



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA  
DE AGUASCALIENTES

**CENTRO DE CIENCIAS DEL DISEÑO Y DE LA CONSTRUCCIÓN**

**DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIÓN Y ESTRUCTURAS**

**TESIS**

**“Análisis comparativo cuantitativo del proceso de fabricación  
elaborado a mano en Aguascalientes para el tabique de  
barro recocido y el bloque de tierra compactada”**

**PRESENTA**

Hilda López López

**PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRA EN INGENIERÍA CIVIL EN EL ÁREA  
DE CONSTRUCCIÓN**

**TUTOR**

M. en I. A. José Luis López López

**CO-TUTOR**

M. A. Mauricio Ruiz Morales

Aguascalientes, Ags. 20 de Noviembre de 2013

## AGRADECIMIENTOS

A Dios, por acompañarme todos los días.

A mis padres, por su ayuda en todo momento, por los valores inculcados y por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida.

A mi esposo, por su cariño, paciencia y apoyo incondicional.

A los tutores de tesis, por su tiempo y orientación para la realización de la misma.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), ya que gracias al apoyo económico recibido, me permitió realizar los estudios de posgrado.

A la Secretaría del Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable del Municipio de Aguascalientes (SEMADESU), por las facilidades otorgadas y la oportuna información brindada.

A todos los que de alguna manera contribuyeron a la culminación de este proyecto.

## INDICE GENERAL

<b>INDICE GENERAL</b> .....	<b>1</b>
<b>INDICE DE TABLAS</b> .....	<b>3</b>
<b>INDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>4</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>6</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>8</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>10</b>
<b>CAPÍTULO I. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA</b> .....	<b>13</b>
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	13
1.2 HIPÓTESIS.....	13
1.3 METODOLOGÍA.....	13
<b>CAPÍTULO II. DESCRIPCIÓN DE LOS MATERIALES A COMPARAR</b> .....	<b>15</b>
2.1 INTRODUCCIÓN.....	15
2.2 BLOQUE DE TIERRA COMPACTADA.....	15
2.2.1 Antecedentes.....	15
2.2.2. Estado actual de la construcción con tierra en México.....	20
2.2.3 Generalidades del material.....	27
2.2.4 Proceso de fabricación.....	31
2.3 TABIQUE DE BARRO RECOCIDO.....	50
2.3.1 Antecedentes.....	50
2.3.2. Estado actual de la construcción con tabique en México.....	53
2.3.3 Generalidades del material.....	57
2.3.4 Proceso de fabricación.....	63
<b>CAPÍTULO III. ANÁLISIS COMPARATIVO Y EVALUACIÓN</b> .....	<b>77</b>
3.1 DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA A UTILIZAR PARA EL ANÁLISIS COMPARATIVO.....	77
3.2 ANÁLISIS COMPARATIVO.....	78
3.3 DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA A UTILIZAR PARA LA EVALUACIÓN....	79
3.4 RÚBRICA PARA LA EVALUACIÓN DE LOS MATERIALES.....	81

3.5 MATRIZ DE EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS ..... 82

**CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS ..... 83**

**CONCLUSIONES ..... 85**

**GLOSARIO ..... 87**

**REFERENCIAS ..... 89**

**ANEXOS ..... 96**



### INDICE DE TABLAS

Tabla I. Porcentajes promedio de composición material para adobes. Fuente: McHenry Graham, 1996. Pág. 65 ..... 32

Tabla II. Padrón de Ladrilleras 2012. Fuente: SEMADESU Aguascalientes, 2013... 68

Tabla III. Escala de ponderación para aspectos a evaluar. Fuente: elaboración propia..... 79

Tabla IV. Rúbrica para evaluar los materiales. Fuente: elaboración propia. .... 81

Tabla V. Matriz de Evaluación de Alternativas. Fuente: elaboración propia..... 82



**INDICE DE FIGURAS**

Figura 1. Arquitectura prehispánica de tierra cruda. La Joya, Veracruz. Fuente: Soria López et al, 2011 ..... 16

Figura 2. Arquitectura prehispánica de tierra cruda. Paquimé, Chihuahua. Fuente: <http://inahchihuahua.wordpress.com/zona-arqueologica-paquime/>.. 16

Figura 3. Quinta Carolina, Chihuahua. Originalmente llamada Labor de Trías. Fuente: <http://www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/EMM08chihuahua/municipios/08019a.html> ..... 17

Figura 4. Número de viviendas según material predominante en paredes. Años censales seleccionados de 1929 a 2005. Fuente: INEGI. Estadísticas históricas de México 2009..... 20

Figura 5. Viviendas particulares habitadas por material en paredes según material en techos. Año 2000. Aguascalientes. Fuente: INEGI. XII Censo General de Población y Vivienda 2000. Tabulados básicos. .... 21

Figura 6. Viviendas particulares habitadas por material en paredes según material en techos. Año 2010. Aguascalientes. Fuente: INEGI. Anuario estadístico de Aguascalientes 2010. .... 21

Figura 7. Máquina bloquera del ITAVU, basada en la CINVA RAM. Fuente: Cicero,2008..... 27

Figura 8. Ejemplo de máquina bloquera tipo hidráulico de la empresa Hydraform. Fuente: <http://www.hydraform-espanol.com/maquinas-bloques.html> ..... 28

Figura 9. Ejemplo de máquina bloquera Adopress de ITAL Mexicana, S.A. Fuente: [http://www.italmexicanamty.com/equipos\\_adoberas.htm](http://www.italmexicanamty.com/equipos_adoberas.htm) ..... 29

Figura 10. Máquina TA-100 tipo manual para elaborar bloques de tierra. Fuente: <http://www.tecnoadobe.com.mx/index.php/maquinaria/ta100>..... 29

Figura 11. Máquina TA-100H tipo hidráulica para elaborar bloques de tierra. Fuente: <http://www.tecnoadobe.com.mx/index.php/maquinaria/ta100h>..... 30

Figura 12. Proceso de mezclado para fabricación de BTC. Fuente: Hydraform Training Manual, 2012 ..... 37

Figura 13. Prueba realizada para verificar el contenido de humedad en la mezcla. Fuente: Hydraform Training Manual, 2012 ..... 38

Figura 14. Vista del bloque de tierra compactada recién elaborado en el predio del Sr. Roberto en Norias de Paso Hondo, Aguascalientes..... 42

Figura 15. Vista del bloque de tierra compactada con aristas despostilladas. .. 42

Figura 16. Vista de la máquina manual TA-100 para fabricar bloques de tierra compactada en la planta Calidra. .... 43

Figura 17. Herramientas utilizadas para el tamizado del material obtenido para la fabricación de BTC. .... 43

Figura 18. Tepetate y cal colocados previo al mezclado. .... 44

Figura 19. Mezclado en seco del tepetate y la cal. .... 44

Figura 20. Agregado de agua a la mezcla. .... 45

Figura 21. Prueba para verificar el contenido de humedad. .... 45

Figura 22. Proceso de acomodo de la tierra en el molde de la máquina. .... 46

Figura 23. Proceso de prensado manual. .... 46

Figura 24. Obtención del bloque compactado. .... 47

Figura 25. Vista del bloque terminado. .... 47

Figura 26. Ruinas de construcciones mayas en Comalcalco, Tabasco. Fuente: [http://es.wikipedia.org/wiki/Mayas\\_de\\_Tabasco](http://es.wikipedia.org/wiki/Mayas_de_Tabasco) ..... 50

Figura 27. Palacio Legislativo (Antiguo Mesón Real), Tlaxcala. Fuente: <http://www.mexicodesconocido.com.mx/palacio-legislativo-antiguo-meson-real-tlaxcala.html> ..... 51

Figura 28. Horno de ladrillo en la Ex-Hacienda de San Diego Xocoyucan, San Pedro Cholula, Puebla. Fuente: Bühler, 2011 ..... 52

Figura 29. Horno tradicional abierto. Fuente: <http://ladobe.com.mx/2011/10/la-produccion-de-ladrillo-entre-la-tradicion-y-la-rentabilidad/> ..... 59

Figura 30. Horno tradicional mejorado. Fuente: imagen tomada por la autora. 59

Figura 31. Horno de eje vertical (VSBK). Fuente: <http://ladrillo.wordpress.com/category/tecnica/> ..... 60

Figura 32. Horno MK2. Fuente: <http://www.redladrilleras.net/> ..... 61

Figura 33. Horno Hoffman. Fuente: [http://www.museodelladrillo.com.ar/horno\\_hoffmann.asp](http://www.museodelladrillo.com.ar/horno_hoffmann.asp) ..... 62

Figura 34. Horno tipo túnel. Fuente: <http://www.redladrilleras.net/> ..... 63

Figura 35. Materia prima a utilizar en la fabricación del tabique. .... 70

Figura 36. Molde para fabricación de tabique. .... 70

Figura 37. Proceso de moldeado. .... 71

Figura 38. Tabiques recién moldeados. .... 71

Figura 39. Vista general de los tabiques moldeados. .... 72

Figura 40. Vista general de tabiques en proceso de secado. .... 72

Figura 41. Tabiques en proceso de secado. .... 72

Figura 42. Vista del horno fijo y uso de aserrín como combustible. .... 73

Figura 43. Proceso de cocción en horno fijo de ladrillera. .... 73

Figura 44. Parte superior del horno fijo durante el proceso de cocción. .... 74

Figura 45. Vista de los tabiques terminados. .... 74

## RESUMEN

En México, el desarrollo de materiales y sistemas de construcción de bajo impacto ambiental, ha llevado un proceso lento. Estos sistemas representan una opción alternativa a las técnicas que han desplazado a los procesos tradicionales, los cuales por milenios habían resuelto de manera sostenible la conformación de los espacios. Sin embargo, en años recientes, aquellos sistemas tradicionales que habían sido relegados, adquirieron importancia dentro de las construcciones. Dentro de este marco, en la búsqueda de opciones más sustentables en cuanto a materiales de construcción se refiere, es importante tomar en cuenta su proceso de fabricación, para evaluar si realmente se pueden considerar como una alternativa viable a ser utilizada en la construcción de viviendas.

En el presente trabajo de tesis se realiza un análisis comparativo de los aspectos más relevantes en cuanto al proceso de fabricación, de dos materiales: el primero es un material convencional, mayormente utilizado en la construcción de viviendas, como es el tabique de barro recocido. El segundo es un material tradicional, cuyo antecedente principal es el adobe, y es conocido como bloque de tierra compactada (BTC). Esto con la finalidad de determinar cuál de ellos representa la opción con mayores ventajas comparativas para aplicarse en la construcción de viviendas en Aguascalientes.

La investigación se compone de cuatro capítulos; el primero es un capítulo introductorio, donde se expone la problemática principal, se establecen objetivos, se plantean supuestos y se describe la metodología empleada para el desarrollo del trabajo.

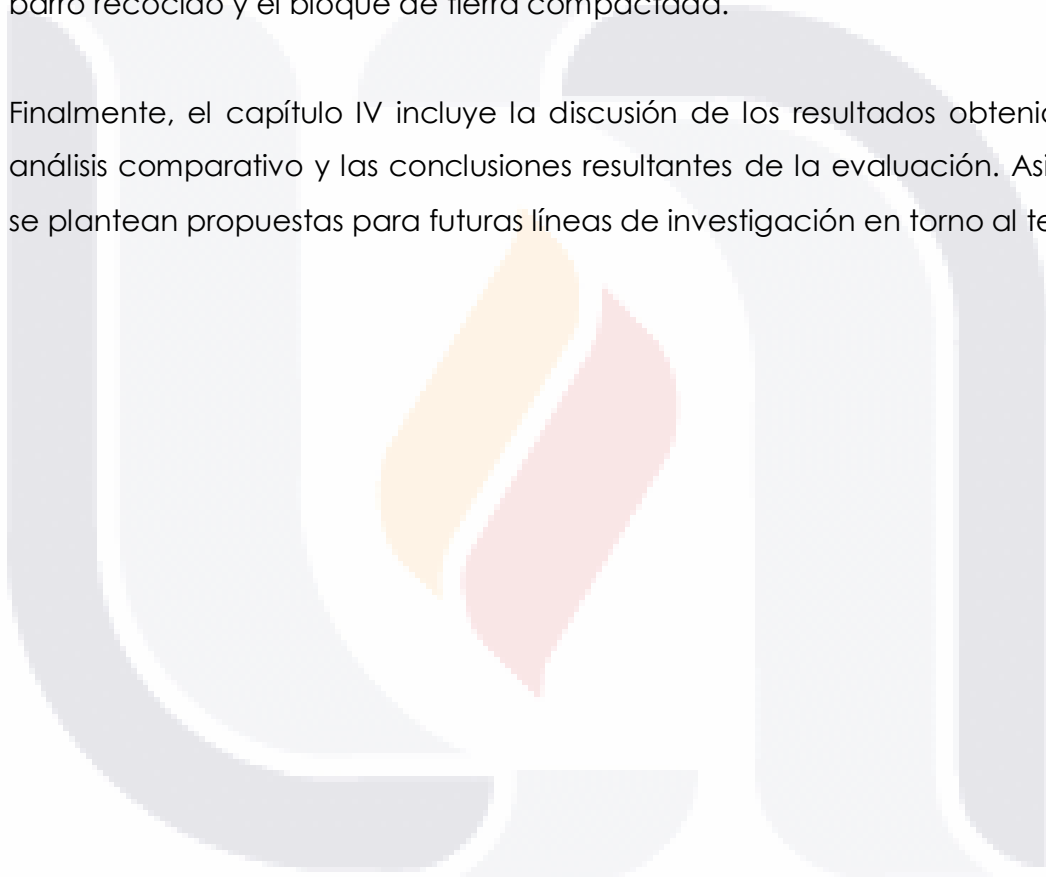
El capítulo II contiene una descripción de los materiales que se van a comparar. Comenzando con los antecedentes, incluyendo principalmente las técnicas que se han utilizado para su fabricación. Posteriormente, se describe



la situación del material en lo que respecta a la construcción en nuestro país. También se abordan generalidades del mismo, haciendo una descripción de aspectos relacionados con su producción. Y finalmente, se reseña el proceso de fabricación, tanto en el ámbito nacional como local.

En el capítulo III se describe la metodología empleada para realizar el análisis comparativo, así como para la evaluación de los dos materiales: el tabique de barro recocido y el bloque de tierra compactada.

Finalmente, el capítulo IV incluye la discusión de los resultados obtenidos del análisis comparativo y las conclusiones resultantes de la evaluación. Asimismo, se plantean propuestas para futuras líneas de investigación en torno al tema.



## ABSTRACT

In Mexico, the development of building materials and systems with low environmental impact, has been a slow process. These systems represent an alternative to the techniques that have displaced traditional processes, which for millennia had resolved sustainably shaping spaces. However, in recent years, those traditional systems have been relegated to prominence within buildings. Within this context, the search for more sustainable options in terms of building materials are concerned, it is important to consider the manufacturing process, to assess if it really can be considered as a viable alternative to be used in housing construction.

In this thesis work, a comparative analysis of the most important aspects regarding the manufacturing process of two materials: the first is a conventional material, mostly used in home construction: fired brick. The second is a traditional material, whose main background is the adobe, and is known as compressed earth block (CEB). This in order to determine which option represents the greatest comparative advantages for application in construction in Aguascalientes.

The research consists of four chapters; the first being an introductory chapter, which discusses the main issues, sets goals, assumptions arise and describes the methodology used for development work.

Chapter II contains a description of the materials that are to be compared. Commencing with the antecedents, mainly including the techniques used for their manufacture. Subsequently, the situation of the material described with respect to construction in our country. It also addresses the same generalities, describing the aspects of production. And finally, review the manufacturing process, both nationally and locally.

Chapter III describes the methodology used to conduct comparative analysis and for the evaluation of the two materials: fired brick and compressed earth block.

Finally, Chapter IV includes discussion of the results of the comparative analysis and conclusions from the evaluation. Also, to consider proposals for future research on the topic.



## INTRODUCCIÓN

En los campos de la ingeniería y la arquitectura, las tareas para generar construcciones, cada vez más amables con el medio donde se insertan, se han desarrollado de manera importante en años recientes, aunque con avances claramente insuficientes y geográficamente desequilibrados.<sup>1</sup> En el caso de México este proceso ha sido muy lento, especialmente en lo que se refiere al desarrollo de materiales y sistemas de construcción de bajo impacto ambiental, como alternativa a los métodos y técnicas industrializadas que desde mediados del siglo XX han desplazado a los procesos tradicionales que por milenios habían resuelto de manera sostenible la conformación de los espacios. (Soria, Guerrero y Roux, 2011).

Sin embargo en años recientes, aquellas técnicas tradicionales que habían sido desplazadas, adquirieron importancia dentro de las construcciones. Estos sistemas, tales como el adobe, el tapial, el bajareque, etc., según diversos autores, presentan grandes ventajas, entre las que se encuentran: su bajo costo, disponibilidad de materia prima, posibilidades de autoconstrucción, la producción sin consumo de energía, propiedades térmicas y acústicas, sin contar el hecho de que una vez terminado su ciclo de vida, puede reciclarse o reintegrarse a la naturaleza. En cuanto a las desventajas que se pueden mencionar para estos sistemas, están: su fragilidad para ser transportadas y almacenadas, problemas de adherencia a los morteros, y sobre todo, su alta vulnerabilidad frente a la presencia del agua de lluvia o de los mantos freáticos. (Soria et al, 2011). Para dar respuesta a esta problemática, diversos

---

<sup>1</sup> “En los albores del siglo XXI todos los ciudadanos del mundo somos responsables por el futuro inmediato de nuestra gran casa: el planeta tierra. El ambiente y la calidad de vida que venimos proponiendo para las sociedades venideras, no garantiza un futuro halagador y por ello se hace urgente reflexionar sobre el impacto de la construcción y de la responsabilidad que los profesionales del área de la arquitectura y la construcción tenemos frente a la sostenibilidad planetaria. Este sector de la economía consume el 40% de la energía del planeta para la producción de insumos y materiales, por lo que es fundamental adquirir información, ampliar los conocimientos y comenzar una transformación profunda de la aplicación de sistemas constructivos, hábitos y consumo, para disminuir el impacto que estamos causando por el uso de energía fósil y el aceleramiento del cambio climático”. (Garzón, 2002)

investigadores han realizado estudios sobre la estabilización para los bloques de tierra compactada, en busca de la mejora de este material. Más adelante, se profundizará en este tema, en el apartado referente al estado actual de la construcción con tierra en México.

Hablando de los materiales de construcción convencionales utilizados para edificación de viviendas, tales como el tabique de barro recocido, el bloque de concreto, etc., que han relegado a los materiales antiguamente utilizados, también presentan ventajas y desventajas. Dentro de las ventajas podemos mencionar que al existir una amplia oferta y disponibilidad en el mercado, se abre un abanico de posibilidades, los cuales permiten mejorar las edificaciones, ya que presentan mayor durabilidad, procesos de edificación más rápidos, incremento en resistencia y seguridad de las construcciones, cualidades estéticas, entre otras. Como desventajas: tienen un deficiente desempeño térmico, lo que implica que el interior de la vivienda no sea confortable; en el aspecto económico, hablando específicamente del tabique, su costo de producción es del 15 al 20% mayor que los bloques de tierra. (Auroville Earth Institute, 2013). También representan un alto costo desde el punto de vista ambiental, ya que requieren grandes cantidades de energía para su producción, traslado, operación y mantenimiento, generando contaminación en todas estas etapas, y que, al finalizar su vida útil, generan desechos difíciles de reciclar o reintegrar a la naturaleza.

En las construcciones actuales, hablando específicamente de las viviendas en México, el 86.3% utilizan este tipo de materiales en muros, que el INEGI los clasifica como materiales durables: tabique, block, piedra, cantera o cemento. (INEGI, 2010) Sin embargo, como se mencionaba anteriormente, durante las etapas de producción de éstos se generan daños al medio ambiente.

Dentro de este contexto, se puede mencionar que en la búsqueda de opciones más sustentables en cuanto a materiales de construcción se refiere,

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

es importante tomar en cuenta su proceso de fabricación, para evaluar si realmente se pueden considerar como una alternativa viable a ser utilizada en la construcción de viviendas.

Es por esto que en el presente trabajo de tesis se realiza un análisis comparativo de los aspectos más relevantes en cuanto al proceso de fabricación, de dos materiales: el primero es un material convencional, mayormente utilizado en la construcción de viviendas, como es el tabique de barro recocido. El segundo es un material tradicional, cuyo antecedente principal es el adobe, y es conocido como bloque de tierra compactada (BTC). Esto con la finalidad de determinar cuál de ellos representa la opción con mayores ventajas comparativas para aplicarse en la construcción de viviendas en Aguascalientes.

## CAPÍTULO I. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

### 1.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar un análisis comparativo de dos materiales utilizados en muros: tabique de barro recocido y bloque de tierra compactada, considerando su proceso de fabricación, con la finalidad de determinar cuál es la opción que más ventajas comparativas presenta para ser utilizado como material de construcción en las viviendas de Aguascalientes.

### 1.2 HIPÓTESIS

El supuesto que se plantea para la presente investigación es el siguiente: "el bloque de tierra compactada presenta mayores ventajas comparativas en su proceso de fabricación, en relación al tabique de barro recocido".

### 1.3 METODOLOGÍA

Para desarrollar el presente trabajo de tesis se realizaron las siguientes actividades:

a) Recuperación y captura de información sobre el tabique de barro recocido y el bloque de tierra compactada. Se recabó toda la información necesaria, tanto en fuentes bibliográficas como en investigación de campo sobre los dos materiales a comparar.

b) Establecer los aspectos a ser considerados para el análisis comparativo. De acuerdo a la información recopilada de los dos materiales, se procedió a establecer los lineamientos y criterios para ser tomados en cuenta en la evaluación comparativa de los mismos.

c) Elaboración de matriz de evaluación. En base a los criterios establecidos para llevar a cabo la evaluación, ésta se realizó en una tabla síntesis tomando como ejemplo la metodología propuesta por el autor Chamoun (2002) en su libro *Administración Profesional de Proyectos. La Guía*.

d) Conclusiones. Una vez realizada la matriz de evaluación, se obtuvieron conclusiones a partir de los resultados arrojados de comparar los materiales anteriormente mencionados.





## **CAPÍTULO II. DESCRIPCIÓN DE LOS MATERIALES A COMPARAR**

### **2.1 INTRODUCCIÓN**

En este apartado se hará una descripción general de los materiales que se van a comparar. Comenzando con el panorama a grandes rasgos de los antecedentes, incluyendo principalmente las técnicas que se han utilizado para su fabricación. Posteriormente, se describe la situación del material en relación a la construcción en nuestro país. En el tercer apartado se abordan generalidades del mismo, haciendo una descripción de aspectos relacionados con su producción. Y finalmente, se reseña el proceso de fabricación, tanto en el ámbito nacional como local. Para este fin, se llevó a cabo una recopilación en fuentes de información bibliográfica, así como en visitas de campo a lugares donde se fabrican ambos materiales dentro de Aguascalientes.

### **2.2 BLOQUE DE TIERRA COMPACTADA**

#### **2.2.1 Antecedentes**

El uso de la tierra, como material de construcción, se remonta a épocas cuando el hombre tuvo la necesidad de construir su abrigo con los materiales ofrecidos por la naturaleza. Las técnicas de construcción con tierra han demostrado su versatilidad a través de los siglos. En todos los rincones del mundo, la construcción con tierra siempre estuvo presente, pasando por las debidas adaptaciones técnicas y culturales para atender las necesidades del hombre y de su ambiente construido. (Garzón y Martins, 2007).

Haciendo un breve recuento histórico de cómo fue evolucionando la tecnología de la construcción con tierra en América, se encuentra lo siguiente: en la época prehispánica, muchas de las plataformas piramidales que conforman los centros ceremoniales de ciudades como Teotihuacán, Cacaxtla, Cholula o Mitla, fueron edificadas a partir de núcleos realizados con

adobe y tierra compactada. (Figuras 1 y 2). Si a este hecho se agrega la evidencia arqueológica que ha demostrado que prácticamente todas las viviendas precolombinas de las clases sociales menos poderosas eran de adobe o de bajareque, es posible considerar que la tierra cruda fue el principal componente de la arquitectura mexicana antigua. (Guerrero, Roux y Soria, 2010).



Figura 1. Arquitectura prehispánica de tierra cruda. La Joya, Veracruz. Fuente: Soria López et al, 2011



Figura 2. Arquitectura prehispánica de tierra cruda. Paquimé, Chihuahua. Fuente: <http://inahchihuahua.wordpress.com/zona-arqueologica-paquime/>

En el siglo XVI fue el encuentro de las diferentes tecnologías; por un lado, los pueblos prehispánicos y sus conocimientos en construcción con tierra; y por el otro, el pueblo español, heredero de la tradición tecnológica en construcción en tierra mediterránea, lo cual generó un provechoso intercambio. (Figura 3). Durante el período colonial la construcción en tierra fue el sistema dominante en las ciudades hispanoamericanas; durante el siglo XIX, continuó siéndolo, aún cuando ya desde el siglo XVIII muchas de las principales construcciones se hicieron en piedra. (González, 2002).



*Figura 3. Quinta Carolina, Chihuahua. Originalmente llamada Labor de Trías. Fuente: <http://www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/EMM08chihuahua/municipios/08019a.html>*

Para finales del siglo XIX, el uso de la tierra en la edificación alcanzó un mayor desarrollo, ya que, como menciona González (2002): “en ésta época los sistemas de construcción en tierra contaban con constantes insumos tecnológicos, generados por la construcción de grandes monumentos y su aplicación masiva en la vivienda cotidiana aseguraba la racionalización económica de sus componentes; así como la apropiación por artesanos constructores y especialistas de las nuevas tecnologías generadas”.

Ya en el siglo XX los materiales comerciales como los bloques de concreto, el tabique de barro recocido, etc., tomaron un gran auge extendiéndose cada vez más y relegando el uso de la tierra a la construcción urbana y rural de

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

bajos recursos. Fue a partir de ese momento que la tecnología de la construcción en tierra se fue minimizando. Poco a poco, los constructores se olvidaron de las técnicas de tierra y aquellos que continuaron con la misma, ya no avanzaron tecnológicamente y ante la pobreza de sus construcciones el nivel tecnológico de ellas fue decayendo gradualmente. El acelerado proceso de urbanización que experimentó América Latina entre 1940 y 1960 fue determinante para que la construcción en tierra decayera. (González, 2002).

Por fortuna, en décadas recientes, a partir de la toma de conciencia del impacto de la construcción en el deterioro del medio ambiente, el uso de la tierra como material constructivo paulatinamente ha ido recuperando presencia. (Guerrero et al, 2010).

Dentro de este contexto, en el artículo publicado por Garzón y Martins (2007) muestran un panorama general en cuanto a los antecedentes de las técnicas e investigaciones desarrolladas desde 1950 hasta años recientes en Latinoamérica, el cual se resume en los siguientes párrafos.

En la década de 1950, el Centro Interamericano de Vivienda y Planeamiento de Colombia realizó un interesante programa de investigación y construcción con tierra, desarrollando un modelo simple de una prensa manual para fabricación de bloques de suelo-cemento, hoy conocida por la denominación CINVA-RAM. Ya en la década de 1970, la Pontificia Universidad Católica (PUC) de Perú inició un intenso trabajo de investigación sobre el comportamiento de las construcciones en adobe frente a los sismos y desarrolló técnicas constructivas adecuadas, principalmente relacionadas con los refuerzos de los muros. En 1977, el Instituto Nacional de Investigación y Normalización de la Vivienda (ININVI) incorporó el uso del adobe en la reglamentación de construcciones como parte de las Normas de Proyectos Sismo resistentes. En Brasil, los estudios de construcción con tierra realizados en las décadas de 1970 y 1980 fueron dirigidos especialmente al uso del suelo estabilizado. Las técnicas

empleadas están constituidas básicamente de bloques comprimidos, fabricados en máquinas manuales o automáticas. En Paraguay, en la década de 1980, el Centro de Tecnología Apropiable (CTA), se dedicó a investigaciones relativas a la habitación popular. Implantó un interesante trabajo para mejorar las viviendas en el área rural. En 1985 el Ministerio de Vivienda y Construcción de Perú aprobó y publicó la norma Adobe, incorporándola a las Normas Técnicas de Edificaciones, cuya publicación, revisada en el año 2000, es referencia para los especialistas del área. Actualmente ésta norma está en fase de revisión y ampliación. En Argentina, la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Nacional de Tucumán inició un movimiento en la década de 1990 que culminó con la creación del Centro Regional de Investigaciones sobre Arquitectura de Tierra Cruda, CRIATIC, en 2002. En el año 2005, en Colombia se homologó la norma francesa como norma ICONTEC con la Norma Técnica Colombiana NTC 5324 y en ella se reguló la producción y aplicación de los bloques de suelo cemento para el uso de albañilería en reemplazo del ladrillo cocido o del bloque. (Garzón y Martins, 2007)

Se puede apreciar que se han llevado a cabo importantes investigaciones en cuanto al tema de las construcciones con tierra se refiere. Sin embargo, todavía queda por hacer, tal como menciona González <sup>2</sup> (2002): "falta aún mucho por desarrollar en el campo de la tecnología de construcción en tierra y su aplicación tendrá que resolver, en función a las características de cada sitio y cada problema específico; insumos, procesos productos y conceptos espaciales y constructivos".

---

<sup>2</sup> Jorge González Claverán. Arquitecto, U. de Guadalajara, México. Especialidad en Vivienda, A.A de Londres G.B. Maestría en Diseño Urbano, U. de Oxford Brookes, G.B. Doctorado en Urbanismo y Medio Ambiente, U. de Paris XII, Francia. Profesor-investigador en la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura del Instituto Politécnico Nacional de México. Profesor visitante en instituciones de diferentes países. Profesor de la Academia Internacional de Arquitectura, Miembro del Sistema Nacional de Investigadores de CONACyT México. Ex delegado de México ante la Red Habiterra del Cyted. Vicepresidente y Delegado de México ante ICOMOS-Tierra. Coordinador Internacional de la Red Vivienda Rural y Calidad de Vida en los Asentamientos Rurales del Cyted. Autor y editor de diversas publicaciones sobre urbanismo, vivienda y medio ambiente. (González, 2002).

### 2.2.2. Estado actual de la construcción con tierra en México

De acuerdo a cifras del INEGI, existen en nuestro país 2,135,694 viviendas cuyo material predominante en muros es el adobe. (INEGI, 2009). Esa cantidad representa el 10% del total, es decir, que una de cada diez viviendas está construida con este material. Esto indica que todavía existe el uso de esta técnica tradicional en México. Sin embargo, revisando las estadísticas históricas en la misma fuente de información, se observa que el número fue decreciendo a partir de la década de los sesentas (Ver figura 4). De existir tres millones de viviendas con este material en muros, pasó a dos millones para el año 2000. Los datos revelan que a pesar de las grandes ventajas que tienen las construcciones con tierra, la sociedad prefiere construir sus viviendas con materiales convencionales, como el tabique, cuyo incremento fue considerable, al ir de un millón y medio de viviendas construidas con este material en 1960, a once millones para 1990. (INEGI, 2009).

Año	Total	Material predominante en paredes							
		Materiales ligeros, naturales y precarios	Adobe	Materiales sólidos	Tabique o ladrillo	Madera	Embarro	Otros materiales	No especificado
1929	3 178 452	ND	1 449 398	ND	95 356	618 949	339 551	675 198	ND
1939	3 884 582	ND	1 611 245	ND	173 379	571 317	396 658	1 131 983	ND
1950	5 259 208	ND	2 190 604	ND	719 451	1 040 782	392 816	915 550	ND
1960	6 409 096	ND	3 183 566	ND	1 546 946	588 486	494 554	595 544	ND
1970	8 286 369	ND	2 494 950	ND	3 658 146	1 317 165	416 442	399 666	ND
1980	12 074 609	ND	2 573 733	ND	6 773 270	1 137 655	435 803	1 154 148	ND
1990	16 035 233	ND	2 342 987	ND	11 148 978	1 303 481	376 844	862 943	ND
1995	19 361 472	4 708 710 a/	ND	14 648 890 b/	ND	ND	ND	ND	3 872
2000	21 513 235	564 973 c/	2 135 694	16 968 348 d/	ND	1 436 353	292 612 e/	ND	115 255
2005	24 006 357	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

a/ Incluye carrizo, bambú, palma, embarro o bajareque, madera, lámina de asbesto o metálica y adobe, material de desecho y lámina de cartón.

b/ Incluye tabique, ladrillo, block, piedra, cantera o cemento.

c/ Incluye material de desecho; lámina de cartón; lámina de asbesto y metálica; carrizo, bambú y palma.

d/ Se refiere a tabique, ladrillo, block, piedra, cantera, cemento y concreto.

e/ Se refiere a embarro y bajareque.

Figura 4. Número de viviendas según material predominante en paredes. Años censales seleccionados de 1929 a 2005. Fuente: INEGI. Estadísticas históricas de México 2009.

Para el caso particular de Aguascalientes, lugar donde se lleva a cabo la presente investigación, el panorama es similar. Según datos del INEGI, en el año 2000, el número de viviendas con el adobe como material predominante es

muros era de 21,687 y para el año 2010 disminuyó a 20,763 (Ver figuras 5 y 6). En cuanto a los materiales durables, como son clasificados, entre ellos el tabique, de las 175,749 viviendas construidas con ellos el número aumentó a 270, 524 para los años 2000 y 2010, respectivamente.

MUNICIPIO Y MATERIAL PREDOMINANTE EN PISOS Y PAREDES	VIVIENDAS PARTICULARES HABITADAS <sup>1</sup>	DISTRIBUCIÓN SEGÚN MATERIAL PREDOMINANTE EN TECHOS						
		MATERIAL DE DESECHO	LÁMINA DE CARTÓN	LÁMINA DE ASBESTO Y METÁLICA	PALMA, TEJA-MANIL Y MADERA	TEJA	LOSA DE CONCRETO, TABIQUE, LADRILLO Y TERRADO CON VIGUERÍA	NO ESPECIFICADO
<b>01 AGUASCALIENTES</b>	<b>199 398</b>	<b>259</b>	<b>818</b>	<b>8 988</b>	<b>663</b>	<b>606</b>	<b>187 045</b>	<b>1 019</b>
-MATERIAL DE DESECHO	190	49	13	22	1	1	104	0
-LÁMINA DE CARTÓN	193	2	123	63	0	0	5	0
-LÁMINA DE ASBESTO Y METÁLICA	258	2	34	205	2	0	15	0
-CARRIZO, BAMBÚ Y PALMA	11	0	0	4	0	0	7	0
-EMBARRO Y BAJAREQUE	97	1	3	16	2	0	75	0
-MADERA	284	3	35	118	20	2	105	1
-ADOBE	21 687	101	271	4 766	540	361	15 598	50
-TABIQUE, LADRILLO, BLOCK, PIEDRA, CANTERA, CEMENTO Y CONCRETO	175 749	101	333	3 787	97	242	171 066	123
-NO ESPECIFICADO	929	0	6	7	1	0	70	845

Figura 5. Viviendas particulares habitadas por material en paredes según material en techos. Año 2000. Aguascalientes. Fuente: INEGI. XII Censo General de Población y Vivienda 2000. Tabulados básicos.

Material en paredes	Total a/	Material en techos (Porcentaje)									
		Lámina de asbesto	Lámina de cartón	Lámina metálica	Losa de concreto o viguetas con bovedilla	Madera o tejamanil	Material de desecho	Palma o paja	Teja	Terrado con viguería	No especificado
<b>Total</b>	<b>293,024</b>	<b>0.3</b>	<b>NS</b>	<b>3.8</b>	<b>94.9</b>	<b>0.1</b>	<b>0.1</b>	<b>NS</b>	<b>0.3</b>	<b>0.2</b>	<b>0.2</b>
Adobe	20,763	0.6	0.2	27.2	68.4	0.7	0.3	0.1	1.3	1.2	0.1
Carrizo, bambú o palma	23	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Embarro o bajareque	85	0.0	0.0	4.7	89.4	5.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Lámina de asbesto o metálica	548	0.0	0.0	48.9	43.1	0.0	0.0	0.0	8.0	0.0	0.0
Lámina de cartón	71	0.0	0.0	19.7	80.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Madera	446	0.0	5.6	88.1	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Material de desecho	52	0.0	0.0	13.5	86.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Tabique, ladrillo, block, piedra, cantera, cemento o concreto	270,524	0.3	NS	1.7	97.3	0.1	0.1	NS	0.2	0.2	0.1
No especificado	512	0.0	0.0	0.0	6.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	93.6

Nota: La información proviene del cuestionario ampliado de la fuente indicada. Excluye a los locales no construidos para habitación, viviendas móviles y refugios.

a/ Se refiere a valores absolutos.

Fuente: INEGI. Dirección General de Estadísticas Sociodemográficas. Censo de Población y Vivienda 2010. www.inegi.org.mx (28 de julio de 2011).

Figura 6. Viviendas particulares habitadas por material en paredes según material en techos. Año 2010. Aguascalientes. Fuente: INEGI. Anuario estadístico de Aguascalientes 2010.

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

Roux y Espuna (2005) mencionan, en torno a este fenómeno, que a pesar de que existen varios institutos y especialistas dedicados a la investigación de materiales de tierra, el esfuerzo aislado de los involucrados no ha permitido que este material tenga el impacto necesario para poder construir un mayor número de viviendas con él.<sup>3</sup>

En cuanto a las investigaciones realizadas referentes al bloque de tierra compactada, dentro del contexto nacional, existen universidades, instituciones públicas y empresas dedicadas al tema.

Algunas de las instituciones públicas de educación superior que se han dedicado a realizar estudios sobre las construcciones con tierra, están, entre otras: la Universidad Autónoma de Tamaulipas, con investigadores tales como Rubén Salvador Roux Gutiérrez. También está la Universidad Autónoma Metropolitana de Xochimilco, con investigadores como Francisco Javier Soria López y Luis Fernando Guerrero Baca. Éste último es Coordinador del Comité Científico de Tierra del ICOMOS Mexicano y de la Red Iberoamericana PROTERRA.

En el ámbito académico, la arquitecta Cicero desarrolló en el año 2008 un trabajo de tesis para obtener el grado de maestría en el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, campus Monterrey cuya finalidad era establecer las implicaciones que tendría el uso del bloque de tierra compactada en el diseño de una vivienda de interés social. En su investigación, denominada *"Implicaciones del uso de bloque de tierra comprimida en el diseño de vivienda de interés social en Monterrey, Nuevo*

---

<sup>3</sup> En su artículo "La Construcción con Tierra en México", Roux y Espuna (2005) abordan el tema del estado de la investigación de materiales de tierra en México. Enumeran los principales investigadores reconocidos en nuestro país que han contribuido con aportaciones importantes al tema. Sin embargo, afirman que no existe una vinculación entre ellos y sus trabajos son escasamente difundidos, haciéndolo por lo general a través de iniciativa propia y quedándose sólo como proyectos, sin alcanzar el grado de textos. Es por ello que recomiendan trabajar coordinadamente para que las técnicas de tierra tengan mayor impulso en México, buscando que tanto los institutos como los constructores, adopten estos sistemas, permitiendo así que se construyan más viviendas con dichos materiales.



León” documenta los trabajos realizados por los gobiernos de Nuevo León, Coahuila y Tamaulipas en cuanto a la instauración de programas de vivienda social empleando BTC. Además, realiza una descripción detallada del sistema constructivo Hydraform, y su aplicación a la construcción de viviendas en Monterrey. Como resultado final, elabora una propuesta de anteproyecto para vivienda de interés social, empleando el sistema antes mencionado.

Dentro del ámbito empresarial, existe una organización sin fines de lucro: el Instituto Tierra y Cal, A.C, cuya misión es mejorar la calidad de vida de las personas que viven en comunidades rurales y marginadas, proporcionándoles la capacitación y asistencia técnica para construir con bloques de tierra compactada. (Tierra y Cal, A.C., 2013). Se encuentra ubicado en San Miguel de Allende, Guanajuato y busca promover en esa región la construcción de Centros de Tecnologías Apropriadas y Sustentabilidad Indígena (CATIS), apoyándose con otras empresas, como: Ingenieros Sin Frontera México y Birambye Internacional. Actualmente cuenta con varios proyectos en los que ha brindado asesoría técnica dentro del territorio nacional.

Otra empresa que también tiene como finalidad impulsar la autoconstrucción y la utilización de adoblocks, es “Échale a tu casa”, cuyos programas para edificación de viviendas han tenido resultados positivos en varios estados, tales como: Campeche, Chiapas, Durango, Jalisco, Michoacán, Estado de México, Morelos, Oaxaca, Puebla, Tabasco, Tamaulipas y Veracruz. (¡Échale! A tu casa, 2013)

En la búsqueda de información generada en México y que pudiera ser referencia para el tema de la presente investigación, se encontró que no se ha desarrollado mucho al respecto. Sin embargo, existen algunos trabajos relevantes, que se han enfocado principalmente en mejorar las características físicas, químicas y mecánicas del bloque de tierra compactada y plantean futuras líneas de investigación en torno al tema.

El primero de ellos es un estudio realizado por el Instituto Politécnico Nacional, a través del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR) Unidad Oaxaca, que experimentó en pilas de bloques de tierra compactada divididas en dos grupos: 1) el primero, reforzadas con malla hexagonal de 1" de abertura; 2) el otro, reforzada con malla electrosoldada 6x6-10/10. El objetivo principal fue determinar la influencia del refuerzo, de acuerdo a normas mexicanas. Esta investigación, denominada "*Ventajas del reforzamiento de muros de bloques de tierra compactados (BTC), como opción para el rescate de viviendas rurales*" se aplica para el estado de Oaxaca, el cual tiene un alto grado de sismicidad, por lo que el factor de seguridad es importante a tomar en cuenta en el uso de nuevos materiales, como el BTC. Para las pruebas, se fabricaron los bloques estabilizados con 8% de cemento y se utilizó una prensa mecánica. Posteriormente se construyeron pilas y muretes para determinar su resistencia a la compresión en pila, compresión diagonal y flexión lateral. Como resultados, se obtuvo lo siguiente: para el primer ensayo, la carga máxima admisible se incrementó en el grupo donde se utilizó la malla electrosoldada, pero no su resistencia. En la segunda prueba, el incremento en la carga máxima admisible y resistencia fue significativo para los dos grupos. Y para la flexión, los incrementos fueron altamente significativos para el grupo reforzado con malla electrosoldada. A partir de este estudio, los investigadores consideran que aunque se contribuyó al conocimiento del comportamiento del BTC bajo diversas acciones de carga, recomiendan realizar más ensayos para corroborar los resultados. (Juárez, Caballero y Morales, 2010).

Otro ejemplo que también analiza el tema del refuerzo, es un artículo presentado en el Seminario Exposición: "La tierra cruda en la construcción del hábitat", el cual expone los resultados de la investigación realizada con el objetivo de mejorar el bloque de tierra compactada, estabilizado con el 6% de cemento Portland tipo I y fibra de coco como material de refuerzo, para determinar si puede ser utilizado como material en muros de carga para la

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

vivienda de interés social de Tampico, Madero y Altamira, ciudades del estado de Tamaulipas. En el trabajo, llamado *“Utilización de ladrillos de adobe estabilizados con cemento Portland al 6% y reforzados con fibra de coco, para muros de carga en Tampico”* se concluye que el mejor porcentaje de fibra de coco para refuerzo en el BTC, es del 1%, ya que si este porcentaje se incrementa, afectaría la resistencia a la compresión, y hace más poroso el material, lo que perjudica en el caso de utilizarlo en zonas húmedas. Otro aspecto que se concluyó fue el hecho de que al fabricar los bloques con máquinas hidráulicas, se obtuvieron mejores resultados en cuanto a las características físicas y mecánicas, que los producidos con prensas manuales. (Roux, 2002).

Para el tema de mejorar las características físico-químicas y mecánicas del BTC, se mencionan dos ejemplos. El primero es de la Universidad Autónoma de Tamaulipas, donde se desarrolló un trabajo de investigación nombrado *“El hidróxido de calcio y los bloques de tierra comprimida, alternativa sostenible de construcción”*, en el cual se realizó el estudio químico del mortero cal-arena utilizado comúnmente en la construcción, y además analizaron las propiedades mecánicas del BTC estabilizado con cal. Uno de los objetivos de la investigación era determinar si el uso de la cal, tanto en el mortero como en el bloque, podía contribuir a reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> al medio ambiente. Los resultados indicaron que el BTC estabilizado con el 7% de cal, presentó valores de resistencia a la compresión simple superiores a lo mínimo indicado en las normas mexicanas; de igual forma, en las pruebas para determinar las propiedades de absorción, los BTC se encontraron dentro del rango marcado por el reglamento. Finalmente, en el estudio realizaron un comparativo en cuanto a las emisiones de CO<sub>2</sub> y consumo energético entre los materiales convencionales con respecto al BTC y la cal, resultando que el edificar las viviendas con éstos últimos presenta un ahorro del 25% de energía y se reducen en más de 1 millón de toneladas las emisiones de CO<sub>2</sub>. (Roux y Espuna, 2012).

El segundo ejemplo es un proyecto desarrollado también por investigadores de la Universidad Autónoma de Tamaulipas, ahora en conjunto con la Universidad Autónoma Metropolitana, fue el denominado “Desarrollo de materiales y técnicas de construcción de bajo impacto ambiental para el diseño arquitectónico y la conservación del patrimonio edificado”, el cual planteó como uno de sus primeros objetivos el mejoramiento de los bloques de tierra compactada, enfocándose en el uso de la cal, principalmente, ya que este material, en comparación al cemento, tiene mayores cualidades en cuanto a su porosidad y permeabilidad, es más económico, contamina menos y existe una gran tradición histórica para la construcción de edificios en México. Los experimentos realizados en el laboratorio de materiales de la UAM-Xochimilco se dividieron en tres grupos: 1) cantidad de cal necesaria para estabilizar los suelos y el impacto que este volumen tendría en la resistencia de la tierra; 2) tipo de cal utilizada; 3) tipo de tierra utilizada para la fabricación y el impacto de ella en la resistencia a la compresión y a la absorción capilar. Para la primera prueba, se utilizó el método propuesto por los investigadores Eades & Grimm con base en la norma ASTM C997-00, dando como resultado que el mejor porcentaje para estabilizar los BTC era del 6% de cal. En el segundo experimento, se concluyó, tomando como parámetro comparativo la resistencia a la compresión, que la cal en polvo otorgaba valores superiores con respecto a la cal en pasta: 79.67 kg/cm<sup>2</sup> con 7% de cal en polvo, contra 41.30 kg/cm<sup>2</sup> con 7% de cal en pasta. Finalmente, en la tercera prueba, se observó que de los dos tipos de tierra utilizadas: el tepetate y la tierra de Chalco, el primero presentó mayores valores de resistencia. Y en cuanto a la absorción hídrica, se pudo concluir que entre mayor porcentaje de cal tenía el bloque, disminuyó la absorción, esto para los dos tipos de tierra utilizados. (Soria et al ,2011).

A partir de los resultados presentados en estos trabajos, los especialistas en el tema han podido avanzar en el desarrollo de nuevas líneas de investigación. Una de ellas es la elaboración del diseño de estructuras piloto con BTC, para

evaluar las condiciones bioclimáticas así como procesos de deterioro por la exposición directa a agentes naturales. En el laboratorio, las pruebas continúan, ahora enfocadas a aspectos como retracción lineal, abrasión por agua a presión, adherencia, penetración y deterioro acelerado. También buscan adecuar la prueba de Eades & Grim para dosificar apropiadamente la cantidad de cal requerida para la elaboración de bloques de tierra compactada. (Guerrero et al, 2010).

### **2.2.3 Generalidades del material**

Los bloques de tierra compactada (BTC) ó Compressed Earth Block (CEB, por sus siglas en inglés) fueron concebidos desde la década de 1950. El Centro Interamericano de Vivienda y Planeamiento de Colombia realizó un programa de investigación y construcción con tierra, desarrollando un modelo simple de una prensa manual para la fabricación de estos bloques, hoy conocida como CINVA RAM (Garzón y Martins, 2007).

Existen en la actualidad máquinas bloqueras basadas en ésta, que han realizado adaptaciones a la misma, de acuerdo a sus necesidades. Un ejemplo es la máquina fabricada y utilizada por el Instituto Tamaulipeco de Vivienda y Urbanismo (ITAVU) como parte del programa de mejoramiento de vivienda rural en ese estado. (Figura 7)



Figura 7. Máquina bloquera del ITAVU, basada en la CINVA RAM. Fuente: Cicero, 2008

La empresa Hydraform, fundada en 1988, y cuya planta principal se encuentra en Sudáfrica, también fabrica máquinas para elaborar bloques de tierra, pero a diferencia de las mencionadas anteriormente, éstas son hidráulicas, y están disponibles en opciones a diesel o eléctrica. Este sistema y sus productos son utilizados actualmente en más de 50 países alrededor del mundo. (Figura 8) El representante en México de esta empresa es Potencia Hidrostática, S.A de C.V., cuya fábrica se encuentra en la ciudad de Torreón, Coahuila. (Cicero, 2008).



Figura 8. Ejemplo de máquina bloquera tipo hidráulico de la empresa Hydraform. Fuente: <http://www.hydraform-espanol.com/maquinas-bloques.html>

Otro ejemplo de maquinaria tipo hidráulico para elaborar los bloques es la denominada Adopress, desarrollada por el Instituto CRATerre de la Universidad de Grenoble, Francia en conjunto con la empresa Ital Mexicana, S.A. (Figura 9). Esta empresa fue fundada en México en el año 1961 y está dedicada a la producción de maquinaria para la producción de materiales de construcción, entre ellos el *adoblock*, como es denominado al bloque de tierra. La Adopress cuenta con varios modelos y opera con un motor eléctrico trifásico, un motor a gasolina o diesel y es fácil de transportarse. (Ital Mexicana, S.A, 2013).



Figura 9. Ejemplo de máquina bloquera Adopress de ITAL Mexicana, S.A. Fuente: [http://www.italmexicanamty.com/equipos\\_adoberas.htm](http://www.italmexicanamty.com/equipos_adoberas.htm)

Finalmente, existe una empresa denominada Tecno Adobe, originaria del estado de Puebla, también dedicada a la fabricación de maquinaria, tanto manual como hidráulica para la elaboración de bloques de tierra (Figuras 10 y 11). Con este proveedor, el grupo Calidra en su planta Aguascalientes, adquirió la máquina manual modelo TA-100 para elaborar bloques. Más adelante se profundizará en el proceso llevado a cabo en dicho lugar, durante una visita de campo realizada en la planta.

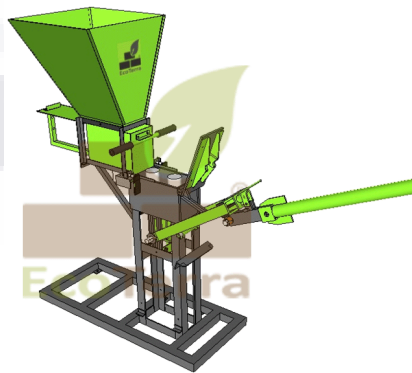


Figura 10. Máquina TA-100 tipo manual para elaborar bloques de tierra. Fuente: <http://www.tecnoadobe.com.mx/index.php/maquinaria/ta100>



Figura 11. Máquina TA-100H tipo hidráulica para elaborar bloques de tierra. Fuente: <http://www.tecnoadobe.com.mx/index.php/maquinaria/ta100h>

En cuanto a las características generales de los bloques de tierra compactada, se trata de componentes que poseen una serie de cualidades comparativas con sistemas constructivos tradicionales de tierra, como el adobe, el bajareque o el tapial. Estas virtudes se derivan de la homogeneidad de su calidad, la poca cantidad de agua que se requiere para su preparación, la versatilidad de su trabajo estructural, su facilidad de elaboración y autoconstrucción, así como la posibilidad de realizar estructuras con espesores notablemente menores. Sin embargo, es necesario reconocer que se trata de piezas con cierta fragilidad para su transporte y almacenamiento, con algunos problemas de adherencia a los morteros por su nivel de compactación, y sobre todo altamente vulnerables ante la presencia del agua que proviene de la lluvia o de la absorción capilar de los mantos freáticos, factores que comprometen su integridad y durabilidad. Ante esto, y como resultado de la investigación documental de los mecanismos de estabilización utilizados, se encontró que los bloques que mayor difusión han alcanzado y sobre los que es posible encontrar normas para su elaboración y manejo, son los que utilizan cemento como sustancia estabilizante. (Guerrero et al, 2010).

Aunque también existe otro elemento que se utiliza para estabilizar el BTC: la cal. Éste es un material que posee ventajas de tipo ecológico sobre el cemento: requiere menor tiempo y temperatura de calcinación para su



TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

fabricación, presenta cualidades higiénicas y no interfiere en el flujo natural de aire y vapor de agua que requieren las estructuras de tierra. Además, en nuestro país es un material que tiene un costo notablemente menor al del cemento<sup>4</sup>, lo que le da una enorme ventaja competitiva si se plantea como recurso alternativo para su aplicación en la edificación masiva de viviendas. (Guerrero et al, 2010).

#### **2.2.4 Proceso de fabricación**

En base a lo revisado en la información bibliográfica, se puede mencionar que no existe una metodología a seguir para elaborar bloques de tierra compactada. Diversos autores indican los pasos generales; sin embargo, también expresan que se deben realizar ensayos y pruebas para determinar las cantidades de los materiales a utilizar.

En este apartado se describirá el proceso de fabricación para los bloques de tierra compactada en algunos países de Latinoamérica donde se han realizado investigaciones y proyectos en torno al uso de este material, ya que aquí en México, y en particular en Aguascalientes, existe poca información generada respecto a cómo se lleva a cabo la producción del bloque. Asimismo, se explicará el proceso visto en campo durante una visita a la planta Calidra, ubicada en Av. Héroe de Nacozari Norte s/n Fracc. Las Hadas, en la ciudad de Aguascalientes, lugar donde es objeto la presente investigación. Esto con la finalidad de obtener los criterios necesarios para realizar la comparativa de este material con el tabique de barro recocido.

##### **2.2.4.1 Materia prima**

###### **Tipo de suelo**

Para McHenry (1996), la tierra utilizada para usarse en la construcción de muros, debe contener cuatro elementos: arena gruesa o agregado, arena fina,

---

<sup>4</sup> En promedio, ya que varía según el fabricante, el precio para el cemento gris es de \$1,910 por tonelada, incluyendo IVA. Para la cal es de \$1,440 con IVA incluido. (Fuente: cotizaciones con proveedores de materiales en Aguascalientes). La diferencia en precio entre un material y otro es de \$470 por tonelada, lo que representa un ahorro del 24.6%.

sedimento y arcilla. Cualquiera de ellos podría no estar presente y aún así la tierra puede formar ladrillos satisfactorios. Los diferentes elementos se podrían equiparar con los ingredientes del concreto: grava, arena y cemento. La arena gruesa o agregado sería la grava; la arena fina, la arena; y el sedimento y la arcilla serían el cemento. La arena gruesa proporciona fortaleza, la arena fina es un relleno para enlazar los granos del agregado, y el sedimento y la arcilla actúan como ligadura y medio plástico para pegar los otros ingredientes. Según el autor, las estructuras de tierra con un alto porcentaje de agregado pueden ser fuertes al secarse, pero son más vulnerables a la erosión ocasionada por la lluvia. Las estructuras con mucha arcilla pueden ser mucho más resistentes al agua y a la erosión, pero menos fuertes.

De acuerdo a esto, los porcentajes promedio que propone en su libro *Adobe, cómo construir fácilmente*, en cuanto a la composición del material para estructuras de tierra son los siguientes:

Arena o agregado grueso	23%
Arena fina	30%
Sedimento	32%
Arcilla	15%
<b>Total</b>	<b>100%</b>

Tabla I. Porcentajes promedio de composición material para adobes. Fuente: McHenry Graham, 1996. Pág. 65

Otros autores como la arquitecta Gatani (2002), en su ponencia sobre la investigación relativa a la producción de bloques de suelo-cemento realizada en el Centro Experimental de Vivienda Económica (CEVE) en Argentina, recomienda lo siguiente: a) que el suelo tenga presencia de arena, limo y arcilla; aunque éstos últimos en escasa proporción para que den cohesión a la mezcla y composición granulométrica, sin que produzcan contracciones bruscas; b) se debe extraer a una profundidad mayor a 40 cm, para quitar la capa vegetal superficial; c) el suelo a emplear debe estar limpio de basura y no

debe contener materia orgánica que pueda descomponerse en el tiempo; d) debe evitarse usar suelos que cambien mucho su volumen según se humedezcan o se sequen (arcillas expansivas; suelos orgánicos, etc.). Asimismo, propone que la proporción óptima es de 75% arena y 25% de limo y arcilla.

En el *Manual para la Construcción de Viviendas de Adobe*, elaborado por un grupo de investigadores de la Universidad Nacional de Ingeniería en Lima, Perú, recomiendan que la tierra debe estar formada por 25% a 45% de limos y arcilla y el resto de arena. Que la proporción máxima de arcilla será del 15 al 17%, y no usar tierra de cultivo. (Morales, Torres, Rengifo e Irala, 1993).

Dentro del contexto nacional, el Instituto Tierra y Cal A.C de Guanajuato, en su página web menciona que el tipo de suelo requerido para fabricar los BTC debe contar con un porcentaje del 12% al 25% de arcilla. Asimismo, recomienda que para el suelo con alto contenido de arcilla puede ser mezclado con arena o suelo arenoso para contar con una mezcla ideal. (Tierra y Cal, A.C., 2013).

Otro ejemplo dentro del país es el *Manual de Construcción de Adoblocks*, elaborado por la SEDESOL en Chiapas. Mencionan que la proporción de la materia prima para fabricar adoblock dependerá de los componentes y texturas del suelo con los que se cuenta en la zona. Aunque consideran que la proporción ideal es de: 50% de arena, 30% limo y 20% arcilla. (SEDESOL, 2000).

Como se puede apreciar, la mayoría coincide en que la tierra debe contener el mayor porcentaje de arena, y la arcilla en menor cantidad. Sin embargo, esto sólo es como recomendación, ya que, de acuerdo a lo indicado por McHenry (1996) si las proporciones no son las adecuadas en el suelo encontrado, se puede modificar o balancear agregándole otro material. Y en cuanto a su disponibilidad, el autor menciona que se puede encontrar la tierra adecuada casi en cualquier parte, buscando que sea lo más cercano posible al sitio de construcción para minimizar los costos de transporte. También el Instituto Tierra y Cal, A.C coincide con esto, indicando en su página web que

aproximadamente el 65% de la tierra de nuestro planeta puede ser usada para la fabricación de bloques y que puede ser encontrada en diferentes locaciones (Tierra y Cal, A.C., 2013).

### Agua

En cuanto al componente agua, diversos autores sólo dan recomendaciones generales, sin especificar proporciones a utilizar. Por ejemplo, Gatani (2002) menciona que es necesario controlar la cantidad de agua de la mezcla, ya que si la mezcla se hace demasiado seca o excesivamente húmeda, ambos estados se reflejan en la "trabajabilidad" del material y posteriormente en la resistencia y durabilidad del mismo. También indica que la cantidad de agua a incorporar se determina empíricamente a pie de producción.

McHenry (1996) indica que prácticamente el agua de cualquier procedencia será adecuada, sólo deberá ser baja en sales disueltas, ya que al secar, los cristales de sales se recrystalizarán y pueden causar daño físico a la superficie del bloque.

Cicero (2008) indica que el agua utilizada en la producción debe estar limpia, ya que las aguas negras contienen materia orgánica que afectaría las propiedades del material por sus procesos de putrefacción.

En el Manual de Hydraform, se dice que la cantidad de agua requerida varía según el contenido de humedad del suelo, pero que por lo general no es más de un litro por bloque. (Hydraform Training Manual, 2012)

En la investigación desarrollada por la Universidad de la República-Regional Norte de Uruguay,<sup>5</sup> determinan que la cantidad de agua por agregar a la mezcla dependerá del contenido natural de humedad que posea la tierra

---

<sup>5</sup> En la Universidad de la República-Regional Norte de Uruguay, se llevó a cabo un Programa de desarrollo tecnológico, denominado PDT 16/15, el cual tiene como objetivo la capacitación y transferencia del conocimiento y experiencia adquiridos en la técnica del BTC, respondiendo a los recursos y potencialidades técnicas y económicas de la comunidad desarrollando las capacidades de sus integrantes. Dentro del marco de este proyecto, se prevé la construcción de un prototipo de dos dormitorios de aproximadamente 50 m<sup>2</sup> en la localidad de Cerro del Ejido, al sur de la ciudad de Artigas, Uruguay. (Manual de Bloques de Tierra Comprimida, 2006).

utilizada. Por otra parte, recomiendan que lo correcto es guiarse por el Contenido de Agua Óptimo (CAO), determinado por la prueba Proctor; en ella se indica la humedad óptima de compactación de un suelo, que permita alcanzar la densidad más elevada. (Manual de Bloques de Tierra Comprimida, 2006).

Sin embargo, a pesar de que existe forma de calcular la cantidad de agua a utilizar, la mayoría de los autores recomiendan hacerlo de manera práctica, ya sea mediante la “prueba de la bola”, que se describirá más adelante en el apartado de mezclado; o bien, por medio de ensayos sucesivos, pesando los bloques a medida que se van elaborando, hasta llegar a obtener las piezas más pesadas, es decir, las de mayor densidad, tal como lo hicieron en la investigación mencionada en el párrafo anterior.

En resumen, la mezcla deberá estar siempre húmeda, no pastosa ni diluida y la cantidad va a depender de las características del suelo. Para los bloques fabricados en la planta Calidra, se observó que el agua se iba agregando conforme se requería, en base a la cantidad de cal y el tipo de tierra utilizados.

#### **Componentes adicionales**

Existen diversos materiales que se utilizan para mejorar las propiedades de la mezcla con tierra y elevar su resistencia. Uno de ellos es el cemento gris, el cual trabaja como cementante, debido a que tiene propiedades de adhesión y cohesión necesarias para unir agregados y conformar una masa sólida de resistencia y durabilidad adecuada. Otro material es la cal, que actúa como estabilizador, ya que modifica las condiciones naturales de los suelos por medio de procesos químicos<sup>6</sup>.

---

<sup>6</sup> La estabilización de la tierra con cal se sustenta en la actividad conjunta de cuatro procesos: Intercambio iónico, floculación, acción puzolánica y carbonatación. Los primeros dos tienen una acción inmediata; en cambio, el tercer y cuarto mecanismo se desarrollan durante períodos prolongados y generan la cementación del material. Sin embargo, como mencionan Soría y otros (2011): “un factor crucial es la cantidad de cal que se agrega a la tierra, la cual estará en función tanto del volumen de óxido e hidróxido de calcio disponible en el estabilizante, como de

En la información revisada, se emplea indistintamente el término estabilizador para la cal y el cemento; a continuación se refieren las proporciones que recomiendan utilizar para la fabricación de BTC.

Para Cicero (2008), la cantidad de cemento agregado depende de la composición de la tierra, misma que debe analizarse previo a la producción de los bloques. Para el caso de los BTC fabricados con el sistema Hydraform, se utiliza el cemento como estabilizador en un rango entre 4 y 10% del peso de la tierra en seco.

Esto coincide con la proporción manejada por el Instituto Tierra y Cal, ya que indica que la cantidad de estabilizante debe ser del 4 al 10%, ya sea cal o cemento. (Tierra y Cal, A.C.,2013).

En la investigación desarrollada por la Universidad de la República-Regional Norte de Uruguay, proponen estabilizar el bloque de tierra con cemento. Y en cuanto a la cantidad a utilizar, indican que dependerá del tipo de suelo, pero que en general se trabaja con un porcentaje del 8 al 12% en peso. Asimismo, recomiendan no utilizar contenidos inferiores al 5%, y no superar el 12%. (Manual de Bloques de Tierra Comprimida, 2006).

Coinciden con la investigación de Cicero (2008), en el hecho de que para tierras arenosas, se obtienen mejores resultados al estabilizarlas con cemento, y para el caso de las tierras arcillosas, lo mejor es usar cal.

Gatani (2002) en su investigación, indica que en proporciones óptimas de arena, limo y arcilla, la proporción adecuada es de 9 partes de suelo por cada parte de cemento, medidos en volumen.

Para el caso particular de Aguascalientes, el suelo que prevalece es el clasificado como arenas arcillosas, conocido como "tepetate". En este tipo de suelos predominan las arenas, por lo cual, según se ha citado en los apartados

---

la proporción y tipo de arcillas presentes en el suelo, ya que es con estas sustancias con las que actúa la cal."

anteriores, se recomendaría agregar finos y aplicar el cemento como componente adicional para mejorar las características del suelo.

#### 2.2.4.2 Mezclado

Previo a este proceso, se lleva a cabo un tamizado, el cual consiste en pasar el material seleccionado a través de una malla de alambre de 1/4" a 3/8". (Tierra y Cal, A.C.,2013).

El proceso de tamizado tiene como finalidad desarmar los terrones producidos por la humedad. Esta etapa tiene efectos importantes en la calidad del bloque, ya que evitará la presencia de grumos. (Gatani, 2002).

Se recomienda mezclar en seco la tierra ya tamizada, con el estabilizador, sea éste el cemento o la cal. Posteriormente se agrega el agua, poco a poco, buscando que la distribución sea homogénea, y mezclar preferentemente tres veces. (Figura 12).

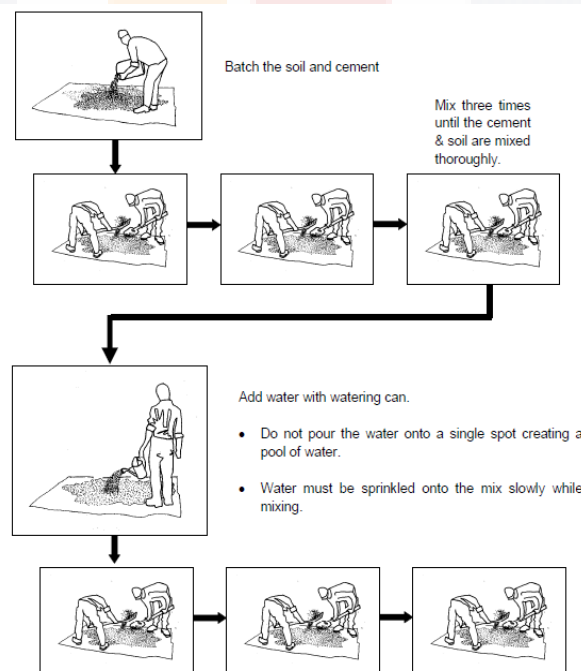


Figura 12. Proceso de mezclado para fabricación de BTC. Fuente: Hydraform Training Manual, 2012

Posterior al proceso de mezclado, se realiza una prueba para verificar el contenido de humedad. Dicha prueba es conocida como “prueba de la bola” o “prueba de la caída”. Se realiza lo siguiente:

- Formar una pequeña bola con la mezcla.
- Dejar caer la bola desde la altura de la cintura.
- Pueden ocurrir tres opciones: a) si se rompe en varios pequeños pedazos, la mezcla está muy seca; b) si se despedaza en 5 ó 6 partes, el contenido de humedad es el correcto; y c) si no se rompe o suelta pocos pedazos, es porque está muy húmeda. (Figura 13)

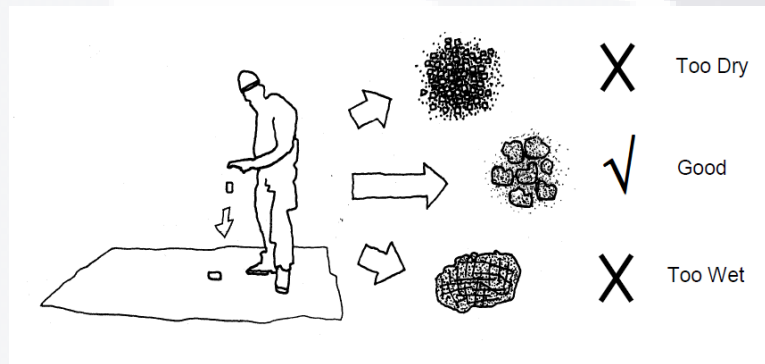


Figura 13. Prueba realizada para verificar el contenido de humedad en la mezcla. Fuente: Hydraform Training Manual, 2012

#### 2.2.4.3 Compactación

Como se mencionó en párrafos anteriores, existen máquinas tanto manuales como mecánicas para elaborar los bloques. Aquí se abordará el proceso llevado a cabo únicamente con máquinas manuales, ya que se realizará la comparativa con el proceso del tabique rojo recocido, que se lleva a cabo de manera artesanal, utilizando medios manuales.

La máquina manual consiste en una caja metálica de acero, con un pistón operado manualmente por medio de un brazo de compresión que al hacer palanca eleva la plataforma inferior comprimiendo el bloque contra la tapa. Al fondo del molde se le pueden atornillar matrices de madera con lo cual se conforman distintos tipos de bloques huecos. El prensado implica varias tareas:



- Aceitar la caja, colocar la tierra y correr la tapa. No se debe presionar la tierra con las manos antes de prensar. Sólo se presiona ligeramente las esquinas del molde.
- Mover la palanca de modo de sacar la traba.
- Mover la palanca para proceder al prensado.
- Regresar la palanca a la posición inicial.
- Correr la tapa y mover la palanca.
- Retirar el bloque y acopiar.

(Manual de Bloques de Tierra Comprimida, 2006).

#### **2.2.4.4 Secado**

El bloque acopiado se cubre con plástico para mantener la humedad. Hay que mantenerlos protegidos del sol y del viento. Después de 4 a 6 horas de fabricados se inicia el proceso de curado. Para ello se riega de 2 a 3 veces por día durante una semana como mínimo. La edad mínima recomendada para el empleo de los bloques en la construcción es de 21 días, luego que ha ocurrido la mayor parte de la retracción del material. Una vez utilizada, la máquina puede limpiarse con kerosen o aceite usado de motor, que ayuda a evitar la oxidación. (Manual de Bloques de Tierra Comprimida, 2006).

Luego de que los bloques adquieren resistencia inicial, los mismos son acopiados protegidos del sol y del viento, para evitar contracciones por secado rápido. Son cubiertos con polietileno, y son humectados dos veces por día durante al menos los primeros 6 días de estiba. Los bloques no son empleados en mamposterías antes de transcurridos 21 días desde la fabricación. (Manual de Bloques de Tierra Comprimida, 2006).

Hasta esta parte de la investigación se ha descrito el proceso de fabricación de acuerdo a lo documentado en investigaciones y manuales desarrollados en distintas partes de Latinoamérica. Ahora se procederá a describir el proceso observado dentro del contexto local, en Aguascalientes.

#### **2.2.4.5 Proceso llevado a cabo en Aguascalientes**

La aplicación del sistema constructivo a base de bloques de tierra compactada en Aguascalientes, incluyendo su proceso de fabricación, es incipiente aún. Al día de hoy, todavía no se han realizado investigaciones relevantes sobre el tema, o bien no se han difundido.

En este contexto, ya se ha dado un inicio por parte del gobierno del estado, que en el año 2011 dio a conocer un programa de beneficio social denominado "Autoconstrucción Asistida para Vivienda" promovido por el Instituto de Vivienda Social y Ordenamiento de la Propiedad (IVSOP), en conjunto con la Sociedad Hipotecaria Federal (SHF) y dos Agencias Productoras de Vivienda Social con reconocimiento nacional (Programa "Échale a tu casa"). El programa consiste en que las familias de los municipios a los que extiende sus beneficios el IVSOP, construirán o ampliarán viviendas con gran solidez constructiva primordialmente con muros levantados con adoblock, utilizando tecnología, asesoría, supervisión y orientación de las agencias productoras de vivienda asistida, así como de techos y un firme o pisos, muros perimetrales y acabados. Todo ello por etapas, acordes a las necesidades y gustos personales de cada familia, con base a un crédito financiado acorde igualmente a sus posibilidades. (La Jornada Aguascalientes, 2011).

Según mencionó el entonces director general del IVSOP, Juan Carlos Rodríguez García, en una gira por los municipios de San José de Gracia, Cosío, Rincón de Romos y El Llano, el programa trae consigo grandes beneficios, entre ellos: generación de empleos en las comunidades, uso de materiales de la región y consumo a proveedores de materiales locales. (La Jornada Aguascalientes, 2011).

A la fecha, este programa está en proceso de implementación, por lo que aún no se tienen resultados finales del mismo. Sin embargo, se ha logrado un avance en la capital de Aguascalientes, donde se ha iniciado un proyecto integral denominado "Programa de Vivienda Sustentable para Comunidades Vulnerables en los Medios Rural y Suburbano", en el cual participan: el Instituto

Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM) campus Aguascalientes; la empresa Calidra y el gobierno del estado, representado por el Instituto de Vivienda Social y Ordenamiento de la Propiedad (IVSOP). Este proyecto tiene como uno de sus objetivos principales "crear un modelo de vivienda que posea características ecológicas, confortables y durables, aunado a la utilización de un sistema de bajo costo y de fácil ensamble-construcción". Actualmente ya se cuenta con un predio donde llevar a cabo la ejecución del prototipo de vivienda, el cual se construirá con bloques de tierra compactada. Dentro de este marco, en el laboratorio de la empresa Calidra se llevaron a cabo pruebas para evaluar las propiedades físico-mecánicas de los bloques, y como parte del presente trabajo de investigación, se realizó una visita de campo a ese lugar, con el objetivo de observar cómo se elaboraban los bloques. Más adelante se detalla el proceso visto en la mencionada visita.

En cuanto a la situación de los bloques de tierra compactada en el municipio de Aguascalientes, actualmente no existe alguna empresa que se dedique a comercializar el BTC. Así que se optó por buscar proveedores locales que estuvieran relacionados con el proceso.

Fue así como se contactó a una persona en cuyo predio, ubicado en Norias de Paso Hondo, comunidad de Aguascalientes, cuenta con dos máquinas para elaborar BTC; sin embargo, en las visitas realizadas para conocer el proceso de elaboración, no se logró fabricar bloques que cumplieran con los requerimientos mínimos, ya que algunos se desmoronaban, o bien se quedaban pegados al molde de la máquina, ya que era a base de un sistema de ensamblado. (Figuras 14 y 15). Esto se debía principalmente a problemas de presión de compactación en las máquinas.



*Figura 14. Vista del bloque de tierra compactada recién elaborado en el predio ubicado en Norias de Paso Hondo, Aguascalientes.*



*Figura 15. Vista del bloque de tierra compactada con aristas despostilladas.*

Posterior a esto, se tuvo conocimiento que la empresa Calidra había adquirido una máquina manual modelo TA-100 con la empresa Tecno Adobe, (Figura 16) la cual se requería para llevar a cabo las pruebas mencionadas en párrafos anteriores. Fue así como se concretó la visita de campo en la planta de dicha empresa.



*Figura 16. Vista de la máquina manual TA-100 para fabricar bloques de tierra compactada en la planta Calidra.*

A continuación se describirá el proceso observado en el laboratorio de la planta antes mencionada, para fabricar BTC.

Se comenzó con el cribado del material, que anteriormente se obtuvo del municipio de San Francisco de los Romo y ya se tenía físicamente en el laboratorio. El tipo de material utilizado fue el tepetate, ya que es el que más comúnmente se encuentra en Aguascalientes, a una profundidad de 0.40 mts aproximadamente del nivel del suelo. El tipo de malla utilizada para el tamizado fue del número 4, ó de 4.76 mm. (Figura 17).



*Figura 17. Herramientas utilizadas para el tamizado del material obtenido para la fabricación de BTC.*

Posteriormente, se realizó el mezclado del tepetate con la cal, y como se están realizando pruebas con diferentes dosificaciones de cal, la cantidad utilizada para cada componente era muy importante. En este caso la proporción fue del 3% de cal para cada kilogramo de suelo. Es así que para 7 kgs de tepetate, se le adicionaron 210 gramos de cal. (Figura 18). Este proceso se realiza en seco, y según se aprecia en la figura 19, se lleva a cabo con las manos, y en ocasiones, se utiliza una espátula.



*Figura 18. Tepetate y cal colocados previo al mezclado.*



*Figura 19. Mezclado en seco del tepetate y la cal.*

Una vez que los dos componentes están integrados, se adiciona el agua, que para este caso fue de 1.40 litros. Como se mencionó anteriormente, la cantidad de agua depende del tipo de suelo, y se sabe que éste ha

alcanzado la humedad óptima realizando la "prueba de la bola", antes descrita. (Figuras 20 y 21).



Figura 20. Agregado de agua a la mezcla.



Figura 21. Prueba para verificar el contenido de humedad.

Ahora se procede a vaciar la mezcla en la parte superior de la máquina, para que posteriormente caiga en la caja inferior, la cual se corre hacia adelante para que el contenido llegue al molde. Una vez que la mezcla se encuentra en el molde, se acomoda para que no queden huecos, y ahora sí, se realiza el prensado girando la palanca hacia abajo. (Figuras 22 y 23).



*Figura 22. Proceso de acomodo de la tierra en el molde de la máquina.*



*Figura 23. Proceso de prensado manual.*

Finalmente, una vez que se tiene el bloque con las características adecuadas, es decir, que no se desmorone al sacarlo del molde, o que se quede pegado al mismo, lo siguiente es transportarlo a un área para que se realice el proceso de secado. (Figuras 24 y 25).





*Figura 24. Obtención del bloque compactado.*



*Figura 25. Vista del bloque terminado.*

Hasta aquí se ha descrito el proceso de producción para los bloques de tierra compactada. A continuación se describen algunos aspectos relacionados con el proceso y que pueden servir de base para establecer criterios a aplicar en la comparativa de este material con el tabique de barro recocido.

#### **2.2.4.6 Producción por día**

Para el aspecto de la productividad, se manejan diversas cantidades. Por ejemplo, el Instituto Tierra y Cal, indica que con la prensa manual se pueden fabricar 100 piezas de BTC por hora, aproximadamente unos 800 BTC por día, con un equipo de trabajo integrado por 7 personas. (Tierra y Cal, A.C., 2013). Esto quiere decir que una persona fabrica 14 piezas por hora, lo que se traduce en 112 BTC al día, tomando una jornada de 8 horas. Si consideráramos un equipo de dos personas, fabricarían el doble, es decir, 224 piezas de bloques al día. Esta cantidad se acerca a lo propuesto por el Manual de Bloques de Tierra Comprimida de la Universidad de Uruguay, en el cual se estima que se puede alcanzar una productividad de 250 piezas al día, con un equipo de dos personas sin experiencia previa. (Manual de Bloques de Tierra Comprimida, 2006).

Sin embargo, de acuerdo a lo observado en la visita de campo, estos números son optimistas, ya que realmente se logran fabricar de 20 a 25 bloques por hora, con un equipo integrado por dos personas. Esto se traduce en que al día se producen de 160 a 200 piezas. Dentro del proceso de fabricación, se podría decir que la etapa que más tiempo requiere es el cribado del material, lo cual se ve reflejado en la productividad total.

#### **2.2.4.7 Características físicas del bloque como producto final**

Los bloques deben presentar caras lo más planas posibles, sin oquedades y con una distribución pareja de los granos. El peso mínimo seco del bloque debe ser 6.32 kgs, lo que supone una densidad de 1800 kg/m<sup>3</sup>. El peso seco aconsejado sería de 7.43 kgs, por bloque, lo que sería una densidad de 2000 kg/m<sup>3</sup>. (Manual de Bloques de Tierra Comprimida, 2006).

#### **2.2.4.8 Herramienta y equipo necesario**

Extracción: pala de punta, pala ancha, pico y carretilla. Pruebas: frasco, sal, cuchara de albañil. Fabricación: palas anchas, botes, criba, regadera, prensa CINVA-RAM, aceite, esponja, cuchara de albañil. (Manual de Bloques de Tierra Comprimida, 2006).



## 2.3 TABIQUE DE BARRO RECOCIDO

### 2.3.1 Antecedentes

Desde tiempos inmemoriales, se ha preferido el ladrillo para desarrollar las construcciones en el mundo. A lo largo de muchos años su proceso de fabricación ha cambiado muy poco. En países desarrollados se ha pasado de ladrillos hechos por el hombre, secados bajo el sol y cocidos por temperatura, a procesos automatizados, con máquinas que ágilmente moldean los ladrillos, secador artificial y rápido fraguado. En contraste, los países en vías de desarrollo y en mayor medida en sus zonas rurales y periurbanas el proceso de producción de ladrillos y organización del trabajo no ha cambiado, aún a pesar de que se han vuelto importantes mercados de venta de ladrillos. (Sánchez, 2009).

A continuación se hará un breve recuento de la evolución histórica para el tabique rojo recocido en América Latina.

(Bühler, 2011). La producción de ladrillos cocidos era ya conocida desde la época prehispánica. La elaboración debe haber estado ligada a la elaboración de alfarería. Las evidencias arqueológicas para el empleo de ladrillos cocidos son escasas; sin embargo, en nuestro país se pueden observar ejemplos en: Tula, Hidalgo; Comalcalco y Jonuta Tabasco; y Tizatlán, Tlaxcala. (Figura 26).



Figura 26. Ruinas de construcciones mayas en Comalcalco, Tabasco. Fuente: [http://es.wikipedia.org/wiki/Mayas\\_de\\_Tabasco](http://es.wikipedia.org/wiki/Mayas_de_Tabasco)

En la época virreinal, a partir del siglo XVI, se usan en América Latina simultáneamente los adobes tradicionales y los ladrillos cocidos, siguiendo la práctica europea, como material de construcción (Figura 27). Durante esta etapa, la producción del ladrillo cocido en pequeñas manufacturas logra establecerse firmemente. Se tiene conocimiento que los constructores de ese tiempo usaron, además de la piedra tallada, el ladrillo y el adobe en su creación arquitectónica de acuerdo a la disponibilidad de materiales de construcción, las exigencias y posibilidades del cliente y de la obra por realizar. (Bühler, 2011)



*Figura 27. Palacio Legislativo (Antiguo Mesón Real), Tlaxcala. Fuente: <http://www.mexicodesconocido.com.mx/palacio-legislativo-antiguo-meson-real-tlaxcala.html>*

Según Bühler (2011), para el siglo XIX, el repunte en el establecimiento de haciendas con su gran necesidad de construcciones tanto para la vivienda como para los servicios y la industria conduce a un aumento en la producción de ladrillos cocidos que muchas veces conlleva a la instalación permanente de ladrillares en la propia instancia. (Figura 28).



*Figura 28. Homo de ladrillo en la Ex-Hacienda de San Diego Xocoyucan, San Pedro Cholula, Puebla. Fuente: Bühler, 2011*

Para el año 1929, el ladrillo tenía poca presencia en las construcciones de nuestro país. Sólo el 3% de las viviendas lo utilizaban en muros (INEGI, 2009). Únicamente en los estados de México, Coahuila, Nuevo León, Puebla y Jalisco existían ladrilleras, las cuales abastecían de ladrillos a las principales ciudades. Se cree que fue a partir de 1960 cuando comenzó el proceso de expansión de la industria artesanal de este material. (Arista y González, 2012).

Actualmente, el ladrillo cocido sigue siendo uno de los materiales más usados en la construcción de viviendas en América Latina. No obstante, como menciona Bühler (2011)<sup>7</sup>: “las condiciones de producción, la procedencia de la materia prima, las herramientas y la maquinaria usadas, así como el proceso de preparación y cocción de este material se han estudiado poco”.

---

<sup>7</sup> Dirk Bühler es Doctor en Arquitectura por la Rheinisch Westfälische Technische Hochschule Aquisgrán (Alemania). Trabaja como director del área de tecnología del Deutsches Museum en Munich, Alemania. Se dedica a la investigación de la historia de la arquitectura y de la construcción en América Latina; ha publicado libros y un sinnúmero de artículos sobre la historia de la arquitectura civil en Puebla y la construcción de puentes en todo el mundo; además fue profesor de El Colegio de Puebla y de la Universidad de las Américas Puebla. (Bühler, 2011).

### 2.3.2. Estado actual de la construcción con tabique en México

La fabricación de ladrillo en México desde sus inicios se ha caracterizado por ser una actividad artesanal o familiar, que está directamente relacionada con la construcción de vivienda. Las actividades ladrilleras se han venido situando como una alternativa económica para la gente de escasos recursos, a través del esquema de economía informal y su desarrollo está en función de los centros de demanda aledaños. (Sánchez, 2009).

La producción de ladrillo es por naturaleza altamente contaminante, genera grandes cantidades de gases y partículas atmosféricas; a pesar del tiempo transcurrido desde su histórica aparición en México, no se ha logrado la modernización del proceso por lo que la emisión de contaminantes a la atmósfera sigue ocurriendo en grandes cantidades. (Sánchez, 2009).

En relación a esta problemática se han elaborado diversos estudios en nuestro país; la mayoría de ellos se enfocan en el impacto ambiental que genera a la entidad en donde se realiza la investigación, y sus posibles alternativas de mejoras.

Dentro de este marco, existen algunos estados donde se han llevado a cabo proyectos dirigidos a minimizar el efecto nocivo de las ladrilleras en la región donde se desarrollan. Un ejemplo es el gobierno del estado de Guanajuato, el cual en el año 2006 conformó un Grupo Estratégico de Coordinación Interinstitucional para el Fortalecimiento del Sector Ladrillero.<sup>8</sup> Asimismo, publicó un documento denominado "*Acciones para el Fortalecimiento de la Industria Ladrillera en el estado de Guanajuato*", donde se establecía que el objetivo principal de la creación de dicho grupo es atender la problemática del sector ladrillero artesanal de forma integral, mediante acciones que permitan un

---

<sup>8</sup> El grupo está conformado por: el Instituto de Ecología del Estado, las Secretarías de Desarrollo Económico Sustentable, de Desarrollo Social y Humano, de Salud y de Educación; así como el Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Guanajuato, los Institutos de la Mujer Guanajuatense y de Alfabetización y Educación Básica para Adultos; la Coordinación Ejecutiva de Protección Civil, la Procuraduría de Protección al Ambiente del Estado, la Universidad de Guanajuato a través de la División de Ingenierías del Campus Irapuato-Salamanca, y el Instituto Tecnológico de León. (Instituto de Ecología del Estado de Guanajuato, 2011).

desarrollo social, económico y ambiental. También, el Instituto de Ecología de ese estado, publicó el *“Manual de buenas prácticas en ladrilleras artesanales”*, teniendo como objetivo principal proporcionar a los productores ladrilleros recomendaciones básicas para comenzar a mejorar su proceso productivo, sus condiciones laborales y controlar su situación económica. (Instituto de Ecología del Estado de Guanajuato, 2011).

Otro ejemplo es el gobierno de Querétaro, el cual a través de instituciones estatales<sup>9</sup>, en conjunto con la Universidad Autónoma de Querétaro, por medio del Centro de Estudios Académicos sobre Contaminación Ambiental, desarrollaron un reporte técnico denominado *“Evaluación del riesgo asociado a la fabricación artesanal de ladrillo rojo en el estado de Querétaro”*, donde se caracteriza la industria ladrillera de aquella entidad, evaluando principalmente el daño físico y ambiental que causa a la población de dicho estado. (Rea, Martínez, Cabrera, Ruiz, Zárate, Rodríguez, Rico y Gómez, 2006).

En el ámbito académico, la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Chihuahua y la Universidad Estatal de Nuevo México publicaron un artículo, llamado *“Implementación de una nueva tecnología para minimizar la contaminación del aire derivada de hornos ladrilleros”*. Esta investigación busca difundir el uso de hornos MK como tecnología alternativa en la industria, con la finalidad de obtener beneficios en el aspecto ambiental para las ciudades fronterizas de El Paso, Texas; Ciudad Juárez, Chihuahua y Sunland Park, Nuevo México. (Corral, Bruce, Jiménez, Lara y Márquez, 2003). Este proyecto está en proceso de experimentación, por lo que aún no tienen conclusiones certeras del funcionamiento de los hornos en las comunidades. Sin embargo, los autores mencionan que se han encontrado con variables no previstas, como la actitud de los ladrilleros hacia una nueva forma de elaboración del producto, que puede ser un factor determinante para el óptimo desarrollo del proyecto.

---

<sup>9</sup> Las instituciones participantes del estado de Querétaro fueron: Secretaría de Desarrollo Sustentable, Secretaría de Salud y Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. (Rea et al, 2006).



Dentro del ámbito empresarial, la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE) en conjunto con la Fundación Suiza de Cooperación para el Desarrollo Técnico Swisscontact y sus socios en nueve países de América Latina, pusieron en marcha el programa: "Eficiencia energética en ladrilleras artesanales de América Latina para mitigar el cambio climático-EELA", el cual tiene como objetivo contribuir a disminuir el cambio climático a través de la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en América Latina y mejorar la calidad de vida de la población en el ámbito de intervención. (Red Ladrilleras, 2013). Un ejemplo esto es en Perú, donde implementaron el Programa Regional de Aire Limpio (PRAL), con la participación de los gobiernos estatales, universidades y asociaciones de las ciudades de Arequipa y Cuzco. Dentro del marco de este programa, elaboraron la "*Guía de buenas prácticas para ladrilleras artesanales*", con el propósito de asistir a los ladrilleros artesanales para identificar medidas concretas que permitan minimizar los costos de producción, aumentar la productividad y mejorar la gestión comercial, empleando procesos productivos de bajo impacto ambiental. (Guía de buenas prácticas para ladrilleras artesanales, 2010).

Como se ha visto, la principal preocupación es el efecto nocivo que se genera al medio ambiente, como resultado de la producción de ladrillos; por lo cual, los esfuerzos tanto del gobierno como de empresas e instituciones educativas han sido encaminados a ofrecer respuesta al problema. Es por esto que, en la búsqueda de alternativas de solución, en el presente trabajo de investigación se compara el proceso de fabricación del ladrillo y el del bloque de tierra compactada, con la finalidad de determinar cuál es la opción que más ventajas comparativas presenta para ser utilizado como material de construcción en las viviendas.

En la búsqueda de información generada en México y que pudiera ser referencia para el tema de la presente investigación, se encontró que no se ha desarrollado mucho al respecto. Sin embargo, existen algunos trabajos

relevantes; algunos enfocados en evaluar las características físicas y mecánicas del tabique de barro recocido, tomando como base lo establecido en las normas mexicanas<sup>10</sup>; otros plantean posibles perspectivas de automatización y mejoras al proceso.

El primero es un artículo publicado por la Universidad Autónoma de Guerrero, en conjunto con la Subsecretaría de Protección Civil del Estado, denominado "*Propiedades mecánicas de la mampostería del tabique rojo recocido utilizada en Chilpancingo, Guerrero*". Esta investigación parte de la siguiente premisa: en dicho estado, la mayoría de las edificaciones son construidas con este material; sin embargo, afirman que su producción artesanal, sin adecuado control de calidad en los insumos, elaboración y cocción, genera altos porcentajes de variación en sus propiedades mecánicas. Debido a esta problemática, se busca evaluar las propiedades del tabique rojo recocido para conocer el nivel de seguridad estructural en las edificaciones construidas con este material, en especial porque Guerrero se encuentra en una zona de alto peligro sísmico. Se realizaron 68 ensayos, entre pilas y muretes, midiendo valores para: la resistencia a compresión y cortante, módulos de elasticidad y corte y cohesión de la junta. Como resultados, se encontró que el valor para la resistencia a cortante, resultó 57% mayor que el indicado en la norma. En cambio, para la resistencia a la compresión el valor fue el mínimo reglamentario. Para el esfuerzo de adherencia de la junta no existen valores normativos, sin embargo los resultados mostraron que hay un incremento de dos veces lo referenciado en estudios publicados. Los autores mencionan que los resultados de su investigación pueden servir como referencia para evaluar el comportamiento sísmico de edificaciones con mampostería confinada construidas en Chilpancingo, Guerrero, lo cual podría impactar positivamente

---

<sup>10</sup> En México, para realizar el análisis y diseño de estructuras de mampostería existe sólo una norma con sustento científico, la cual se basa en valores de resistencia de piezas de tabique obtenidos por medio de muestreos y ensayos de piezas fabricadas en el Distrito Federal en los años setentas y que aún continúa vigente; son las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería (NTCDF). Esta norma se complementa con otras, publicadas por el Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación, S.C (ONNCCE), tales como: NMX-C-404 y NMX-C-036. (Gutiérrez, 2009).

en la disminución del riesgo sísmico existente en la ciudad. (Flores, Sánchez, Arroyo y Barragán, 2013).

Un segundo ejemplo es un trabajo de tesis desarrollado por Hernández (2008), que también evalúa la resistencia a la compresión del tabique, comparándola con lo indicado en la norma mexicana respectiva. También aplica otras normas mexicanas, tanto para el proceso de ensayo como para determinar las dimensiones de los tabiques. Esta investigación fue realizada por la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Veracruzana para la ciudad de Xalapa, Veracruz. En las conclusiones finales, el autor establece que todas las piezas analizadas cumplen con las especificaciones de las normas; sin embargo, resalta que existen variaciones, de acuerdo a los distintos lugares donde se fabricaron.

Para la cuestión de mejoras al proceso, se han realizado pocos estudios. Algunos ya han sido mencionados al inicio de este apartado, como el artículo elaborado por integrantes de universidades fronterizas, tanto de México como de Estados Unidos. Otros han sido esfuerzos por parte del gobierno, como el estado de Guanajuato, que publicó el "Manual de buenas prácticas en ladrilleras artesanales". Asimismo, se encontraron un par de artículos realizados por la Universidad Politécnica de Puebla, cuyo objetivo es automatizar el proceso artesanal para la producción de ladrillos en ese estado de la República, con una baja inversión y mediante técnicas avanzadas de optimización. Sin embargo, estos proyectos aún no se implementan, y como concluyen los autores, su aplicación está en función de que los ladrilleros de la zona acepten el cambio de hábitos productivos. (Rojas, Cortés y Marín, 2009).

### **2.3.3 Generalidades del material**

El tabique de barro recocido se puede definir como toda pieza en forma de paralelepípedo que se usa en la construcción de estructuras de mampostería. Los tabiques de barro recocido se clasifican entre los materiales de construcción de piedras artificiales, producto de la cocción de arcillas

naturales previamente moldeadas y secadas al sol, pueden ser destinados para uso estructural o no estructural. (Gutiérrez, 2009).

Las dimensiones de piezas de tabique hechas en México son muy variadas y dependen del sitio o zona geográfica donde se fabrican, varían desde 5-10-19 cm, hasta 6.5-13.5-26.5 cm de espesor, ancho y largo respectivamente. Las dimensiones típicas de 7-14-28 cm por lo regular ya no se fabrican. (Gutiérrez, 2009).

En diversas partes del mundo se han desarrollado varios tipos de hornos para el proceso de cocción del tabique, los cuales se han adaptado a las necesidades económicas y sociales de cada región. (Cárdenas, Aréchiga, Munguía, Márquez y Campos, 2012).

En el trabajo de investigación desarrollado por Cárdenas y otros, en el 2012 <sup>11</sup>, documentaron los principales tipos de hornos ladrilleros, entre los cuales se encuentran los mencionados a continuación.

#### **Horno Tradicional Abierto**

También conocido como horno de campaña, el cual se forma conforme se apilan los ladrillos para su cocción, las paredes del horno y los arcos de alimentación están hechos de los mismos ladrillos a cocer. Este tipo de hornos son los más utilizados en México. (Figura 29).

---

<sup>11</sup> La Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Iztapalapa, en conjunto con el Instituto Nacional de Ecología desarrollaron un proyecto denominado "Evaluación preliminar del impacto ambiental por la producción artesanal del ladrillo: cambio climático, eficiencia energética y calidad del aire" cuyo objetivo es la generación de información sobre el impacto ambiental por la producción artesanal de ladrillo a partir de la caracterización de las emisiones de contaminantes y de eficiencia energética de ciertos tipos de hornos ladrilleros representativos de algunas regiones del país, así como la identificación de mejoras tecnológicas que pudieran tener un menor impacto ambiental. Se desarrolló en dos etapas, la primera en el 2009 y la segunda en el 2012. (Cárdenas et al, 2012).



Figura 29. Horno tradicional abierto. Fuente: <http://ladobe.com.mx/2011/10/la-produccion-de-ladrillo-entre-la-tradicion-y-la-rentabilidad/>

### Horno Tradicional Mejorado

También conocido como horno fijo; está construido con ladrillo cocido en toda su estructura, teniendo entre dos y tres túneles de alimentación prefabricados; u otros con una base (donde se colocan los ladrillos a cocer) poseen una serie de arcos de hasta 1.6 metros de alto siendo este el lugar de alimentación. (Figura 30).



Figura 30. Horno tradicional mejorado. Fuente: imagen tomada por la autora.

### Horno de Eje Vertical (VSBK)

El horno VSBK tiene bajas pérdidas de calor, funciona como un intercambiador de calor ya que los ladrillos crudos se alimentan por la parte superior del horno y los ladrillos cocidos se descargan por la parte inferior, mientras que el calor se genera en el centro y se mueve naturalmente hacia arriba en un proceso continuo. El proceso de cocción comprende tres etapas que se desarrollan en el interior del horno: un precalentamiento que ocurre en el tercio superior del eje, una etapa de cocción localizada en el tercio medio (donde las temperaturas más altas van a 900°C), y una etapa de enfriamiento localizada en el tercio inferior. El horno cuenta con una pared fija que reduce la pérdida de calor; además utiliza carbón molido como combustible permanente y una pequeña cantidad de madera en el encendido. El horno VSKB produce aproximadamente 6,500 ladrillos al día. La tecnología combina simplicidad y eficiencia en el quemado, además de un ahorro de combustible y una reducción de contaminantes. (Figura 31).



Figura 31. Horno de eje vertical (VSBK). Fuente: <http://ladrillo.wordpress.com/category/tecnica/>

### Horno MK2

Este tipo de horno se compone de dos cámaras con techo de arco que están conectadas por un túnel. Ambas cámaras cuentan con una pila adecuada

que pueda ser cerrada de manera que el flujo de los gases de combustión de una cámara es redirigido a través del canal de conexión en la otra cámara. Antes de iniciar la combustión ambas cámaras deben llenarse con ladrillos crudos, se selecciona la cámara que va servir de filtro y la que se va a quemar, se abre la compuerta del túnel que comunica la cámara que se va a quemar con la cámara que va a servir de filtro y se cierra la compuerta del otro túnel, se cierra la compuerta de la chimenea de la cámara que se va a quemar y se abre la compuerta de la chimenea de la cámara que va a servir de filtro. De esta manera el gas de combustión se filtra en lo que respecta a partículas y su calor se utiliza para precalentar los ladrillos crudos de la otra cámara. El mismo procedimiento se repite después con la otra cámara. Cada uno de los hornos tiene una capacidad promedio de 8,000 ladrillos. Este mecanismo reduce significativamente las emisiones contaminantes y la demanda de energía. (Figura 32)



Figura 32. Horno MK2. Fuente: <http://www.redladrilleras.net/>

### Horno Hoffman

Es una serie de hornos interconectados, consiste en un paso principal del fuego rodeado en cada lado por varios cuartos pequeños. Cada sitio contiene una plataforma de ladrillos. En el paso principal del fuego hay un “carro del fuego”. Cada sitio se enciende por un momento específico, hasta que son los ladrillos

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

cocidos correctamente, posteriormente el carro del fuego se rueda al cuarto siguiente. Así, la cubierta de un horno en anillo contenía muchas aberturas, cubiertas con tapas metálicas, lo que se conocen como “agujeros de alimentación”, por allí se añaden pequeñas cantidades de carbón cuando es necesario con una pequeña pala. Este horno utiliza los gases de combustión para precalentar los ladrillos crudos, reduciendo con ello a un 50% el consumo de energía en comparación con otros hornos. El proceso de fabricación de ladrillos puede ser manual o automatizado. (Figura 33).



Figura 33. Horno Hoffman. Fuente: [http://www.museodelladrillo.com.ar/horno\\_hoffmann.asp](http://www.museodelladrillo.com.ar/horno_hoffmann.asp)

### Horno Tipo Túnel

El horno de túnel consiste, como su nombre lo dice, de un túnel donde los ladrillos se desplazan continuamente en vagonetas o rodillos a través de una galería de aproximadamente 100 metros de longitud y divididos en tres sectores: precalentamiento, cocción y enfriamiento. Los productos se desplazan del sector del precalentamiento hacia la zona de cocción, siguiendo un programa de cocción con parámetros ya definidos para cada tipo de pasta, obteniendo así un producto de alta calidad. El aire circula en sentido contrario al desplazamiento de la carga, generando un ahorro en el



consumo de combustible en las etapas de precalentamiento y secado. Estos son hornos de alta productividad. La economía del horno túnel estriba en que se recupera el calor de los gases de combustión para calentar la carga que entra y utilizando el calor de los ladrillos que se enfrían para precalentar el aire de la combustión o en algunos casos, para secar ladrillos. (Figura 34).

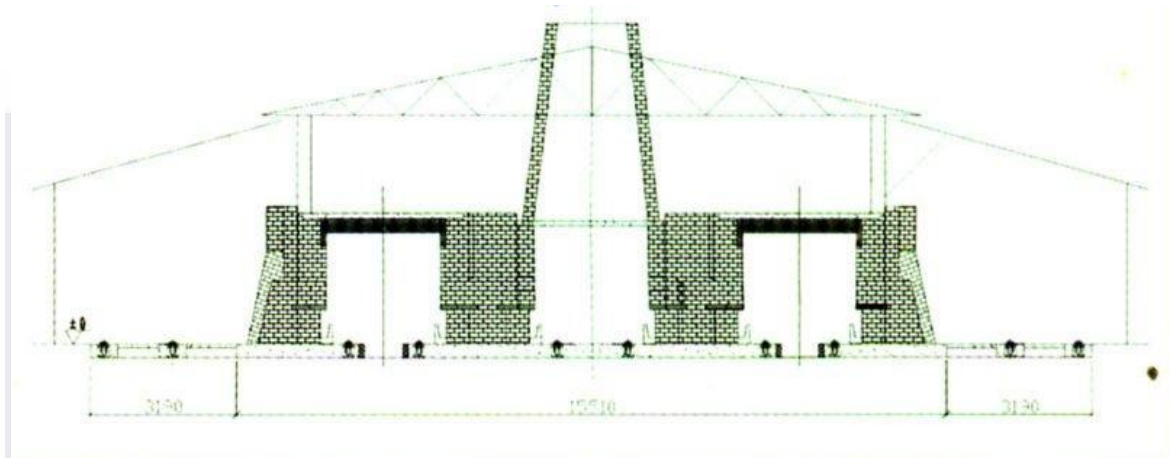


Figura 34. Horno tipo túnel. Fuente: <http://www.redladrilleras.net/>

Gutiérrez (2009) recomienda algunas pruebas prácticas que se pueden realizar en la obra o en el sitio de fabricación de los tabiques para verificar la calidad de los mismos; el autor sugiere:

- Frotar dos piezas y verificar que ninguna de éstas se desmoronen.
- Golpear el tabique con algún objeto duro y se deberá escuchar un sonido metálico.
- Partir un tabique y que no se observen manchas blancas.

#### **2.3.4 Proceso de fabricación**

En México, el proceso empleado para la producción del tabique rojo de barro es muy similar en las ladrilleras existentes a lo largo del país, ya que, como se mencionó anteriormente, dicho proceso no se ha modernizado desde su surgimiento. Lo único que varía son los tipos de hornos que se utilizan, aunque la mayoría son artesanales.

En este apartado se describirá el proceso de fabricación empleado para los tabiques de barro recocido en el contexto nacional, donde se ha generado información relacionada con los contaminantes de la industria ladrillera, lo cual incluye los procesos utilizados en la misma. También, en los siguientes párrafos se describirá el proceso visto en una ladrillera ubicada en Norias de Paso Hondo, comunidad de Aguascalientes, Ags.

Sánchez (2009) en su estudio para obtener el grado de maestría en Ciencias en Medio Ambiente y Desarrollo Integrado por el Instituto Politécnico Nacional, titulado: "*Emisiones derivadas de la producción de ladrillos en el Estado de México*", documenta el proceso llevado a cabo en las ladrilleras del citado lugar de la República Mexicana, y siendo ése uno de los principales estados productores de tabique, la información es representativa. A continuación se describen los pasos a seguir para la elaboración del tabique que se enumeran en la investigación.

#### **2.3.4.1 Materia prima**

##### **Tipo de suelo**

Las tierras que se utilizan para la fabricación del ladrillo son aquellas en las que predominan las arcillas (éstas incluyen al barro y la lama) y las arenas. Se extraen de bancos localizados en regiones cercanas a las ladrilleras, por lo regular este material se compra a personas que se dedican a la extracción y venta de la materia prima.

En la investigación realizada por Ureña (2000), coincide con esta información, ya que menciona que las mejores tierras son las que predomina la arcilla, conteniendo además carbonato de cal, arena y óxido de hierro. Cuando la proporción del carbonato de cal no supera el 25%, otorga buenas cualidades a la arcilla para la fabricación de tabiques, haciéndolos resistentes contra el agua y el hielo. El óxido de hierro aumenta la resistencia a la compresión de la arcilla después de que es cocida. Y la arena, que debe ser silíceo y de grano fino.

#### **2.3.4.2 Mezclado**

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

#### **2.3.4.3 Moldeado**

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

#### **2.3.4.4 Secado**

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

#### **2.3.4.5 Cocción**

##### **Carga del horno**

El acomodo de los ladrillos en el interior del horno se realiza dejando una separación entre ellos, aproximadamente 5 cm. Esto se hace para que circulen los gases de combustión que provienen de la parte inferior a la parte superior

del horno. Se colocan de canto y se ordenan en filas. Cada espacio entre dos ladrillos de una fila se intercala con un ladrillo de otra fila. Se forma una capa horizontal, juntando las filas de ladrillos. La carga contiene tantas capas como lo permite la altura del horno. La dirección de las filas de una capa es perpendicular a las filas de la capa siguiente.

### **Proceso de horneado**

Una vez secos los ladrillos, es decir, cuando la humedad ha disminuido en apariencia (color y textura), se van acomodando dejando un espacio pequeño entre ellos para que circule el calor por todos los ladrillos que se encuentran en el horno (como se menciona en la etapa de carga de horno). El horneado se realiza en hornos de tipo artesanal, los cuales son construidos por los mismos ladrilleros. El proceso de cocción, consiste en el calentamiento del horno, secado y calentamiento de ladrillos crudos, cocción y enfriamiento. Durante este proceso el operario realiza una serie de maniobras; al inicio, la parte superior del horno no se cubre para aprovechar el tiro del horno y conforme avanza el calentamiento se tapa la parte superior en secciones para dirigir los gases de combustión hacia las secciones donde se considera que hay menos temperatura. Estas operaciones las realiza de acuerdo al asentamiento del lecho de ladrillos, la emisión de los gases de combustión, la intensidad del calor que se siente y el color observado en la carga.

### **Características de los hornos**

Los hornos de tipo artesanal constan, en su mayoría, de dos partes:

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

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

### **Combustibles**

Los combustibles empleados para alimentar el horno en la mayoría de los casos está determinado por la disposición de los materiales y residuos localizados en el sitio donde se ubica el horno. Los más frecuentes en México son: madera, aserrín, combustóleo, aceites usados, diesel, basura y gas natural o gas LP. El uso de combustibles de desecho y altamente contaminante se debe al hecho de que varios de ellos se adquieren gratis o a bajos precios.

Hasta esta parte de la investigación se ha descrito el proceso de fabricación de acuerdo a lo documentado en investigaciones desarrolladas en distintas partes de México. Ahora se procederá a describir el proceso observado dentro del contexto local, en Aguascalientes.

#### **2.3.4.6 Proceso llevado a cabo en Aguascalientes**

Actualmente en Aguascalientes se cuenta con información estadística actualizada al año 2012 para las ladrilleras. La institución encargada de generar estos datos es la Secretaría del Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable de Aguascalientes, Ags. (SEMADESU), por medio de su Departamento de Gestión Ambiental. Esta información fue facilitada en forma digital, incluyendo datos tales como: el número de ladrilleras ubicadas en las distintas comunidades, el nombre y domicilio del propietario del terreno, así como si el lugar es rentado o propio, las coordenadas de ubicación y la superficie en metros cuadrados. El padrón de ladrilleras también incluye el tipo

y número de hornos con que cuenta, el número de trabajadores y la producción anual. (Ver Anexo A).

De acuerdo a los datos proporcionados, existen en Aguascalientes un total de 274 ladrilleras, distribuidas en 29 comunidades, tal como se observa en la tabla II.

Nº DE LADRILLERAS	COMUNIDAD	SUPERFICIE OCUPADA	Nº DE HORNOS TIPO ENTERRADO	Nº DE HORNOS TIPO CAMPAÑA	Nº DE TRABAJADORES	PRODUCCION ANUAL
85	LOS ARELLANO	160, 286 M2	89	14	211	22,153,000 PIEZAS
33	NORIAS DE OJOCALIENTE	68,150 M2	42	4	76	6,894,000 PIEZAS
28	NORIAS DE PASO HONDO	53,000 M2	34	1	80	5,718,000 PIEZAS
27	CONEJAL	56,250 M2	39		77	7,107,000 PIEZAS
14	LOS PARGA	19,300 M2	15		17	3,286,000 PIEZAS
11	RANCHO LAS ISABELES	7,100 M2	12		21	1,266,000 PIEZAS
10	CUMBRES	6,100 M2	2	12	24	1,170,000 PIEZAS
7	LOS NEGRITOS	8,800 M2	8		17	980,400 PIEZAS
7	RANCHO DE SAN NICOLAS	11,300 M2	1	6	21	960,000 PIEZAS
7	EL TRIGO	6,910 M2	8		15	924,000 PIEZAS
6	EL COLORADO	12,200 M2	7		12	864,000 PIEZAS
6	LA HERRADA	6,659 M2	6		13	828,000 PIEZAS
6	EL RELICARIO	17,00 M2	7		16	626,000 PIEZAS
4	LOMAS DE ARELLANO	4,050 M2	3	1	8	624,000 PIEZAS
3	CIENEGUILLA	1,800 M2	1	2	6	224,000 PIEZAS
2	RANCHO SAN MIGUELITO	2,700 M2	2		7	396,000 PIEZAS
2	BARRANCA GRANDE DE COTORIN	1,350 M2	2		4	288,000 PIEZAS
2	COTORINA DE ABAJO	1,775 M2	2		4	180,000 PIEZAS
2	RANCHO LA SALADA	3,000 M2	2		4	240,000 PIEZAS
2	EJIDO EL PUERTECITO	700 M2	2		4	216,000 PIEZAS
2	EJIDO LOS CAÑOS	3,600 M2	1	1	4	264,000 PIEZAS
1	PLAYAS DE GUADALUPE	800 M2	1		3	96,000 PIEZAS
1	RANCHO LA COTORRA	400 M2	1		1	84,000 PIEZAS
1	COMUNIDAD COYOTES	2,000 M2	1		2	120,000 PIEZAS
1	RANCHO LA GLORIA	1,600 M2		1	2	312,000 PIEZAS
1	SAN JOSE DE BUENA VISTA	600 M2	1		1	84,000 PIEZAS
1	RANCHO EL GATO	800 M2		1	2	120,000 PIEZAS
1	COMUNIDAD DE JALTOMATE	400 M2		1	2	84,000 PIEZAS
1	RANCHO SAN MARTIN	1,000 M2	1		3	120,000 PIEZAS
<b>274</b>	<b>TOTAL</b>	<b>460,670 M2</b>	<b>290</b>	<b>44</b>	<b>677</b>	<b>56,228,400 PIEZAS</b>

Tabla II. Padrón de Ladrilleras 2012. Fuente: SEMADESU Aguascalientes, 2013

Esta dependencia también está llevando a cabo el “Programa de mejoramiento del desempeño ambiental de las ladrilleras”, el cual tiene como objetivo realizar operativos de inspección y vigilancia en las ladrilleras del Municipio de Aguascalientes así como el verificar y dar seguimiento en aquellas ladrilleras que utilicen los combustibles permitidos con base en lo establecido en el Código Municipal Vigente. En algunos casos, se busca reubicar las ladrilleras que se encuentren ubicadas dentro de la mancha

urbana y causen molestias o no cumplan con las disposiciones ambientales. (SEMADESU, 2013).

En cuanto a temas relacionados con el proceso de fabricación del tabique de barro recocido, o mejoras al mismo, actualmente en Aguascalientes no se han realizado estudios relevantes o bien, no se han dado a conocer. Los aspectos que se han estudiado hasta ahora son el ambiental y el estructural, haciendo aportaciones importantes. Por mencionar algunos trabajos que se han realizado en la Universidad Autónoma de Aguascalientes, del año 2003 a la fecha están, para el primer aspecto, un estudio de investigación denominado "Análisis Estadístico de los Vientos en la ciudad de Aguascalientes como una herramienta para la gestión de la Calidad del Aire. Caso de la Modelación de la Dispersión de Contaminantes (CO) a partir de Fuentes Fijas (ladrilleras)". Para lo estructural, se realizó una tesis de maestría que caracteriza la resistencia a la compresión del material, como un estudio experimental en la ciudad de Aguascalientes y sus alrededores. Otra investigación llevada a cabo fue en relación al desarrollo y caracterización de un sistema integral de rectificación y control de estructuras de mampostería confinada de ladrillos macizos afectados por subsidencia.

Con la finalidad de conocer el proceso de fabricación llevado a cabo en Aguascalientes, se realizó una visita de campo a una ladrillera ubicada en la calle Azalea #104 en la comunidad de Norias de Paso Hondo, del municipio de Aguascalientes. A continuación se describe el proceso observado en la mencionada visita.

En la ladrillera ya contaban con la materia prima a utilizar, la cual se obtuvo de un banco de material cercano a la localidad. En una entrevista con el personal que labora ahí, se mencionó que éste debe contener principalmente arcilla. El material se mezcló con agua, para obtener una consistencia "pastosa". Posteriormente, se vacía en una carretilla para transportarlo al lugar donde se moldean los tabiques. (Figura 35).



*Figura 35. Materia prima a utilizar en la fabricación del tabique.*

Para continuar, se realiza el proceso de moldeado. Éste consiste en vaciar la mezcla en unos moldes, denominados "gaveras", fabricados en aluminio y que cuentan con perforaciones para fabricar seis piezas de tabique. (Figura 36).



*Figura 36. Molde para fabricación de tabique.*

Este proceso se realiza sobre el piso, el cual debe estar lo más uniforme posible, y con una capa de arena para evitar que una vez moldeado, el tabique se pegue a la superficie. En la figura 37 se observa cómo mientras una persona está moldeando, otra persona le apoya con el proceso de uniformizar el piso.





Figura 37. Proceso de moldeado.

Para realizar este proceso de moldeado se utiliza únicamente un rasero para quitar el exceso de mezcla vaciada previamente con las manos y dejar una superficie plana. Esta actividad se lleva a cabo las veces que sean necesarias, hasta completar el lote de tabiques que se van a fabricar. (Figuras 38 y 39)



Figura 38. Tabiques recién moldeados.



Figura 39. Vista general de los tabiques moldeados.

Una vez que se han terminado de moldear los tabiques necesarios, se dejan secar al sol, moviéndolos de posición para que el aire circule libremente entre ellos. Este proceso puede llevarse de tres a cuatro días, o hasta una semana, dependiendo de las condiciones del clima. (Figuras 40 y 41).



Figura 40. Vista general de tabiques en proceso de secado.



Figura 41. Tabiques en proceso de secado.

El proceso que sigue al secado es la cocción, para lo cual se colocan los tabiques en el horno. Para el caso de la ladrillera visitada, cuenta con un horno fijo, el cual existe en mayor número en Aguascalientes, según la información proporcionada por la SEMADESU. Este horno se encuentra a un nivel debajo del suelo, y en la parte inferior cuenta con dos entradas para agregar el combustible, que para este caso utilizaron aserrín. Está construido a base de adobe y tabique, y tiene capacidad para fabricar 20,000 piezas. (Figura 42 y 43).



Figura 42. Vista del horno fijo y uso de aserrín como combustible.



Figura 43. Proceso de cocción en horno fijo de ladrillera.

En la parte superior del horno, se colocan más tabiques y/o adobes, así como estiércol, para permitir que se mantenga constante la temperatura de alrededor de 1000 °C al interior del horno. Este proceso de cocción puede durar de 18 hasta 30 horas. (Figura 44).



*Figura 44. Parte superior del horno fijo durante el proceso de cocción.*

Una vez que termina este proceso, los tabiques se dejan enfriar por un período de 24 a 48 horas, para posteriormente ser almacenados.



*Figura 45. Vista de los tabiques terminados.*

Hasta aquí se ha descrito el proceso de producción para los tabiques de barro recocido. A continuación se describen algunos aspectos relacionados con el

proceso y que pueden servir de base para establecer criterios a aplicar en la comparativa de este material con el bloque de tierra compactada.

#### **2.3.4.7 Producción por día**

Bühler (2011), en su artículo *Ladrillares en la región de Puebla (México): persistencia de una tradición artesanal*, refiere que una persona puede producir entre 2000 y 3000 ladrillos por semana. Esto significa que, considerando una semana de trabajo de 6 días, una persona estaría fabricando de 334 a 500 piezas por día.

Sin embargo, este rendimiento es optimista, ya que de acuerdo a la información proporcionada por la SEMADESU, son 56,228,400 piezas fabricadas anualmente. Si este número se divide entre 293 días trabajados en promedio al año, nos da como resultado 191,906 tabiques, los cuales a su vez, divididos entre el número de trabajadores que se tienen registrados en el padrón de ladrilleras (677 en total), obtenemos que una persona estaría produciendo 284 piezas diarias.

#### **2.3.4.8 Características físicas del tabique como producto final**

Los ladrillos de buena fabricación tienen que ser sólidos, resistentes, sin fisuras y que se puedan cortar de un simple golpe de paleta. La forma debe ser homogénea, compacta, luciente y exenta de basuras; no deben estar demasiado cocidos ni poco cocidos o blandos, por desmoronarse fácilmente. El ladrillo debe tener una buena hechura, color uniforme, sonido claro y seco cuando se le golpea. (Ureña, 2010).

El peso volumétrico para las piezas de tabique fabricadas en el estado de Aguascalientes, de acuerdo a un estudio realizado por la Maestría en Ingeniería especialidad en Seguridad Estructural por la Universidad Autónoma de Aguascalientes está en el rango de 1258 kg/m<sup>3</sup> a 1459 kg/m<sup>3</sup>. (Gutiérrez, 2009).

#### **2.3.4.9 Herramienta y equipo necesario**

Las herramientas usadas en la producción son sumamente sencillas, ya que la mayor parte del trabajo depende de la habilidad del artesano y su mano de obra.

Principalmente se utilizan carretillas, para transportar el material para elaborar los tabiques, palas, gaveras de madera o de aluminio, rasero de metal, botes, y el horno de cocción.



## CAPÍTULO III. ANÁLISIS COMPARATIVO Y EVALUACIÓN

### 3.1 METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS

En este apartado se describe la metodología utilizada para realizar el análisis comparativo de los dos materiales: el bloque de tierra compactada y el tabique de barro recocido.

Se comenzó realizando un cuadro de análisis en el cual se concentra la información para cada uno de los materiales, tomando en cuenta cada una de las etapas que componen el proceso de fabricación, así como variables relevantes a considerar, tales como: materia prima, productividad y características físicas del producto final. Estos aspectos van nombrados en las filas horizontales del cuadro comparativo. Las columnas están distribuidas de la siguiente manera: en la primera columna se menciona la etapa del proceso que se está analizando. En la segunda columna se describen las variables que se consideran para cada proceso, y algunas adicionales que se consideraron relevantes para incluirlas en el análisis. La tercera columna está compuesta por uno de los materiales a analizar, el bloque de tierra compactada. En la cuarta se encuentra el otro material, el tabique de barro recocido. Finalmente, la quinta columna contiene el listado de referencias consultadas de donde se obtuvo la información.

A continuación se presenta el cuadro de análisis comparando los dos materiales.

### 3.2 ANÁLISIS COMPARATIVO

CUADRO COMPARATIVO DE MATERIALES					
ETAPAS DEL PROCESO	VARIABLES	BLOQUE DE TIERRA COMPACTADA		TABIQUE DE BARRO RECOCIDO	
		Material	Cantidad	Material	Cantidad
	Materia prima (cantidad necesaria para producir una pieza)	1.- Tierra (diversos tipos)	6.25 kgs (a)	1.- Barro (*)	2.52 kgs (d)
		2.- Agua	1 litro (b) ; 25 kg/ton (i)	2.- Agua	1 litro (d) + la utilizada para preparar el barro : 75 kg/ton (i)
		3.- Estabilizante (cemento)	0.5 kgs (a)	3.- Estiércol	0.18 kgs (d)
		4.- Estabilizante (cal o cemento)	Del 4 al 10% del peso: de 0.25 a 0.60 kgs ( c )	4.- Combustible (leña)	0.94 kgs (d)
<b>Mezclado</b>	Superficie requerida para llevar a cabo la actividad	Menor a 50 m2 (ver diagrama en Anexo B)		Mayor a 50 m2 (ver diagrama en Anexo B)	
	Herramienta y equipo utilizados	Criba (para tamizado previo), pala, bote para agregado de agua necesaria.		Criba (para tamizado previo), pala, bote para agregado de agua necesaria.	
	Personal que interviene	No requiere tener conocimientos previos.		No requiere tener conocimientos previos.	
	Tiempo de espera para realizar el siguiente proceso	0 horas		0 horas	
	Existe control de calidad para evaluar el proceso	SÍ ( )	NO ( x )	SÍ ( )	NO ( x )
<b>Moldeado</b>	Superficie requerida para llevar a cabo la actividad	NO APLICA		Mayor a 50 m2 (ver diagrama en Anexo B)	
	Herramienta y equipo utilizados			Carretilla para transportar el material ya mezclado, molde gavera, bote para agregado de agua, rasero.	
	Personal que interviene			No requiere tener conocimientos previos.	
	Tiempo de espera para realizar el siguiente proceso			De 72 a 192 horas ( e )	
	Existe control de calidad para evaluar el proceso			SÍ ( )	NO ( x )
<b>Compactación</b>	Superficie requerida para llevar a cabo la actividad	Menor a 50 m2 (ver diagrama en Anexo B)		NO APLICA	
	Herramienta y equipo utilizados	Bote o artesa para transportar el material ya mezclado, máquina tipo manual móvil para fabricar un bloque por vez.			
	Personal que interviene	No requiere tener conocimientos previos.			
	Tiempo de espera para realizar el siguiente proceso	De 4 a 6 horas para iniciar el proceso de curado. (a)			
	Existe control de calidad para evaluar el proceso	SÍ ( )	NO ( x )		
<b>Cocción</b>	Superficie requerida para llevar a cabo la actividad	NO APLICA		Mayor a 50 m2 (ver diagrama en Anexo B)	
	Herramienta y equipo utilizados			Horno de cocción, carretilla para transportar tabiques ya secos, pala, carretilla o botes para agregar el combustible.	
	Personal que interviene			Sí requiere tener conocimientos previos.	
	Tiempo de espera para realizar el siguiente proceso			De 18 a 30 horas duración del proceso + de 24 a 48 horas para enfriado de los tabiques = de 42 a 78 horas total ( e )	
	Existe control de calidad para evaluar el proceso			SÍ ( )	NO ( x )
	Producción por día	<b>Cantidad/jornada 8 horas</b> De 160 a 200 piezas (f)	<b>Equipo de trabajo</b> 2 personas mínimo	<b>Cantidad/jornada 8 horas</b> 284 piezas (d)	<b>Equipo de trabajo</b> 2 personas mínimo
	Características físicas como producto final	<b>Dimensiones</b> 30 cms de largo x 15 cms de ancho y 10 cms de alto (h)	<b>Peso volumétrico</b> 2000 kgs/m3 (a)	<b>Dimensiones</b> 26.5 cms de largo x 13.5 cms de ancho y 6.5 cms de alto (g)	<b>Peso volumétrico</b> 1358.5 kgs/m3 (g)

(\*) NOTA: El barro es una mezcla de arcilla, arena y agua; sin embargo, no se cuenta con la información para las cantidades utilizadas en cada componente. Es importante resaltar que se debe considerar una cantidad adicional de agua a la indicada, para la preparación del barro.

#### REFERENCIAS:

- (a) Manual de bloques de tierra compactada, 2006.
- (b) Hydraform Manual Training, 2012
- ( c ) Instituto Tierra y Cal, A.C. <http://tierraycal.com/bloquestierra.html>
- (d) Secretaría del Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable del Municipio de
- ( e ) Información obtenida de la visita de campo en ladrillera.
- ( f ) Información obtenida de la visita de campo en laboratorio de planta
- (g) Gutiérrez Rivera, 2009
- (h) Ficha técnica maquinaria TA-100 Tecnoadobe, 2013
- (i) Revista electrónica Construir con Tierra (2): Eficiencia energética. <http://www.es.lowtechmagazine.com/2011/08/construir-con-tierra2-eficiencia-energetica.html>



### 3.3 METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN

La metodología a seguir para evaluar los dos materiales, se explica en este apartado.

Se utilizaron dos herramientas: la primera de ellas denominada Rúbrica, la cual se puede definir como una matriz de valoración que incluye un listado de criterios a tomar en cuenta para la evaluación, y asignarles un valor numérico. (EduTEKA, 2013). La segunda es una Matriz de Evaluación de Alternativas, que sirve como apoyo para seleccionar entre dos o más opciones la mejor de ellas, de acuerdo a criterios cuantitativos.

La Rúbrica está estructurada de la siguiente manera: en la primera columna encontramos los aspectos a evaluar para ambos materiales. Ellos se extrajeron del cuadro comparativo previamente realizado. En la fila superior está la escala de evaluación; 1 punto para el caso en el que el aspecto considerado es malo, 3 puntos para regular y 5 puntos para bueno. En las celdas centrales, se describen detalladamente los criterios para llevar a cabo la evaluación de los aspectos mencionados en la primera columna.

Una vez que ya se realizó la rúbrica, sirve de base para la elaboración de una Matriz de Evaluación de Alternativas, tomando como ejemplo la elaborada en el libro *Administración Profesional de Proyectos. La Guía*, del autor Chamoun (2002). Su estructura es la siguiente: en la primera columna, igual que en la rúbrica, se encuentran los aspectos a evaluar para ambos materiales. En la segunda columna se indica la ponderación de dichos aspectos, de acuerdo a su importancia, tomando la siguiente escala:

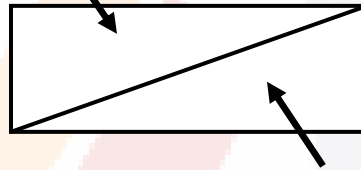
<b>1</b>	<i>Poco importante</i>
<b>3</b>	<i>Importante</i>
<b>5</b>	<i>Muy importante</i>

Tabla III. Escala de ponderación para aspectos a evaluar. Fuente: elaboración propia.

En las siguientes dos columnas se encuentran los dos materiales a comparar, el bloque de tierra compactada y el tabique de barro recocido. Las columnas se cruzan con las filas en celdas, las cuales están divididas en dos partes: en la primera se colocará el valor que se considere adecuado para evaluar el aspecto en cuestión, de acuerdo a lo indicado en la rúbrica, es decir, del 1 al 5, de acuerdo a si es malo, regular o bueno. En la segunda parte de la celda se colocará el valor resultante de la multiplicación de los dos valores: el de la ponderación con el de la rúbrica.

Escala de evaluación de Rúbrica

1 al 5 (1=malo, 3=regular, 5=bueno)



Resultado de multiplicar escala de evaluación y ponderación

Posteriormente, se suman los resultados de las columnas para cada una de las opciones, y se elige la de mayor puntaje.

A continuación se presentan las tablas elaboradas; la primera es la Rúbrica de Evaluación y la segunda es la Matriz de Evaluación de Alternativas.

### 3.4 RÚBRICA PARA LA EVALUACIÓN DE LOS MATERIALES

<b>RÚBRICA PARA EVALUACIÓN DE MATERIALES</b>			
<b>Aspectos a evaluar</b>	<b>1 Malo</b>	<b>3 Regular</b>	<b>5 Bueno</b>
<b>Consumo de agua</b>	El consumo de agua es alto durante el proceso de fabricación. Se utiliza más de 1.50 litro por pieza.	El consumo de agua es moderado durante el proceso de fabricación. Se utiliza de 1 a 1.50 litro por pieza.	El consumo de agua es bajo durante el proceso de fabricación. Se utiliza de 0.50 a 1 litro por pieza.
<b>Uso de combustible contaminante</b>	Sí requiere combustible contaminante para obtener el producto terminado.	En algunas etapas del proceso requiere combustible contaminante para obtener el producto terminado.	No requiere combustible contaminante para obtener el producto terminado.
<b>Facilidad de obtención de la materia prima</b>	Los componentes principales para elaborar la pieza se consiguen con dificultad.	Algunos componentes principales para elaborar la pieza se consiguen con dificultad.	Los componentes principales para elaborar la pieza se consiguen con facilidad.
<b>Superficie necesaria para llevar a cabo las actividades</b>	Es necesario contar con un área extensa: mayor a 400 m <sup>2</sup> .	Es necesario contar con un área mediana: de 200 a 400 m <sup>2</sup> .	Es necesario contar con un área menor: de 50 a 200 m <sup>2</sup> .
<b>Herramienta y equipo utilizado</b>	Se utilizan herramientas y equipo de difícil manejo.	Algunas herramientas y equipo que se utilizan son de difícil manejo.	Se utilizan herramientas y equipo de fácil manejo.
<b>Personal que interviene</b>	Requiere de especialización y/o conocimientos previos para la fabricación.	En algunas etapas del proceso requiere de especialización y/o conocimientos previos para la fabricación.	No requiere de especialización y/o conocimientos previos para la fabricación.
<b>Tiempos de espera</b>	El tiempo de espera es alto: mayor a 100 horas.	El tiempo de espera es medio: de 50 a 100 horas.	El tiempo de espera es bajo: de 0 a 50 horas.
<b>Control de calidad</b>	Sí se cuenta con un sistema de control de calidad en todas las etapas del proceso.	En algunas etapas del proceso se cuenta con un sistema de control de calidad.	No se cuenta con un sistema de control de calidad en todas las etapas del proceso.
<b>Producción diaria</b>	La fabricación por día es baja: de 150 a 200 piezas.	La fabricación por día es media: de 200 a 250 piezas.	La fabricación por día es alta: mayor a 250 piezas.

Tabla IV. Rúbrica para evaluar los materiales. Fuente: elaboración propia.

### 3.5 MATRIZ DE EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS

MATRIZ DE EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS			
ASPECTOS A EVALUAR	PONDERACIÓN	BLOQUE DE TIERRA COMPACTADA	TABIQUE DE BARRO
Consumo de agua	5	5 25	1 5
Uso de combustible contaminante	5	5 25	1 5
Facilidad de obtención de la materia prima	3	5 15	3 9
Superficie necesaria para llevar a cabo las actividades	1	5 5	3 3
Herramienta y equipo utilizado	1	5 5	5 5
Personal que interviene	3	5 15	3 9
Tiempos de espera	5	5 25	1 5
Control de calidad	5	1 5	1 5
Producción diaria	5	1 5	5 25
<b>Suma total</b>		<b>125</b>	<b>71</b>

Tabla V. Matriz de Evaluación de Alternativas. Fuente: elaboración propia.

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 4.1 RESULTADOS

Como se mencionó en el apartado de Metodología para el Análisis del capítulo anterior, al realizar la comparación entre los dos materiales, (bloque de tierra compactada y tabique de barro recocido), se utilizó como herramienta un cuadro de análisis, del cual se desprenden los siguientes resultados:

- Con respecto a la variable de la materia prima empleada, se encontró que para fabricar una pieza de tabique, se requiere un mayor número de elementos, en comparación al bloque de tierra compactada. Se obtienen fácilmente, en especial para este último. En cambio, para el caso del tabique, la mayoría de las veces la materia prima se consigue de un banco de arcilla, ya sea autorizado o bien, en el peor caso, de áreas donde se degrada el entorno natural, afectando gravemente al medio ambiente.
- De los elementos requeridos, el agua y la tierra son comunes a ambos. Sin embargo, lo que es importante resaltar es el hecho de que para la elaboración de una pieza de tabique, se utiliza mayor cantidad de agua, lo cual, desde el punto de vista ambiental, resulta perjudicial.
- En este mismo orden de ideas, se observó que en el caso del tabique, sí requiere combustible para su fabricación, el cual, a pesar de que es autorizado, contamina al medio ambiente. El BTC, por su parte, al ser elaborado con maquinaria manual, no requiere combustible.
- En lo que se refiere a la variable del personal que interviene, se encontró que para ambos materiales no es necesario contar con conocimientos previos para fabricarlos; por lo que, tanto el tabique como el BTC son aplicables a la autoproducción, es decir, las personas involucradas pueden elaborar el material que van a utilizar en sus construcciones.

- Para el aspecto de los tiempos de ejecución y de espera, se detectó que el BTC tiene menores intervalos entre un proceso y otro, lo cual trae mayores ventajas, ya que es más rápido disponer del material y emplearlo en la edificación que se requiera.
- Control de calidad. En relación a esta variable, se observó que para ambos casos, no se cuenta con un sistema de control de calidad que permita evaluar las condiciones del material; esto es en todas las etapas de elaboración del mismo. Existen recomendaciones para saber si la pieza cumple con ciertas características, pero estas sugerencias se basan sólo en la experiencia del personal que lo realiza, por lo que el criterio es muy subjetivo. Este aspecto quizá se deriva del hecho de que no existe una metodología a seguir para la fabricación, y se elabora de manera artesanal; en consecuencia, se da la falta de control en la calidad del producto final. Incluso esto puede afectar las propiedades mecánicas, como concluye Gutiérrez (2009) en su investigación, donde los resultados de resistencia a la compresión variaban, debido a, entre otros factores, la calidad de materiales y mano de obra con la cual se fabricaron los tabiques en ladrilleras de Aguascalientes.
- En lo referente a la variable de productividad, se detectó que se realiza un mayor número de piezas de tabique en comparación a las que se elaboran de BTC, con un equipo de dos personas. Esto puede ser debido a que, a pesar de que su proceso es artesanal y sin metodología alguna, el personal que fabrica el tabique cuenta con cierta experiencia, ya que han laborado en ladrilleras desde temprana edad; entonces, quizá conforme aumente la experiencia del personal dedicado a elaborar BTC, también incremente la producción por día para este material.

## CONCLUSIONES

Considerando la discusión de resultados y de acuerdo al supuesto planteado al inicio de la investigación, se puede concluir lo siguiente:

El bloque de tierra compactada sí presenta mayores ventajas comparativas en su proceso de fabricación, en relación al tabique de barro recocido, ya que, de acuerdo a los resultados obtenidos en la herramienta utilizada, denominada Matriz de Evaluación de Alternativas, se observó que el primer material obtuvo una valoración más alta, de acuerdo a los criterios de evaluación mencionados en su apartado respectivo. La sumatoria final en puntos para el BTC fue de 125 puntos, en comparación al tabique, que fue de 71 puntos.

Con referencia al aspecto ambiental, es posible concluir que el BTC tiene mejores características de sustentabilidad, por lo que puede ser considerado un material alternativo para utilizarse en la construcción de viviendas en Aguascalientes. No obstante, es preciso resaltar que este material aún no se ha difundido lo suficiente en nuestra entidad. Por lo tanto, es necesario impulsarlo, para que las instituciones gubernamentales, empresas y la sociedad en general se percaten de las bondades que ofrece el bloque de tierra compactada, generalizando así su aplicación en la edificación de viviendas, con beneficios al entorno que habitamos.

Finalmente, como resultado de la experiencia adquirida en este trabajo, se proponen las siguientes recomendaciones para futuras líneas de investigación.

Realizar un análisis comparativo para los materiales aquí expuestos, pero abarcando el sistema constructivo en conjunto, desde la cimentación hasta los acabados, considerando la variable del costo económico, ofrecería información útil para evaluar cuál de ellos ofrece mayores ventajas en la construcción de viviendas.

La propuesta de una metodología para el proceso de fabricación, sería de gran utilidad. En el caso del BTC, al menos en Aguascalientes no existe, y

representaría beneficios para el aspecto de la productividad, por ejemplo. Para el caso del tabique rojo recocido, serviría para modernizar un proceso que no ha tenido transformaciones relevantes desde sus inicios, buscando así al mismo tiempo opciones menos contaminantes en las etapas de producción del mismo. Por otra parte, el desarrollo de un procedimiento para proporcionar adecuadamente las cantidades de elementos que componen la mezcla para la fabricación de los tabiques, podría ser determinante para tener un mejor control de calidad en las piezas.





## GLOSARIO

**ADOBE.** Masa de suelo arcilloso mezclado, en ocasiones con paja, moldeado en forma de ladrillo y secado al aire, que se emplea en la construcción de paredes o muros.

**ARCILLA.** Roca sedimentaria formada por silicatos de aluminio que adquiere plasticidad al mezclarse con agua. Por el contrario, sometida a altas temperaturas, la arcilla se deshidrata y por tanto, se contrae y endurece.

**ARENA.** Conjunto de partículas procedentes de la erosión de las rocas, en especial las silíceas, y que se suelen acumular en bancales a orillas de los ríos, del mar o en capas en otros lugares.

**BARRO.** Masa formada por la mezcla de tierra y agua. El barro que se utiliza en la construcción contiene una tierra lo suficientemente rica en arcilla.

**BLOQUE DE TIERRA COMPACTADA.** Producto realizado con tierra y componentes adicionales como cemento o cal, mediante una fuerza de compactación utilizando una prensa manual o mecánica.

**CAL.** Sustancia sólida, amorfa, blanca y cáustica formada por óxido de calcio.

**CEMENTO.** Mezcla calcinada de piedra calcárea, arcilla y otras sustancias molida hasta obtener una textura muy fina.

**COCCIÓN.** Proceso por el cual las piezas de tabique son sometidas a temperaturas elevadas (de 600°C a 1000°C) dentro de un horno.

**COMPACTACIÓN.** Proceso por el cual se compacta o comprime la mezcla obtenida previamente, ya sea en maquinaria manual o hidráulica, para la fabricación de bloques.

**MEZCLA.** Incorporación de varias sustancias o cuerpos que no tienen entre sí acción química.

MEZCLADO. Incorporar o unir en una sola, dos o más materiales.

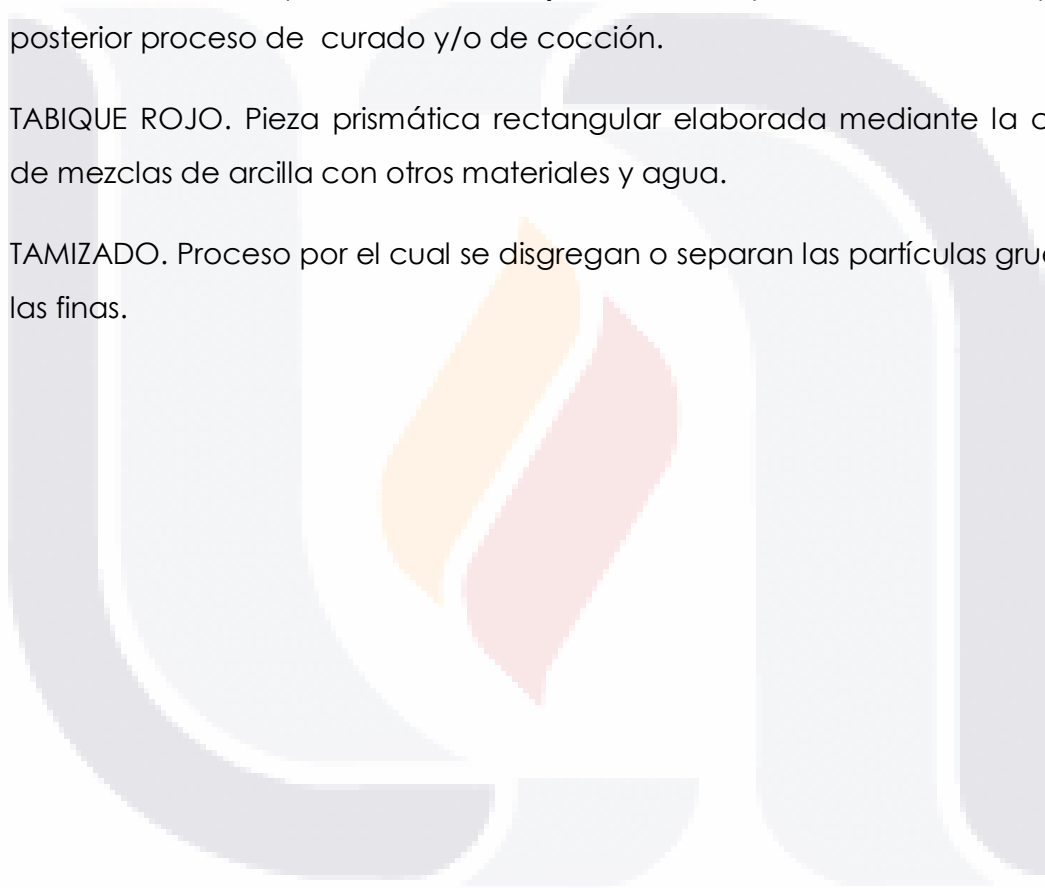
MOLDE. Elemento de madera o de metal, que contiene una forma hueca, el negativo de una forma, que será llenada con pasta en forma de suspensión líquida espesa, con lo que se obtendrá la forma positiva.

MOLDEADO. Proceso por el cual se crea una forma tridimensional.

SECADO. Proceso por el cual se dejan secar las piezas al aire libre para su posterior proceso de curado y/o de cocción.

TABIQUE ROJO. Pieza prismática rectangular elaborada mediante la cocción de mezclas de arcilla con otros materiales y agua.

TAMIZADO. Proceso por el cual se disgregan o separan las partículas gruesas de las finas.



## REFERENCIAS

- Auroville Earth Institute. (2013). Recuperado de [http://www.earth-auroville.com/earth\\_in\\_auroville\\_introduction\\_en.php](http://www.earth-auroville.com/earth_in_auroville_introduction_en.php)
- Bühler, D. (2011). *Ladrillares en la región de Puebla (México): persistencia de una tradición artesanal*. Memorias del Séptimo Congreso Nacional de Historia de la Construcción, Instituto Juan de Herrera, Madrid. Recuperado de [http://www.sedhc.es/biblioteca/actas/CNHC\\_7%20%2818%29.pdf](http://www.sedhc.es/biblioteca/actas/CNHC_7%20%2818%29.pdf)
- Cárdenas B., Aréchiga, U., Munguía J.L., Márquez C., Campos, A. (2012). *Evaluación preliminar del impacto ambiental por la producción artesanal de ladrillo: cambio climático, eficiencia energética y calidad del aire: segunda etapa. Informe Final del Convenio de Colaboración INE/ADA-110071. Versión Actualizada Junio 2012*. Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa y el Instituto Nacional de Ecología. México D.F. 54 pp. Recuperado de [http://www.ine.gob.mx/descargas/dgcnica/2010\\_informe\\_ladrilleras.pdf](http://www.ine.gob.mx/descargas/dgcnica/2010_informe_ladrilleras.pdf)
- Chamoun Nicolás, J. Y. (2002). *Administración Profesional de Proyectos. La Guía*. México: McGraw-Hill Interamericana.
- Cicero González, L. (2008). *Implicaciones del uso del bloque de tierra comprimida en el diseño de vivienda de interés social en Monterrey, Nuevo León*. (Tesis inédita de maestría). Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey Campus Monterrey, Monterrey, Nuevo León.
- Corral-Avitia A., Bruce, C., Jiménez, R., Lara, A. & Márquez, R. (2003). *Implementación de una Nueva Tecnología para Minimizar la Contaminación del Aire Derivada de Hornos Ladrilleros*. Memorias del

V Simposio y Exposición Sección de América Latina y el Caribe de la AOAC Internacional: Desafíos analíticos para revalorizar los productos naturales. Lima, Perú. Recuperado de <http://www2.uacj.mx/icb/DCB/quimica/proyectosdeinvestigacion.htm>

¡Échale! a tu casa (2013). Recuperado de <http://www.echale.com.mx>

EduTEKA (2013). *Ejemplos de Matrices de Valoración*. Recuperado de <http://www.eduteka.org/MatrizEjemplos.php3>

Flores, V., Sánchez-Tizapa, S., Arroyo, R., & Barragán, R. (2013). Propiedades mecánicas de la mampostería de tabique rojo recocido utilizada en Chilpancingo, Gro (México). *Informes de la construcción*, 65(531), 387–395. Recuperado de <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/2911/3217>

Garzón Castañeda, L. (2002). *Volviendo a la tierra. Hacia una arquitectura eco sostenible y con equidad*. Memorias del 1er. Seminario Exposición Consorcio Terra Cono Sur: La tierra cruda en la construcción del hábitat, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Nacional de Tucumán, Argentina. Recuperado de [http://www.minambiente.gov.co/documentos/vivienda/eventos/memorias\\_foro\\_nal\\_vis/230410\\_arquitectura\\_en\\_tierra.pdf](http://www.minambiente.gov.co/documentos/vivienda/eventos/memorias_foro_nal_vis/230410_arquitectura_en_tierra.pdf)

Garzón, C., & Martins, N. (2007). Investigar, formar, capacitar y transferir. Los grandes desafíos de la arquitectura y construcción con tierra. *Apuntes*, 20(2), 324–335. Recuperado de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1657-97632007000200012&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1657-97632007000200012&script=sci_arttext)

Gatani, M. (2002). *Producción de ladrillos de suelocemento, ¿una alternativa eficiente, económica y sustentable?* Memorias del 1er. Seminario

Exposición Consorcio Terra Cono Sur: La tierra cruda en la construcción del hábitat, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Nacional de Tucumán, Argentina. Recuperado de [http://www.habitat.arq.una.py/ambitos/tyh/cct/crh\\_cct\\_0010.pdf](http://www.habitat.arq.una.py/ambitos/tyh/cct/crh_cct_0010.pdf)

González, A., & Maza, G. (2012). *Edificaciones con arcilla mecanizada*. Memorias de la Reunión Nacional ASINEA "Arquitectura, Ciudad, Región y Gobernanza," Cuernavaca, Morelos. Recuperado de <http://www.asinea88cuernavaca.uninter.edu.mx/ponencias.html>

González, C. (2002). *Visión histórica de la tecnología de la construcción de tierra*. Memorias del 1er. Seminario Exposición Consorcio Terra Cono Sur: La tierra cruda en la construcción del hábitat, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Nacional de Tucumán, Argentina. Recuperado de [http://www.habitat.arq.una.py/ambitos/tyh/cct/crh\\_cct\\_0035.pdf](http://www.habitat.arq.una.py/ambitos/tyh/cct/crh_cct_0035.pdf)

Graham McHenry, P. (1996). *Adobe. Cómo construir fácilmente*. México: Trillas.

Guerrero Baca, L. F., Roux Gutiérrez, R. S., & Soria López, F. J. (2010). Ventajas constructivas del uso de tierra comprimida y estabilizada con cal en México. *Palapa Revista de Investigación Científica en Arquitectura*, V (10), 45–57. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/948/94820714005.pdf>

Gutiérrez Rivera, J. (2009). *Caracterización de la resistencia a compresión de piezas de tabique de barro recocido hecho a mano fabricado en la ciudad de Aguascalientes y sus alrededores. Estudio experimental*. (Tesis de maestría). Universidad Autónoma de Aguascalientes, Aguascalientes.

Hernández Hernández, J.L. (2008). *Evaluación de la resistencia a la compresión de tabique rojo de la región de Xalapa en base a la norma NMX-C-036-ONNCCE-2004*. (Tesis de licenciatura en Ingeniería Civil,

Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz). Recuperado de <http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/32847/1/hernandezhernandez.pdf>

Hydraform (2013). *Hydraform Training Manual 2012*. Recuperado de <http://www.hydraform.com/Pdfs/2012/hydraform/Hydraform%20Complete%20Manual%20Feb%202013%20v1%20PART%201.pdf>

Hydraform (2013). Recuperado de <http://www.hydraform-espanol.com/>

INEGI (2013). *Anuario estadístico de Aguascalientes 2010*. Recuperado de <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/sistemas/aeel2/estatal/ags/default.htm>

INEGI (2013). *Estadísticas históricas de México 2009*. Recuperado de [http://www.inegi.org.mx/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/integracion/pais/historicas10/tema2-vivienda\\_urban.pdf](http://www.inegi.org.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/integracion/pais/historicas10/tema2-vivienda_urban.pdf)

INEGI (2013). *México en cifras*. Recuperado de <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx>

INEGI (2013). *XII Censo General de Población y Vivienda 2000. Tabulados básicos*. Recuperado de <http://www.inegi.org.mx/sistemas/TabuladosBasicos/tabentidad.aspx?c=33144&s=est>

Instituto de Ecología del Estado de Guanajuato (2013). *Acciones para el fortalecimiento de la industria ladrillera en el estado de Guanajuato*. Recuperado de [http://ecologia.guanajuato.gob.mx/sitio/micro/biblioteca/aire\\_limpio/ladrilleras/Acciones\\_Fortalecimiento\\_Industria\\_Ladrillera.pdf](http://ecologia.guanajuato.gob.mx/sitio/micro/biblioteca/aire_limpio/ladrilleras/Acciones_Fortalecimiento_Industria_Ladrillera.pdf)

Instituto de Ecología del Estado de Guanajuato (2013). *Manual de buenas prácticas en ladrilleras artesanales*. Recuperado de

[http://ecologia.guanajuato.gob.mx/sitio/micro/biblioteca/aire\\_limpi\\_o/ladrilleras/Manual\\_buenas\\_practicas-Ladrilleras\\_artesanales.pdf](http://ecologia.guanajuato.gob.mx/sitio/micro/biblioteca/aire_limpi_o/ladrilleras/Manual_buenas_practicas-Ladrilleras_artesanales.pdf)

Instituto Tierra y Cal, A.C. (2013). Recuperado de <http://tierraycal.com/bloquestierra.html>

Ital Mexicana, S.A. (2013) Adoberas. Recuperado de <http://www.ital.com.mx/adoberas.html> y [http://www.italmexicanamty.com/equipos\\_adoberas.htm](http://www.italmexicanamty.com/equipos_adoberas.htm)

Juárez, L.A, Caballero, T., & Morales, V. (2010). Ventajas del reforzamiento de muros de bloques de tierra compactados (BTC), como opción para el rescate de viviendas rurales. *Informes de la construcción*, 62(518), 25–32. Recuperado de <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/819/904>

Morales, M., Torres, C., Rengifo, A. L., & Irala, C. (1993). *Manual para la construcción de viviendas de adobe*. Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería de Lima, Perú. Recuperado de [http://www.comitesromero.org/tarragona/fichas/casa\\_adobe\\_texto.pdf](http://www.comitesromero.org/tarragona/fichas/casa_adobe_texto.pdf)

Rea, M., Martínez, G., Cabrera, L., Ruiz, F., Zárate, A., Rodríguez, M., Rodríguez, D., et al. (2004). *Evaluación del riesgo asociado a la fabricación artesanal de ladrillo rojo en el estado de Querétaro*. Qro. Centro de Estudios Académicos sobre Contaminación Ambiental –Universidad Autónoma de Querétaro.

Redacción. (2011, 28 de Julio). El Instituto de Vivienda, pilar de la producción social de vivienda rural. *La Jornada Aguascalientes*. Recuperado de <http://www.lja.mx/2011/07/%EF%BB%BF-el-instituto-de-vivienda-pilar-de-la-produccion-social-de-vivienda-rural/>

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

Rojas, R., Cortés, A., & Marín, D. (2009). *Perspectivas de automatización del proceso de fabricación de ladrillo rojo en la región de Cholula, Puebla*. Memorias del CICOS 2009 Congreso Internacional de Cómputo en Optimización y Software, Universidad Autónoma del Estado de México. Recuperado de <http://campusv.uaem.mx/cicos/imagenes/memorias/7mocicos2009/7moCongreso.html>

Roux, G. (2002). *Utilización de ladrillos de adobe estabilizados con cemento portland al 6% y reforzados con fibra de coco, para muros de carga en Tampico*. Memorias del 1er. Seminario Exposición Consorcio Terra Cono Sur: La tierra cruda en la construcción del hábitat, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Nacional de Tucumán, Argentina. Recuperado de [http://www.habitat.arq.una.py/ambitos/tyh/cct/crh\\_cct\\_0009.pdf](http://www.habitat.arq.una.py/ambitos/tyh/cct/crh_cct_0009.pdf)

Roux, G. & Espuna, M. (2005). La arquitectura de tierra en México. *Construcción con tierra (1)*, 14–23. Recuperado de [http://www.habitat.arq.una.py/ambitos/tyh/cct/crh\\_cct\\_0091.pdf](http://www.habitat.arq.una.py/ambitos/tyh/cct/crh_cct_0091.pdf)

Roux, G. & Espuna, M. (2012). El hidróxido de calcio y los bloques de tierra comprimida, alternativa sostenible de construcción. *Revista Electrónica Nova Scientia*, 5(9), 176–202. Recuperado de [http://nova\\_scientia.delasalle.edu.mx/numero\\_9/articulos/NovaScientia\\_09\\_176.pdf](http://nova_scientia.delasalle.edu.mx/numero_9/articulos/NovaScientia_09_176.pdf)

San Bartolomé Ramos, A. (1994). *Construcciones de albañilería. Comportamiento sísmico y diseño estructural*. Pontificia Universidad Católica del Perú. Fondo Editorial. Recuperado de [http://biblioteca.pucp.edu.pe/docs/elibros\\_pucp/san\\_bartolome\\_angel/constr\\_albanileria.pdf](http://biblioteca.pucp.edu.pe/docs/elibros_pucp/san_bartolome_angel/constr_albanileria.pdf)

Sánchez Hurtado, O.N. (2009). *Emisiones derivadas de la producción de ladrillos en el Estado de México*. (Tesis de maestría, Instituto Politécnico



Nacional, México D.F.) Recuperado de  
<http://148.204.71.28:8080/dspace/bitstream/123456789/190/1/Tesis%20Oscar%20Sanchez%20Hurtado.pdf>

SEDESOL (2000). *Manual de Construcción de Adoblocks*.

SEMADESU (2013). *Programa de mejoramiento del desempeño ambiental de las ladrilleras*. Recuperado de  
<http://www.ags.gob.mx/semadesu/cont.aspx?p=10>

Soria, L., Guerrero, B., & Roux, G. (2011). Investigación interuniversitaria sobre construcción alternativa con tierra en México. *Construcción con tierra. Tecnología y Arquitectura. Congresos de arquitectura de tierra en Cuenca de Campos 2010/2011*. Valladolid: Cátedra Juan de Villanueva. Universidad de Valladolid. 2011, 229-240. Recuperado de  
[http://www5.uva.es/grupotierra/publicaciones/digital/libro2011/2011\\_9788469481073\\_p229-240\\_soria.pdf](http://www5.uva.es/grupotierra/publicaciones/digital/libro2011/2011_9788469481073_p229-240_soria.pdf)

Tecnoadobe (2013). *Productos Tecnoadobe*. Recuperado de  
<http://www.tecnoadobe.com.mx/index.php/productos-tecno>

Universidad de la República-Regional Norte, Uruguay (2012). *Manual de Bloques de Tierra Comprimida*. Recuperado de  
<http://es.scribd.com/doc/78544186/01-Manual-Btc>

Ureña Moctezuma, P. (2000). *Análisis integral del costo-beneficio en la construcción con ladrillo aparente en el valle de Colima*. (Tesis de maestría, Universidad de Colima, Colima). Recuperado de  
[http://digeset.ucol.mx/tesis\\_posgrado/Pdf/Pedro\\_Urena\\_Moctezuma.pdf](http://digeset.ucol.mx/tesis_posgrado/Pdf/Pedro_Urena_Moctezuma.pdf)

**ANEXOS**



## ANEXO A

### Padrón de Ladrilleras en Aguascalientes 2012

Nº DE LADRILLERAS	COMUNIDAD	SUPERFICIE OCUPADA	Nº DE HORNOS TIPO ENTERRADO	Nº DE HORNOS TIPO CAMPAÑA	Nº DE TRABAJADORES	PRODUCCION ANUAL
85	LOS ARELLANO	160,286 M2	89	14	211	22,153,000 PIEZAS
33	NORIAS DE OJOCALIENTE	68,150 M2	42	4	76	6,894,000 PIEZAS
28	NORIAS DE PASO HONDO	53,000 M2	34	1	80	5,718,000 PIEZAS
27	CONEJAL	56,250 M2	39		77	7,107,000 PIEZAS
14	LOS PARGA	19,300 M2	15		17	3,286,000 PIEZAS
11	RANCHO LAS ISABELES	7,100 M2	12		21	1,266,000 PIEZAS
10	CUMBRES	6,100 M2	2	12	24	1,170,000 PIEZAS
7	LOS NEGRITOS	8,800 M2	8		17	980,400 PIEZAS
7	RANCHO DE SAN NICOLAS	11,300 M2	1	6	21	960,000 PIEZAS
7	EL TRIGO	6,910 M2	8		15	924,000 PIEZAS
6	EL COLORADO	12,200 M2	7		12	864,000 PIEZAS
6	LA HERRADA	6,659 M2	6		13	828,000 PIEZAS
6	EL RELICARIO	17,00 M2	7		16	626,000 PIEZAS
4	LOMAS DE ARELLANO	4,050 M2	3	1	8	624,000 PIEZAS
3	CIENEGUILLA	1,800 M2	1	2	6	224,000 PIEZAS
2	RANCHO SAN MIGUELITO	2,700 M2	2		7	396,000 PIEZAS
2	BARRANCA GRANDE DE COTORIN	1,350 M2	2		4	288,000 PIEZAS
2	COTORINA DE ABAJO	1,775 M2	2		4	180,000 PIEZAS
2	RANCHO LA SALADA	3,000 M2	2		4	240,000 PIEZAS
2	EJIDO EL PUERTECITO	700 M2	2		4	216,000 PIEZAS
2	EJIDO LOS CAÑOS	3,600 M2	1	1	4	264,000 PIEZAS
1	PLAYAS DE GUADALUPE	800 M2	1		3	96,000 PIEZAS
1	RANCHO LA COTORRA	400 M2	1		1	84,000 PIEZAS
1	COMUNIDAD COYOTES	2,000 M2	1		2	120,000 PIEZAS
1	RANCHO LA GLORIA	1,600 M2		1	2	312,000 PIEZAS
1	SAN JOSE DE BUENA VISTA	600 M2	1		1	84,000 PIEZAS
1	RANCHO EL GATO	800 M2		1	2	120,000 PIEZAS
1	COMUNIDAD DE JALTOMATE	400 M2		1	2	84,000 PIEZAS
1	RANCHO SAN MARTIN	1,000 M2	1		3	120,000 PIEZAS
<b>274</b>	<b>TOTAL</b>	<b>460,670 M2</b>	<b>290</b>	<b>44</b>	<b>677</b>	<b>56,228,400 PIEZAS</b>

### Ladrilleras en comunidades

No. De comunidades	No. De ladrilleras	Superficie ocupada	No. de hornos	Hornos de campaña	No. de trabajadores	Producción anual
28	189	299,844 M2	201	30	466	34,075,000 PIEZAS

### Consumo de materiales de ladrilleras en comunidades

Material	Toneladas por año
BARRO	85,869
ESTIERCOL	5,936
AGUA	34,075
LEÑA	46,200

### Emisiones de ladrilleras en comunidades

CO2 GENERADO	14,924 TONELADAS POR AÑO
-----------------	--------------------------------

### Fraccionamiento Industrial Los Arellano

No. de ladrilleras	Superficie ocupada	No. de hornos	Hornos de campaña	No. de trabajadores	Producción anual
85	160,826 M2	89	14	211	22,153,000 PIEZAS

### Consumo de materiales del Fraccionamiento Industrial Los Arellano

MATERIAL	TONELADAS POR AÑO
BARRO	55,825
ESTIERCOL	3,870
AGUA	22,153
LEÑA	6,646

### Emisiones del Fraccionamiento Industrial Los Arellano

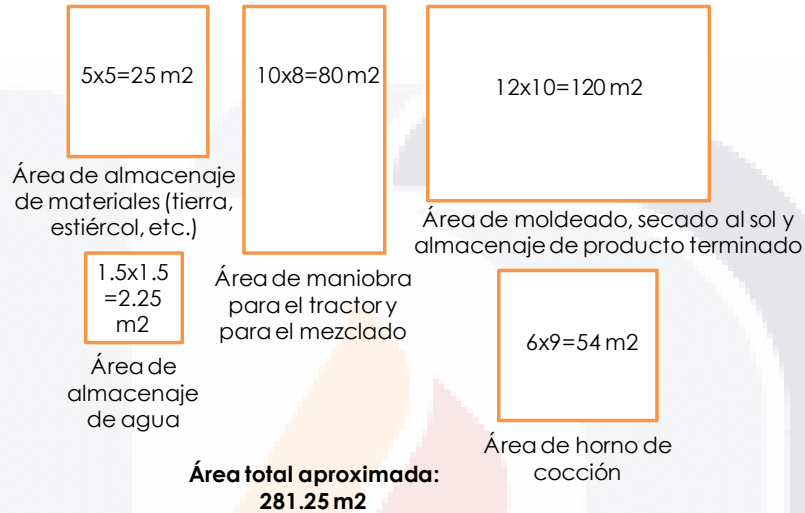
CO2 GENERADO	9,703 TONELADAS POR AÑO
-----------------	-------------------------------

Fuente: Secretaría del Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable del Municipio de Aguascalientes, 2012.

## ANEXO B

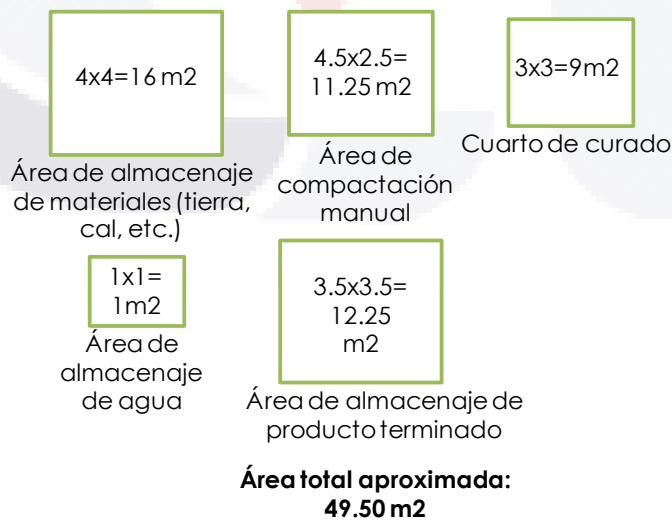
### Diagramas de superficies aproximadas para fabricación de materiales

#### Superficie necesaria para llevar a cabo el proceso de fabricación del tabique rojo recocido



Fuente: elaboración propia a partir de visita de campo en ladrillera.

#### Superficie necesaria para llevar a cabo el proceso de fabricación del bloque de tierra compactada



Fuente: elaboración propia a partir de visita de campo en laboratorio de planta Calidra.