



María Eugenia Molar Orozco

1963. 2000-02 en Nivel I. Doctora en Arquitectura de la Universidad de la arquitectura y el medio ambiente en la Argentina, en la Universidad Politécnica de Catalunya, en Barcelona, en 2005. Grado académico Máster en Diseño en Arquitectura, en Tucumán, Argentina, en 2002. Maestría en Urbanismo Superior, en 1999. Trabajó 15 años en la Universidad Autónoma de Tamaulipas. Trabaja desde el 2012 en la Universidad Autónoma de Coahuila. Miembro del Cuerpo Académico en Formación de Tecnología en la Argentina. Participa en la Red de Vivienda social. Libros de investigación en confort y sostenibilidad en espacios interiores y exteriores. Evaluadora Nacional de la Asociación Nacional de Programas de Arquitectura y Disciplinas del Espacio Habitado (CONEP) y profesora con perfil investigador. Cuenta con varias publicaciones en revistas nacionales e internacionales. Tiene tres libros como autora y dos como coeditora.

**E**l presente libro se compone de cinco capítulos; el primero, trata la evolución de las viviendas de interés social en el país en los últimos sesenta años; el segundo, la problemática de los conjuntos habitacionales actuales y presenta una propuesta innovadora para la creación de conjuntos habitacionales sostenibles; en el tercero se concierne sobre los materiales alternativos aplicados a la edificación de viviendas, específicamente con algunos ejemplos de materiales regionales; el cuarto se enfoca en el aspecto de habitabilidad y confort, mostrando la relación de ambos, analizando a varios autores y generando una nueva alternativa para su análisis en viviendas actuales que permita establecer áreas de oportunidad; y el último capítulo se enfoca en una población vulnerable y poco considerada en el aspecto de diseño para mejorar su calidad de vida, que es el aspecto ergonómico en espacios habitacionales para los adultos mayores. En suma, la construcción de la vivienda depende, en gran medida, de las fuerzas del mercado y de las políticas de las fuentes de financiamiento, que hace a un lado el bienestar físico y psicológico



fontamara

María Eugenia Molar Orozco  
Rubén Salvador Roux Gutiérrez  
(Coordinadores)

ANÁLISIS DE VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL  
DESDE LO SUSTENTABLE, LO TECNOLÓGICO Y LO SOCIAL

403

# ANÁLISIS DE LA VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL DESDE LO SUSTENTABLE, LO TECNOLÓGICO Y LO SOCIAL

Rubén Salvador Roux Gutiérrez  
María Eugenia Molar Orozco  
(Coordinadores)



editorial fontamara



Rubén Salvador Roux Gutiérrez

1963. 2000-02 en Nivel I. Arquitecto por la Universidad Autónoma de Tamaulipas (1981). Maestro en Ingeniería por la Universidad Autónoma de Tamaulipas (1990). Doctor en Arquitectura por la Universidad de Sevilla (España) (2002). Especialista en Arquitecturas de interés social. Ha realizado 14 investigaciones financieras, así como publicado seis libros y 24 artículos en diversas revistas académicas e industriales. Actualmente es catedrático-investigador de la Facultad de Arquitectura, Unidad Saltillo, de la Universidad Autónoma de Coahuila. Evaluador Nacional de la Acreditadora Nacional de Programas de Arquitectura y Disciplinas del Espacio Habitado (CONEP) y profesor con perfil investigador.

ANÁLISIS DE LA VIVIENDA DE INTERÉS  
SOCIAL DESDE LO SUSTENTABLE,  
LO TECNOLÓGICO Y LO SOCIAL

Dr. Rubén Salvador Roux Gutiérrez  
Dra. María Eugenia Molar Orozco  
Coordinadores

Argumentos 463

## ÍNDICE

Prólogo .....	7
Capítulo I. Análisis tipológico y de procedimientos constructivos en vivienda de interés social en la República Mexicana.....	11
<i>Dr. José Adán Espuna Mújica</i>	
<i>Dra. María Teresa Sánchez Medrano</i>	
Capítulo II. Problemática de los conjuntos habitacionales e implementación de conjuntos sostenibles.....	33
<i>Ana Berenice Gómez de León</i>	
<i>María Eugenia Molar Orozco</i>	
Capítulo III. Las tecnologías alternativas para la producción de vivienda de interés social.....	71
<i>Rubén Salvador Roux Gutiérrez</i>	
<i>Jesús Velázquez Lozano</i>	
Capítulo IV. Habitabilidad y confort en vivienda social .....	111
<i>María Eugenia Molar Orozco</i>	
<i>María Genoveva Vázquez Jiménez</i>	

Capítulo V. Las viviendas ergonómicas, los nuevos  
espacios habitacionales para los adultos mayores. . . . . 145

*Jesús Acevedo Alemán*

*Fernando Bruno*

*Ma. de los Ángeles Pérez Trujillo*

*María de la Luz López Saucedo*

# CAPÍTULO III

## LAS TECNOLOGÍAS ALTERNATIVAS PARA LA PRODUCCIÓN DE VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL

*Rubén Salvador Roux Gutiérrez\**

*Jesús Velázquez Lozano\*\**

### **Introducción**

El tema de las tecnologías y materiales alternativos para la producción de vivienda de interés social es de una importancia actual fundamental, debido a que los materiales utilizados hasta ahora son altamente consumidores de recursos naturales, de energía y generadores de escombros que contaminan el medio ambiente; de ahí que, al ser materiales globalizados, en la mayoría de la veces no se adecuan a los climas en donde se edifican las viviendas, dando como consecuencia que éstas tengan que consumir grandes cantidades de energía durante su etapa de uso, para lograr un confort adecuado para el usuario. Lo anterior incide directamente en los costos de las viviendas: las hace más caras tanto en su coste final como en lo que concierne a edificación y habitación.

Por otra parte, aunque cada vez se utilizan más ecotécnicas en las viviendas en México, éstas, al ser tecnología extranjera, cuestan más; por ejemplo, los calentadores solares, las celdas fotovoltaicas,

\* PTC, Facultad de Arquitectura Unidad Saltillo, UADEC, integrante del CA de Tecnología en la Arquitectura.

\*\* PTC, Facultad de Arquitectura Unidad Saltillo, UADEC, líder del CA de Tecnología en la Arquitectura.

los aerogeneradores, los equipos de reciclaje de aguas negras y grises, los mecanismos para la reutilización de aguas pluviales, los focos LED y muchas otras tecnologías existentes que permiten reducir el costo energético de las viviendas.

Actualmente, en México, se han estado implementando nuevas reglamentaciones tendientes a realizar viviendas sustentables, tal es el caso de la norma mexicana NMX-AA-164-SECOFI-2013 y la creación de la NAMA de vivienda nueva y vivienda ya construida, que son avances normativos que vendrán a regular la edificación sustentable, así como a impulsarla.

Este capítulo pretende presentar un panorama amplio de las alternativas de construcción que se pueden utilizar para poder obtener una vivienda sustentable y de bajo costo energético.

## **La problemática**

Las viviendas desarrolladas en las diferentes regiones del mundo respondían a diferentes aspectos: el climático, los recursos materiales disponibles para su construcción, las características culturales de los habitantes; lo que daba como resultado una vivienda que respondía a todas esas condiciones. Con el aumento de la población y la cada vez mayor demanda de vivienda, apareció la etapa de la industrialización de la vivienda, en que se globalizan las tecnologías de construcción, se prepondera el volumen de unidades construidas y el costo económico, dejando en un segundo término lo climático y los aspectos culturales que identificaban a los diferentes tipos de vivienda. Es entonces cuando aparecieron los materiales que se utilizan en cualquier región del mundo, como el cemento, el acero, los bloques de concreto, etcétera, que desplazaron a los materiales regionales utilizados anteriormente. El usuario empezó a preferir estos materiales muy probablemente considerando que le garantizaban durabilidad de su vivienda, calidad y un estatus social que los materiales regionales no le daban, ya que entiende su vivienda, en muchos de los casos, como la «inversión de toda su vida» (Sosa Pedroza, 2013).

## **Materiales alternativos**

A pesar de las desventajas que puedan presentar los materiales alternativos, como son la falta de normas para garantizar la calidad, la capacitación de la mano de obra para su correcta aplicación, entre otras, se ha demostrado que estos materiales tradicionales alternativos responden mucho mejor a aspectos de sustentabilidad que los materiales convencionales. A continuación, se describirán algunos de estos materiales alternativos:

### ***La tierra como material de construcción***

La palabra «adobe» parece seguro que es de origen árabe, de *tub*, 'bloque'. En castellano se usa para diferenciar al bloque crudo del cocido; y ya en el llamado *Diccionario de Autoridades*, se dice que es el bloque de tierra cruda cocida solamente al sol, mezclado con algunas pajas, para que se una y consolide.

En diferentes culturas la utilización de la tierra como material de construcción ha desarrollado técnicas «tradicionales» que varían dependiendo de la zona en donde se ejecutan, pero, en términos generales, tienen puntos en común, como la selección de los suelos, su fabricación y su secado.

Vestigios encontrados en los continentes asiático, europeo y americano confirman la utilización de técnicas constructivas de tierra desde hace muchos años. En el continente americano se hallaron en México, Venezuela, Perú, Argentina y Cuba, justificándose su uso por las características climatológicas de dichas zonas, que permitieron su empleo en muros y techumbres de las edificaciones. Ejemplo de esto es Cacaxtla, en México; Rajchi, en Perú; Tulor, en Chile. En Mendoza Argentina por ejemplo más del ochenta por ciento de la población rural sigue construyendo sus viviendas con mortero de lodo a pesar de estar prohibida la construcción con dicho material, este fenómeno se debe a los costos elevados del hormigón armado y el bloque.

En México, desde las épocas prehispánicas hasta la fecha, el adobe es un material que se ha utilizado mucho. Los ejemplos más importantes los encontramos en los estados de Chihuahua, Zacatecas, San Luis Potosí, Morelos, Guerrero, Yucatán, Campeche, Quintana Roo,

Chiapas, Tamaulipas, Tlaxcala, en donde aún se desarrollan viviendas con técnicas de construcción con tierra, sobre todo en el área rural. Paralelamente, poco a poco se han venido utilizando los bloques de tierra comprimida (BTC) en áreas urbanas, tal es el caso de la Geomorada realizada en el estado de Zacatecas, por el Instituto Zacatecano de la Vivienda, proyecto que consta de 12 condominios con una superficie mayor a la de las viviendas realizadas por otras instituciones de vivienda (Roux y Mujica, 2012).

### *El bloque de tierra comprimida, material sustentable*

Es conveniente que se defina lo que es sustentabilidad. La Comisión Bruntland define «sustentabilidad» como lo que satisface las necesidades primordiales de todo ser humano sin poner en peligro la posibilidad de las generaciones futuras de satisfacer las suyas propias.

El material denominado barro crudo, por su origen de tierra, es considerado como un material sustentable, de acuerdo con los estudios de análisis de ciclo de vida que se le han realizado. Esta afirmación se puede corroborar a través del tiempo con los ejemplos de arquitectura de tierra que existen en todo el mundo, que demuestran que la degradación normal del barro logra una integración natural en la naturaleza. Además, su tecnificación ha incorporado materiales o sustancias que mejoran sus características originales. Normalmente, estas adiciones (como la savia o mucílago del nopal, fibras vegetales y otras) también pretenden ser biodegradables, pero en algunas zonas donde el clima es más agresivo a las características naturales y, en consecuencia, erosiona con más facilidad este material se incorporan ciertos materiales como el cemento Portland, emulsiones bituminosas o polímeros, en cantidades que no resulten nocivas al medio ambiente. Este material alternativo, que es utilizado en la arquitectura tradicional, ha demostrado tener una importante capacidad de conservación ambiental, haciendo que se emplee en la actualidad en forma mejorada, semiindustrializada e industrializada, como una alternativa para la edificación de viviendas.

Por si fuera poco, estudios indican que los materiales de tierra consumen menor energía que los materiales actualmente empleados. «La ejecución de una tonelada de construcción con tapia o tapial su-



pone un consumo energético prácticamente nulo; una tonelada de material utilizado en construcción de barro crudo estabilizado con cuatro por ciento de cemento consume unas 55 termias, frente a las 170 necesarias para una tonelada métrica de concreto en masa, las 750 para igual peso de cerámica o las 7800 termias consumidas cuando de lana mineral se trata» (Roux y Mujica, 2012).

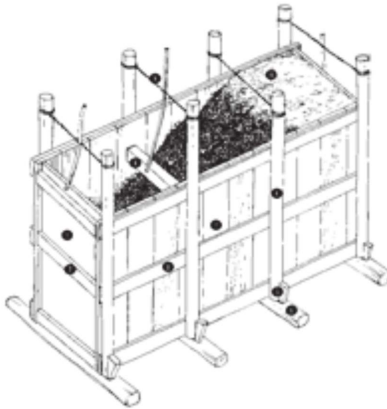
### *Técnicas para construcción con tierra*

#### *Tapial*

Las civilizaciones que se desarrollaron en el norte de nuestro país y al sur de EUA utilizaron esta técnica. Se piensa que fue debido a la falta de vegetación que les impidió usar otras, que sí desarrollaron otras culturas; además de la influencia del clima tan extremo de esa zona, ya que estos habitantes construyeron viviendas con un confort similar al que tenían en las cuevas. Así fue como, poco a poco, se fueron realizando viviendas con materiales de fácil manejo y abundantes en la región.

«En algún momento descubrieron las ventajas de colocar la tierra dentro de una cimbra, desarrollándose paulatinamente el sistema constructivo del tapial, que llegó a alcanzar tal grado técnico que ha permitido que aún hoy permanezcan en pie grandes secciones de construcciones de tierra, a pesar de lo deleznable que se vuelve el material al no haber recibido mantenimiento durante tanto tiempo» (Baca, 1994). Un ejemplo de esta técnica en nuestro país es la zona arqueológica de Casas Grandes en el estado de Chihuahua (ver imagen 1).

Imagen 1. Partes del tapial



1. Compuerta
2. Separador
3. Travesaño
4. Paral
5. Cuña
6. Aguja
7. Cortado
8. Traviesa
9. Tortolo

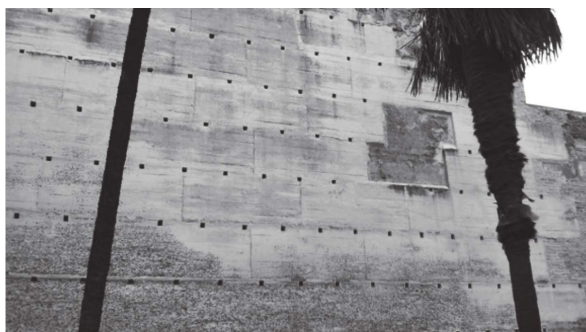
Fuente: <http://j-1.es/farfanestella/bioclimatica/?cat=7&paged=2>.

Las paredes monolíticas son fabricadas por medio del apisonado de material suelto, para, de esta manera, formar el muro; para ello, hay que contar con un encofrado total o parcial. Por sus características de construcción, el espesor logrado en los muros fluctúa entre 30 y 40 centímetros, por lo que las dimensiones del elemento deben ser muy grandes, lo que ha limitado esta técnica al uso rural, ya que en las zonas urbanas, con la problemática de reservas territoriales para la edificación de viviendas, es difícil su utilización. Uno de los principales problemas de la técnica se encuentra en la terminación del muro y el inicio de los techos, por lo que es necesario recurrir a técnicas mixtas.

«En comparación con técnicas en las que el barro se utiliza en un estado más húmedo, la técnica del tapial brinda una retracción mucho más baja y una mayor resistencia. La ventaja en relación a las técnicas de construcción de adobe es que la construcción de tapial es monolítica y por lo tanto posee una mayor estabilidad» (Minke, 1998).

Esta técnica ha sido utilizada sobre todo en zonas con clima semiárido, ya que tiene la inercia térmica adecuada en los picos máximos y mínimos del ciclo de temperatura (ver imagen 2).

Imagen 2. Muro de tapia. Alcázar de Jerez de la Frontera, España



Fuente: fotografía del autor.

Esta técnica es la que más se aproxima al término de construcción sustentable, ya que, al emplearse el material del lugar, no requiere mucha energía en el proceso de producción ni transportación. Por si fuera poco, al término de su vida útil el suelo se puede reutilizar para hacer tapia, BTC o, en su defecto, se incorpora casi totalmente a la naturaleza.

La tierra adecuada para la producción de esta técnica es suelo arenoso, que contenga 30 por ciento de arcilla y 70 por ciento de arena, con un límite líquido de  $\leq 45$  por ciento y un índice plástico  $\leq 18$  por ciento, con una contracción lineal  $\leq 2$  cm.

Se recomienda utilizar algún estabilizante para garantizar una mayor capacidad de carga del elemento y una mayor durabilidad. La selección del estabilizante dependerá de las pruebas de laboratorio, que indicarán cuál es el idóneo, según el tipo de suelo.

### *El entramado o bajareque*

Esta técnica data desde la sedentarización del hombre, hecho acontecido hace ya 7,000 años.

En el momento en que el hombre tuvo que permanecer en un sitio, para cuidar los cultivos o los animales que domesticó, se hizo necesaria la construcción de un hábitat mejor que las cuevas.

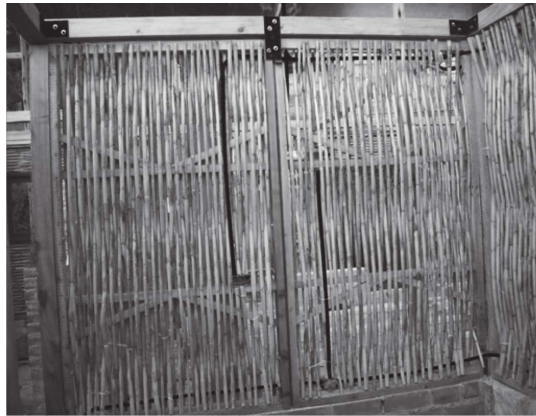
El primer paso fue «embarrar» un material vegetal, mejorando con esto la hermeticidad de los muros y naciendo de esta manera la técnica que hoy conocemos como bajareque.

En México, una vez que fue comprobada la eficiencia del sistema constructivo, debido a la facilidad para realizarlo, por lo barato que es y el confort térmico que se logra, continuó aplicándose hasta la llegada de los españoles. Hoy día esta técnica se sigue empleando de manera importante en las costas y en las zonas tropicales de México.

Esta técnica tiene diferentes nombres en el continente americano, en el sur se le conoce como «quincha»; en Brasil, como *taipa* y en el resto del continente como «bajareque». Se clasifica como un sistema constructivo artesanal, debido a que la totalidad de los materiales utilizados son no procesados, ya se utilicen en forma individual o combinadamente.

La técnica se fundamenta en la fabricación de una estructura a base de piezas de madera natural o procesada, bambú u otates, de diámetros adecuados, que son utilizados para rigidizar los marcos de las paredes (ver imagen 3). Estos marcos son complementados con un tejido más fino a base de ramas de menor diámetro, cañas o bambú, amarradas con fibra vegetal o por medio de clavos. Posteriormente, los espacios que quedan son llenados con tierra, especialmente arcillas. Como medida de estabilización se incorporan materiales pétreos u orgánicos, como pueden ser piedra o concha de coco. Por último, se protege por medio de la aplicación de una capa de cal en forma de pintura.

Imagen 3. Estructura de bajareque con instalaciones eléctricas



Fuente: fotografía de Lucía Garzón.

La durabilidad de esta técnica es corta; sin embargo, su reparación es muy sencilla, ya que, por lo regular, los materiales necesarios se encuentran en los alrededores de donde se edifica.

La desventaja de este sistema es que, en la práctica, a menudo aparecen grietas y fisuras, debido a que la capa de revoque sobre los elementos de madera no tiene un espesor suficiente. Por las grietas y fisuras penetra el agua de la lluvia, originando expansión y desprendimiento del revoque de barro. Asimismo, existe riesgo de que las vinchucas vivan en estos huecos, contagiando el mal de Chagas. Por ello, esta técnica se recomienda sólo si la ejecución es perfecta: sin fisuras ni grietas (Minke, 1998).

Para esto, debe seleccionarse el tipo de tierra que se usa para rellenar la estructuras; la mezcla exige menos selección de los suelos que en otras técnicas de construcción con tierra (adobe, tapia pisada, BTC), aunque debe analizarse; para ello, es necesario conocer las características de granulometría y la plasticidad del suelo (ver imagen 4).

La composición granulométrica de la tierra apropiada para la realización de las técnicas mixtas debe contener suelos finos con un porcentaje de arcilla suficiente que otorgue cierta plasticidad a la mezcla, una buena adherencia con las fibras y con el entramado.

A continuación, veremos algunas consideraciones sobre la composición granular de la tierra:

Imagen 4. Embarrado del bajareque



Fuente: fotografía de Lucía Garzón.

**Arena:** es un elemento importante que mantiene estable la mezcla. De acuerdo con algunas investigaciones se recomienda un mínimo de 50 por ciento de arena. Se sugiere que sea fina, para poder tener acabado de mejor calidad. Existen diferentes tipos de acuerdo a su procedencia. Se extrae arena de trituración, de río o de mar, cada una con una granulometría y textura diferentes por los componentes minerales y químicos. No se recomienda usar arena de mar.

**Limo:** es un suelo fino con cierta cohesión, susceptible de variaciones de volumen en presencia de agua. Un muro que tenga limos en exceso puede deteriorarse con la humedad. Se sugiere que no sea mayor a un 30 por ciento.

**Arcilla:** es el suelo que aporta la cohesión y permite la adherencia de las fibras de la mezcla. Según la naturaleza geológica, existen diversos tipos de arcilla, tales como las caolinitas, las ilitas y las montmolinitas; algunas de las cuales absorben mucha agua, lo que provoca un mayor grado de expansión y contracción en el secado, dando como resultado una inestabilidad del elemento constructivo.

Es natural que en el proceso de secado se presenten rajaduras, pero debe buscarse un equilibrio y por ello cuidar la elección de las arcillas de modo que no permitan la penetración de la humedad, tanto para los muros como para el interior de las estructuras (madera). Mucha arcilla resquebraja la envoltura cuando se seca; poca arcilla no permite adherirlo a la estructura; por ello debe buscarse óptimamente un suelo con 20% de arcillas. En su defecto se pueden buscar otros elementos que aumenten la cohesión y adherencia de la mezcla (Neves y Borges Farías, 2011).

La plasticidad del suelo se define por medio de los estándares de Attenberg, que son el límite líquido y el límite de plasticidad, con los cuales se calcula el índice de plasticidad.

El límite líquido debe ser menor o igual a 50 por ciento, que se refiere a la cantidad de humedad que debe contener el suelo que se utilizará para revestir las técnicas mixtas.

«Se recomienda que para poder colocar en las estructuras el suelo durante el proceso de colocación de la mezcla, se requiere una humedad permanente y es necesario que se mantenga así durante varios días, esto se logra mediante rociado cuando las condiciones climáticas lo ameriten (mucho calor o viento) dependiendo del caso» (Neves y Borges Farías, 2011).

## *Adobe*

Esta técnica tiene sus orígenes en la cultura egipcia y fue llevada al Mediterráneo por los romanos; luego, ampliamente difundida durante la invasión musulmana a Europa.

Los inicios de la arquitectura en Mesoamérica se remontan hasta el llamado periodo Preclásico (1200-800 a. de C.) con los grandes centros olmecas de San Lorenzo y la Venta, cuyas características habrán de influir no sólo en la ulterior arquitectura, sino en la misma urbanística de Mesoamérica. La construcción con adobe era familiar para los nativos de México y esta técnica se continuó hasta la época de la Colonia. Esta técnica utilizaba la mezcla del barro con paja, sin embargo, no existen evidencias de que esto fuera común en épocas antiguas, ya que este procedimiento es habitual en sociedades agrícolas y la utilización de otras fibras como el maguey no ha sido encontrada en los adobes existentes. Los adobes fueron utilizados no sólo en el centro de México sino también en las regiones montañosas, tropicales debido a la falta de piedra y a la escasez de trabajo. La construcción de adobe también se practicó en la costa del Golfo. La primera ciudad de Veracruz fue construida con mortero de lodo y resultó varias veces destruida por las inundaciones (Guerrero Baca, 1994).

La fabricación del adobe se remonta a los principios del hombre, cuando éste tenía la necesidad de protegerse del medio ambiente. Lo más fácil, para edificar un espacio habitable, era apilar piedras aglutinadas con barro. Sin embargo, donde no era posible la obtención de piedras se comenzó a utilizar el bloque de barro crudo, el cual era secado al sol.

Existen dos formas de fabricar los adobes: una es haciendo una pasta con tierra muy plástica, la cual se coloca en los moldes para formar los BTC; la otra es la utilización de tierra con una humedad adecuada para posteriormente compactarla por medios semimecánicos o mecánicos.

Actualmente, es ésta última la técnica más difundida y la que más aportaciones tecnológicas ha tenido. La forma tradicional continúa utilizándose en zonas rurales, mientras que en las zonas urbanas se ha desarrollado tecnologías que utilizan máquinas de prensado hidráulico o semimecánicas (CINVA-RAM), así como adiciones de materiales que mejoran la característica de durabilidad.

## BTC

«La respuesta adecuada del técnico a la interrogante sobre cuál es la mecanización necesaria y posible para una obra de tierra, constituye una buena parte del éxito-fracaso concerniente de toda realización» (Salas Serrano, 1995).

Una de estas tecnologías es el bloque prensado de tierra, que se conoce como bloque de tierra comprimida (BTC) (ver imagen 5). Se llama bloque de tierra comprimida a aquel bloque al que se le han incorporado otros materiales con la finalidad de mejorar sus características físicas y mecánicas, pero además, el que su proceso de fabricación emplea maquinaria que comprime el material de una manera significativa, haciendo que mejoren así sus características mecánicas.

Imagen 5. Bloques de tierra comprimida fabricados en un taller de construcción con tierra en Gómez Farías, Tamaulipas



Fuente: fotografía del autor.

Los suelos utilizados para la fabricación de los BTC deben ser finos (arcillas o limos) de baja plasticidad, cuyo porcentaje no debe ser mayor al 40 por ciento del volumen total de suelo. En cuanto a la granulometría se recomienda que el tamaño mayor sea el que pase la maya número 40 (4.76 mm). Para determinar las características del suelo se deben realizar pruebas como las que mencionadas en la tabla 1.



Tabla 1. Propiedades de la tierra

PROPIEDADES	ANÁLISIS DE LABORATORIO	ANÁLISIS DE CAMPO
Propiedades químicas		
Sales, óxidos, sulfatos, etcétera	Ensayos químicos	Aspectos (color, olor, sabor, tacto)
Propiedades físicas		
Granulometría	Ensayo granulométrico	Prueba de rollo o cinta
	Ensayo de sedimentación	Prueba de la botella
Plasticidad	Límites de Atterberg	Prueba de la pastilla
Compactación	Ensayo Proctor	Prueba de la bola

Fuente: Seisdedos (2010).

La prensa más utilizada a nivel mundial es la denominada CINVA-RAM (ver imagen 6), la cual fue desarrollada en Colombia por el ingeniero chileno Raúl Ramírez, en el Centro Interamericano de Vivienda y Planeamiento (CINVA).

Imagen 6. Prensa CINVA-RAM, utilizada en taller de construcción con tierra en Gómez Farías, Tamaulipas



Fuente: fotografía del autor.

La prensa se compone de un molde dentro del cual actúa un pistón accionado por una palanca que opera manualmente; al accionarla hace que el pistón ejerza fuerza sobre la placa del fondo del molde, lo que comprime la tierra semihúmeda que, junto con el estabilizante utilizado, da como resultado un bloque de tierra comprimida. Para poder sacar el BTC del molde se acciona la palanca en el sentido inverso; el bloque es expulsado, se retira a mano y se pone a secar a la sombra por siete días, durante los cuales se cura con agua, usando un atomizador de tipo niebla.

Con esta prensa se pueden producir unas 600 piezas diarias (Lou Má, 1981). En el mercado existe un gran número de tipos de prensas. En la tabla 2 se presentan de manera general sus principales características.

Tabla 2. Propiedades de las prensas para componentes de suelo estabilizado

Tipo de prensa		Energía de compactación (Mpa)	Porcentaje de compactación de la tierra*	Producción de BTC/día
Manual	Mecánica	1.5 – 2.0	1.38	300 a 1200
	Hidráulica	2.0 – 10.0	1.65	2000 a 2800
Motorizada	Mecánica	4.0 – 24.0	> 1.65	1600 a 12000
	Hidráulica	> 20.0	> 2.00	2000 a 4000

\* Corresponde a la relación entre el volumen de la mezcla en estado suelo y en estado compactado, siendo proporcional a la energía de compactación.

Fuente: Neves y Borges Farías (2011).

### *Normatividad*

A nivel mundial existen diversas normas para la fabricación de BTC.

En Brasil, la ABNT, *Associação Brasileira de Normas Técnicas*, en el periodo de 1984 a 1989, publicó las siguientes normas para BTC con adición de cemento 2, siendo dos de ellas revisadas en 1994:

- NBR 8491 – Tijolo maciço de solo-cimento. Especificação. 1984
- NBR 8492 – Tijolo maciço de solo-cimento – Determinação da resistência à compressão e da absorção de água. Método de ensaio. 1984
- NBR 10832 – Fabricação de tijolo maciço de solo-cimento com a utilização de prensa manual. Procedimento. 1989
- NBR 10833 – Fabricação de tijolo maciço e bloco vazado de solo-cimento com a utilização de prensa hidráulica. Procedimento. 1989
- NBR 10834 – Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural. Especificação. 1994
- NBR 10835 – Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural – Forma e dimensões. Padronização. 1989
- NBR 10836 – Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural – Determinação da resistência à compressão e da absorção de água. Método de ensaio. 1994.

En Colombia, el ICONTEC, Instituto Colombiano de Normas Técnicas publicó, en 2005, la norma NTC 5324. Bloques de Suelo Cemento para Muros y Divisiones.

Definiciones.

Especificaciones. Métodos de Ensayo. Condiciones de Entrega, que es una declarada traducción de la norma francesa AFNOR XPP 13-901:2001.

Al final de 2008, la AENOR -Asociación Española de Normalización y Certificación- publicó la norma UNE 41410 – Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo (Neves y Borges Farías, 2011).

En México, en el 2015, el Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, A.C. publicó la norma mexicana NMX-C-508-ONNCCE-2014, INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN – BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA ESTABILIZADOS CON CAL - ESPECIFICACIONES Y MÉTODOS DE ENSAYO.

## Adobes

Los adobes son mampuestos fabricados con una mezcla de suelo en estado plástico, a la cual se le puede añadir paja o fibras vegetales, crin de caballo, para evitar que en su proceso de secado se fisure por contracción; también se le pueden incorporar sustancias tales como mucílago de nopal, estiércol de caballo, etcétera, para que tenga una mayor resistencia al agua y a la humedad (ver imágenes 7, 8 y 9).

Imagen 7. Amasado de la muestra



Fuente: fotografía del autor.

Imágenes 8 y 9. Llenado de molde en fabricación de adobes. Y moldes de madera



Fuentes: Adán Espuna y María Molar.

Para su fabricación se utilizan moldes de madera con una o dos piezas, aunque en algunas partes se han desarrollado moldes metálicos. Los moldes son llenados con el suelo mezclado con las fibras y las sustancias arriba mencionadas, sin aplicar compactación alguna; una vez llenos se retiran y se deja secar el adobe, con una rotación durante el proceso de secado, para garantizar que el mampuesto seque de manera uniforme.

Otras consideraciones en la construcción con adobes son, según Neves y Borges (2011):

- Fácil de fabricar, secar y apilar.
- Material con capacidad aislante importante por su porosidad.
- Permite diversidad de formas y tamaños.
- Es reciclable en un 100 por ciento.
- Requiere mano de obra común y el equipamiento artesanal es muy económico.
- Se puede usar para construir muros, arcos, bóvedas y cúpulas.
- Hay abundancia de la materia prima.

Como desventajas, se pueden citar:

- Tiene bajas resistencias a compresión, flexión y tracción, comparadas con las de un BTC y las de algunos mampuestos industrializados (ladrillo cocido, ladrillo cerámico, bloque de concreto).
- La fabricación artesanal de la unidad requiere esfuerzo humano considerable y superficies amplias y aireadas para el secado.
- Requiere mucha agua en su fabricación.
- Es difícil obtener dimensiones regulares para todas las unidades.
- La calidad de la unidad está condicionada por el mezclado e hidratado del pastón en reposo durante varios días («dormir» o «dejar en reposo» el barro).
- En zonas afectadas por sismos las cubiertas en cúpula y las bóvedas pesadas no son convenientes, y la mampostería exige refuerzos y arriostres apropiados.
- Absorbe mucha agua debido a su porosidad.

## Insumos

Para poder fabricar los adobes se requiere un suelo de arena arcillosa que contenga muy pocos limos; el exceso de arcilla hará que se fisure más el adobe al momento de su secado, mientras que el exceso de arena hará que el suelo tenga la cohesión necesaria para poder fabricar el adobe. La norma peruana NTE-E-080 sugiere la siguiente proporción de componentes: arcilla, de diez a 20 por ciento; limo, de 15 a 25 por ciento, y arena, de 55 a 75 por ciento. A continuación, en la tabla 3, se presenta la composición granulométrica adecuada propuesta por diversos investigadores.

Tabla 3. Composición granulométrica de la tierra, adecuada para la fabricación de adobes, según varios investigadores

INVESTIGADORES	Arcilla (por ciento)	Limo (por ciento)	Arena (por ciento)
Barrios <i>et al.</i> (1987)	35-45	55-65	
Houben y Guillaud (1994)	15-29	-	-
Graham Mc Henry (1996)	15-25	-	-
Carazas Aedo (2002)	Un volumen de tierra arcillosa: dos volúmenes de tierra arenosa		
HB 195 (2002)	10-40	10-30	30-75 (arena y grava)
Proyecto Homero (2007)	60 por ciento de tierra arcillosa: 50 por ciento de tierra arenosa		

Fuente: Neves y Borges Farías (2011).

## Normatividad

- COBE – Adobe estabilizado. Lima: Ministerio de Vivienda y Construcción. Oficina de Investigación y Normalización. 1977.

- ITINTEC 331.201; 331.202; 331.203. Elementos de suelo sin cocer: adobe estabilizado con asfalto para muros: Requisitos, métodos de ensayo, muestra y recepción. Lima: Instituto de Investigación Tecnológica y de Normas Técnicas. 1978.
- New Mexico Administrative Code (NMAC) 14.7.2. 1997 New México Building Code. 14.7.2.30, Chapter 21, Masonry: Uniform Building Code, 2109.9 Unburned Clay Masonry (adobe). Santa Fe, NM: Construction Industries Division (CID) of the Regulation and Licensing Department. 2000.
- New México Building Code, Section 2412. Uniform Building Code, Section 2405. 1982. Santa Fe, NM: Construction Industries Division (CID) of the Regulation and Licensing Department.
- Norma Técnica de Edificación NTE E 080 Adobe. Lima: SENCICO, 2000. Recomendaciones para la elaboración de normas técnicas de edificaciones de adobe, tapial, ladrillos y bloques de suelo-cemento. La Paz: HABITERRA/CYTED, 1995 (Neves y Borges Farías, 2011).

### *La paja como material de construcción*

A lo largo del tiempo, en México se han venido desarrollando dos técnicas constructivas que utilizan pacas de paja para realizar viviendas sustentables:

- a) Pajas con estructura de soporte
- b) Pajas sin estructura de soporte

Este tipo de construcción no requiere de mano de obra especializada, se puede capacitar a las personas que realizarán la vivienda en muy poco tiempo, lo que hace posible que la ejecución de la obra se realice en menor tiempo que el empleado en las viviendas convencionales. Es importante destacar que la utilización de la paja evita que ésta sea quemada (como comúnmente se hace), evitando, por lo tanto, contaminación por monóxido de carbono.

Para esta técnica se requerirán materiales locales como: paja, madera para la estructura, marcos de puertas y ventanas, carrizo, morillos

de pino, tierra arcillosa para la techumbre, así como también tierra, cal y cemento para los recubrimientos; piedra para los cimientos y algunos materiales convencionales como clavos, varillas, tuberías de plástico.

### *Características de las pacas*

Las pacas tienen mayor capacidad de aislamiento térmico que la madera, los ladrillos e incluso el adobe. Esta característica es ideal para zonas con clima extremo, pues se reduce el gasto de energía que se requiere para enfriar y calentar una construcción.

La eficacia térmica se mide con el valor R (de resistencia al flujo de calor). En el ladrillo, este factor es igual a 0.2, mientras que para la madera es de uno; en el adobe, es de 12. La resistencia al flujo del calor de las pacas de paja es mayor que la de los otros materiales: su valor es igual a 42.8.

Es preferible utilizar paja de trigo o avena, pero también se puede utilizar la de sorgo sin semillas. Las pacas deben ser solamente de «popote», que se obtiene después de cosechar la semilla, y deben cumplir con las características siguientes:

- Compactas
- Uniformes
- Secas (para evitar la pudrición del material)

Las pacas se utilizan como bloques (igual que la mampostería) que se unen entre sí con varillas y se «flejan» o amarran desde el cimiento.

Los muros de pacas son flexibles, actúan bajo compresión y son relativamente elásticos ante movimientos sísmicos (Comisión Nacional Forestal, 2008).

#### *a) Pajas con estructura de soporte*

En este sistema se utiliza una estructura construida a base de bloques de concreto, concreto, madera o acero, la cual será el elemento que soporte el peso de la techumbre; las pajas sólo se utilizarán para re-



llenar el espacio de los marcos estructurales como muros divisorios, sin ninguna capacidad de carga. Este sistema no tiene restricciones en cuanto a tamaño de la construcción ni en cuanto al número de pisos, debido a que la estructura es la que soportará el peso de la construcción en general, por lo que se recomienda calcularla antes de ejecutar la obra.

Los muros de paja se pueden revocar con tierra arcillosa y cal, al igual que se hace en la técnica mixta de bajareque, para dar una mejor apariencia ante los usuarios (ver imagen 10).

Imagen 10. Construcción con pacas con estructura de soporte



Fuente: elaboración propia.

### *Procedimiento constructivo*

**Cimentación.** Será convencional de concreto ciclópeo o piedra, de acuerdo a la región y a las características mecánicas del suelo. Se debe dejar un sobrecimiento o zócalo de 30 cm, así como huecos a lo ancho del cimiento, utilizando mangueras y colocándose aproximadamente un metro de separadas para el zunchado de la primera hilada de pajas. Sobre el eje del cimiento se colocarán varillas de 50 cm de largo para el fijado de las pacas.

**Muros.** En las esquinas, o donde estructuralmente se requiera, se construirá la estructura de concreto, bloque de concreto, metal o madera. Una vez realizada la estructura, se empezará a colocar las pacas con un cuatrapeo (como se hace en los muros de mampostería). En

los espacios donde se colocarán las puertas y ventanas se dejarán marcos de madera de las dimensiones adecuadas. Como medida de sujeción se colocarán dos varillas del número tres de un metro de largo a cada tres hiladas de pacas.

En las esquinas se colocarán medias pacas. Una vez que se alcance la altura de proyecto se procederá a colocar una viga de madera de diez por diez centímetros, con la finalidad de darle peso al muro de paja. Al mismo tiempo, se zunchan las pajas desde la cimentación y hasta la viga de madera con alambre galvanizado calibre 18, tanto en lo vertical como de forma diagonal, para darle uniformidad al muro.

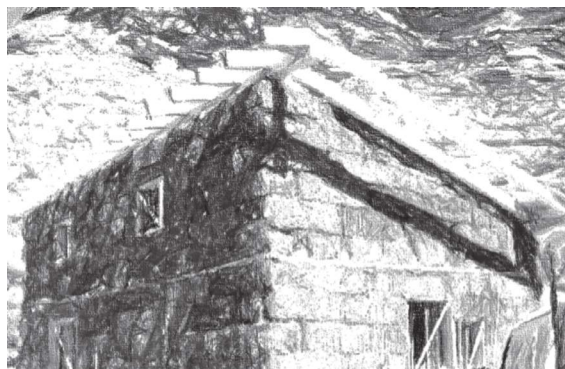
*Embarrado del muro.* Una vez terminada la construcción de la estructura y los muros, se procederá a aplicar una capa de lodo, el cual debe tener las mismas características que el que se utiliza para la técnica de adobe o bajareque. Se recomienda utilizar tierras de baja plasticidad, para evitar las fisuras por contracción. Se colocarán dos capas de barro y, posteriormente, una malla metálica o plástica tipo gallinero, sujeta con grapas metálicas al muro. Por último se pone la capa final de mortero (cemento-cal-arena) en proporción 0.5 de cemento, 0.5 de cal y tres de arena, y se concluye con la pintura a base de cal.

*Techumbre.* La fabricación del techo es por medio de morillos de madera de pino, que se apoyan sobre las vigas de madera. Sobre los morillos se colocará un entramado de carrizo, bambú o ramas de madera; éstos se entrelazan con cinta de rafia o hilaza hasta formar una tarima. Después se coloca un plástico calibre 600, sobre el cual se pone una capa de tierra apisonada de 10 cm de espesor. Finalmente, se coloca una capa de mortero en la misma proporción que se utilizó en los muros, y se impermeabiliza con cal, jabón de barra, piedra alumbre y mucílago de nopal.

#### *b) Paja sin estructura de soporte*

Esta técnica constructiva con paja tiene algunas limitaciones, como son que sólo se podrán edificar viviendas de un solo nivel y que los huecos de puertas y ventanas no podrán ser mayores al 50 por ciento del área total del muro. Por ello, la techumbre debe ser ligera y para dar los acabados hay que esperar a que las pacas de paja se asienten con el peso de la techumbre (ver imagen 11).

## Imagen 11. Construcción con pacas sin estructura de soporte



Fuente: elaboración propia.

*Cimentación.* Se hace igual que en la técnica de pajas con estructuras de soporte.

*Muros.* Al igual que en el sistema de pacas con estructura de soporte se colocarán varillas del número tres de 50 cm de longitud sobre el eje del cemento, para posteriormente colocar la primera hilada de pajas; las siguientes hiladas de todas las paredes se pondrán siguiendo el cuatrapeo (como en los muros de mampostería). En las esquinas se debe colocar grapas de varillas del número tres, para conectar las pacas y darle una mayor rigidez al muro. En los lugares indicados por el proyecto para puertas y ventanas se ubicarán los marcos de madera previstos para cada caso, procurando que las puertas y ventanas no queden a menos de paca y media de la esquina.

La altura máxima recomendada es de seis o siete pacas. Una vez alcanzada la altura se colocan las vigas de diez por diez centímetros, y se zunchan junto con las pacas desde la cimentación.

*Techumbre.* Al igual que en la técnica de pacas con estructura de soporte, la techumbre se realiza con morillos de madera de pino, carrizo y tierra apisonada, la única diferencia es que en esta técnica se construye primero la techumbre antes de dar los acabados.

*Embarrado del muro.* El embarrado de los muros y el acabado final son iguales que en la técnica de pacas con estructura de soporte, sólo se debe dejar que toda la construcción se asiente con el peso de la techumbre, para que no aparezcan fisuras en el aplanado.

## *Los materiales de reciclaje*

El uso de botellas de tereftalato de polietileno (PET) no es algo nuevo, existen antecedentes desde 1970 de edificaciones realizadas por Michel Reynolds en EUA; o viviendas de 70 m<sup>2</sup> hechas por el profesor de ciencias físicas Tomislav Radovanovic en 2005; en 2007, en Kragujevac, Belgrado, se registró la construcción de un templo en Tailandia con este material. En Latinoamérica también se ha desarrollado la construcción con esta técnica (Ruíz Valencia, López Pérez, Cortes, & Froese, 2012): en el año 2010, en la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo de la Universidad Autónoma de Tamaulipas, se desarrolló un prototipo de una vivienda de 46 m<sup>2</sup>, a cargo de la doctora Yolanda Guadalupe Aranda Jiménez y el doctor Rubén Salvador Roux Gutiérrez, utilizando botellas de PET de desecho rellenas con tierra y pegadas con mortero de cal-arena 1:4 (ver imágenes 12, 13 y 14).

Imagen 12. Construcción con botellas de PET, proyecto Universidad Autónoma de Tamaulipas



Fuente: elaboración propia.

Imagen 13. Construcción con botellas de PET, enrase de muros



Fuente: elaboración propia.

Imagen 14. Construcción con botellas de PET, colado de cadena de cerramiento



Fuente: elaboración propia.

## *Procedimiento constructivo*

### Selección de las botellas

Se recomienda seleccionar botellas del mismo tamaño, ya sean de un litro, 600 mL o 300 mL, preferentemente que tengan contengan el tapón o tapa para poder cerrarlas una vez rellenas con la tierra.

*Llenado de las botellas.* Se puede utilizar cualquier tipo de tierra, la función es darle mayor estabilidad a las botellas. Para el llenado se utiliza un embudo y se debe apisonar la tierra, para evitar que la botella, una vez colocada, se pueda deformar o aplastar.

*Pegada.* Para pegar las botellas se utilizan diferentes tipos de morteros, como cemento-arena en proporciones 1:4 o 1:5; también se puede utilizar mortero de cal-arena en proporción 1:4, o también barro, similar al utilizado para pegar los adobes. La primera hilada de botellas se coloca encima del sobrecimiento, arriba de una capa de mortero, debiendo quedar niveladas y a plomo; sobre esta hilada se coloca otra capa de mortero y, entre botellas, se coloca la de la siguiente hilada, y así subsecuentemente mientras se amarra los picos de la botella con una cuerda de polipropileno de ocho milímetros de diámetro en forma transversal, para dar una mayor rigidez. Así, hasta alcanzar la altura de proyecto. Entre hilada e hilada y ahogado en el mortero se debe dejar pedazos de alambre recocido de una dimensión mayor de 15 cm al espesor del muro, aproximadamente separados a unos 30 cm.

*Cimiento.* El cimiento puede ser convencional, a base de zapatas de concreto, cimiento de piedra o concreto ciclópeo, pero cuidando que soporte, cuando menos, el peso propio del muro. Se recomienda dejar un sobrecimiento de unos 60 cm, de piedra, bloques de concreto, ladrillo o cualquier otro material que evite la subida de humedad por capilaridad.

*Estructura.* Sobre los muros de botellas de PET se fabricarán dadas de cerramiento de concreto de 15 cm x 20 cm, armadas con cuatro varillas del número tres y estribos del número dos a cada 20 cm. En las esquinas se pueden colar castillos de concreto conformes a las dimensiones de las botellas, armados con cuatro varillas del número tres y estribos del número dos a cada 20 cm, para formar un diafragma resistente.

*Estructura.* Sobre las dalas de cerramiento se deberá construir la techumbre, la cual se sugiere que sea ligera; puede ser de madera, metálica (a base de lámina galvanizada) o de tierra (igual a la utilizada en el sistema con pacas de paja). La estructura de la techumbre se deberá fijar a las dalas de cerramiento.

*Puertas y ventanas.* En los sitios señalados por el proyecto se deberán dejar los huecos para puertas y ventanas; esto se logra por medio de la colocación de marcos de madera, que permiten la puesta de las botellas y seguir con la fabricación de los muros a su término.

*Acabados.* Una vez terminados los muros y la techumbre, se procederá a colocar una tela tipo gallinero metálica o plástica, la cual se sujetará a los alambres recocidos en el proceso de fabricación de los muros. Una vez puesta la malla se dispondrá del mortero de cemento-arena, cal-arena o barro, en varias capas, que debe quedar perfectamente finado, para aplicar pintura a la cal en dos manos.

### *Uso de la cal como material sustentable*

La utilización de cal sirve para la estabilización de suelos finos y para la elaboración de morteros para la pega de mampuestos o para revoques de muros o losas. Los vestigios de uso de la cal como elemento cementante se encuentran hace unos 1,400 años, en restos de cimientos en Turquía.

Se le llama cal al producto que procede de la calcinación de la piedra caliza. En función de la naturaleza de la piedra que da origen a la cal se pueden obtener diferentes tipos: la muy pura, llamada altamente cálcica, o las altamente hidráulicas con contenido de óxido de calcio del 50 por ciento o menos. A grandes rasgos, hay dos tipos de cales:

- *Cales aéreas.* Las que se componen básicamente de óxido de calcio y magnesio, y que se endurecen lentamente por la presencia en el aire del dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ); no presentan propiedades hidráulicas, es decir, no endurecen con el agua, y se obtienen de la calcinación de rocas calizas con porcentajes de carbonato superiores al 95 por ciento.
- *Cal apagada o hidratada.* Esta cal también es conocida como hidróxido de calcio. Endurece lentamente con el aire y se uti-

liza como aglomerante, debido a la evaporación del agua con la que se formó la pasta y por una recarbonatación por la absorción del anhídrido carbónico del aire, formándose carbonato de calcio y agua; de tal suerte que en este proceso se reconstituye, de manera muy lenta, la piedra caliza que dio origen a la cal.

### *Ciclo de la cal*

El material constructivo que se conoce comúnmente como cal es el producto de un proceso de calcinado, rehidratación y secado de rocas de origen calizo. Este proceso resulta sumamente interesante debido a los factores ecológicos que involucra.

Se trata de un desarrollo de tipo cíclico, que inicia con la transformación del carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), mineral de origen sedimentario, y concluye con la generación del mismo material, pero mediante un procedimiento artificial. Para comprender de manera más clara esta metamorfosis, se puede explicar a partir de lo que se conoce como el «ciclo de la cal» (Guerrero, 2006: 53).

Todo comienza con la extracción de rocas con alto contenido de carbonato de calcio del medio natural. La mayoría de las veces, las calizas están contaminadas con carbonato de magnesio ( $\text{MgCO}_3$ , dolomita), material que es indeseable en la construcción por sus problemas de solubilidad en agua. Además de las piedras o minerales inorgánicos, existen otros elementos orgánicos ricos en calcio que, históricamente, han sido utilizados para la extracción de dicho mineral, como son las conchas, corales y caracoles marinos.

Todas estas fuentes se presentan en la naturaleza, acompañadas de otros elementos, como el hierro y el magnesio, que dentro de este proceso se consideran impurezas o contaminantes, debido a que su presencia modifica el comportamiento esperado para el producto final. Para que la piedra caliza sea apta para fines constructivos deberá contar con por lo menos 90 por ciento de carbonato de calcio; de otro modo, la cal resultante será de mala calidad.

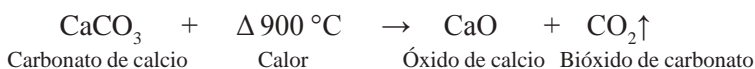
En el pasado, se sabía que la piedra caliza que producía buena cal era la que presentaba un color claro uniforme y con pocas manchas amarillas, anaranjadas, rojas o negras, que suelen ser sintomáticas de



la presencia de hierro. Además, al golpear entre sí dos fragmentos de piedra con alto contenido de carbonato de calcio, se produce un sonido de tipo metálico que ayuda a su identificación. Hoy en día, para la producción industrial de cal se manejan cuidadosos análisis químicos que permiten verificar la pureza de la piedra caliza utilizada como materia prima.

El carbonato de calcio es sometido a temperaturas de entre 900 y 1,300 °C. Por el efecto del calor, en esta etapa el material base se transforma en óxido de calcio, al tiempo que desprende dióxido de carbono.

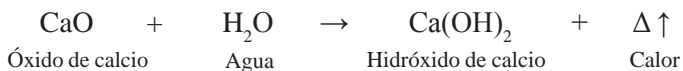
La reacción se puede representar químicamente de la siguiente manera:



El óxido de calcio, al que comúnmente se le denomina «cal viva», es un producto inestable que perdió parte de su peso durante la calcinación. Es una sustancia ávida de agua que, si no se controla de forma adecuada, puede intercambiarla con el aire o perderla posteriormente, con lo que recupera el equilibrio que mantenía en su origen como carbonato de calcio.

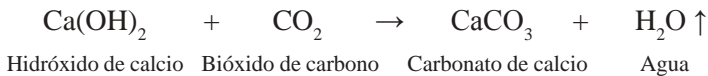
Resulta un material sumamente cáustico y corrosivo, pues reacciona muy fácilmente con cualquier fuente de humedad, pero tiene la cualidad de que, al momento de agregársele agua, adopta un estado «latente» que permite su uso inmediato o su almacenamiento, al convertirse en lo que se conoce como «cal apagada» o «cal hidratada».

Lo que sucede a nivel químico es que el óxido de calcio toma el hidrógeno y el oxígeno del agua y se transforma en hidróxido de calcio, que es un material con consistencia fluida que, mientras se mantenga aislado del aire, puede conservar sus cualidades durante meses o años. La hidratación o «apagado» de la cal viva es una reacción en la que se desprende calor.



La pasta de cal es sumamente versátil y puede ser utilizada como insumo para pinturas, morteros o mezclas constructivas.

La etapa con la que concluye el ciclo de la cal se desarrolla cuando el hidróxido de calcio toma bióxido de carbono del aire y pierde agua por evaporación, en un proceso en el que se endurece al recuperar su estado original como carbonato de calcio, es decir, se convierte nuevamente en roca.



### *Acción de la cal en las arcillas*

La aplicación de cal sobre los tres tipos de arcillas más comunes trae como resultado diferentes efectos. En el caso de las montmorilonitas, se presentan fuertes reacciones con la adición de la cal y, en consecuencia, el material estabilizado presenta profundas modificaciones en su comportamiento. Con las caolinitas se muestra un aumento de cristales de calcita, con la ausencia total de otros minerales. Y con las ilitas, la cal reacciona con el azufre, formando sulfatos, lo que provoca una baja reacción con la cal y, por lo tanto, escasos cambios en su comportamiento final. La acción de la cal se puede advertir en dos fases:

- Primera etapa: se observa la acción producida por el aporte masivo de iones a causa de la cal. Los cationes de calcio se unen a la arcilla, debido al intercambio catiónico, que provoca la unión de las partículas arcillosas. Esto genera floculación a edades tempranas, lo que ayuda a aumentar o disminuir el límite líquido de los materiales térreos, así como a favorecer un aumento del índice plástico, lo que hace que el suelo se vuelva menos sensible al agua.
- Segunda etapa: las arcillas reaccionan en forma regular, dependiendo de la naturaleza de los materiales arcillosos. Ello se traduce en una degradación de los mismos elementos mineralógicos, apareciendo nuevos, dando como resultado un aumento en la resistencia en la comprensión simple.

## Metodología

### Diseño de la estabilización

El diseño de la estabilización con cal se basa en las características deseadas en el suelo estabilizado, considerándose indispensable conocer las características originales de los minerales arcillosos, para de este modo beneficiarse de las ventajas que se obtendrán con el empleo de cal (Fernández Loaiza, 1992).

Existen varios procedimientos para el diseño de un suelo-cal, pero cualquiera que sea el método, hay un punto donde el contenido de cal no produce ninguna mejoría; a éste se le conoce como «punto de fijación», y significa que la reacción potencial de los minerales arcillosos queda satisfecha.

Uno de los métodos más empleados es el que se conoce con el nombre de *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO); en éste, se emplean pruebas de compresión simple, previa determinación del contenido de cal, por medio de una gráfica, para lo cual se hacen necesarios los datos de porcentaje de suelo para pasar la malla número cuatro y el índice plástico (Fernández Loaiza, 1992).

Se deben hacer tres especímenes de prueba y obtener el resultado después de curarlos. Por recomendación de la *National Lime Association*, el procedimiento de construcción de una estabilización con cal debe estar conformado por los siguientes pasos:

1. Utilizar cal hidratada que cumpla con las especificaciones correspondientes.
2. Disgregar la arcilla y realizar el mezclado en dos etapas, utilizando sólo 50 por ciento de cal calculada en el diseño en cada una de las etapas.
3. Adicionar la cal de manera dosificada, de acuerdo con el peso seco del suelo.
4. Mezclar de manera inicial con el propósito de distribuir la cal de manera uniforme, para lo cual se deberá agregar agua hasta ciento por ciento arriba de la humedad óptima.
5. Aplicar un curado que va de una a 48 horas para lograr que la arena y la cal rompan los grumos de arcilla.

6. Comparar con las pruebas de elaboración realizadas previamente.

### *La cal como material de construcción*

El uso de cal con arena produce una mezcla que se utiliza para unir elementos de construcción (ladrillos, bloques, tabicón, losetas, tejas) entre sí o con una base; así como para realizar recubrimientos exteriores e interiores en muros y losas.

Según Grupo Calidra (2007) los elementos a considerar en la selección de la mezcla son:

- Uso
- Compatibilidad o correlación con los materiales sobre los que será aplicado
- Condiciones ambientales de trabajo
- Especificaciones que debe cumplir
- Rendimiento que se espera
- Generación de desperdicios
- Costo

### *Tipo de mezclas*

#### Tipo M

Mezcla de *alta resistencia*, que puede ser utilizada en mampostería con o sin reforzar, sujeta a grandes cargas de compresión, acción severa a congelación, altas cargas laterales de tierra, vientos fuertes o temblores.

Se puede usar en estructuras en contacto directo con el suelo como cimentaciones, muros de contención, aceras, tuberías de drenaje y pozos.

#### Tipo S

Esta mezcla alcanza *alta resistencia a la adherencia*. Se puede utilizar en estructuras sujetas a cargas de compresión normales, que requieran alta resistencia a la adherencia, o cuando sea el único agente

de adherencia con la pared, como en revestimientos de baldosas de barro.

### Tipo O

Esta mezcla se utiliza para la elaboración de mortero de baja resistencia y con alto contenido de cal, así como en paredes divisorias que no estarán expuestas a carga y en revestimientos exteriores que no están expuestos a congelación cuando se humedece.

Su empleo es común en residencias de uno y dos pisos. Es trabajable y de bajo costo (Grupo Calidra, 2007).

### *El costo energético*

Para la producción de los bienes y servicios que se utilizan en la vida diaria se consume energía, lo cual tiene un costo en el uso de los recursos naturales y en los impactos ambientales, como es el caso de las emisiones de CO<sub>2</sub>, que es el principal gas de efecto invernadero y que su elevada producción contribuye al calentamiento global y, por ende, al cambio climático. Por ello es que el costo energético muchas veces se calcula en emisiones de CO<sub>2</sub> y se considera también los sumideros de carbono para absorber el carbono de dichas emisiones.

### *Ciclo de vida*

Para evaluar el comportamiento ambiental de los productos de construcción se realizarán estudios de análisis de ciclo de vida (ACV), de manera que permitan conocer los impactos ambientales asociados a cada producto. Los resultados obtenidos mediante esta metodología permitirán tener argumentos basados en métodos científicos, para tomar las decisiones oportunas.

Desde la adquisición de las materias primas o generación de recursos naturales hasta su eliminación final, hay un conjunto de etapas consecutivas e interrelacionadas del sistema del producto.

El ACV es un proceso objetivo para identificar, graduar y evaluar los impactos ambientales en el ciclo vital de un producto, un proceso o una actividad, y es uno de los métodos más reconocidos y aceptados internacionalmente para investigar el comportamiento ambiental de los productos. El ACV está regulado mediante la serie de normas ISO 14040. Las normas más relevantes son:

## Normas internacionales

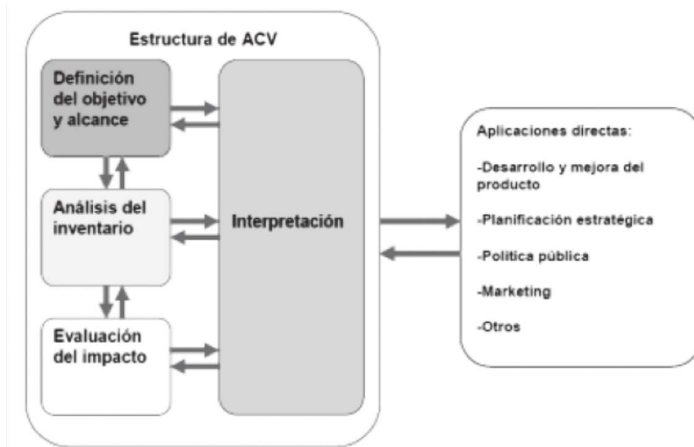
- UNE EN ISO 14040:2006. Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Principios y marco de referencia (ISO 14040:2006)
- UNE EN ISO 14044:2006. Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Requisitos y directrices
- ISO 14044:2006

## Norma nacional

- NMX-SAA-14040-IMNC-2008, la cual se refiere a la gestión ambiental - análisis de ciclo de vida - principios y marco de referencia

En la imagen 15 se muestran las etapas que debe cumplir la realización de un ACV.

Imagen 15. Fases de un ACV.



Fuente: ISO 14040; elaboración propia.

Para realizar el ACV de los productos de construcción se seguirán las siguientes etapas:

*Planificación del estudio de ACV del producto.* En la elaboración de un ACV es necesario definir con suficiente detalle los criterios que se seguirán a lo largo de todo el estudio; así pues, en esta tarea se fijarán los aspectos tales como el objetivo, el alcance, los límites, la calidad de los datos, etcétera. Todos estos requisitos deberán tenerse en cuenta durante de la elaboración del ACV y al final serán revisados para comprobar su cumplimiento.

El alcance debe concretar los siguientes aspectos: el sistema-producto que va a ser estudiado, la función del sistema-producto, la unidad funcional, los límites del sistema, los procedimientos de asignación de flujos y emisiones, la selección de las categorías de impacto y metodología de valoración de impactos; los datos necesarios, las limitaciones y suposiciones a considerar, los requisitos de calidad de datos, el tipo de revisión crítica en caso de que fuera necesario; el tipo y formato del informe requerido para el estudio.

*Elaboración del inventario mediante la recogida de datos.* Se recogerá la información acerca de los flujos de entradas y salidas que comunican los procesos unitarios, tales como:

- Consumos de energía
- Consumos de materias
- Emisiones a la atmósfera
- Emisiones de efluentes líquidos
- Residuos sólidos
- Generación de coproductos

Para ello se cuantificarán estos consumos durante todo el ciclo de vida del producto. Esto implica recoger datos de los proveedores y de los clientes, por tanto, cuando no se disponga de información suficiente se recurrirá a las bases de datos de productos y a la bibliografía específica para completar el inventario.

*Análisis de inventario.* Tras la fase de elaboración del inventario es necesario organizar y tratar todos los datos recogidos, con el fin de determinar los más relevantes y eliminar los que no son significativos para el estudio. En esta tarea se estudiará el origen y destino de cada flujo y se calcularán los flujos totales a incluir en la siguiente fase.

*Evaluación de los impactos y obtención de resultados.* Lo recopilado en las tareas anteriores se introducirá en el *software* de ACV y se elaborará un modelo del ciclo de vida del producto. Para obtener los impactos ambientales asociados al producto se seleccionarán las categorías de impacto más adecuadas y se estructurarán los resultados de manera que puedan ser interpretados fácilmente.

*Interpretación de resultados y redacción del informe.* Se estudiarán los resultados y se estructurarán en un informe siguiendo un índice lógico para facilitar su comprensión, presentando los resultados de manera clara y concisa.

*Ecoetiquetado.* La finalidad de determinar los impactos que tiene los materiales de construcción es generar una base de datos de materiales de bajo impacto, que puedan obtener una etiqueta verde. Esta etiqueta debe tomar en cuenta los impactos en el uso de los recursos naturales y energía; emisiones a la atmósfera, agua y suelo; deposición de los residuos; ruido y efectos sobre los ecosistemas. Actualmente existen organismos que emiten etiqueta ecológica como la de la Unión Europea (UE), que cubre una amplia gama de productos y servicios: productos para construcción, así como de limpieza, electrodomésticos; de papel, textiles y para el hogar y jardín; lubricantes y servicios tales como alojamiento turístico.

*Etiqueta eficiencia energética.* En algunos países es de carácter obligatorio. Tiene la función de informar, mediante un código de letras, el consumo del edificio en relación con el consumo medio de un edificio de similares características.

Aporta información sobre:

- Los niveles de eficiencia energética, desde la A a la G (de mayor a menor eficiencia).
- Datos del constructor, tipo de edificación, modelo.
- Puede llevar también la etiqueta ecológica si satisface los requisitos y le ha sido concedida (esta etiqueta es voluntaria).
- Dependiendo del edificio del que se trate informa también sobre otros aspectos y parámetros tales como la eficacia térmica.



ca, los impactos generados en su proceso de construcción, etcétera.

En la tabla 4 se presenta un listado de los materiales más comunes utilizados en la industria de la construcción en la fabricación de viviendas, su consumo energético y sus emisiones de CO<sub>2</sub>; con esta información se puede determinar el impacto de las viviendas fabricadas con estos elementos y comparar los impactos cuando se utilizan materiales alternativos.

Tabla 4. Impactos medioambientales por materiales

Material	Costo energético por k de material		Emisiones de CO <sub>2</sub> por k de material	
	mJ	kWh		k
Resinas	110,000	30,560	Resinas	16.28
Acero	35,000	9,720	Acero	2.800
Pintura	24,700	6,850	Pintura	3.640
Cemento	4,360	1,211	Cemento	0.410
Cal	3,430	0.953	Cal	0.320
Cerámica	2,321	0.645	Cerámica	0.180
Madera	2,100	0.583	Madera	0.060
Agregados	0.100	0.028	Agregados	0.007
Agua	0.050	0.014	Agua	0.000

Fuente de obtención: Caballero Montes y Armando (2012).

## Conclusiones

Se puede afirmar que una vivienda que sea realizada con materiales alternativos locales cumplirá más adecuadamente con los aspectos de habitabilidad, confort, culturales y sociales que el de las viviendas realizadas con materiales convencionales.

Los costos de las viviendas hechas con materiales no convencionales generalmente tienden a ser menores que los de las viviendas realizadas con materiales convencionales, permitiendo dar más área de construcción.

Se debe eliminar el concepto de la vivienda globalizada, ya que hasta el momento no ha traído beneficios a los usuarios de las viviendas así construidas, así lo demuestran los cinco millones de viviendas abandonadas hasta el 2013.

## Fuentes citadas

- CABALLERO MONTES, J. L. y Armando, A. L. (2012), *Beneficios ambientales inherentes al uso de sistemas de construcción con materiales alternativos en viviendas*, Naturaleza y Desarrollo, pp. 38-53.
- CONAFOR (2008), *Tecnologías Alternativas para el Uso Eficiente de Recursos*, CONAFOR, México.
- FERNÁNDEZ LOAIZA, C. (1992), *Mejoramiento y Estabilización de suelos*, Limusa, México.
- GRUPO CALIDRA (2007), *La cal en la industria de la construcción*, Grupo Calidra, México.
- GUERRERO BACA, L. F. (1994), *Arquitectura de Tierra*, UAM, México.
- LOU MÁ, R. (1981), *Manual para la construcción de la CETA. RAM*, Universidad de San Carlos, Guatemala.
- MINKE, G. (1998), *Manual de construcción para vivienda antisísmica de tierra*, Universidad de Kassel, Kassel.
- NEVES, C. y Borges Farías, O. (2011), *Técnicas de Construcción con Tierra*, FEB-UNESP/ PROTERRA, Bauru.
- ROUX GUTIÉRREZ, R. S. y Espuna Mujica, J. A. (2012), *Los Bloques de Tierra Comprimida Reforzados con Fibras Naturales*, Plaza y Valdés, México.
- RUIZ VALENCIA, D., López Pérez, C., Cortes, E. y Froese, A. (2012), *Nuevas alternativas en la construcción: botellas pet con relleno de tierra*, Apuntes, pp. 292-303.
- SALAS SERRANO, J. (1995), *Habiterra, exposición Iberoamericana de construcción de tierra*, Escala, Bogotá.
- SEISDEDOS, J. (2010), “Unidad de producción de bloques de tierra comprimida - BTC”, en José Luis Sáinz Guerra, *La arquitectura construida en tierra, Tradición e Innovación*, Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Valladolid, pp. 289-294, Valladolid.

SOSA PEDROZA, T. E. (2013), “La aplicación de sistemas constructivos alternativos en viviendas de bajo costo y su impacto en el usuario”, en *UAM, tecnologías constructivas y arquitectónicas*, UAM Xochimilco, pp. 97-115, México.



# UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

COORDINACION GENERAL DE ESTUDIOS  
DE POSTGRADO E INVESTIGACION

31 de marzo de 2017

A quien corresponda:

Por medio del presente hago de su conocimiento que el manuscrito Análisis de la vivienda de interés social desde lo sustentable, lo tecnológico y lo social, coordinado por María Eugenia Molar Orozco y Rubén Salvador Roux Gutiérrez ya ha sido revisado y autorizado por este departamento para seguir el proceso de impresión.

Se extiende la presente para los usos que convengan a los interesados.

Quedo a sus órdenes para cualquier duda o aclaración.

**ATENTAMENTE**

Lic. Loyda Gil Noriega  
Departamento de  
Divulgación Científica

C.C.P. archivo

Ciudad de México, 01 de marzo de 2017

A quien corresponda.-

Por este medio le informamos que, con base en un dictamen minucioso, la Editorial Fontamara acepta publicar la obra titulada "Análisis de la vivienda de interés social desde lo sustentable, lo tecnológico y lo social" coordinado por el Dr. Rubén Salvador Roux Gutiérrez y la Dra. María Eugenia Orozco, la cual cumple cabalmente los lineamientos necesarios en cuanto a originalidad, citación, y estructura argumentativa. Esta obra está en proceso de producción en la Colección Argumentos, dirigida por el Dr. Juan de Dios González Ibarra, cuyo número ISBN será tramitado ante INDAUTOR.

Sin otro particular, quedo a sus órdenes para cualquier aclaración.

Atentamente,



**Lic. Carlos Apartado**

Coordinador de producción editorial

🌐 [www.coedicion.com](http://www.coedicion.com)

🌐 [www.fontamara.com.mx](http://www.fontamara.com.mx)

✉ [coedicion@fontamara.com.mx](mailto:coedicion@fontamara.com.mx)

☎ (0155) 6382.5506

📞 (04455) 1068.2926