Valencia
3. Sinodal 1
Dr.
Pedro Eloy
Mendoza
Hernández
4. Sinodal 2
Dr.
Rodolfo Omar
Arellano
Aguilar
5. Sinodal 3
Dra.
Nancy
Contreras
Moreno
6. Sinodal 4
Dra.
Adriana Petrovna
Gómez
Bonilla
7. Datos del trabajo escrito
Aprovechamiento de los residuos de construcción y materia orgánica en la
fabricación de ecoladrillos para el Parque Ecológico Tuzandepetl, Veracruz.
2014
62 pp.

Este trabajo se realizó en el Instituto de Ingeniería de la UNAM, edificio 5 y 8 de la Coordinación de Ingeniería Ambiental bajo la dirección de la Dra. María Neftalí Rojas Valencia.

Agradezco el apoyo técnico del Laboratorio de estructuras y materiales del Instituto de Ingeniería de la UNAM al igual que al Laboratorio de investigación en materiales de la Facultad de Ingeniería.

Este trabajo fue posible gracias a los donativos y apoyo técnico del Ing. Alfredo Martínez Ziguena de la Coordinación de áreas verdes y al Ing. Enrique Granell Covarrubias de Concretos Reciclados.

Le doy gracias a la Dra. María Neftalí Rojas Valencia y Dra. María del Rosario Iturbe Argüelles, por el apoyo económico otorgado.

AGRACECIMIENTOS

Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ciencias

Instituto de Ingeniería

A mi Directora de tesis Dra. María Neftalí Rojas Valencia (porque me hizo sentir que podía hacer algo importante)

Instituto de Biología

PEMEX

Ing. Eduardo Orduña Alvarez

Dr. Guillermo Acosta Ochoa

I.Q. Sergio Marín Maldonado

M en I. José Luis Martínez Palacios

Arq. Aurelio López Espíndola

Taller de carpintería del Instituto de Ingeniería

A mis sinodales que me apoyaron con sus revisiones y puntos de vista: Dr. Pedro Eloy Mendoza Hernández, Dr. Rodolfo Omar Arellano Aguilar, Dra. Nancy Contreras Moreno y Dra. Adriana Petrovna Gómez Bonilla

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 MARCO CONCEPTUAL.....	3
1.2 Residuos de construcción y demolición.....	3
1.3 Ladrillo.....	6
1.4 Ladrillos ecológicos.....	8
2. ANTECEDENTES.....	9
2.1 Impactos ambientales que provocan los residuos de construcción.....	13
2.2 Residuos de excavación.....	14
2.3 Residuos de madera/tala.....	15
2.4 Ladrillos elaborados con Polietileno tereftalato (PET).....	17
2.5 Paneles termo-acústicos con base en residuos de madera.....	18
2.6 Ladrillos elaborados con fibra de celulosa.....	19
2.7 Ecoladrillos con materia orgánica.....	20
2.8 Ladrillos hechos con llantas.....	21
2.9 Ladrillos con Tetra brick.....	22
2.10 Ladrillos de adobe.....	23
2.11 Ladrillos hechos con lana y algas.....	24
2.12 Técnica de construcción cob.....	25
2.13 Técnica de construcción <i>bahareque</i>	26
3. JUSTIFICACIÓN.....	27
4. OBJETIVO GENERAL.....	29
4.1 Objetivos particulares.....	29
5. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	30
6. MÉTODOS.....	33
6.1 Primera fase.....	33
6.2 Segunda fase.....	34
6.3 Tercera fase.....	36
6.3.1 Determinación de las dimensiones	36
6.3.2 Resistencia a la compresión.....	37
6.3.3 Pruebas de absorción de agua.....	39
6.3.4 Estudios de factibilidad.....	42
6.3.5 Uso del ecoladrillo.....	42
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	43
7.1 Análisis de factibilidad.....	49
7.2 Evaluación económica.....	49
7.3 Evaluación técnica.....	52
7.4 Evaluación operativa.....	52
8. CONCLUSIONES.....	53
9. RECOMENDACIONES.....	54
10. REFERENCIAS.....	55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición de los residuos de la construcción generados en el Distrito Federal.....	4
Tabla 2. Clasificación enunciativa no limitativa de los residuos de la construcción y sus posibles usos.....	5
Tabla 3. Especies arbóreas de la región de Tuzandepetl, Veracruz.....	15
Tabla 4. Descripción de los diferentes tratamientos para la fabricación de ecoladrillos.....	36
Tabla 5. Resistencia a la compresión individual.....	43
Tabla 6. Resultados de absorción máxima inicial de los ecoladrillos.....	45
Tabla 7. Comparación entre la resistencia promedio y absorción inicial de agua.....	47
Tabla 8. Precios de los materiales que se utilizaron para la elaboración de ecoladrillos.....	50
Tabla 9. Precios de las materias primas que se utilizaron para la elaboración de cincuenta y cinco ecoladrillos.....	51
Tabla 10. Precios de diferentes ladrillos.....	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Nombres de las caras y las aristas de un ladrillo.....	7
Figura 2. Zona arqueológica de Comalcalco.....	10
Figura 3. Impacto de los residuos de construcción.	13
Figura 4. Residuos de construcción tirados inadecuadamente en ríos.....	14
Figura 5. Técnica ECOTEC.....	17
Figura 6. Panel flexible de fibra de madera.....	18
Figura 7. Ladrillos con fibra de celulosa.....	19
Figura 8. Ecoladrillo elaborado con materia orgánica cenizas y cáscaras de arroz.	20
Figura 9. Adoquín de caucho reciclado.....	21
Figura 10. Casa fabricada con Tetra brick.....	22
Figura 11. Construcción con adobes	23
Figura 12. Ladrillos hechos con residuos de lana y algas marinas.....	24
Figura 13. Ladrillos de cob.....	25
Figura 14. Construcción con <i>bahareque</i>	26
Figura 15. Mapa del Estado de Veracruz, región Olmecas y región de Ixhuatlán del sureste.....	30
Figura 16. Corte estratigráfico esquemático de la zona objeto de estudio.....	31
Figura 17. Ubicación del Parque Ecológico Tuzandepetl.....	32
Figura 18. Diagrama de flujo del diseño experimental.....	33
Figura 19. Máquina moldeadora de ladrillos.....	34
Figura 20. Trituración de residuos de tala por el centro de compostaje en el campus de Ciudad Universitaria.....	35
Figura 21. Secador solar para ladrillos.....	36
Figura 22. Dimensiones que se deben considerar en cada ecoladrillo.....	37
Figura 23. Cabeceado a los ecoladrillos.....	37
Figura 24. Máquina universal de prueba.....	38
Figura 25. Ecoladrillo posterior al ensaye.....	39
Figura 26. Absorción máxima inicial NMX-C-037-ONNCCE.....	40
Figura 27. Absorción de agua total en 24 horas.....	41
Figura 28. Resultados obtenido de la prueba resistencia a la compresion.....	44
Figura 29. Comportamiento de los ecoladrillos posteriormente de la prueba de absorción total en 24 horas.....	46
Figura 30. Muro experimental de adobe con recubrimiento.....	48
Figura 31. Diseño propuesto para el centro de acopio.....	49

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue analizar cómo se podrían aprovechar los residuos de construcción y materia orgánica para la fabricación de ecoladrillos elaborados con una máquina moldeadora de ladrillos y secados con la ayuda de un secador solar, ambos contruidos a su vez con materiales reutilizables y residuos de acrílico y madera.

Experimentalmente se aplicaron 11 tratamientos que variaron en las proporciones de residuos de excavación, residuos de tala y residuos de construcción. Los ecoladrillos que se obtuvieron variaron en su resistencia de compresión entre 32 y 88 kgf/cm², ésta característica sobrepasa el valor que indica la norma NMX-C-441-ONNCCE-2013 de 32 kgf/cm², en cuanto a la absorción de agua, tres de los 11 tratamientos cumplieron con el mínimo establecido en las normas de uso estructural y uso no estructural que es de 5 g/min.

Los análisis de factibilidad técnica y operativa señalaron que la fabricación de los ecoladrillos es fácil de realizar, con distintas mezclas de residuos y que el tiempo promedio de elaboración de cada tratamiento de cinco ladrillos fue de 3 horas y media. Con respecto a la factibilidad económica se puede decir que es menos costoso 1m² de ecoladrillos (\$84.17 por 1m²) en comparación con ladrillos comunes como el ladrillo rojo (\$195.84 por 1m²), se tiene un ahorro por 1m² del 57%.

Se concluye que los ecoladrillos fabricados en esta investigación pueden ser usados en la construcción ya que cumplen con el doble de resistencia a la compresión mínima de la norma NMX-C-441-ONNCCE-2013 y presentan las mismas propiedades de resistencia que los ladrillos que están hechos con materiales de primer uso.

Se recomienda usar los ecoladrillos fabricados en este estudio principalmente en la construcción del centro de acopio y centro de compostaje del Parque Ecológico Tuzandepetl.

1. INTRODUCCIÓN

En el origen de las civilizaciones los grupos humanos usaron los primeros materiales para construir sus aldeas con los recursos naturales disponibles de cada lugar, estos eran: ramas de árboles, piedras y tierra. Por ejemplo, en el norte de España se pueden encontrar construcciones de forma circular con techo probablemente de paja, vigas de madera y piedras que datan del 10 000 a.C. (Meide, 1994).

En el Neolítico (7 000 al 4 000 a.C.) el uso de los recursos naturales para la construcción y la alimentación era moderado debido a que el número de habitantes era reducido; no obstante, las poblaciones humanas empezaron a aumentar y por consiguiente se incrementó el número de construcciones, principalmente viviendas y centros ceremoniales. Con el nacimiento de las ciudades, también surgen problemas como la contaminación del suelo, del aire, del agua y una exagerada producción de residuos, además de la dificultad de su manejo y disposición (Coutelas, 2012).

En las construcciones convencionales del siglo XX se ha utilizado el concreto como el material más práctico del mundo, debido a su extraordinaria versatilidad en cuanto a forma, función y bajo costo (Sánchez, 2001). El cemento es un componente elemental del concreto y es clasificado como producto básico del sector constructivo, el cemento resulta de un proceso industrial de transformación mineral, donde el resultado de la calcinación de mezclas de materiales pétreos (calizas, margas, arcillas, etc.) producen un material primario denominado *clinker*. El *clinker* es molido, en procesos complementarios, juntamente con una fracción de yeso y da lugar a un material con propiedades aglomerantes denominado "cemento portland" (De Carvalho, 2001).

Los efectos ambientales de la producción del cemento se asocian con: la erosión del área de extracción de los minerales, las emisiones de CO₂, la producción de polvos provocados por el triturado de la piedra en planta, la emisión de contaminantes al aire como el monóxido de carbono, monóxido de nitrógeno, dióxido de azufre y partículas muy finas. El *clinker* puede contener metales pesados y contaminantes dependiendo del tipo de combustible utilizado y el proceso empleado durante la calcinación del horno, como son: óxidos de nitrógeno (NO_x), óxido de azufre (SO₂), dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), y compuestos orgánicos volátiles (COV) (Pladesemapesga, 2012).

Además del cemento, para la construcción moderna es necesario el uso de arenas, gravas, yesos, cal y agua, en distintas proporciones, de manera que son productos que tienen un costo variable como materias primas.

Paralelamente, cuando acaba la vida útil de las diferentes edificaciones o se presenta un fenómeno natural drástico se pueden generar gran cantidad de

residuos de construcción y demolición. Se estima que la generación de residuos sólidos urbanos de la construcción, en algunas delegaciones políticas del Distrito Federal, alcanza valores del orden de 7,000 ton/día. La composición de los residuos generados por la industria de la construcción varía mucho dependiendo del tipo de actividad ya sea demolición o construcción.

Los residuos generados durante estas actividades consisten generalmente en pedacería de materiales utilizados para la construcción como; madera, paneles de yeso o de cemento, metales, vidrio, plásticos, asfalto, concretos, ladrillos, bloques, materiales de excavación y cerámicos entre otros (PROY-NADF-007-RNAT-2012).

Los residuos generados por la industria de la construcción tienen potencial de reuso, o reciclaje, por lo que es importante evitar la mala disposición en suelo urbano y de conservación o en barrancas y ríos ya que se ha observado que su mala disposición provoca: el deterioro de la calidad del agua superficial y subterránea, deterioro del suelo por erosión, proliferación de fauna nociva, impacto visual, formación de asentamientos irregulares, cambios de uso de suelo y focos de atracción para el vertido de residuos peligrosos (Rivera, 2007).

La Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal clasifica a los residuos de la construcción y demolición como un residuo de manejo especial dentro de la Ciudad de México, tanto por la cantidad de material involucrado y su impacto en el ambiente debido a una disposición inadecuada como por su potencial de reuso y reciclaje.

A través del Proyecto de Norma Ambiental se establece la clasificación y especificaciones para el manejo de los residuos de la construcción y demolición en el Distrito Federal; buscando fomentar el manejo adecuado de estos residuos así como promover su reuso y reciclaje.

Esta investigación parte del interés de fomentar la reutilización y el reciclaje de los residuos de tala, excavación y construcción generados en general en cualquier edificación y en particular en la construcción que se está gestionando en el Parque Ecológico Tuzandepetl para la elaboración de ecoladrillos.

1.1 MARCO CONCEPTUAL

1.2 Residuos de construcción y demolición

La Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR, 2013) define cuatro tipos de residuos: residuos de manejo especial, residuos incompatibles, residuos peligrosos y residuos sólidos urbanos. Los residuos de manejo especial son considerados como aquellos generados en los procesos productivos que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos o como residuos sólidos urbanos, o que son producidos por grandes generadores de residuos sólidos urbanos (González *et al*; 2013).

La Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal (2003), clasifica a los residuos de la construcción como residuos de manejo especial dentro de la Ciudad de México, tanto por la cantidad de material involucrado y como a su impacto en el ambiente debido a una disposición inadecuada como por su potencial de reúso y reciclaje.

La ley de prevención y gestión integral de residuos sólidos urbanos y de manejo especial para el estado de Veracruz de Ignacio de la Llave (2004), define a los residuos de manejo especial como: Aquellos generados en los procesos productivos, que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos conforme a la normatividad ambiental vigente o como residuos sólidos urbanos, que son producidos por macrogeneradores de residuos urbanos. Sin embargo, en esta Ley no se especifica el manejo ni definición de los residuos de construcción, por ello se tomará en cuenta para este estudio la Ley de residuos sólidos del Distrito Federal.

La Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal clasifica a los residuos de construcción como un residuo de manejo especial al igual que la LGPGIR (2006) y el proyecto de norma 2012 (datos publicados bajo consulta pública) define a los residuos de la construcción como un conjunto de fragmentos o restos de materiales producto de la construcción, demolición, desmantelamiento y/o excavación, tales como tabiques, materiales pétreos, tierra, concreto, morteros, madera, alambre, resina, plásticos, yeso, cal, cerámica, tejados, pisos y varillas, entre otros, cuya composición puede variar ampliamente dependiendo del tipo de proyecto, la obra y etapa de construcción.

Su clasificación puede verse modificada según los autores; sin embargo, la más usual es según su composición como se enlista en la Tabla 1, la composición puede variar en cada población, estación del año, tipo de obra que los genera,

el proceso constructivo, y la etapa de construcción (Rivera, 2007). A grandes rasgos los residuos de construcción son un conjunto de fragmentos de: tabiques, piedras, tierra, concreto, mortero, madera, alambre, resina, plásticos, yeso, cal, cerámica, tejados, pisos, varillas, entre otros. Algunos de ellos han demostrado que son potencialmente reciclables aproximadamente en un 45%.

Tabla 1. Composición de los residuos de la construcción generados en el Distrito Federal

Concepto	%
Material de excavación	43.65
Concreto	24.38
Bloque-tabique	23.33
Tabla roca-yeso	4.05
Madera	1.52
Cerámica	0.85
Plástico	0.78
Piedra	0.62
Varilla	0.48
Asfalto	0.25
Lámina	0.09

Fuente: SEDEMA, 2004.

El PROY-NADF-007-RNAT-2012 clasifica en seis grupos (de la A a la F) a los residuos de la construcción con el fin de promover su aprovechamiento, al igual que sus posibles usos: Provenientes de concretos hidráulicos y morteros, mezclados, provenientes de fresado de concreto asfáltico, residuos de excavación, residuos sólidos urbanos y otros. Como se muestra en la Tabla 2.

El nuevo reto para un sector de la industria de la construcción local es implementar métodos para el aprovechamiento de residuos, ya que estos podrían tener beneficios como: la conservación de recursos naturales, reducción del volumen de residuos enviados a disposición final, disminución en los costos de disposición final y materiales de construcción, disminución de sitios de disposición inadecuada (Rivera, 2007). De esta manera, elaborar productos prefabricados como los tabiques y ladrillos es una contribución que podría reducir los costos al aprovechar los residuos que se citan en la Tabla 2.

En este estudio precisamente se busca realizar un manejo integral de los residuos que se generaran en la construcción del Parque Ecológico Tuzandepetl, para proponer un nuevo material que sirva para la construcción con base en la integración de residuos que se generen en la localidad.

Tabla 2. Clasificación enunciativa no limitativa de los residuos de la construcción y su posible reúso

Tipo de Residuo de la Construcción	Posible Reúso *
A. Provenientes de concretos hidráulicos y morteros	
Elementos prefabricados Elementos estructurales y no estructurales Sobrantes de concreto en obra y premezclado.	Bases Hidráulicas en caminos y estacionamientos.
	Concretos hidráulicos para la construcción de firmes, ciclopistas, banquetas y guarniciones.
	Elaboración de productos prefabricados (Blocks, tabiques, adocretos, adopastos, losetas, guarniciones, bordillos, postes de cemento-arena).
	Bases para ciclopistas, firmes, guarniciones y banquetas.
	Construcción de Andadores y trotapistas.
	Sub-bases en caminos y estacionamientos.
	Construcción de Terraplenes.
	Construcción de Pedraplenes.
	Material para relleno o para la elaboración de suelo – cemento.
	Material para lecho, acostillamiento de tuberías y relleno total de cepas.
	Material para la conformación de terrenos.
	Rellenos en cimentaciones.
	Relleno en azoteas o en jardineras.
Construcción de muros de carga y divisorios.	
B. Mezclados	
Concretos hidráulicos	Sub-bases en caminos y estacionamientos.
Morteros	Construcción de terraplenes.
Blocks	Cobertura final en los rellenos sanitarios.
Tabicónes	Construcción de andadores y trotapistas.
Adoquines	Bases para ciclopistas, firmes, guarniciones y banquetas.
Tubos de albañal	Material para lecho, acostillamiento de tuberías y relleno de cepas.
Cerámicos	Construcción de pedraplenes.
Mamposterías	Material para la conformación de terrenos.**
Prefabricados de arcilla recocida (Tabiques, ladrillos, etc.).	Relleno en jardineras.
C. Provenientes de fresado de concreto asfáltico*	
Carpeta asfáltica Bases negras.	Bases asfálticas o negras.
	Concretos Asfálticos elaborados en caliente.
	Concretos Asfálticos templados o tibios.
	Concretos Asfálticos elaborados en frío.
D. Residuos de excavación	
Suelos no contaminados y materiales arcillosos, granulares y pétreos naturales contenidos en ellos.	Deberá privilegiarse su separación para facilitar el reúso y reciclaje.
E. Residuos sólidos urbanos	
Papel y Cartón	Deberá privilegiarse su separación para facilitar el reúso y reciclaje.
Madera	
Metales	
Plástico	
Residuos de podas, tala y jardinería.	
Vidrio.	
F. Otros	
Residuos de Impermeabilizantes, tabla roca, instalaciones eléctricas, asbesto, tubería, herrería, Lodos bentoníticos.	Deberá privilegiarse su reciclaje.

*Para ser incluídos en el proyecto ejecutivo de la obra.

**En ningún caso se utilizará en suelos de conservación, áreas naturales protegidas, áreas de valor ambiental y zonas de recarga de mantos acuíferos.

Fuente: PROY-NADF-007-RNAT-2012.

1.3 Ladrillo

Algunas definiciones de ladrillo son:

- “Piedra artificial” de forma geométrica, que resulta de la propiedad plástica de la materia prima empleada, la arcilla, que al modelarse con agua, una vez seca y tras su posterior cocción adquiere una gran dureza y resistencia (Averardo, 2009).
- Tabique (ladrillo) Es un componente para el uso estructural, de forma prismática fabricado con arcillas comprimidas o extruidas, mediante un proceso de cocción o de otros materiales con procesos diferentes (NMX-C-404-ONNCCE-2005).
- El ladrillo es una pieza cerámica empleada en la albañilería, de forma ortoédrica, fabricada por modelo, secado y cocción de una pasta arcillosa (Jiménez, 2005).
- (Del dim. del ant. **ladre*, del lat. *later*, -*ēris*). **1.** m. Masa de barro, en forma de paralelepípedo rectangular, que, después de cocida, sirve para construir muros, solar habitaciones, etc. y **2.** m. Elemento de construcción semejante hecho de otra materia (DRAE, 2013).

Los ladrillos se clasifican con base en su uso y existen dos tipos o clasificaciones: (A) ladrillo de uso estructural, cuando es empleado para muros de carga y (B) ladrillo no estructural, su uso es para muros interiores o divisorios (NOM-C-441-ONNCCE-2013 y NOM-C-404-ONNCCE-2012).

Las dimensiones de los ladrillos deben cumplir con las siguientes medidas mínimas: 5 cm de alto, 10 cm de ancho y 19 cm de largo con una tolerancia de ± 3 mm en cualquier dimensión (ONNCCE, 2006).

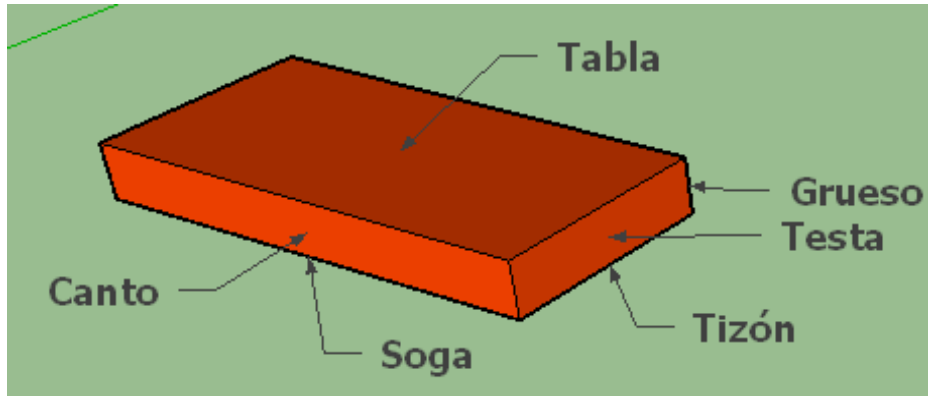


Figura 1. Nombres de las caras y las aristas de un ladrillo

Un ladrillo tiene tres caras: la cara mayor recibe el nombre de "Tabla", la cara intermedia recibe el nombre de "Canto", y la cara menor "Testa". Los aristas en los ladrillos reciben el nombre de: "Soga", la arista mayor; "Tizón", la arista media; "Grueso", la arista menor.

El área neta de piezas huecas debe ser por lo menos del 50% del área total. Para piezas huecas con dos y hasta cuatro celdas el espesor mínimo de las paredes exteriores debe ser de 20 mm y el espesor mínimo de las paredes interiores es de 13 mm. Para piezas multiperforadas y cuyas celdas sean de las mismas dimensiones y cuya distribución sea uniforme, el espesor mínimo de las paredes exteriores deben ser de 15 mm y el espesor mínimo de las paredes interiores debe ser de 7 mm (Jiménez, 2005).

1.4 Ladrillos ecológicos

Algunas definiciones propuestas para los ladrillos ecológicos o también llamados ecoladrillos son:

- Es un material utilizado como sistema de construcción alternativo, creado a partir de botellas PET, que utiliza los residuos sólidos como materia prima de los *Ecobloques*, es decir, las botellas PET son rellenas de materiales secos en desuso, hasta lograr tener una dureza y firmeza adecuada (Ciudad, 2011).
- Es un material alternativo que permite una construcción más respetuosa con el medio ambiente y posiblemente más económica que otros sistemas constructivos tradicionales. El ecoladrillo además de una buena apariencia, responde a criterios ecológicos y sostenibles ya que requiere un bajo nivel de energía para su fabricación y se elimina la emisión de CO₂ a la atmósfera al ser ladrillos que no requieren cocción (Cabo, 2011).

2. ANTECEDENTES

Desde sus inicios la elaboración del ladrillo forma parte esencial de la arquitectura y junto con ésta el desarrollo de civilizaciones. Los ladrillos tuvieron su origen en las antiguas civilizaciones del Medio Oriente, y se remontan en el tiempo a más de dos mil quinientos años antes de nuestra era (Averardo, 2009).

El ladrillo fue utilizado en las ciudades de Palestina, Mesopotamia y Jericó aproximadamente en años 9 000 al 3 000 a.C. siendo en Mesopotamia y Palestina el principal material en la construcción, donde apenas se disponía de madera y piedras. Los constructores sumerios y babilonios en Mesopotamia levantaron *zigurats*, palacios y ciudades amuralladas con ladrillos secados al sol, que recubrían con otros ladrillos cocidos en hornos, más resistentes y a menudo con esmaltes brillantes formando acabados decorativos, este método constructivo representó el inicio de su civilización y con los cuales se protegían de sus enemigos, formaban sus viviendas y resguardaban sus riquezas (Meide, 1994).

En Egipto entre los años 7000 y 6390 a.C. se llegaron a utilizar ladrillos que en la actualidad se conocen con el nombre de adobe, en las construcciones de Buhen Harappa y Mohenjo-Daro. Estos ladrillos eran solo mezcla de tierra, agua y algunas rocas, que se secaban al sol y daban estructura a las construcciones (Chalchy, 2008).

En el curso de la edad media (aproximadamente del 476 al 1492 d.C.), en el imperio bizantino, en el norte de Italia, en los Países Bajos y en Alemania, así como en cualquier otro lugar donde escaseara la piedra, los constructores valoraban el ladrillo por sus cualidades decorativas y funcionales. Realizaron construcciones con ladrillos templados, rojos y sin brillo creando una amplia variedad de formas, como cuadros, figuras de punto de espina, de tejido de esterilla o lazos flamencos. Esta tradición continuó en el Renacimiento y en la arquitectura georgiana, y fue llevada a América del norte por los colonos Británicos. El ladrillo ya era conocido por las civilizaciones prehispánicas, en regiones secas construían casas de ladrillos de adobe secado al sol.

La arquitectura georgiana (entre el 1720 y 1840 d.C.) se inspiró en las construcciones de los romanos, con las cuales construyeron su imperio, ellos fueron los primeros en utilizar en su totalidad ladrillos cocidos para que fueran más resistentes sus construcciones, además de utilizar diferentes tipos de hornos. El intercambio que los musulmanes y los españoles tuvieron, originó la difusión de los materiales con los cuales se pueden producir ladrillos, se puede observar que alcanzó mayor difusión en Castilla, Aragón y Andalucía, provincias de España (Chalchy, 2008).

En México, se construyeron pirámides principalmente de ladrillos revestidos de piedra, como en el sitio arqueológico de Comalcalco (se traduce como "*lugar de la casa del comal*", del náhuatl *comalli*, "comal", *calli*, "casa", y *co*, "en" o "lugar"). La ciudad tenía una extensión de 7km² y alrededor de 432 edificios; en el

núcleo destacan tres grupos arquitectónicos: la Plaza Norte, la Gran Acrópolis y la Acrópolis Este. El sitio se encuentra ubicado en el municipio del mismo nombre. Hoy día está comunicado por la carretera federal 187 que va de Cárdenas a Paraíso, las ruinas se encuentran al noreste de la actual ciudad de Comalcalco, en el estado de Tabasco (Álvarez, 1990).



Figura 2. Zona arqueológica de Comalcalco, Tabasco

El asentamiento tuvo un desarrollo continuo desde épocas tempranas; sin embargo, es el periodo Clásico (250 a.C. al 900 d.C.) cuando comienzan las edificaciones de tierra con recubrimientos de estuco en la Acrópolis Este. Alrededor de 500 d.C. se inicia la fabricación de ladrillos y la edificación de los conjuntos monumentales de la Plaza Norte y la Gran Acrópolis (Armijo, 2003).

Es la única ciudad Maya de cierta relevancia, conocida hasta ahora, donde se construyeron edificios abovedados de mampostería usando ladrillos cocidos en vez de piedra caliza. El sistema constructivo de la antigua ciudad es único en Mesoamérica, los edificios monumentales fueron construidos con cientos y hasta miles de ladrillos, rasgo que es propio de la región por carecer de yacimientos superficiales de piedra. Para la construcción de los edificios fueron utilizados el barro, la madera, las palmas y las conchas de ostión (CONACULTA, 2013).

Las primeras construcciones se hacían con núcleos o rellenos de tierra apisonada, recubierta de una o varias capas de estuco, los templos debieron ser de bahareque, troncos, barro y palma. Posiblemente utilizaron la laguna de Mecoacán como fuente de materia prima, ya que en este lugar abundan las ostras y sus conchas eran calcinadas y convertidas en cal, para los

revestimientos de paredes, muros y pisos además de utilizarlos para esculturas. Las construcciones posteriores (2ª época constructiva), se hicieron con ladrillos unidos con mezcla de cal o de barro; los ladrillos son de barro cocido y de tamaños variables, los hay de 1.20 metros de largo hasta 80 centímetros, lo que indicaría el no haberse hecho en moldes sino cortados de una plancha de barro en el suelo (CONACULTA, 2013).

Los tabiques y sus motivos fueron realizados por dibujantes, los motivos de los ladrillos en general son: representaciones humanas, representaciones de animales, seres fantásticos, representaciones arquitectónicas, glifos, motivos geométricos, abanicos, cruces, petates, fibras entrelazadas y miscelánea. Y en cuanto a la técnica podemos observar: incisos, pintados, impresos, modelados, pastisaje, perforados, punzonados, acanalados, y sus combinaciones como: inciso-pintados, inciso-impresos, inciso-punzonados, inciso-esgrafiado, inciso-acanalado, modelado-pastisaje, acanalado-inciso-modelado, impreso-pintado e impreso-perforado, la incisión aparece en el 88.35% de los diseños, con un total de 4 601 ladrillos (Álvarez, 1990).

En los edificios sin mampostería se desplantaron construcciones elaboradas con madera, guano y fibras vegetales de amarre, similares a las empleadas en la construcción de casas de corte tradicional que se continúan haciendo en la región (Armijio, 2003).

Los habitantes de la ciudad moderna, fundada en 1826, tenían conocimiento de la existencia de las ruinas, las ocuparon como bancos de material; de ahí obtenían los ladrillos para construir casas y, más aún, con ladrillos de la antigua ciudad pavimentaron una calle (Álvarez, 1990).

Durante toda la historia en México se ha utilizado la tierra cruda como material básico de construcción. Esto ha permitido desarrollar respuestas arquitectónicas con gran eficacia en el manejo de los recursos naturales y con un alto grado de adaptación a las condiciones climáticas existentes en las diferentes latitudes del país (Rodríguez, 2001).

El ladrillo sigue siendo un material de construcción muy versátil, no sólo en México sino en el mundo, por cual, el crecimiento de la demanda de ladrillos ha dado lugar a la fabricación de ladrillos industriales. Con ello se ha incrementado la proliferación de ladrilleras, aumentando la problemática ambiental que genera su elaboración. En México la producción artesanal de ladrillo se concentra en 7 estados: Puebla (25%), Jalisco (15%), Guanajuato (14%), San Luis Potosí (7%), Michoacán (5%), Durango (4%) y Estado de México (4%) (Cárdenas, 2012).

En algunos casos es necesario que los ladrillos requieran cocción; para ello, se han diseñado hornos tradicionales, los cuales han sido mejorados en el curso de

centenares de años. Hay otros tipos de ladrilleras en funcionamiento que, en los recientes años, han sido sometidos a una sistemática investigación para su perfeccionamiento (FAO, 2013).

Para llevar a cabo la cocción de los ladrillos se utilizan combustibles altamente contaminantes como llantas, residuos industriales, aserrín, madera y aceites gastados (Siñani, 2002), combustóleo No. 6 (Chalchy, 2008).

Uno de los más importantes contaminantes producidos por la industria ladrillera es el polvo, que se produce por la extracción de arcilla, materia prima para la elaboración de ladrillos, la misma que es explotada de forma irracional, y sin ningún tipo de medidas de seguridad. Otro factor importante en la generación de riesgos al explotar arcilla es el uso indiscriminado de explosivos, el más común; la dinamita (Siñani *et al*; 2002).

La fabricación del ladrillo es una actividad de carácter informal, esta característica se refiere a todas aquellas empresas no constituidas en sociedad que forman parte del sector de los hogares, dedicadas a la producción de bienes o servicios, con la finalidad primordial de generar empleo e ingreso para las personas implicadas (OIT, 2002).

La producción artesanal de ladrillos provoca altas emisiones de material particulado y gases, además se realiza en precarias condiciones de seguridad e higiene laboral, situación que genera un problema de calidad ambiental y de salud, constituyendo un grave problema social y de salud (Siñani *et al*; 2002).

La contaminación por aire y la exposición ante una población está relacionada con serios trastornos a la salud entre los que se destacan:

- El incremento en la frecuencia de enfermedades respiratorias crónicas y agudas.
- Aumento en la frecuencia de muertes asociadas a la contaminación atmosférica.
- Disminución de la capacidad respiratoria.
- Aumento de ataques de asma.
- Incremento de casos de enfermedades cardíacas.
- Aumento en la frecuencia de cáncer pulmonar (SSA, 2002).

Aunado a lo anterior, se puede decir que esta actividad artesanal tradicionalmente ha sido desarrollada por personas de estratos sociales marginados que encuentran en este oficio una forma de autoempleo medianamente estable, pero lamentablemente muy mal remunerado económicamente, poco valorado y menos reconocido por la sociedad. Por otro lado, es un empleo con una demanda energética intensiva y un desgaste físico importante que impacta negativamente en la salud del trabajador (González, 2008).

2.1 Impactos ambientales que provocan los residuos de construcción

Para producir materiales primarios para la construcción se necesita de la extracción de la materia prima al hacerlo, provocan impactos, los cuales generaran un deterioro de la calidad subterránea y superficial, además de modificaciones de las características de flujo de agua superficial, existirá un cambio en su uso de suelo (como se ve en la Figura 3). Se arrojaran al exterior emisiones de partículas hacia la atmósfera, teniendo también un cambio en la microfauna que habita en los diferentes estratos de la tierra, en cuanto a la flora se modificara la cubierta vegetal, así como en el aspecto socio-económico, tendrá un impacto visual y auditivo.

El mecanismo por el cual se generan los materiales para la construcción son la extracción y preparación de las materias primas, prosigue la manufactura y la producción de los materiales, dando como resultado el producto final, además del consumo de la energía que se necesita para transportar cada material al lugar donde se requiera, el impacto ambiental que se genera se puede ver asociado al suelo, agua, aire, energía, desperdicios del proceso, emisiones de sustancias, y finalmente la disposición de los materiales que ya no se usen, probablemente recaerán en algún relleno sanitario, serán incinerados y otros tantos se reúsaran o reciclaran.

Al realizar construcciones se realizan excavaciones y el suelo que se obtiene muchas veces no es utilizado.



Figura 3. Impacto de los residuos de construcción
Se observa obstrucción en la coladera que afectará al drenaje.

Fuente: Rojas *et al*; 2013.

2.2 Residuos de excavación

Los residuos de excavación están clasificados dentro de los residuos de construcción, que es la extracción de materiales, suelos o rocas, ejecutada a cielo abierto, cuyo objetivo es alojar en ella cimentaciones, conductos, instalaciones hidráulicas y sanitarias, drenes, alcantarillas y pequeñas estructuras, y las excavaciones generalmente se realizan con maquinaria. Los residuos derivados de la construcción constituyen un problema serio cuando no se disponen de manera ambientalmente adecuada, tapan los drenajes cuando se abandonan en las calles, provocan el desborde de los cauces de agua cuando van a parar a ellos como se muestra en la Figura 4, impiden el aprovechamiento de tierras fértiles cuando se depositan en ellas sin ningún control (Rojas *et al*; 2013).

Para su manejo, se debe minimizar la dispersión de polvos y emisiones de partículas, se puede sugerir el uso de agua tratada en las áreas de mayor movimiento así como retirar los residuos en el plazo que establezcan las disposiciones jurídicas correspondientes.

Estos pueden ser utilizados en la construcción siempre y cuando no estén contaminados, en el proyecto de norma "PROY-NADF-007-RNAT-2012", se está trabajando para que sean aprovechados los residuos de construcción y excavación, en donde se deberán de enviar a reciclaje o reuso dentro y fuera de la construcción que se esté llevando a cabo.



Figura 4. Residuos de construcción tirados inadecuadamente en ríos
Fuente: Rojas *et al*; 2013

2.3 Residuos de madera/tala

Los residuos de la madera se han definido de diversas maneras, según sus usos. La FAO (2000) ha definido así los residuos de la madera:

Madera en rollo que queda después de la producción de productos forestales en la industria de elaboración forestal (es decir, residuos de la elaboración forestal) y que no ha sido reducida a astillas o a partículas (definiéndose las astillas y partículas como madera que ha sido reducida deliberadamente a trozos pequeños durante la manufactura de otros productos madereros). Se incluyen los desechos de aserradero, tapas, despuntes, recortes, duramen de trozas para chapas, desechos de chapa, aserrín, corteza, residuos de carpintería y de ebanistería, etc. Se excluyen las astillas de madera obtenidas directamente (es decir, en el bosque) de la madera en rollo o de residuos (es decir, ya contabilizadas como madera para pasta, rolliza y partida, o astillas y partículas de madera).

Las especies que se mencionan en la Tabla 3 son especies arbóreas que se encuentran en la región de Tuzandepetl de las cuales *Brosimum alicastrum*, *Dendropanax arboreus*, *Dialium guianens*, *Pouteria campechiana*, *Vochysia guatemalensis* han son utilizadas para la construcción. Y estas son las especies que seguramente se van a encontrar cuando se haga el desmonte y tala del Parque Ecológico Tuzandepetl.

Tabla 3. Especies arbóreas de la región de Tuzandepetl, Veracruz

Nombre Científico	Familia	Nombre común	Usos de la madera
<i>Abarema idiopoda</i>	Leguminosae-Mimosoidea	Cachá o Dormilón	Construcción de postes, mangos de herramientas, muebles y artesanías.
<i>Andira galeottiana</i>	Leguminosae-Papilionoideae	Macayo	Cimbra y leña.
<i>Brosimum alicastrum</i>	Moraceae	Ramón u Ojoche	Leña, postes, estacas, mangos de herramientas y construcción de viviendas.
<i>Bursera simaruba</i>	Burseraceae	Palo mulato o Chaca	Fabricación de chapas y madera terciada, construcción de viviendas, postes y leña.
<i>Calophyllum brasiliense</i>	Calophyllaceae	Barí o Ocú	Fabricación de chapa, durmientes, muebles finos, construcción general, partes de barcos, pisos y mangos de herramienta.
<i>Cedrela odorata</i>	Meliaceae	Cedro o Cedro Rojo	Especie maderable más preciosa en la industria forestal de México. Obtención de vigas, tablas, chapas, muebles finos, instrumentos musicales, artículos torneados y artesanías.
<i>Ceiba pentandra</i>	Bombacaceae	Pochote	Fabricación de artículos torneados y chapa.

Continuación de la Tabla 3. Especies arbóreas de la región de Tuzandepetl,
Veracruz

Nombre Científico	Familia	Nombre común	Usos de la madera
<i>Dendropanax arboreus</i>	Araliaceae	Palo de Agua	Construcciones rurales, vivienda, instrumentos musicales, muebles, cajas y cajones y pulpa para papel.
<i>Dialium guianense</i>	Leguminosae - Caesalpinioideae	Guapaque o Paque	Durmientes de ferrocarril o construcciones pesadas ya que la madera es pesada y resistente al ataque de insectos.
<i>Ficus pertusa</i>	Moraceae	Amate o Matapalo	Leña.
<i>Guarea glabra</i>	Meliaceae	Gagal o Palo de Bejuco	Construcción general, carpintería, mueblería, marcos de puertas, ventanas, molduras, pisos, leña, carbón, magos de herramientas e implementos agrícolas.
<i>Mortonioidendron guatemalense</i>	Malvaceae; antes Tiliaceae	Tronador o Cuerillo	Sin información.
<i>Nectandra salicifolia</i>	Lauraceae	Laurel Aguacatillo o Picito de Paloma	Fabricación de chapa, muebles finos y puertas.
<i>Pouteria campechiana</i>	Sapotaceae	Zapote Mante o K'anixté	Obtención de tablas y vigas para la construcción de casa.
<i>Pouteria sapota</i>	Sapotaceae	Mamey, Zapote Mamey, o Mamey Colorado	La madera es pesada, se utiliza en estructuras como vigas, puentes, construcciones marinas, pisos industriales, carretas, carpintería, mueblería, leña, escaleras, ventanas, marcos de puertas, culatas, tacos para billar, cachas para armas de fuego y decoración de interiores.
<i>Roupala montana</i>	Proteaceae	Árbol de Cochino, Palo de Muerto, o Danta	Especie maderable.
<i>Senna multijuga</i>	Leguminosae- Caesalpinioideae	Cachimba	Producción de estacas y madera de construcción.
<i>Sterculia apetala</i>	Malvaceae; antes Sterculiaceae	Bellota o Tepetaca	Construcciones rurales, canoas, formaletas, cajas de empaque, palillos de fosforo, espátulas de uso médico, tableros de partículas, contrachapado y leña.
<i>Terminalia amazonia</i>	Combretaceae	Tepesuchil o Suchil Amarillo	Madera pesada, se utiliza en pisos, muebles y gabinetes de primera clase, amazones de barcos, elementos estructurales para puentes y durmientes para vías de ferrocarril, contrachapado y chapas decorativas.
<i>Vochysia guatemalensis</i>	Vochysiaceae	Corpo o Palo de Agua	Aserrio, componentes de muebles, construcciones rurales, chapa, triplay, durmientes de ferrocarril, canoas, entablados y leña.

Fuente: Gutierrez y Ricker, 2012.

2.4 Ladrillos elaborados con Polietileno tereftalato (PET)

En 1951 comenzó la producción comercial de PET, y ha obtenido un éxito masivo ya que con él se embotellan: refrescos, aceites, cosméticos, artículos de limpieza, productos farmacéuticos, entre los otros.

Desde la década pasada el PET se ha empleado como una alternativa de construcción, este ecoladrillo tiene propiedades muy distintivas a otros materiales como la ausencia de cementantes, barrera para los gases, el peso ligero, además de presentar características para su reciclado y considerando que este proceso de reciclado es de bajo costo y de un manejo técnico sencillo y de fácil adquisición, debido a que cada año la fabricación de diversos envases plásticos para refrescos y aguas purificadas se incrementa 50 000 toneladas (Chalchy, 2008).

La técnica ECOTEC BIAPVS® “Sistema de amarre biomimético de cuatro puntos” (2001) es un sistema de autoconstrucción donde se utilizan las botellas de PET no retornables como ladrillos que al llenarlos de tierra y otros materiales del lugar, se vinculan para formar una estructura en sí misma, esta técnica fue desarrollada por el alemán Froese como respuesta innovadora a la problemática de los residuos que se generan (Froese, 2013).



Figura 5. Técnica ECOTEC

En México el plástico reciclado puede permitir fabricar nuevos productos como filamentos para alfombras, prendas de vestir, otros envases, suelas de zapatos, artículos para la industria automotriz, tuberías, macetas, según sea el tipo de PET y el proceso. En el país ya existen compañías que permiten realizar este proceso de reciclaje y acopio como el IMER (Industria Mexicana del Reciclaje) y ECOCE (Asociación Ecológica y Compromiso Empresarial).

2.5 Paneles termo-acústicos con base en residuos de madera

A finales del siglo XX se desarrollaron paneles termo-acústicos en la elaboración y producción de materiales de bajo consumo energético que no se utilizan en su proceso recursos naturales no renovables. La técnica está basada en el desarrollo de componentes constructivos alternativos a base de desperdicios de la industria de la madera, aserrín y virutas, provenientes de bosques de *Pinus spp* para reemplazar los materiales tradicionales como lo es la fibra de vidrio, poliuretano, poliestireno (Celano, 2008).

Las ventajas que tiene este método constructivo son: rápida ejecución de obra, flexible distribución funcional-espacial, posibilidad de utilización pasiva de la energía solar, amplias posibilidades de la autoconstrucción para propietarios, reciclabilidad industrial y bajo consumo energético por medio de alta capacidad de aislación térmica perimetral (Jacobo y Vedoya 2004).

En Chile para el 2007 se estimó el flujo de producción de residuos de la madera desde que ingresa a un aserradero hasta que sale de un proceso de remanufacturación es de 100m³ de madera troza con corteza que entra, el 48% es transformada en madera aserrada, mientras que el 52% corresponde al residuos del aserrío (Granifo, 2009). Por lo cual el uso de estos residuos es aprovechable para generar nuevos materiales para la construcción sin afectar las reservas forestales.

El mayor reto de la civilización industrial del siglo XXI consistirá en obtener mejores técnicas para garantizar las necesidades de construcción para las generaciones futuras (Jacobo, 2005).



Figura 6. Panel flexible de fibra de madera
Fuente: Jacobo, 2005.

2.6 Ladrillos elaborados con fibra de celulosa

En México la empresa Ecotec de Chihuahua tiene a la venta productos para la fabricación limpia en el ramo de la construcción. Los ladrillos que desarrollaron se consolidan por celulosa, la cual es tomada del desperdicio del proceso de fabricación de papel junto con arena, cemento y aserrín, una de estas materias primas se puede sustituir por algún otro material dependiendo del lugar donde se lleguen a elaborar.

Las ventajas que han encontrado en este nuevo material son: una excelente resistencia térmica, la capacidad de oponerse al flujo de calor, de esta forma mayor será el confort interior de la vivienda y menores serán los gastos de energía, es compatible con cualquier tipo de recubrimiento exterior o interior, no requiere malla ni alguna especificación para la aplicación de los mismos, es ideal para muros interiores, ya que este material cuenta con una densidad más alta que los materiales convencionales, lo que permite que conserve por más tiempo la temperatura de los aparatos de climatización, y el precio del ladrillo es mucho menor en comparación de los ladrillos convencionales. (Ecotec, 2013).

En la zona Metropolitana del Valle de México existen 37 industrias papeleras de las cuales tres (Grupo Papelero Scribe, Smurfitkappa y Kimberley Clarck) producen alrededor de 58 mil toneladas de lodo al año (Marín, 2011). Este lodo al final del proceso se dispone mediante incineración, como acondicionador del suelo o es depositado en rellenos sanitarios. Se ha estudiado el uso de las cenizas incineradas de lodos de papel como material de construcción (García, 2010).



Figura 7. Ladrillos con fibra de celulosa

Fuente: Ecotec, 2013.

2.7 Ecoladrillos con materia orgánica

El ecoladrillo diseñado por Cabo (2011), está hecho con cenizas de cáscaras, marga gris, cal hidráulica natural, arena sílica, cenizas de cáscaras de arroz, cemento y de cascarillas de arroz subproducto de la cosecha del mismo proponen un nuevo material constructivo, ya que algunos de ellos no necesitan el proceso de cocción, o la adición de cemento.

Los ecoladrillos han obtenido óptimas características mecánicas en cuanto a la compresión, inmersión en agua y excelente durabilidad frente a temperaturas extremas, dando como resultado un ahorro energético que se produce durante su fabricación.

Este ladrillo se sometió también a la prueba de heladicidad que consiste en someter a ciclos de hielo-deshielo el ecoladrillo para así caracterizar la durabilidad de las piezas que se elaboraron, y como resultado no perdió sus propiedades de resistencia debido al sellado que garantizó la propia humedad de la pieza.

El nuevo ecoladrillo incrementa su valor ecológico al contener como componentes del mismo, aditivos sostenibles y respetuosos con el medio ambiente, sobre todo por el ahorro energético que se produce en su fabricación (Cabo, 2011).



Figura 8. Ecoladrillo elaborado con materia orgánica cenizas y cáscaras de arroz
Fuente: Cabo, 2011.

2.8 Ladrillos hechos con llantas

La elaboración de materiales constructivos a partir del reuso y reciclaje que pueden presentar los neumáticos también conocidos como llantas cuando ya completaron su ciclo de vida útil pueden ser varios; reutilizar los neumáticos como muros al incorporar materiales de relleno cualquier tipo de suelo que se pueda obtener de la región, como también varillas o cemento para darle soporte a la estructura, además que se les puede dar un manejo o tratamiento para reciclarse e incorporarse dentro de una obra como pieza o como material para impermeabilizar o aislante térmico y acústico.

Grenbruger es una empresa mexicana la cual fabrica adoquines hechos de caucho de llantas, estos adoquines ya se encuentran dentro del mercado internacional (Genbruger, 2013), otro material constructivo se realizó por la Escuela de Postgrado en Administración de Empresas (ESPAE) en Ecuador, que desarrolló por medio de pulverizar los neumáticos un ladrillo para su uso estructural (TIRES, 2013).

Algunas de las propiedades de este material son la reducción de la impedancia acústica y capacidad térmica (Maderuelo *et al*; 2012).



Figura 9. Adoquín de caucho reciclado
Fuente: Genbruger, 2013.

2.9 Ladrillos con Tetra brick

El tetra brik también llamado “Tetra Pak” se desarrolló inicialmente en Alemania en el año 1963, en la necesidad de obtener un material que tuviera resistencia a los golpes.

Para reciclar el Tetra brick, usualmente se separan las capas, por las que está constituido: papel, aluminio y plástico, se puede ocupar y preparar el papel como pulpa para obtener la pasta para el ladrillo, sin embargo este procedimiento es muy laborioso.

También se puede utilizar el Tetra brick hilado con rafia junto con malla de gallinero para dar estructura al muro. En México se han diseñado casas con esta tecnología, ya que los materiales que constituyen al Tetra brick tienen capacidad de aislante-térmico, y debido a su composición no permite ser biodegradable.

El *tectán* es un material aglomerado que utiliza como materia prima los envases de Tetra brick, el proceso de fabricación del *tectán* consiste en triturar el Tetra brick, prensarlo y calentarlo para dar origen a un nuevo material tanto constructivo (Chung, 2003).



Figura 10. Casa fabricada con Tetra brick
Fuente: Sikanda, 2010.

2.10 Ladrillos de adobe

El adobe es un material empleado para la construcción de muros en viviendas, y cuyo proceso de fabricación es más amigable con el medio ambiente. La palabra adobe se deriva del árabe: *At-tub* que significa "ladrillo de tierra" (Moropoulou *et al*; 2003). Su uso ha ido decreciendo, debido a su mal comportamiento ante sismos e inundaciones (Morales *et al*; 2007).

Las culturas Teotihuacana y Rusa han realizado construcciones con base en este material natural, su composición es entre 15 y 30% de barro y el resto es de arena, aunque se han realizado modificaciones en cuanto a su contenido agregando pequeñas cantidades de cemento, conocido usualmente como *adocreto*. El bloque de adobe puede hacerse de dos maneras: Se puede verter la mezcla en moldes y dejarlos secar al sol, o pueden ser moldeados para darles la forma de bloque por medio de prensas hidráulicas.

En México el adobe ha sido el material más empleado para la construcción de muros en la vivienda rural, debido principalmente a su economía y facilidad de fabricación (Ríos, 2010).

La ventaja que caracteriza al adobe es su gran inercia térmica que le permite brindar una regulación de la temperatura interna, ya que contiene fibras vegetales que le confieren esta propiedad (Cervantes *et al*; 2010). Además, de favorecer el uso de materiales locales, lo que conlleva a una poca inversión en cuanto al costo de los materiales, requiere el uso de herramientas sencillas, aunque también presentan desventajas, los ladrillos de adobe son sensibles a la humedad por lo cual no son elementos óptimos para paredes estructurales.



Figura 11. Construcción con adobes

2.11 Ladrillos hechos con lana y algas

Galán, Rivera y Petric (2010), en Reino Unido han desarrollado un nuevo material constructivo. Los ladrillos están compuestos por algas marinas (ya que presentan alginato en su pared celular) en especial la especie *Gelidium sesquipedale* procedente de los residuos del procesos de extracción del agar-agar, lana y arcilla.

El integrar alginato a un material de construcción ha demostrado en comparación con la cal y el cemento que posee los mismos potenciales de estabilización y puede utilizarse como un sustituto.

Los nuevos ladrillos no necesitan cocción y las ventajas que adquiere este nuevo ladrillo son: reducción de la contaminación de emisiones de CO₂, presenta un mayor aislamiento térmico, son rentables (Amorós, 2011), tienen mayor resistencia mecánica, no son tóxicos, adicionar lana de ovejas tiene sus propias ventajas; minimiza las fisuraciones y deformaciones por contracción, reduce el tiempo de secado y aumentan su resistencia a los esfuerzos de flexión (Galán *et al*; 2010).



Figura 12. Ladrillos hechos con residuos de lana y algas marinas
Fuente: Amorós, 2011.

2.12 Técnica de construcción cob

El cob es un sistema constructivo tradicional de tierra cruda, los muros se levantan con una mezcla de arcilla, agua y fibra vegetal (Salazar, 2005), la palabra cob proviene de una antigua raíz que significa "bulto" o "masa redondeada" (cob cottage, 2008). El término viene de Inglaterra, en donde se han construido casa de tierra por milenios y todavía hay algunas que después de 500 años de unos están sin deterioros (Wolfensberger, 2006).

Igual que el adobe es un material de construcción natural, tiene alta resistencia y durabilidad, la diferencia del adobe con este material es que el cob se integra fresco al muro, tiene ventajas de aislamiento térmico y acústico, lo que también favorece un gran ahorro energético.

Para mejorar la absorción de agua en las construcciones con este material se aconseja que se ponga un cimiento y un sobrecimiento de piedra como base, para que actúe como barrera contra la humedad, además de que es importante que los avances diarios no superen los 60 cm de altura para que se tenga un secado óptimo y asegurar que el ancho mínimo para un muro de cob no debe ser menor a 20 cm (Gómez *et al*; 2014).



Figura 13. Ladrillos de cob

Fuente: Wye, 2014.

2.13 Técnica de construcción *bahareque*

El *bahareque* o también llamado *pajareque* es clasificado por lo general como un sistema constructivo artesanal, ya que tradicionalmente ha sido utilizada con base en materiales naturales no procesados, utilizados individualmente o combinados (Miranda, 2011).

Esta técnica de construcción con tierra, consiste en una gruesa capa de barro sobre un entramado de caña o madera. Otra forma de hacer el *bahareque* es mediante un trenzado de paja remojada en lodo. Este trenzado se efectúa sobre una estructura de caña, madera o bambú, opcionalmente con acabados de yeso (López, 2004). La ventaja que tiene esta técnica y los materiales que se utilizan es que no generan emisiones de CO₂ y son buenos aislantes térmicos. Es una técnica que se aplica en el ámbito mundial.

También se le conoce a esta técnica como entramado ya que recurre a la madera, principalmente como estructura de soporte. Los materiales que más se utilizan son: caña, bambú, carrizo, paja y ramas finas preferentemente secas. Las construcciones con esta técnica generalmente son de un solo piso (Lang *et al*; 2007).



Figura 14. Construcción con *bahareque*

3. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad existe una problemática ambiental, social y económica ocasionada por un excesivo desaprovechamiento y sobre explotación de los recursos naturales. Un ejemplo es la generación de materias primas para la construcción, además de la mala planeación y el mal manejo de los residuos que se generan a partir de ellos.

Los materiales que se utilizan en la construcción tienen efectos en el ambiente, ya sea directa o indirectamente, de manera que alteran el paisaje por la excavación y se pierde el suelo original. También existe una alteración, ya que para generar materiales para la construcción, se utiliza energía para explorar y transformar las materias primas a partir de recursos naturales y en su transporte para su disposición final.

Por otro lado, los residuos de tala, también juegan un papel muy importante, ya que estos muy pocas veces son utilizados y no se les da el tratamiento adecuado para su degradación. No existe un mercado para estos residuos y en algunas ocasiones se genera energía a partir de ellos, lo que conlleva a un deterioro ambiental y la contaminación del medio.

Con base en lo mencionado anteriormente y a los informes técnicos para definir el desarrollo y funcionamiento del Parque Ecológico Tuzandepetl, se identificaron tres etapas para su próxima construcción: 1) tala y desmonte, 2) excavación y 3) construcción. En cada etapa se encontrarán diferentes residuos, en la primer etapa se generarán (entre otros) residuos de madera de las especies arbóreas que se distribuyen en la región (Gutiérrez y Ricker, 2012). En la segunda etapa, para la preparación del terreno se obtendrá entre otros tipos de suelo, arcilla (Couttolenc, 2012), y en la tercer etapa se generarán residuos de construcción (Rojas *et al*; 2013).

Esquinca *et al*; (2008) estiman que 1m^3 de obra construida genera 102 kg de residuos de construcción, mientras que González *et al*; (2013) consideran que 1m^3 de obra construida genera 0.068 m^3 de residuos de construcción con un peso volumétrico $1.5\text{ ton}/\text{m}^3$.

Con la finalidad de ayudar a disminuir dicha problemática, se debe aprovechar e integrar de una manera segura dichos residuos, en este trabajo se van a emplear los residuos mencionados para fabricar ladrillos ecológicos.

El uso del ecoladrillo podría ser la construcción de los centros de compostaje y acopio. Lo cual tiene apoyo en la norma PROY-NMX-AA-164-2012 sobre las edificaciones sustentables en la que se establecen criterios y requerimientos ambientales mínimos, para promover la reducción, reutilización y reciclaje de los

residuos que se generen en todas las etapas del ciclo de vida de las diferentes edificaciones y en particular con respecto a los residuos de construcción. Con base en el proyecto de norma PROY-NADF-007-RNAT-2012 que establece la clasificación y especificaciones para el manejo de los residuos de la construcción en el Distrito Federal; buscando fomentar el manejo adecuado de estos residuos así como promover su reúso y reciclaje.

Debido a que por lo pronto los permisos para comenzar la obra del parque no están autorizados, se utilizaron materiales similares a los que se pueden encontrar en la región.

La importancia de elaborar ecoladrillos, una maquina moldeadora de ladrillos y un secador solar a partir de residuos es el reúso de materiales y que sean dados a conocer a los visitantes para fomentar una conciencia ambiental mediante la impartición de talleres de educación ambiental que muestren el reúso de materiales del lugar.

4. OBJETIVO GENERAL

Aprovechar de manera integral los residuos de tala, excavación y construcción que serán generados en la construcción del Parque Ecológico Tuzandepetl para la elaboración de ecoladrillos o cualquier otra edificación que se pueda tomar como modelo.

4.1 OBJETIVOS PARTICULARES

1. Investigar acerca de los residuos de tala, residuos de excavación y residuos de construcción para integrarlos a una segunda vida útil empleándolos para la fabricación de materiales constructivos.
2. Aprovechar de manera integral los residuos de tala, excavación y construcción, provenientes de fuentes donde se acopian y tratan para elaborar ecoladrillos que pudieran ser reúsados en la construcción de algunas instalaciones del Parque Ecológico Tuzandepetl o alguna otra edificación.
4. Realizar pruebas según las normas mexicanas: NMX-C-038-ONNCCE-2004 para determinar las dimensiones de los ladrillos, NMX-036-ONNCCE-2004 resistencia a la compresión, NMX-037-ONNCCE-2005 absorción de agua total e inicial, NMX-C-441-ONNCCE-2013 para uso no estructural y NMX-C-404-ONNCCE-2005 para uso estructural en los ecoladrillos, para analizar si es recomendable su aprovechamiento en la construcción para algunas instalaciones del Parque Ecológico Tuzandepetl.
5. Analizar la factibilidad, técnica, económica y operativa para la implementación de los ecoladrillos.

5. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El Parque Ecológico Tuzandepetl se localiza en el Estado de Veracruz, (México), pertenece al municipio de Ixhuatlán del Sureste. Ixhuatlán proviene del náhuatl que significa “*lugar de hojas verdes*”, en él se registran 57 localidades de las cuales solo Ixhuatlán es urbana, con una superficie de 276.37 km², que representa el 0.38% de la superficie total del estado, y pertenece a la región de los Olmecas (Figura 15).



Figura 15. Mapa del Estado de Veracruz, región Olmecas y región de Ixhuatlán del sureste

Fuente: Enciclopedia de los estados de México, 2010.

El tipo de clima es cálido húmedo con lluvias todo el año (*Af*) y cálido húmedo con abundantes lluvias en verano (*Am*), la humedad relativa es del 80 al 85%, el rango de precipitación oscila entre 2 500 y 3 500 mm/año (PEMEX, 2008). El rango de la temperatura es de 20 a 26 °C y el rango de la precipitación es de 1 100-1 300 mm. La vegetación se ajusta a dicho patrón climático, con matorrales submontanos y tamaulipecos en la porción boreal y selvas en la austral, la vegetación arbórea se describió en la Tabla 3.

El sitio de estudio se localiza en el litoral del Golfo de México; la estratigrafía está integrada básicamente por arenas arcillosas medias a firmes y arenas arcillosas de compacidad muy densa. En la parte superficial de 0.00-1.80 m se encuentra un estrato de arcilla arenosa de consistencia firme, de 1.80-15.0 m se encuentra un depósito de arcilla arenosa de consistencia media. Este último estrato es apropiado para el desplante de cimentaciones (Couttolenc, 2012) como se muestra en la Figura 16.

Corte estratigráfico Norte-Sur

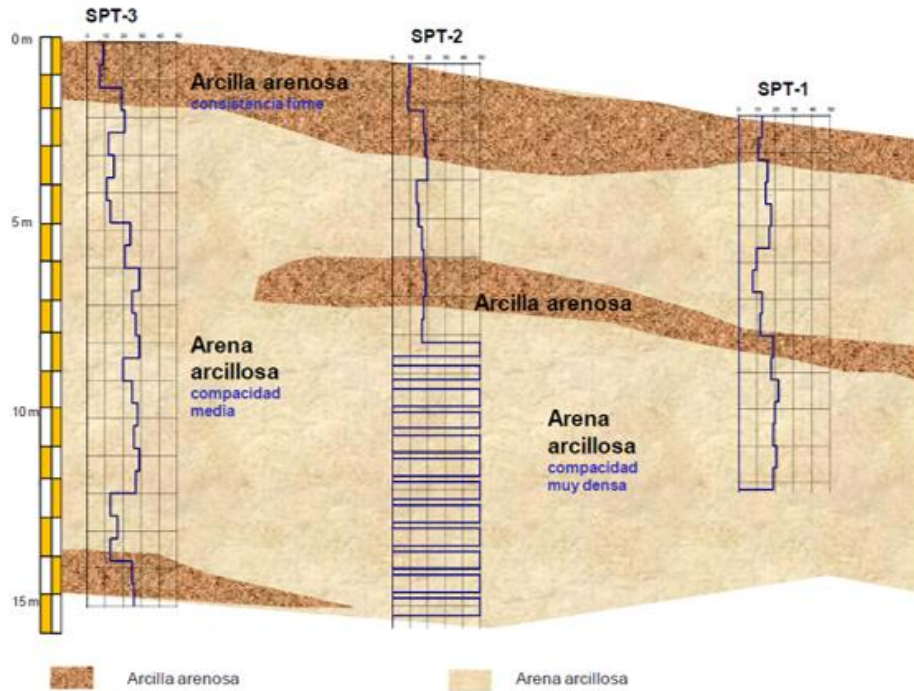


Figura 16. Corte estratigráfico esquemático de la zona objeto de estudio
Fuente: Couttolenc, 2012.

Las actividades económicas que se desarrollan en la región de Ixhuatlán del sureste son: la agricultura, en donde los principales cultivos son el maíz, la naranja, el frijol, y la ganadería así como también la avicultura (SIM, 2014).

El Parque Ecológico Tuzandepetl se localiza en las coordenadas geográficas 18° 00' 47'' latitud norte y 94° 24' 20.5'' de longitud oeste, cuenta con una superficie de 50 hectáreas y es un Área Natural Protegida propiedad de PEMEX Exploración y Producción, en el 2011 se firmó un convenio entre PEMEX Exploración y Producción y la Universidad Nacional de México para definir el desarrollo y funcionamiento del Parque (Figura 17).

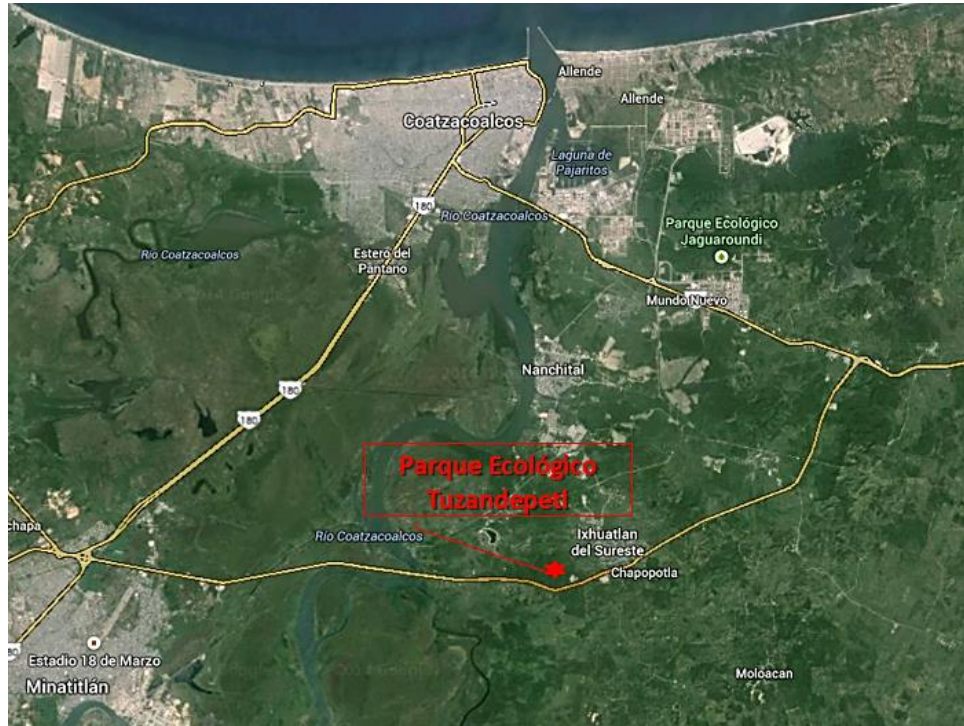


Figura 17. Ubicación del Parque Ecológico Tuzandepetl
Fuente: Google maps, 2014.

La construcción del Parque Ecológico Tuzandepetl, es importante ya que se va a promover la conservación de la biodiversidad, la investigación científica y la restauración, recreación y el aprovechamiento de diversas áreas del parque para la educación ambiental con objetivo de crear cultura de sustentabilidad, así como también incentivar la conciencia ambiental.

6. MÉTODOS

La metodología de este trabajo se dividió en tres fases. La primera fue la de gabinete, en donde se investigó el estado del arte de la fabricación de ladrillos, la normatividad respectiva y los diferentes tipos de ladrillos ecológicos. En la segunda fase se analizó e implementó la técnica más adecuada para la fabricación del ladrillo ecológico. En la tercera fase se realizaron las pruebas de resistencia a la compresión, determinación de la absorción de agua y determinación de las dimensiones de los ecoladrillos. Además de un análisis de factibilidad, que consistió en tres evaluaciones; técnica, económica y operativa. En la Figura 18 se presenta un diagrama de la metodología clasificada en estudios de gabinete, campo y experimental.

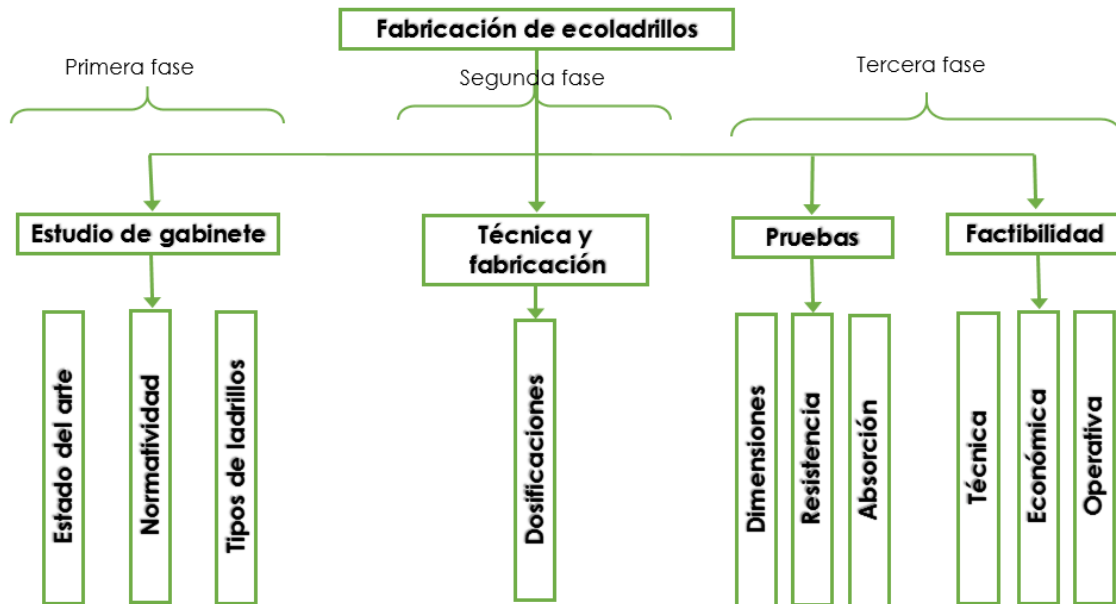


Figura 18. Diagrama de flujo del diseño experimental

6.1 Primera fase

La primera fase consistió en un estudio de gabinete que se basó en la búsqueda bibliográfica de ecoladrillos que se han elaborado tanto en México como en el extranjero y de la normatividad mexicana sobre construcción, la cual fue

analizada y ordenada para la elaboración experimental de los ecoladrillos la cual sirvió de base en la integración de materiales y residuos que se generan en el Parque Ecológico Tuzandepetl, para mitigar los impactos ambientales que generan los materiales de primer uso, además de proponer un nuevo material para la construcción.

6.2 Segunda fase

Para modelar los ecoladrillos se diseñó una máquina de madera que posteriormente fue fabricada en el taller de carpintería del Instituto de Ingeniería, UNAM. El material que se utilizó para su elaboración fueron: residuos de madera y herrería, como se muestra en la Figura 19.

Los ecoladrillos se fabricaron con base en 11 tratamientos diferentes que consistieron en distintas dosificaciones de los residuos de excavación (arcilla), tala (madera) y construcción, junto con la incorporación de mucilago de nopal, que se mencionaran en la Tabla 4. Estos residuos son los que se generarán en la construcción del Parque Ecológico Tuzandepetl.



Figura 19. Máquina moldeadora de ladrillos

Para la elaboración de los ecoladrillos se cribó la arcilla seca con una malla de 0.1 cm, posteriormente el amasado de la arcilla consistió en la incorporación de una mezcla de agua-mucilago de nopal (Torres *et al*; 2013, Cervantes *et al*; 2010,

Hernández *et al*; 2008, Ramírez, 2008), en una proporción 1:4, hasta que se obtuvo una consistencia uniforme y plástica, después de ello se incorporaron los residuos de construcción y demolición. Para obtener una muestra representativa los residuos de construcción fueron proporcionados por la empresa Concretos Reciclados S.A. de C.V., a esta planta llegan una gran variedad de residuos de construcciones del área metropolitana y se les da una selección y un tratamiento mecánico por medio de una trituradora. El tamaño granulométrico que se utilizó de los residuos de construcción fue de 1/4" (0.63 cm), 3/8" (0.95 cm) y 1" (2.54 cm).

Después de que los residuos de construcción y demolición, se incorporaron a la mezcla se agregaron los residuos de tala, estos residuos se obtuvieron de la Coordinación de Áreas Verdes y Reforestación del campus de Ciudad Universitaria, donde se tritura la madera talada proveniente de las áreas verdes del lugar como se muestra en la Figura. 20, los residuos se cribaron para asegurar que el tamaño fuera uniforme.



Figura 20. Trituración de residuos de tala en el centro de compostaje en el campus de Ciudad Universitaria

El mucilago de nopal se obtuvo de la especie *Opuntia ficus-indica* que pertenece a la familia Cactácea, en México se conoce como nopal común y es comestible por la población. La extracción del mucilago se obtuvo mediante dos técnicas: la primera consistió en cortar la cutícula del cladodio hasta sacar la pulpa, la pulpa se depositó en un vaso de precipitados de 2 L, se calentó y agitó con una parrilla eléctrica para que se acelerara el proceso de extracción del

mucilago, y se dejó en reposo por un día se coló con una coladera normal de uso doméstico.

La segunda técnica que se utilizó para la extracción del mucilago se realizó al licuar los cladodios completos con 10 ml de agua, se dejó reposar durante un día a temperatura ambiente y después se coló. Esta técnica demostró tener una mejor facilidad durante el amasado de la mezcla y se utilizó en 10 de los 11 tratamientos.

La dosificación se basó en el estudio de González (2012) y se describe en la Tabla 4.

Tabla 4. Descripción de los diferentes tratamientos para la fabricación de ecoladrillos

Tratamiento	Mezcla utilizada en (%)	Técnica de extracción de mucilago
¼" TU MH	62% de Arcilla 34% de RCyD ¼" (todo en uno) 5% de Residuos de tala	Mucilago hervido
¼" C	62% de Arcilla 34% de RCyD ¼" (sólo cementantes) 5% de Residuos de tala	Mucilago licuado
3/8" TU	62% de Arcilla 34% de RCyD 3/8" 5% de Residuos de tala	
1"	62% de Arcilla 34% de RCyD 1" 5% de Residuos de tala	
¼" TU ML	62% de Arcilla 34% de RCyD ¼" (todo en uno) 5% de Residuos de tala	
¼" TU+3/8"	62% de Arcilla 17% de RCyD ¼" (todo en uno)+ 17% de 3/8" 5% de Residuos de tala	
¼" C+3/8"	62% de Arcilla 17% de RCyD ¼" (cementantes)+ 17% de 3/8" 5% de Residuos de tala	
¼" C+3/8"+1	62% de Arcilla 11.33% de RCyD ¼" (todo en uno) + 11.33% de 3/8" + 11.33% de 1" 5% de Residuos de tala	
¼" TU+3/8"+1	62% de Arcilla 11.33% de RCyD ¼" (cementantes) + 11.33% de 3/8" + 11.33% de 1" = 4.75 Kg 5% de Residuos de tala	
+CAL	5% de Incorporación Yeso 57% de Arcilla 34% RCyD 5% de Residuos de tala	
+CEM	5% de incorporación de Cemento 57% de Arcilla 34% RCyD 5% de Residuos de tala	

TU= Todo en uno
ML= Mucilago licuado

C= Cementantes
CAL= Cal hidráulica NHL-5

MH= Mucilago hervido
CEM= Cemento portland

Una vez extraídos de la máquina moldeadora los ladrillos, fueron llevados a un secador solar, como se muestra en la Figura 21.



Figura 21. Secador solar para ladrillos

El secador solar también se fabricó en el taller de carpintería del Instituto de Ingeniería y el material que se utilizó fue una base de madera y la estructura de acrílico de 5 mm, con material excedente del taller. Se acondicionó una base de residuos de Tetra brick que fueron engrapados a la madera dejando la cara de aluminio de este material hacia arriba para captar y retener la incidencia del calor como se muestra en la Figura 21, los ladrillos se voltearon cada semana sobre su propio canto para procurar que ninguna pared del ecoladrillo guardara humedad. En ésta etapa de secado los ladrillos permanecieron expuestos durante un periodo de 28 días, este tiempo es el reportado en la técnica de elaboración tradicional de adobes.

6.3 Tercera fase

6.3.1 Determinación de las dimensiones

Según la norma NMX-C-038-ONNCCE-2004 (Industria de la construcción de bloques, tabiques o ladrillos y tabicones para uso estructural). Para determinar las dimensiones de los ladrillos se utilizó una escuadra graduada en mm para

hacerlas mediciones, se revisó que se abrazara la pieza en dirección perpendicular de la regla como mínimo 25 % de la longitud de la pared a medir.

El ladrillo se colocó en una superficie plana y se midió por duplicado cada una de las dimensiones de cada ecoladrillo, se obtuvieron las medidas (largo, ancho y altura) que se representan en la Figura 22.

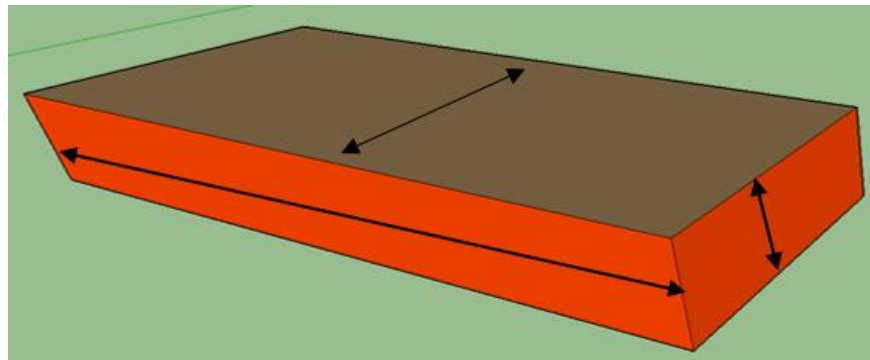


Figura 22. Dimensiones que se deben considerar en cada ecoladrillo.

6.3.2 Resistencia a la compresión

Posteriormente al secado de los ecoladrillos se realizó el método de ensayo según la Norma Mexicana NMX-036-ONNCCE-2004 “Resistencia a la compresión” Método de prueba, en donde previamente se les hizo el cabeceado a las piezas, como se muestra en la Figura 23, esta prueba se realizó en el Laboratorio de estructuras y materiales del Instituto de Ingeniería de la UNAM.

El cabeceado es un recubrimiento de yeso-cemento en el lado superior e inferior de la superficie del ladrillo (tabla), se incorpora para hacer la prueba de resistencia a la compresión para proveer una superficie plana sobre los extremos de la pieza.



Figura 23. Cabeceado a los ecoladrillos

La prueba de resistencia a la compresión se realizó a dos ecoladrillos de cada tratamiento, ambos se eligieron al azar, la prueba se realizó según la norma NMX-036-ONNCCE-2004, con una máquina universal de prueba de la marca SATEC Systemns, Inc. modelo 500WHVL que se muestra en la Figura 24, en el laboratorio de estructuras y materiales del Instituto de Ingeniería de la UNAM.



Figura 24. Máquina universal de prueba

Previamente cabeceados se colocó el ecoladrillo en el centro de la máquina universal de prueba, cabe señalar que estos ecoladrillos no pudieron ser nuevamente utilizados ya que esta prueba es destructiva al igual que contaminante, esto impidió que siguieran siendo utilizados para las siguientes pruebas como se muestra en la Figura 25.



Figura 25. Ecoladrillo posterior al ensaye

Se tomó la resistencia a la compresión de un ecoladrillo como la carga máxima de N (kgf) dividida entre el área transversal del ecoladrillo, o sea el área total de una sección perpendicular a la dirección de la carga incluyendo aquellas que estén en los espacios huecos.

$$R = \frac{F}{A}$$

Dónde:

R Es la resistencia a la compresión en (kgf/cm²)

F Es la carga máxima en N (kgf)

A Es el área transversal del ecoladrill (cm²)

6.3.3 Pruebas de absorción de agua

Se determinó la absorción de agua total e inicial según la Norma Mexicana NMX-037-ONNCCE-2005. El procedimiento para la prueba de absorción máxima inicial de agua consistió en obtener el peso de cada una de las piezas, obteniendo el

peso seco (P0) en gramos, se colocaron dos soportes de 6 mm de espesor por 3 cm de ancho y 13.2 cm de largo en la base de un recipiente.

Se llenó el recipiente con agua potable de manera que el nivel de agua se encontró entre 3 mm y 3.5 mm arriba del nivel superior de los soportes. Se puso en contacto con el agua la pieza de prueba sumergiendo la cara inferior de tal manera que quedó 5 mm por debajo del nivel de agua por un periodo de 10 minutos, manteniendo constante el nivel de agua, se retiró el exceso de agua con un trapo húmedo por 10 segundos, se pesó nuevamente la pieza obteniendo P1, como se muestra en la Figura 26.



Figura 26. Absorción máxima inicial NMX-C-037-ONNCCE

Para la prueba de absorción de agua total en 24 horas, se registró el peso inicial de cada pieza, posteriormente se sumergieron en agua a temperatura entre los 17 °C y 23 °C, por un periodo de 24h, como se muestra en la Figura 27.



Figura 27. Absorción de agua total en 24 horas

En donde:

$$A = \frac{M_{sss} - M_s}{M_s} \times 100$$

A: es la Absorción en %

M_s: es la masa seca de la pieza en Kg

M_{sss}: es la masa saturada y superficialmente seca en Kg

Este cálculo se obtiene para la absorción en porcentaje(%) y posteriormente para calcular la absorción máxima inicial (gramos/minuto):

En donde:

$$C_b = \frac{100 M}{S \sqrt{t}} = \frac{100 (P_1 - P_0)}{S \sqrt{10}}$$

C_b: es la absorción máxima inicial en (g/min)

M: es el peso del agua en gramos absorbidos por el bloque durante el ensaye en gramos

S: es la superficie de la cara sumergida en cm^2
t: es el tiempo de inmersión en minutos.

6.3.4 Estudios de factibilidad

Finalmente se realizó un estudio de factibilidad en donde se determinó la disponibilidad de los recursos necesarios para llevar a cabo la elaboración de ecoladrillos considerando las siguientes evaluaciones; económica, técnica y operativa.

En la evaluación económica se consideró el tiempo de elaboración, el costo del equipo, el costo de los materiales y recursos.

En la evaluación técnica se verificó la posibilidad técnica de la fabricación y se investigó la posibilidad de actualizar o incrementar los recursos con los que se cuenta actualmente, de tal manera que se satisficiera la elaboración de los ecoladrillos.

6.3.5 Uso del ecoladrillo

Se evaluó conforme a la normatividad el uso de los ecoladrillos para la construcción de un centro de acopio y un centro de compostaje, dentro de las instalaciones del Parque Ecológico Tuzandepetl.

Y en la evaluación operativa, se estimó si el ladrillo cumplió con las necesidades de diseño y si podrá ser utilizado en alguna instalación del Parque Ecológico Tuzandepetl.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con la primera fase, en el análisis de los antecedentes que se detallaron en los subíndices 2.4 al 2.13 se comprobó que no existe ningún ladrillo que utilice como materia prima los residuos que se utilizaron para fabricar los ecoladrillos propuestos en esta investigación.

En la segunda fase, se obtuvieron en total 55 ecoladrillos, de los cuales se elaboraron cinco ecoladrillos de los 11 tratamientos propuestos.

Después de los 28 días de secado de los ecoladrillos se realizaron las pruebas de determinación de las dimensiones a todos los ladrillos, conforme a la tercer fase estos resultados se reportan conforme a la norma con una aproximación de ± 1 mm, sin embargo, en el informe de resultados no se presenta ya que los datos que se obtienen son únicamente para utilizarse en las pruebas de resistencia a la compresión y absorción de agua.

Para cada tratamiento se obtuvieron diferentes resultados, considerando que el área de la cara superior promedio de los ecoladrillos es de 312 cm², en la Tabla 5 se muestran los resultados obtenidos de la resistencia individual de cada ensayo en N/mm² y en kgf/cm².

Tabla 5. Resistencia a la compresión individual

Tratamiento	N/mm²	kgf/cm²
¼" TU MH	6.93	69
	6.73	67
¼" C	6.21	62
	7.55	75
3/8" TU	5.34	53
	4.89	48
1"	5.83	58
	6.50	65
¼" TU ML	6.89	68
	7.51	75
¼" TU+3/8"	5.76	57
	6.08	60

Continuación de la Tabla 5. Resistencia a la compresión individual

Tratamiento	N/mm ²	kgf/cm ²
¼"C+3/8"	7.37	73
	8.86	88
¼"C+3/8"+1	7.03	70
	6.86	68
¼" TU+3/8"+1	6.23	62
	5.95	59
+CAL	3.20	32
	3.20	32
+CEM	6.51	65
	5.08	50

Los resultados de los ensayos realizados a los ecoladrillos obtuvieron resistencias entre los 32 y los 88 kgf/cm², como se observa en la Figura 28. En la línea horizontal negra se observa el mínimo requerido en la norma NMX-C-441-ONNCCE-2013.

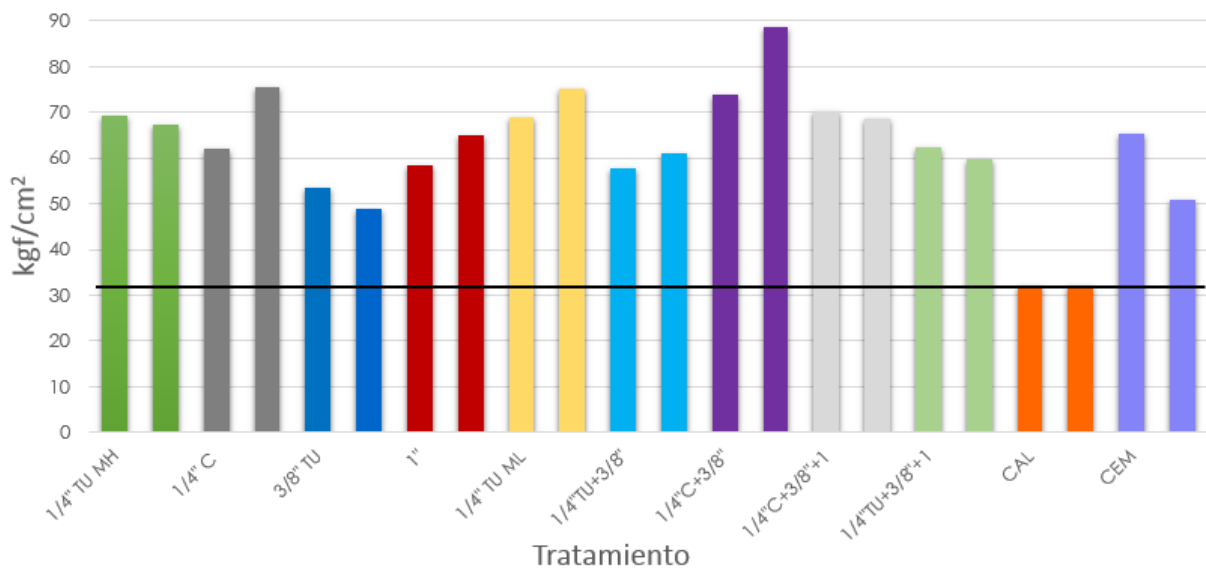


Figura 28. Resultados obtenido de la prueba resistencia a la compresion.

Conforme a las normas NMX-C-441-ONNCCE-2013 y NMX-C-404-ONNCCE-2005 para uso no estructural y uso estructural respectivamente deberán cumplir con la resistencia mínima individual de 3.2 N/mm² (32 kgf/cm²) para uso no estructural y 10 N/mm² (100 kgf/cm²) para uso estructural.

De esta manera todos los tratamientos cumplen con la resistencia mínima individual de la norma NMX-C-441-ONNCCE-2013 al estar dentro del mínimo establecido de 32 kgf/cm².

El mayor resultado que se obtuvo fue del tratamiento ¼" C+3/8" con 88 kgf/cm² mientras que el menor fue el tratamiento +CAL con 32 kgf/cm², sin embargo no cumplen con la resistencia mínima individual de la norma NMX-C-404-ONNCCE-2005 por 12 kgf/cm², que posiblemente se puedan alcanzar aumentando la dosificación de cemento o añadiendo algún otro aditivo como sugiere González *et al;* (2013), quienes mencionan que al usar un mayor porcentaje de cemento además de una mayor cantidad de arena mejora la resistencia, lo cual se debe a que los escombros de construcción trabajan como agregado grueso y la mezcla por lo tanto presenta una mejor graduación. Al igual Morales *et al;* (2007) variaron el porcentaje de cemento del 2% al 16% en sus adobes obteniendo mayor resistencia a la compresión en sus resultados.

Los resultados de las pruebas de absorción inicial de agua aplicados a los ecoladrillos se muestran en la Tabla 6, en donde se muestra la absorción en g/min de los once diferentes tratamientos que se realizaron en la fase experimental.

Tabla 6. Resultados de absorción máxima inicial de los ecoladrillos

Tratamiento	g/min
¼" TU MH	5
¼" C	10
3/8" TU	15
1"	30
¼" TU ML	10
¼" TU+3/8"	<1
¼" C+3/8"	20
¼" C+3/8"+1	30
¼" TU+3/8"+1	15
+CAL	40
+CEM	5

En donde los tratamientos: $\frac{1}{4}$ " TU MH, $\frac{1}{4}$ "TU+3/8" y +CEM presentan valores mínimos establecidos en las normas NMX-C-441-ONNCCE-2013 y NMX-C-404-ONNCCE-2005. Mientras que el valor máximo de absorción fue de 40 g/min del tratamiento +CAL.

Para la absorción total en 24 horas se utilizaron dos piezas de cada tratamiento, con las indicaciones según la norma correspondiente, sin embargo estos ecoladrillos no se pudieron recuperar ya que perdieron estabilidad, como se ve en la Figura 29.

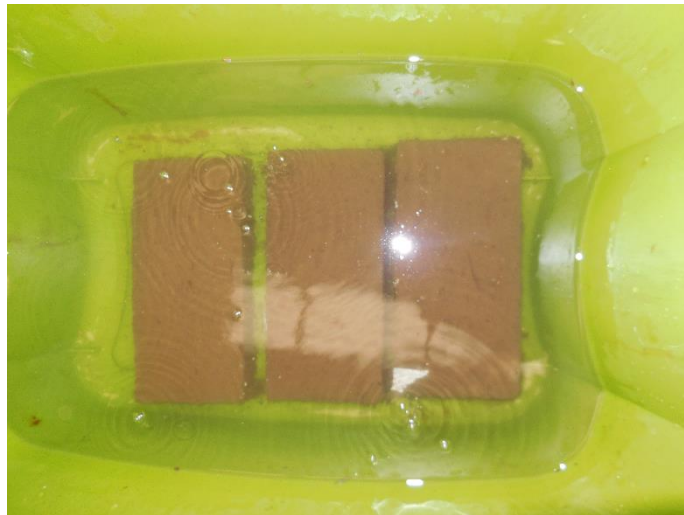


Figura 29. Comportamiento de los ecoladrillos posteriormente de la prueba de absorción total en 24 horas

Al cumplir con el valor máximo de absorción inicial para las normas NMX-C-441-ONNCCE-2013 y NMX-C-404-ONNCCE-2005 de 5 g/min para muros expuestos al interior y de 7.5 (g/min) para muros interiores o con recubrimientos de la norma para uso no estructural. Considerando la Tabla 6 se puede observar que en el tratamiento $\frac{1}{4}$ "TU+3/8", fue el que menos agua llegó a absorber, sin embargo quedó fuera del límite de detección del equipo.

En la Tabla 7 se observa una mejor apreciación de los resultados de la resistencia promedio y la absorción inicial de agua, según la normatividad ya mencionada los tratamientos $\frac{1}{4}$ " TU MH, $\frac{1}{4}$ "TU+3/8" y +CEM.

Tabla 7. Comparación entre la resistencia promedio y absorción inicial de agua

Tratamiento	kgf/cm² Promedio tratamiento	g/min
¼" TU MH	68	5
¼" C	68	10
3/8" TU	51	15
1"	61	30
¼" TU ML	72	10
¼" TU+3/8"	59	<1
¼" C+3/8"	81	20
¼" C+3/8"+1	69	30
¼" TU+3/8"+1	60	15
+CAL	32	40
+CEM	58	5

En cuanto a la absorción de agua, González *et al;* (2013) refiere que la absorción inicial representa la cantidad de agua tomada del mortero en el pegado de las piezas. Sin embargo, la absorción total representa la porosidad de la pieza, entre más agua absorbe existen más poros internos en la pieza o hay mayor cantidad de material plástico, lo cual representa una característica de los residuos de construcción, por lo que la cantidad de arena (la cual no absorbe agua) es clave en la dosificación de las piezas para dar un menor peso.

Debido al incremento de desastres naturales y algunos otros provocados por las actividades productivas de las sociedades humanas ha sido cada vez más oportuno y necesario que diferentes instancias locales, municipales y federales instruyan a las comunidades humanas para que vuelvan a construir sus viviendas.

El Centro de estudios y prevención de desastres en 2002 publicó una guía de orientación para la autoconstrucción de viviendas, sugiriendo que se puede dejar el mucilago de nopal durante tres días reposando, esto quiere decir aumentar el tiempo de hidratación para que tenga un resultado más favorable en la resistencia a la absorción de agua.

En el mismo sentido, Pereyra *et al;* (2012) concluyen que el aplanado como se muestra en la Figura 30, de las paredes en construcciones con adobes aporta buenos resultados ya que no solo ofrece recubrimiento, si no que protege a la estructura frente a la acción erosiva del agua, de la misma manera que mantiene el volumen de los adobes, dando la opción al muro de recobrar su capacidad de soportar carga una vez trascurrida la inundación, con el secado del muro.



Figura 30. Muro experimental de adobe con recubrimiento
Fuente: Pereyra *et al.*; 2012.

Conforme a los resultados obtenidos de los diferentes tratamientos y los valores mínimos establecidos en las normas NMX-C-441-ONNCCE-2013 y NMX-C-404-ONNCCE-2005, los tratamientos $\frac{1}{4}$ " TU MH, $\frac{1}{4}$ "TU+3/8" y +CEM son los más adecuados para que sean utilizados para la construcción del centro de acopio y el centro de compostaje.

Estas dos construcciones van a formar parte del Parque Ecológico Tuzandepetl las cuales van a estar reforzadas con cimientos de varilla armada y el uso del ladrillo sería no estructural. El centro de acopio será un área específica para el almacenamiento de los desechos sólidos mientras que el centro de compostaje será una área en la cual se procesarán los residuos orgánicos biodegradables, ambos centros recibirán, almacenarán y procesarán cuando se requiera los residuos que se generen en el Parque Ecológico Tuzandepetl, en la Figura 31 se muestra el diseño propuesto para su construcción.

Se sugiere además que después de la instalación del ecoladrillo se coloque un aplanado, para asegurar la durabilidad del ecoladrillo.

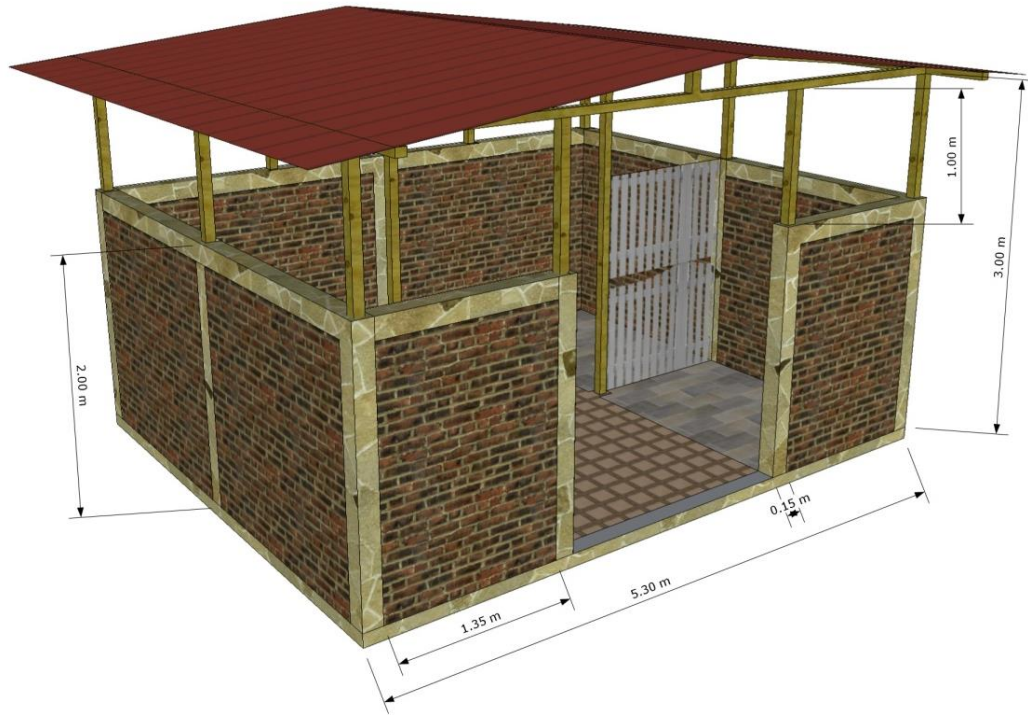


Figura 31. Diseño propuesto para el centro de acopio
Fuente: Rojas *et al*; 2014.

Análisis de factibilidad

Evaluación económica

El tiempo promedio en el que se elaboraron los diferentes tratamientos fue de 3 horas y media por cinco ecoladrillos, se tomó en consideración el tiempo de inicio desde que se pesó el material hasta que se obtuvo el último ladrillo y fue necesaria la colaboración de cuatro personas.

El costo de los materiales para la elaboración fue mínimo ya que muchos de los materiales se obtuvieron de reuso o se contaban con ellos.

En la Tabla 8 se muestran los precios y los materiales así como el precio total, que se requirió para la compra de los materiales que se utilizaron para todos los tratamientos.

Tabla 8. Precios de los materiales que se utilizaron para la elaboración de ecoladrillos

Material	Precio en MNX
Balanza	\$160.00
Clavos de 1"	\$37.50
Colador de cocina	\$18.00
Costales	\$20.00
Cubetas	\$45.00
Cuchillo	\$12.50
Dos cernidores	Hechos con material reutilizable
Dos escuadras	\$29.00 y \$35.50
Guantes	\$47.00
Licuada	\$195.00
Martillo de goma	\$53.00
Masking tape	\$12.90
Pala	\$98.00
Papel encerado	Se reutilizó
Pegamento	\$21.90
Probeta o jarra de 1ℓ	\$16.50
Raspador de 3"	\$17.50
Tinas	\$29.00
Total	\$688.30

Los precios de máquinas capaces de elaborar ladrillos se encuentran desde los \$8 500.00 y los \$29 800.00, se realizó una cotización a ocho diferentes empresas en México, las cuales las fabrican y en promedio una máquina hecha de herrería en el 2014 tiene un precio de \$18 050.00, por lo cual hacer una máquina moldeadora de materiales reutilizables es considerablemente menos costo y tienen los mismos beneficios que las otras.

En la Tabla 9 se muestran los precios de las materias primas que conformaron los ecoladrillos.

Tabla 9. Precios de las materias primas que se utilizaron para la elaboración de 55 ecoladrillos

Material	Precio unitario	Total
Residuos de excavación (Arcilla)	NV	-
Residuos de construcción	\$53.50 m ³	\$1.99
Residuos de tala	NV	-
Nopal	\$18.45 Kg	\$184.5
Agua	Precio por m ³ \$5.45 (Ortega, 2011)	\$0.19
Subtotal		\$186.68
Herramienta y equipo 3%		\$20.65
Total		\$207.33

NV= No valorizable

Se calculó que para 1m² de muro se requiere de 72 ecoladrillos, del cálculo anterior se estimó que cada ecoladrillo tiene un costo de \$1.16, por lo cual el costo de 1m² de ladrillo ecológico será de \$84.17 como se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10. Precios de diferentes ladrillos

Tipo de Ladrillo	Precio por 1m²
Ladrillo rojo (común)	\$195.84
Ladrillo térmico (ecl)	\$ 91.80
Ecoladrillos	\$ 84.17

También se comparó con dos precios de ladrillo rojo y un ladrillo ecológico de la empresa que elabora ladrillos con fibra celulosa que se mostró en la Figura 5.

El precio de los ecoladrillos elaborados es más bajo, es decir un 57% menos con respecto a los ladrillos rojos y 8.31% más bajo que el ladrillo ecológico de celulosa.

Evaluación técnica

Para la elaboración de ecoladrillos se llevó a cabo por la técnica tradicional, en la cual se utilizó: una balanza, cubetas, una pala, una probeta, costales, papel encerado, un martillo de goma, dos escuadras, tinas, masking tape, un raspador de 3", dos cernidores, una licuadora, un cuchillo, nopales, un colador de cocina, guantes. Cada uno de estos materiales tiene un costo variable dependiendo de la región del país, pero el monto total se cotizó en la zona centro del país. Cabe señalar que no es forzosa la compra de estos materiales, se puede sustituir el material siempre y cuando cumpla con el objetivo de la función. Además, estos materiales se pueden conseguir en casas de materiales y en súper mercados.

El equipo utilizado para la elaboración de ecoladrillos consistió en una máquina moldeadora de ladrillos y un secador solar hechos de materiales reutilizables como se mostró en las Figuras 16 y 18, estos equipos no necesitaron mantenimiento mientras se utilizaron, los materiales con los que se construyeron no son difíciles de obtener y su elaboración no representó dificultades.

En la actualidad existe una variedad de máquinas capaces de elaborar ladrillos, de ellas sólo una no necesita energía eléctrica o combustible para que lleve a cabo sus funciones, una de estas máquinas fue desarrollada en Bogotá, Colombia por el Ingeniero Raúl Ramírez a principios de la década de los cincuentas (Lou, 1981).

Evaluación operativa

Los ecoladrillos que se obtuvieron después de haber finalizado el proyecto cumplieron con la norma NMX-C-441-ONNCCE-2013 "Industria de la construcción –Mampostería- Bloques, tabiques o ladrillos y tabicones para uso no estructural" en la prueba resistencia a la compresión. En cuanto a la absorción inicial de agua, tres de once tratamientos cumplieron con la absorción inicial de agua de la misma norma junto con la norma NMX-C-404-ONNCCE-2005 "Industria de la construcción –Bloques, tabiques o ladrillos y tabicones para uso estructural". Para la absorción total en 24 horas los tratamientos mencionados no cumplen con el mínimo establecido en las normas, que es del 20% para la norma NMX-C-441-ONNCCE-2013 y 15% para la norma NMX-C-404-ONNCCE-2005, sin embargo Rios (2010), indica que la adición de látex y jabón tienen un efecto en la reducción de la absorción de agua.

Se sugiere construir con los tratamientos $\frac{1}{4}$ " TU MH, $\frac{1}{4}$ "TU+3/8" u +CEM ya que indicaron valores permisibles de acuerdo con las normas oficiales, para la construcción del centro de acopio y el centro de compostaje en el Parque Ecológico Tuzandepetl.

8. CONCLUSIONES

- En esta investigación se logró aprovechar los residuos de tala, residuos de excavación, y residuos de construcción, además de otros insumos para la fabricación de ecoladrillos con resultados favorables.
- La contribución más importante de esta investigación es el uso de distintos tipos de residuos que no se habían probado para la fabricación de los ecoladrillos.
- Todos los tratamientos o mezclas usadas demostraron que sobrepasan la resistencia mínima individual de 32 (kgf/cm²) según lo que marca la norma NMX-C-441-ONNCCE-2013. Los tratamientos $\frac{1}{4}$ " TU MH, $\frac{1}{4}$ "TU+3/8" y +CEM cumplieron con las normas NMX-C-404-ONNCCE-2005 y NMX-C-441-ONNCCE-2013 de absorción máxima inicial de 5 g/min.
- Los tratamientos $\frac{1}{4}$ " TU MH, $\frac{1}{4}$ "TU+3/8" y +CEM pueden ser utilizados para construir el centro de acopio y el centro de compostaje del Parque Ecológico Tuzandepetl, así como otras instalaciones.
- La construcción y uso de la máquina moldeadora de ladrillos y del secador solar estuvieron acorde con la reutilización de residuos mostrada en este trabajo además de conseguir una innovación al diseñarlos y comprobando su eficiencia.
- Los ecoladrillos elaborados en este trabajo fueron más económicos hasta en un 57 % con respecto del ladrillo común y 8.31 % más barato que un ladrillo ecológico que está a la venta en el mercado.
- La fabricación de cinco ecoladrillos, en promedio tomó 3 horas y media.

9. RECOMENDACIONES

- Para la elaboración de ecoladrillos, se tiene que tomar en cuenta los materiales que existen en cada región al igual que las necesidades de la construcción.
- El uso de los ecoladrillos no se limita a los centros de compostaje y acopio, estos también pueden ser utilizados dentro de otra instalación del Parque Ecológico Tuzandepetl como en los muros interiores o divisorios.
- Se sugiere que se realicen investigaciones sobre el empleo de los materiales reciclados para dar una mayor difusión de sus características.
- Se recomienda utilizar materias primas de segundo uso, ya que en algunas ocasiones son más económicas y amigables con el ambiente en este caso ningún residuo que compone a los ecoladrillos se sometió a algún proceso industrial, que incrementara su costo.
- Se sugiere a los fabricantes de ecoladrillos que utilicen recursos locales, lo que disminuye la necesidad de transportar el producto a través de largas distancias. Y que consideren el uso de alternativas ambientales como un secador solar que evite el uso de combustibles contaminantes.
- Además de que se pueden hacer más estudios de eficiencia térmica, acústica e intemperismo a los ecoladrillos y también realizar pruebas en muros.

10. REFERENCIAS

- Ahmari, S. y Zhang, L. (2012). Production of eco-friendly bricks from copper mine tailings through geopolymerization. *Construction and Building Material*. University of Arizona, Tucson. USA. (29), pp. 323-331.
- Álvarez Aguilar L. F., Landa M. G., Romero Rivera J. L. (1990). *Los Ladrillos de Comalcalco*. Serie Arqueológica. Gobierno del Estado de Tabasco. 1º Ed. ISBN 968-889-121-5. México, pp. 7-23.
- Amorós García, M. (2011). Desarrollo de un nuevo ladrillo de tierra cruda con aglomerantes y aditivos estructurales de base vegetal. (Tesis de Maestría). Universidad Politécnica de Madrid. España, pp. 3-5.
- Andreas Froese Environmental Consultant. (2013). [Publicación en línea]. <<http://www.eco-tecnologia.com/portal/intro.php>> [Fecha de consulta: 10 de junio 2013].
- Armijo Torres, R. (2003). *Comalcalco*. La antigua ciudad Maya de ladrillos. *Arqueología mexicana*, pp. 17-21.
- Averardo, M. (2009). El ladrillo: Orígenes y desarrollo. *Tecnología y la Producción*. FAU-UNNE. Argentina, pp. 3-4
- Cabo Laguna M. (2011). *Ladrillo ecológico como material sostenible para la construcción*. (Tesis de Licenciatura). Universidad Pública de Navarra. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. España, pp. 32-39.
- Cárdenas, B. (2012). Políticas públicas sobre la producción de ladrillo en México para mitigar el impacto ambiental. En: INE Memorias del Taller sobre políticas públicas para Mitigar Impacto Ambiental de Ladrilleras Artesanales (Sesión II b. Políticas Públicas sobre producción de ladrillo). Guanajuato, México Septiembre 4-6, 2012. [diapositivas de PowerPoint]. Instituto Nacional de Ecología. Disponible en: <http://www.ine.gob.mx/cenica-memorias/1110-taller-ladrilleras-2012>. [Fecha de consulta: Septiembre 17, 2012]
- Celano, J. A. (2008). Paneles termo-acústicos a base de residuos de Madera. Asociación Argentina de Materiales. 2do. Encuentro de Jóvenes Investigadores en Ciencia y Tecnología de Materiales. Universidad Nacional de Misiones. Argentina, pp. 1-3.
- Celano, J. A.; Jacobo, G. J. y Pereyra, O. (2004). Desarrollo de componentes constructivos a base de residuos de madera para la construcción de viviendas. Universidad Nacional del Nordeste. Instituto de Investigaciones Tecnológicas para el Diseño Ambiental del Hábitat Humano (ITDAHu). Argentina, pp. 1-5.
- Centro de estudios y prevención de desastres "PREDES", (2002). *Construyendo casas de adobe más resistentes*. Guía de orientación para la autoconstrucción de viviendas. Perú. pp 17. [Publicación en línea].

<http://www.predes.org.pe/predes/construyendocasas_adobe_resistente.pdf [Fecha de consulta: 29 de mayo 2014].

- Cervantes G. A., Valdez del Río E. y González E. R. (2010). Una construcción elaborada con muros de papel y cartón comprimidos más otros residuos valorizables. *Acta Universitaria*. Universidad de Guanajuato. (20) No. 2, pp. 31-39.
- Chalchy García, A. (2010). *Estudio para la fabricación de tabiques de plástico*. (Tesis de Licenciatura). Instituto Politécnico Nacional. Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. Unidad Profesional Azcapotzalco. México, pp. 7-9, 31- 35, 43- 45.
- Chung, A. (2003). Tectán. Reciclando Tetra Pack. *Industrial Data*. Perú. (6)1, pp. 83-85. [Publicación en línea]. <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81606110>> [Fecha de consulta: 15 de junio 2013].
- Cob cottage. (2008) [Publicación en línea]. <<http://www.cobcottage.com/whatis>> [Fecha de consulta: 31 de mayo 2014].
- CONACULTA, (2013). Zona arqueológica de Comalcalco. Instituto Nacional de Antropología e Historia. [Publicación en línea]. <http://www.inah.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=5647> [Fecha de consulta: 12 de agosto 2013].
- Coutelas, A. (2012). Les terres cuites architecturales: deux études de cas. *Aquitania*, (28) pp. 179-191. [Publicación en línea]. <http://www.academia.edu/2772274/Les_terres_cuites_architecturales_deux_etudes_de_cas> [Fecha de consulta: 31 de mayo 2014].
- Couttolenc O. (2012) Estudios técnicos para definir el desarrollo y funcionamiento del Parque Ecológico Tuzandepetl. Cuarto informe general. Partida No. 23. Estudio sobre la mecánica de suelos, pp. 3, 10, 12, 18 y 27.
- De Carvalho, F., A. (2001). Análisis del ciclo de vida de productos derivados del cemento -Aportaciones al análisis de los inventarios del ciclo de vida del cemento.- (Tesis de Doctorado). Universidad Politécnica de Cataluña. España. pp 48-50.
- Diccionario de la Real Academia Española (DRAE), 2013. [Publicación en línea]. <<http://rae.es/drae>> [Fecha de consulta 30 de agosto del 2013].
- Duda, W. (2003). *Cemento, manual ecológico*. Editores técnicos asociados. ISBN 84-7146-095-5. pp. 49-50
- Ecotec. (2013). Ladrillo Térmico. [Publicación en línea]. <http://www.construyesustentable.com/Ecotec_Ficha_Tecnica.pdf> [Fecha de consulta: 7 de agosto 2013].

- Esquinca F., Escobar J. L., Hernández A. y Villalobos, J. J. (2008). Caracterización y generación de los residuos sólidos de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Secretaría de Ecología, Recursos Naturales y Pesca/SMISA sección Chiapas.
- FAO. Anexo 1 (2000). [Publicación en línea]. <<http://www.fao.org/docrep/003/y0900s/y0900s11.htm>> [Fecha de consulta: 3 de diciembre 2013].
- FAO. Métodos simples para fabricar carbón vegetal. (2013). [Publicación en línea]. <<http://www.fao.org/docrep/x5328s/x5328s00.htm>> [Fecha de consulta: 3 de diciembre 2013].
- Figen, A. K., Trezi, E., Yilgör, N., Kartal S. N. y Pişkin, S. (2012). Thermal degradation characteristic of Tetra Pak panel boards under inert atmosphere. *Korean Journal of Chemical Engineering*. 30(4) pp. 878-890.
- Fourier Origgi, L. A. (2003). *Recursos Naturales*. 2º Ed. ISBN 92-9039-067-0 San José, Costa Rica. (91) pp. 408.
- Gaceta Oficial del Distrito Federal. (2003). Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal (LRSDF) (22 de abril) Capítulo 3, pp. 13-14.
- Galán, M. C., Rivera G, C. y Petric, J. (2010). Clay-based composite stabilized with natural polymer and fibre. *Construction and Building Materials* 24(8) pp. 1462–1468.
- Gamage, H. K.; Mondal, S.; Wallis, L.; Memmott, P.; Martin, D.; Wrigth, B. y Schimidt, S. (2012). Indigenous and modern biomaterials derived from *Triodia* ("spinifex") grasslands in Australia. *Australian Journal of Botany*, (60) pp. 114-127.
- García, R., Virgil de la Villa, R., Rodríguez, L. O. y Frías, M. (2010). Study of hydrated phases present in calcined paper sludge (metakaolinite)/saturated CaO dissolution system cured at 40°C and 28 days of reaction. *Material Sciences and Engineering*. (527), pp 16-17.
- Genbrugger. (2013). [Publicación en línea]. <<http://genbrugger.sitiosprodigy.com.mx/>> [Fecha de consulta: 3 de agosto 2013].
- Gómez, R. F. y Caballero, C. A. (2014). Datos técnicos. [Publicación en línea]. <<http://www.proyectosanisidro.com/>> [Fecha de consulta: 16 de agosto 2014].
- González H. R.; García L. C.; Vera T. P. y Aguilar C. J. (2013). Dosificación adecuada para elaborar bloques de concreto con escombros de construcción en zonas sísmicas. Primer Congreso de Ingeniería Ambiental e Ingeniería Química del Sureste de México. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Ambiental. Tuxtla Gutiérrez. Chiapas, México, pp. 428-435.

- González, G. N., Perea, R. C., Ojeda, L., Matamoros, M. J. y González, A. E. (2008). El oficio de ladrillero. Sus riesgos y exigencias. Synthesis. Facultad de Enfermería y Nutriología. Chihuahua, pp. 1-5.
- Granifo Vásquez, R. A. (2009). *Recuperación de los residuos de la madera para uso energético en la región metropolitana*. (Tesis de Licenciatura). Facultad de Ecología y Recursos Naturales. Santiago de Chile, pp. 22.
- Griffiths, R. y Goodhew, S. (2012). Sustainability of solid brick wall with retrofitted external hemp-lime insulation. School of Architecture. University of Plymouth. United Kingdom. (30) pp. 312-332.
- Gutiérrez, G. y Ricker, M. (2012). Ecología forestal de algunas especies arbóreas de interés para la reforestación y restauración del Parque Ecológico Tuzandepetl. Primer informe. Partida No. 13. Programa de reforestación y restauración. Estudios técnicos para definir el desarrollo y funcionamiento del Parque Ecológico Tuzandepetl, pp. 4-95.
- Hernández, Z. J., Coronado, M. A., López, L. T. y Horta R. J. (2008). Mortar improvement using nopal additive. *Journal of the Profesional Association for Cactus Development*. (10) pp. 127-128.
- Jacobo, G. y Vedoya, D. (2004). Una chance para el futuro: la madera como alternativa para la construcción. Universidad Nacional del Nordeste. [Publicación en línea]. <<http://www.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/com2004/7-Tecnologia/T-095.pdf>> [Fecha de consulta: 16 de agosto 2014].
- Jiménez López, L. (2002). *Técnica de la construcción con ladrillo*. 1º edición. Editorial Ceac. ISBN 8432911615. España, pp. 9-14 y 17-21.
- Lang, D., Merlos, R., Holliday, L. y López, M. (2007). Housing report, vivienda de bahareque. World Housing Encyclopedia. [Publicación en línea]. <<http://www.world-housing.net/WHEReports/wh100159.pdf>> [Fecha de consulta: 16 de agosto 2014].
- Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal (2003) Título primero, Capítulo único, artículo 3º, fracción XXX. pp 4; Título tercero, Capítulo III, artículo 31, fracción V, pp. 11.
- Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (2013). Título segundo. Distribución de competencias y coordinación. Capítulo Único. Atribuciones de los tres órdenes de gobierno y coordinación entre dependencias. Artículo 5. Fracción XXX. 3-6. Título Tercero. Clasificación de los residuos. Capítulo Único. Fines, criterios y bases generales. Artículo 19. Fracción VII, pp. 14-15.
- López, M., Bommer, J. y Méndez, P. (2004). The seismic performance of bahareque dwellings in el Salvador. 13th Whorl Conference on Earthquake Engineering. Vancouver, B.C., Canada. [Publicación en línea].

<http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/13_2646.pdf> [Fecha de consulta: 26 de febrero 2014].

- Lou, M. R. (1981). *Manual para la construcción de la CETA-RAM*. Centro de Investigaciones de Ingeniería. Guatemala, pp. 1-36.
- Maderuelo, S. R., Nadal, G. A. y Parres, G. F. (2009). A novel sound absorber with recycled fibers coming from end of live tires (ELTs). Instituto Tecnológico de Rocas Ornamentales y Materiales de Construcción, INTROMAC, Campus Universidad de Extremadura, Cáceres, España. 73, (4), pp. 402-408.
- Marín Maldonado, S. (2011). Síntesis de zeolitas a partir de lodo de las industrias papeleras de la Zona Metropolitana del Valle de México. (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México. México, pp. 6-18.
- Martínez, L. I., Martínez, A. F., Vázquez, H. C. y Pérez, O. J. (2012). Properties of plain concrete made with mixed recycled coarse aggregate. *Construction and Building Materials*. Universidad de A Coruña. España. (37) pp. 171-176.
- Mateos de Vicente, M. (1994). Los residuos – Su uso ecológico en la construcción. Iowa State University. pp 1-8.
- Meide, C. (1994). Bricks: An overview of form, function, and hystorical types. [Publicación en línea]. <http://www.academia.edu/2350581/Bricks_An_Overview_of_Form_Function_and_Historical_Types> [Fecha de consulta: 31 de mayo 2014].
- Miranda Hernández, V. A. (2011). *Bio-arquitectura sustentable*. (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Arquitectura. México, pp. 43-45 y 69.
- Morales, D. V., Ortiz, G. M. y Alavéz, R. R. (2007). Mejoramiento del adobe compactado, regreso a tecnologías apropiadas en la construcción. Memorias en extenso VI Congreso Internacional y XII Nacional de Ciencias Ambientales. Instituto Politécnico Nacional, pp. 859-864.
- Moreno, H. S., De Hoyos, M. J. y Delgado, D. J. (2000). Impacto ambiental y vida útil de los materiales más comunes en la industria de la construcción. *Tecnología y Materiales*. Universidad Autónoma del Estado de México. México, pp. 1-14.
- Moropoulou, A., Polikreti, K., Ruf, V. y Deodatis, G. (2003). San Francisco Monastery, Quito, Equador: Characterisation of building materials, damage assessment and conservation considerations. *Journal of Cultural Heritage*. (4), pp. 101-108.

- Niesing, B. (2004). "Storing Heat with Wax," Fraunhofer Magazine: Adaptronics—Bringing Materials to Life. 36-37. [Publicación en línea]. <http://www.archiv.fraunhofer.de/archiv/magazin0408/fhg/Images/magazine1-2004-36_tcm6-10203.pdf> [Fecha de consulta: 2 de agosto 2013].
- Norma ambiental para el Distrito Federal NADF-007-RNAT-2006, que establece la clasificación y especificaciones de manejo para residuos de la construcción en el Distrito Federal. 18.
- Norma Mexicana NMX-036-ONNCCE-2004. Industria de la construcción – Bloques, Tabiques o ladrillos, tabicones y adoquines -Resistencia a la compresión- Método de prueba.
- Norma Mexicana NMX-037-ONNCCE-2005. Industria de la construcción – Bloques, ladrillos o tabiques y tabicones- Determinación de la absorción de agua y absorción inicial de agua".
- Norma Mexicana NMX-C-038-ONNCCE-2004. Industria de la construcción – Determinación de las dimensiones de ladrillos, tabiques, bloques y tabicones para la construcción.
- Norma Mexicana NMX-C-404-ONNCCE-2005. Industria de la construcción – Mampostería- Bloques, tabiques o ladrillos y tabicones para uso estructural- Especificaciones y métodos de prueba.
- Norma Mexicana NMX-C-441-ONNCCE-2013. Industria de la construcción – Mampostería- Bloques, tabiques o ladrillos y tabicones para uso no estructural- Especificaciones y métodos de prueba.
- OIT, Conferencia Internacional del Trabajo. 90. reunión. Informe VI. El trabajo decente y la economía informal. (2002) Suiza. 29. [Publicación en línea]. <http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_norm/---relconf/---reloff/documents/meetingdocument/wcms_078894.pdf> [Fecha de consulta: 4 de diciembre 2013].
- Ortega, F. N. (2011). El agua en números. UAM. (41) pp. 39-40. [Publicación en línea]. <http://www.uam.mx/difusion/casadeltiempo/41_iv_mar_2011/casa_del_tiem po_elV_num41_39_40.pdf> [Fecha de consulta: 23 de mayo 2014].
- Pacheco, T. F. y Jalali, S. (2012). Earth construction: Less from the past for future eco-efficient construction. University of Minho. Portugal. (29) pp. 512-519.
- PEMEX, Exploración y Producción. (2008). Manifestación de impacto ambiental modalidad particular. Construcción de un salinoducto de 20"ø x 28 Km de domos salinos Tuzandépetl-Rabón grande. Subdirección región sur. Gerencia de construcción y mantenimiento. Subgerencia de ingeniería de proyectos, pp. 130, 131, 134, 136 y 149.

- Pereyra, J., Romero, I. y Quiun, D. (2012). Mejoramiento de las construcciones de adobe ante una exposición prolongada de agua por efecto de inundaciones. Pontificia Universidad Católica del Perú, pp. 11.
- Pladesemapesga. Plataforma en defensa del sector marítimo pesquero de Galicia (2012). [Publicación en línea]. <<http://www.pladesemapesga.com/descargas/anexonotadeprensa-efectos-ambientales-del%20clinker.pdf> > [Fecha de consulta: 26 de febrero 2014].
- Proyecto de norma mexicana PROY-NMX-AA-164-2012. Edificación sustentable –Criterios y requerimientos ambientales mínimos.
- Proyecto de norma para el Distrito Federal NADF-007-RNAT-2012 que establece la clasificación y especificaciones de manejo para residuos de la construcción, en el Distrito Federal.
- Ramírez Arellanes, S. (2008). Propiedades mecánicas y microestructura de concreto conteniendo mucílago de nopal como aditivo natural. (Tesis de Maestría). Instituto Politécnico Nacional, pp. 30-34.
- Ríos Hernández, A. (2009). *Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos*. (Tesis de Licenciatura). Instituto Politécnico Nacional. México, pp. 13-14.
- Ríos Pérez, E. Y. (2010) Efecto de la adición de látex natural y jabón en la resistencia mecánica y absorción del adobe compactado. (Tesis de Maestría). Instituto Politécnico Nacional. Oaxaca. México. pp. 75-83.
- Rivera Mera, C. J. (2007). Análisis de impacto ambiental por la inadecuada disposición de residuos de la construcción y demolición en el Valle de México y propuestas de solución. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional Autónoma de México. México, pp. 10-12.
- Rodríguez, V. M. (2001). *Introducción a la arquitectura bioclimática*. ISBN 9789681862121. LIMUSA-U.A.M. Azcapotzalco, México, pp. 26-29.
- Rojas V. M., Macías M. D., Galicia M. A., Betancourt Q. C., Quiroz G. S., Urquiza M. M., Echague F. M. y Guerrero A. G. (2013). Estudios técnicos para definir el desarrollo y funcionamiento del Parque Ecológico Tuzandepetl. Partida No.16 Diagnóstico para la gestión integral de los residuos sólidos, pp. 59-63; 83-95; 122-13; 212-214.
- Rojas Valencia, Ma. Neftalí y Galicia Martínez, Alfredo. (2014). "Proposal for recycling organic and inorganic materials in an ecological park". Presentation poster P6, pp. 94-95. Third International Conference on Recycling and Reuse of Materials (ICRM2104) Organized By: International and Interuniversity Center for Nanoscience and Nanotechnology (IIUCNN), Mahatma Gandhi University, Kottayam, Kerala, India and Wroclaw University of Technology, Faculty of Electrucal Engineering 27 Wybrzeze Wyspiansidego ST 50-370 Wroclaw, Poland. Del 11 al 13 de Abril del 2014.

- Salazar, J. (2005). Manual de construcción natural. Construyendo con Cob. [Publicación en línea]. <<http://www.ecohabitar.org/wp-content/uploads/2013/10/Manual-de-construccion-natural-Construyendo-con-Cob..pdf>> [Fecha de consulta: 26 de agosto 2013].
- Salazar, J. A. (1998). Producción de ecomateriales con base en residuos sólidos industriales escombros de Construcción. Universidad del Valle. Colombia. pp 4-9.
- Sánchez De Guzmán, D. (2001). Tecnología del concreto y del mortero. Bhandar editores LTDA. ISBN 958-9247-04-0, pp. 19.
- Sánchez, D. M. y Costilla, A. M. (2009). Un material no tradicional usado de manera tradicional. Investigación y Desarrollo. México. (31) pp. 1-7.
- Secretaria de Salud, (2002). Primer Diagnóstico Nacional de Salud Ambiental y Ocupacional. Comisión federal para la protección contra riesgos sanitarios. Dirección general de salud ambiental. Sección 2 [Publicación en línea]. <<http://www.salud.gob.mx/unidades/cofepris/bv/libros/l31.pdf>> [Fecha de consulta: 13 de enero 2014].
- Secretaria del Medio Ambiente (SEDEMA). (2004). Programa General de gestión integral de los residuos sólidos para el Distrito Federal, <<http://www.sma.df.gob.mx/rsolidos/03/local/03clave.pdf>> [Fecha de consulta: 26 de agosto 2014].
- Sikanda. (2010). [Publicación en línea]. <<http://si-kanda.org/>> [Fecha de consulta: 26 de febrero 2014].
- Siñani, S. y Mancilla, B. (2002). Problemática ambiental producida por las ladrilleras. Universidad Mayor de San Andres. La Paz, Bolivia, pp. 1-7.
- Sistema de Información Municipal (SIM). 2014. Secretaría de Finanzas y Planeación del estado de Veracruz. pp. 1-11. [Publicación en línea]. <<http://www.veracruz.gob.mx/finanzas/files/2013/04/lxhuatlan-del-Sureste.pdf>> [Fecha de consulta: 16 de agosto 2014].
- TIRES -Neumáticos Solution Reciclaje Ambiental Internacional- (2013). [Publicación en línea]. <<http://www.tiresspa.com/es/lista.html>> [Fecha de consulta: 31 de mayo 2014].
- Vesco, L., P. (2006). Residuos Sólidos Urbanos: Su gestión integral en Argentina. Universidad Interamericana. (8) pp. 15- 16.
- Wolfensberger, L. (2006). Educación para el diseño de ecoaldeas. Capítulo 2. Construcción y renovación ecológica. [Publicación en línea]. <<http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/515/cap2.pdf>> [Fecha de consulta: 16 de agosto 2014].
- Wye, M. (2014). <www.mikewye.co.uk/ProjectFiles/cobBrickCompressed.htm> [Publicación en línea]. [Fecha de consulta: 26 de febrero 2014].