

GOBIERNO DEL ESTADO DE MICHOACÁN
INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE PÁTZCUARO

MANUAL DE CONSTRUCCIÓN (BIO-CONSTRUCCIÓN)



a base de costales de tierra y pacas de paja

COORDINADORA RESPONSABLE DEL PROYECTO:
BIOL. LETICIA OSEGUERA FIGUEROA

ALUMNOS COLABORADORES:
Juan Esteban Trinidad Huerta
Nidia Guerrero Jiménez
Isaí Guerrero Jiménez
María Martha Reyes Zavala



MANUAL DE CONSTRUCCIÓN

(BIO-CONSTRUCCIÓN)

a base de costales de tierra y pacas de paja



CONTENIDO

1. Introducción	7
2. Proceso de construcción	10
2.1 Preparación del sitio	10
2.2 Excavación del canal de desvío de agua pluvial	12
2.3 Preparación del drenaje de lluvias en el canal perimetral	12
2.4. Cimentación	14
2.5. Levantamiento de paredes	15
2.5.1 Sobre la preparación de los costales	15
2.5.2 Paredes y preparación de los marcos de puertas	17
2.5.3 Refuerzo de marcos de ventanas y puertas	22
2.6 Repellido de paredes	23
2.7 Construcción de un techo-cubierta provisional de protección ...	26
2.8 Construcción Del Techo	28
3. Piso de cal y arena	30
3.1 Prueba de la cal	31
3.2 La prueba de La tierra	31
3.2.1 La composición de la tierra	32
3.2.2 Prueba de la barra de barro	32
3.3 Elaboracion de pisos de cal y arena	34
3.3.1 Entortado	35
3.3.2 Acabado final	36
4. Materiales y costos	37
5. Conclusiones y recomendaciones	39
6. Bibliografía consultada	43

AGRADECIMIENTOS Y RECONOCIMIENTOS

Para la realización de este proyecto, se agradece el apoyo de la Dirección General del Instituto Tecnológico Superior de Pátzcuaro a cargo del Ing. Jaime Bulmaro Carbajal Vázquez, quien de manera incondicional apoyó económica y moralmente su realización. Así mismo, se agradece a la Subdirección de Administración y Finanzas a cargo del C.P. Rubén Márquez Salcedo, por la gestión económica.

Se hace un amplio reconocimiento y felicitación a los alumnos Juan Esteban Trinidad Huerta, Nidia Guerrero Jiménez, Isaí Guerrero Jiménez y María Martha Reyes Zavala, por su compromiso constante y trabajo permanente durante toda la obra. A los alumnos Edelmira Ornelas Aguilar, Félix Ensástiga Farfán, Yesenia Fuerte Velázquez y Zoraida Diomara Campos Rojas, por ser considerados el segundo equipo de apoyo igualmente comprometido con el proyecto.

Se reconoce la participación de los alumnos del grupo IDC 02 por su participación frecuente en diferentes etapas del proceso de construcción: Tania Adame, Janette Alejandre, Carmen Mónica Duéñez, Verónica Escobar, Fermín Alfredo Escobedo, Laura Flores, Diana Fuerte, AnaCristina Fuerte, Margarita García, Rogelio González, Laura Yanel González, Paola Hernández, Víctor Hugo Herrera, Alicia Irery Juárez, Elizabeth Lara, Laura León, Salma Erika Loera, Antonio Morales, Fidel Rojas, Nancy Rosita Rojas, Alejandro Ruiz, Israel Everardo Sánchez, Manuel Sandoval, Edgar Talavera, Claudia Isabel Tapia, Brenda Tello, Nallely Tinoco, Martha Verónica Torres, Ericka Torres, Giovanni Cruz Velázquez y Francisco Villanueva.

Se reconoce el esfuerzo de los alumnos de IDC 01 por su apoyo en la fase inicial del proyecto, en el llenado de los costales.





1. INTRODUCCIÓN

En la civilización moderna se construyen edificios confortables y aparentemente funcionales para los ritmos de crecimiento poblacional y estilos de vida de la sociedad actual. Casi de manera general, estas viviendas implican consumos elevados de energía para su climatización e iluminación, entre otras necesidades, sin percatarse del derroche de recursos que esto representa para el medio ambiente además de contribuir con el calentamiento global.

La creciente preocupación de la Comunidad Internacional por los problemas medioambientales (PNUMA, ONU, FAO), ha generado la propuesta de crear e impulsar proyectos de desarrollo sustentable. Al percibir el desequilibrio ecológico que ocurre en la mayoría de los ecosistemas naturales y el dispendio de energía innecesario, se ha buscado rescatar técnicas antiguas de construcción de vivienda combinándolas con nuevos aportes que permiten administrar los recursos, disminuyendo el alto impacto en el entorno. Tales técnicas arquitectónicas consideran los elementos climáticos y los recursos materiales del entorno de la comunidad. Previo diagnóstico de las condiciones climáticas y materiales disponibles en cada región, los ecodiseños permiten aprovechar de manera eficiente los recursos, manejando adecuadamente los desechos domésticos y aprovechando el agua de lluvia.

Cabe considerar que algunos materiales como el cemento, los tabiques, la varilla, entre otros, requieren fuertes inversiones de energía y costos de producción elevados en sí mismos; de igual manera la demolición de este tipo de construcciones genera desechos no biodegradables. Por estas razones es importante tener conciencia de nuestro entorno revalorando lo que nos ofrece y cómo se afecta por la forma en que estamos inmersos en él. El enfoque del desarrollo sustentable en relación con la vivienda y el desarrollo de la comunidad, es precisamente la construcción de viviendas dignas y la calidad de vida en ciudades pequeñas, evitando el crecimiento desmedido de las grandes urbes o la formación de otras.

Las civilizaciones antiguas alrededor del mundo como Grecia y Egipto y en países de Latinoamérica y Asia, emplearon elementos naturales en sus construcciones: piedras, madera, arcillas, mármol. Incluso las clases menos privilegiadas, a lo largo de la historia y el desarrollo de la Humanidad, han empleado materiales como el carrizo, el lodo, las hojas de palma, para construir viviendas apropiadas para todo tipo de climas, templados, fríos o cálidos. En los últimos años, este conocimiento tradicionalmente heredado ha sido revalorado, cobrando gran importancia a nivel mundial. Llegando a tal punto que arquitectos reconocidos, profesores de universidades e investigadores han optado por desarrollar edificios inteligentes bajo el esquema del bioclimatismo, o bien se han diseñado bio-construcciones totalmente funcionales que cumplen con varios requerimientos en relación con los actuales estándares de confort.

El tema de la arquitectura sustentable no es nada nuevo; ha existido desde principios del siglo XX. En Estados Unidos el arquitecto Nader Khalili fue uno de los primeros en retomar de la antigüedad el concepto de bio-construcciones, y en adaptarlo al modelo actual que conocemos. Este arquitecto americano-

iraní fue el creador del “súper adobe” y su propuesta ha sido aprobada desde hace varios años por los altos comisionados de la ONU en materia de vivienda sustentable y digna. Este modelo de construcción ha sido tomado en cuenta para edificar de manera sustentable no sólo en la comunidad rural, sino en la ciudad con materiales de reducido impacto ambiental.

Los diferentes tipos de bio-construcciones pueden ser hechas de materiales tales como bolsas rellenas de tierra, bejucos, carrizos, arcillas, piedras, adobes o en su caso, de pacas de paja. Los materiales son seleccionados de acuerdo con las condiciones climáticas de cada región para hacer que sus paredes conserven el calor, durante el invierno; o mantengan la estancia fresca, durante el verano; aprovechando la iluminación y la ventilación naturales. Se resalta además su resistencia frente a sismos, tornados, inundaciones u otros desastres naturales.

La construcción con paja presenta otras ventajas indiscutibles: es un material renovable, disponible donde quiera que crezcan cosechas de grano, que suele convertirse en un residuo en ocasiones quemado en el campo; es un elemento ligero para transportar; permite la construcción de paredes gruesas que en comparación con materiales tradicionales como el tabique, el ladrillo y el cemento, ofrecen una mayor resistencia al calentamiento. La mezcla especial de arcilla, paja y baba de nopal, tiene un valor cementante y aislante significativo, como un yeso natural. En este caso la tierra (lodo) empleada, permite que las paredes de pacas de paja “respiren” y junto a sus cualidades de aislamiento acústico, proporcionen un ambiente interior tranquilo, confortable y saludable. La utilización de las pacas de paja también se puede combinar con otros sistemas constructivos. Cabe mencionar que las estructuras hechas con pacas de paja y adobe son muy resistentes frente a incendios ya que logran soportar una temperatura muy elevada.

El presente proyecto se llevó a cabo con alumnos de la especialidad de Ingeniería en Desarrollo Comunitario con dos propósitos en general. El primero fue contar con un espacio de aprendizaje práctico de ecotecnias en relación con el desarrollo sustentable. El segundo propósito fue contar con un prototipo de bio-construcción que permite transferir ese conocimiento a la comunidad o a los alumnos de futuras generaciones como una propuesta de construcción alternativa que puede tener diferentes usos, desde una casa habitación hasta una bodega o un criadero; con materiales de bajo costo y con características de confort que contribuyen al ahorro de energía y de bajo impacto al ambiente, tanto en la obtención de los materiales empleados como en el mantenimiento de un ambiente interno estable.

2. PROCESO DE CONSTRUCCIÓN

2.1 PREPARACIÓN DEL SITIO

Antes de iniciar la bio-construcción, se realizan los siguientes pasos para preparar el sitio:

1.- Nivelación del terreno: El proceso se refiere al desmonte o deshierbe del terreno en donde se ubicará la construcción. Se prefieren superficies planas y si se cuenta con relieves escarpados, tendrá que buscarse la definición de terrazas de superficies amplias en las que se nivelen espacios planos.

2.- Definición y marcación de los espacios: esto se hace buscando la orientación apropiada de la construcción con respecto a las condiciones de iluminación (marcha del sol), ventilación (corrientes y dirección de viento) y la precipitación pluvial. De esta manera se aprovechan estos recursos: el viento, la luz solar y el agua pluvial, fomentando un ahorro energético

y un confort interior. La orientación óptima se considera según los planos de la casa y las necesidades de calor o ventilación según el tipo de clima. El propósito es que se permita una mayor exposición al sol, si el clima es de templado a frío y una menor exposición al calentamiento si el clima es cálido. En relación con las corrientes de aire, la ventilación se favorecerá si se considera que la puerta de acceso o ventanas estén orientadas a favor de la dirección predominante de la corriente de aire fresco circulando al interior.

3.- Definición y trazo de los cimientos, así como la ubicación del canal perimetral: La definición del trazo general de la superficie a construir es necesaria en este paso pues deben delimitarse dos zanjeados. Uno interior que corresponde con la construcción propiamente y una zanja exterior. Ésta última se considera un canal perimetral que tiene como objetivo el desvío del agua de lluvia para aislar la construcción de la humedad.



Fig. 1 Detalles de la doble excavación de zanjas

2.2 EXCAVACIÓN DEL CANAL DE DESVÍO DE AGUA PLUVIAL

En este tipo de construcciones es indispensable el aislamiento de la humedad. La construcción sobre la que versa este documento está ubicada sobre un suelo de tipo arcilloso. La arcilla tiene una capacidad excepcional para absorción de agua, la cual es muy importante para hacer un manejo efectivo del desvío de agua de lluvia. Al llegar las lluvias, las capas superiores de suelo se sellan con la absorción del agua impidiendo que se infiltre hacia capas inferiores y favoreciendo que fluya sobre la superficie del terreno.

En cualquier tipo de suelo será necesario considerar la textura, si son suelos arcillosos, limosos o arenosos. Estos últimos son suelos filtrantes, al contrario de los suelos arcillosos o arcillo limosos. En este manual se pueden encontrar referencias para hacer un análisis de campo que permita conocer el tipo de suelo (ver la parte de las pruebas para la construcción de pisos de cal y arena).

Para efectos éste modelo de construcción, al inicio se marcaron 2 grandes rectángulos: uno interior, de 4 x 8 m y uno exterior de 5 x 9 m con una distancia entre ellos de 1 m. Ambos rectángulos, se excavaron con una profundidad de 1 m. y 60 cm de ancho, aproximadamente.

2.3 PREPARACIÓN DEL DRENAJE DE LLUVIAS EN EL CANAL PERIMETRAL

Una vez excavado el canal perimetral, se nivela con la finalidad de crear una pendiente que permita que el agua corra hacia la parte más baja del terreno. Esto permite coleccionar y desviar el agua de lluvia.

- Una vez nivelado el canal, se rellena el fondo con una capa de grava gruesa de entre 7 y 10 cm de espesor, aproximadamente.
- Sobre la capa de grava se coloca un tubo de PVC de 4 pulg. de diámetro que previamente se ha preparado. Se hacen dos líneas paralelas de perforaciones con taladro y broca a lo largo del tubo. La distancia de separación entre las líneas de 5 cm, y de 2.5 cm entre las perforaciones (entre un orificio y otro).
- El tubo se coloca en el interior de la zanja con las líneas de perforaciones dirigidas hacia abajo para evitar que se tapen con arena o tierra fina, permitiendo que colecten el agua y que corra por el interior del tubo para ser desviada.
- Sobre el tubo se coloca una capa de grava y luego se rellena con piedras grandes metiéndolas con cuidado para no romperlo.
- Los espacios entre las piedras también se rellenan con grava hasta llegar al nivel del terreno.



Figuras 2 y 3: A la izquierda, detalles de la excavación de las zanjas, interior y del canal perimetral. A la derecha, detalles del relleno de ambas zanjas

2.4. CIMENTACIÓN

La construcción se desarrolló con una combinación de dos tipos de técnicas de bio-construcción. La parte de la base se construyó con costales de tierra apisonados y posteriormente, sobre éstos, se construyó con pacas de paja. Los cimientos no se hicieron sobre una base de mampostería con cemento piedra o varilla como se hace en construcciones modernas. En el canal o zanja interior, se utilizó relleno de grava y piedra como se describió para el canal de desvío de agua de lluvia pero sin tubo de PVC, sólo tratando de hacer la nivelación del canal procurando que la pendiente permita el flujo de agua hacia el canal perimetral.

Una vez que la zanja está rellena con las piedras, hay que colocar la última capa de grava sobre ellas, hasta alcanzar el nivel del terreno así se pudo iniciar con el levantamiento de las paredes haciendo el acomodo de los costales directamente sobre la zanja interior ya preparada. La base de este modelo se hizo con costales rellenos de tierra hasta una altura aproximada de 1 m.



Figuras 4 y 5: Ambas imágenes muestran el detalle del llenado de las zanjas. A la derecha, se muestra en detalle el relleno final con grava hasta el nivel del terreno

2.5. LEVANTAMIENTO DE PAREDES

2.5.1 SOBRE LA PREPARACIÓN DE LOS COSTALES:

Para preparar los costales, éstos se llenan procurando que contengan la misma cantidad de tierra. Se deja un espacio entre el nivel de tierra y el borde del costal de forma tal que se haga un doblez para que se cosa con hilaza doble y aguja. Los costales llenos se colocan en la hilera correspondiente y se compactan (apisonan) para nivelar cada hilera consiguiendo una superficie uniforme.

Se coloca la primera hilera de costales aplanados con pisones (como se muestra en las figuras de la 6 a la 9). Sobre cada línea de costales, se colocan dos líneas paralelas de alambre de púas grueso asegurándolo con clavos grandes de 3 pulg. cada 15 cm aproximadamente.

Una vez que se tiene colocado el alambre de púas en las dos hileras equidistantes, se colocan trozos de alambre recocado de una longitud de 60 cm, doblados por la mitad. Estos tramos de alambre se sujetan del alambre de púas de forma que sus extremos libres se dirijan hacia afuera. Aproximadamente son cuatro alambres por costal. Este proceso se hará a lo largo de toda la construcción, en la colocación de hilera tras hilera de costales como si fuesen "enormes ladrillos".

El uso de los tramos de alambre se indica al final del levantamiento de paredes.



Figuras 6 y 7: A la izquierda, costales rellenos con tierra arcillosa del lugar, cocidos con hilaza. A la derecha, acomodo de la primera línea de costales apisonados.



Figuras 8 y 9: A la izquierda, colocado de la primera línea de costales. A la derecha, detalles del apisonado y de la colocación de las líneas de alambre de púas.

2.5.2 PAREDES Y PREPARACIÓN DE LOS MARCOS DE PUERTAS

Una vez colocadas dos hileras de costales, se arman los marcos de las puertas que se colocan asegurándolos con puntales de madera para que no se muevan (ver imágenes abajo). Cabe mencionar que toda la madera debe estar tratada con un repelente para evitar que se pudra o se infesten de plagas o polillas. En este caso se empleó un matapolilla ecológico de bajo impacto a la salud humana ya que el pentaclorofenol es altamente tóxico. El producto puede conseguirse en la maderería. Los marcos se arman considerando las dimensiones deseadas para después colocarse sobre los costales en el lugar apropiado, considerando las condiciones climáticas y de estética. Este tipo de construcción no permite ajustes posteriores.

Una vez acomodados los marcos, se continúan las hileras de costales. En el caso de este ejercicio de construcción, el levantamiento de las paredes con los costales se hizo hasta conseguir una altura de un metro. Se decidió tomar esta medida para contar con una base sólida y además para evitar el riesgo de que algunos roedores de campo se sientan atraídos por el material de las pacas.



Figuras 10 y 11: A la izquierda, colocación de los marcos de puertas. A la derecha, continuación del levantamiento de paredes con los costales de tierra.

Para sujetar los marcos con los costales y dar firmeza a la puerta, se utilizan placas de triplay a manera de escuadra como las que se muestran en la figura 12. Las dimensiones de las placas fueron 40 x 60 cm. Las placas se colocan intercaladas entre las hileras de los costales como se observa en la imagen 13. En este caso se colocaron a una distancia vertical de 60 cm aproximadamente entre una y otra escuadra de madera. Estas estructuras se sujetan con 6 pijas en cada superficie y tres que las aseguran al marco de la puerta, haciendo un total de 15 pijas por placa.



Figuras 12 y 13: A la izquierda, sujeción de la escuadra de madera con la línea de costales y el marco de la puerta. A la derecha, se aprecia la distancia aproximada entre una escuadra y la otra, al continuar levantando las paredes.

Este proceso es importante para que los marcos de puertas y ventanas queden perfectamente centrados y posicionados en donde se requieren y firmemente sujetos con el marco de madera

Las placas se continúan poniendo intercaladas entre los costales hasta alcanzar la medida de la puerta. A la altura deseada, se colocan las ventanas, en este caso se acomodaron cuatro marcos uno en cada lado de la construcción, asegurados igualmente con cuatro placas de triplay por ventana.

A partir de esta altura, la construcción se continuó sustituyendo los costales de tierra, por pacas de paja, de igual manera acomodadas como grandes “ladrillos” de paja. Al continuar con las pacas de paja, mucho más manejables que un costal de tierra, el ritmo de avance de la construcción aumentó considerablemente. En esta nueva técnica de construcción, las pacas ahora fueron aseguradas con varillas de carrizo con una longitud entre los 70 a 90 cm aproximadamente. Estas varillas se clavan en forma vertical por el centro entre dos pacas consecutivas en hilera. En el caso de la primera línea de pacas, los carrizos deben perforar los costales para que queden de esta forma asegurados a los cimientos de costales (ver figuras 14 y 15). El acomodo exacto, simétrico y alineado de las pacas dará lugar a unas paredes mejor construidas.



Figuras 14 y 15: A la izquierda, preparación de las varillas de carrizo con matapolilla ecológico. A la derecha, acomodo de la primera hilera de pacas de paja sujetas a la hilera de costales por medio de las varillas de carrizo.

Siguiendo este mismo procedimiento con los carrizos como varillas de unión y anclaje, deben colocarse las pacas imbricadas del mismo modo que se hizo con los costales. En espacios amplios o remates de esquinas, las pacas deben ajustarse al tamaño necesario para lo cual se parten rompiendo su estructura por lo que es necesario que se vuelvan a flejar con el fin de que tengan el tamaño deseado y estén firmes. Ya que se alcanza la altura requerida (en este caso fueron alrededor de

2.30 m), sobre la última capa hilera de pacas de paja, se coloca una especie de cadena de madera (ver figuras abajo) que cierra las paredes y además sirve de estructura base sobre el techo. Ésta se refuerza con un relleno de mezcla de arcilla.



Figuras 16 y 17: Detalles del levantamiento de paredes con las pacas de paja.



Figuras 18 y 19: Detalles de la cadena de madera para el cierre del levantamiento de las paredes. A la derecha, relleno de la cadena con mezcla de tierra arcillosa.

Una vez concluido el levantamiento de paredes y habiendo cerrado y sellado arriba, se coloca malla de gallinero alrededor de toda la construcción, sobre las paredes interna y externamente, tanto en la parte de arriba como abajo. Este proceso sirve de base para el repello de paredes y para refuerzo. La malla se sujeta a los costales amarrándola con el alambre que se colocó sujeto a las líneas de alambre de púas entre las hileras de costales al levantar las paredes. En el caso de las pacas de paja, para lograr el ajuste de la malla de gallinero, se atraviesa alambre entre las pacas ayudándose de una aguja de bambú haciendo que las paredes sean atravesadas de un lado al otro. Lo que se pretende es hacer un tejido de alambre que permita que la malla quede adherida lo más firme posible a las pacas de paja. Todos los alambres se entretrejen con pinzas para que queden restirados y firmes.



Figuras 20 y 21. Se muestran detalles del tejido de alambre en las pacas de paja y en la sujeción de la malla en los costales por medio de los alambres.

Al terminar de sujetar la malla, se soportan las paredes sujetándolas con unos tramos de alambroñ tensado en forma de "X" de esquina a esquina de cada pared, sujetando éste de igual manera con la malla de gallinero, ajustándolo con alambres a las pacas de paja y costales. Este flejado ofrece un mayor soporte a las paredes de la construcción.



Figuras 22 y 23: Ambas imágenes muestran detalle del flejado de las paredes de paja con malla de gallinero y posteriormente con alambón

2.5.3 REFUERZO DE MARCOS DE VENTANAS Y PUERTAS

Con la finalidad de reforzar y dar forma estética a los marcos de puertas y ventanas, se coloca malla metálica de cuadrícula fina sujeta con clavos en la madera de los marcos y sujeta a las pacas con alambre haciendo las veces de un marco adicional. Este refuerzo de malla se rellena con paja a presión, apretándola y dándole la forma que se requiere, como se muestra en las imágenes 23 a la 26.

La malla se trabaja dando la forma de escuadra que se requiere para el acabado final de los marcos de puertas y ventanas. En el caso de las puertas, en la parte del escalón del piso, se recomienda hacer un refuerzo con madera debido al uso y al peso que debe soportar ésta área, por el paso continuo al interior y exterior de la construcción.





Figuras 24, 25, 26 y 27: Las imágenes muestran los detalles del acomodo de la malla de refuerzo de marcos de puertas y ventanas que se usa para dar el soporte y forma necesarios en el acabado de éstas partes de la construcción.

Una vez que se ha terminado el flejado de paredes, la malla de gallinero se ha afianzado y se han reforzado los marcos de puertas y ventanas, se puede repellar.

2.6 REPELLADO DE PAREDES

Para el repello de las paredes bajo este modelo se utilizaron los siguientes materiales:

- 2 ½ cubetas de Arena
- 2 cubetas de Tierra arcillosa
- 1 cubeta de Estiércol desmenuzado de caballo (no usar de vaca).
- 1 cubeta de Papel para reciclar remojado y molido (periódicos, revistas, libretas, sacos de papel de desuso de cemento u otros materiales).
- 1 cubeta de paja molida (molido fino de 3 cm de longitud).
- Agua de baba de nopal (nopales frescos cortados en pedazos colocados en agua suficiente. Se produce un fermento de al menos dos días de reposo). De esta agua se ocupa la necesaria para preparar una mezcla más bien reseca, menos húmeda que la mezcla de cemento.
- Los materiales se miden y se mezclan poco a poco con apoyo de palas, añadiendo el agua necesaria. La consistencia es de una mezcla uniformemente humedecida que al apretarla en un puño no escurre agua pero está suficientemente húmeda y que puede manipularse fácilmente.

El repello se hace con las manos, tomándolo por porciones y presionando fuerte, tallándolo sobre las superficies con la malla y alambres. Para que se adhiera, se presiona fuerte contra las paredes con movimientos en forma circular y ascendentes para esparcir la mezcla y que quede firmemente adherida. Se colocan capas hasta un repello grueso de más de 5 cm. Se deja secar y si quedan grietas, se prepara una mezcla similar pero más húmeda añadiendo una mayor cantidad de baba de nopal que tiene la función de ser un sellador natural. Es recomendable que la capa de repello tenga un grosor aproximado de 7 a 10 cm para evitar al máximo el contacto de la paja con la humedad y para que sea un aislante térmico contra incendios. Si un día se deja el trabajo, al día siguiente se debe mojar el repello del día anterior para que la nueva capa se pueda adherir.



Figura 28. Ingredientes de la mezcla de repello



Figuras 29, 30, 31 y 32. Imágenes de detalle del repello de paredes. Para unir capas de repello de diferente día de trabajo, humedecer la capa del día anterior y continuar repellando.

De esta forma se continúa hasta terminar de repellar las paredes para que queden protegidas aun contra la entrada de roedores. El repello queda como un material impermeable a la humedad y muy resistente, que puede detallarse con pintura de cal o con ornamentaciones.

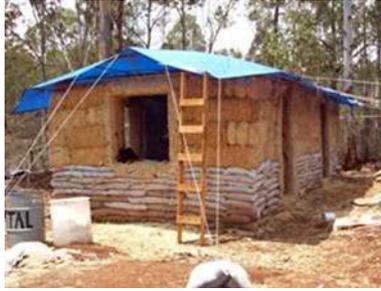
En este tipo de proyectos es de vital importancia la organización y distribución de trabajo entre los participantes. Se puede implementar un sano y productivo esquema de metodología participativa en el que los costos de mano de obra son fácilmente abatidos y los beneficios de la comunidad pueden ser mayores ya que el tiempo de terminación de la obra igualmente disminuye.

2.7 CONSTRUCCIÓN DE UN TECHO-CUBIERTA PROVISIONAL DE PROTECCIÓN

Ante las condiciones climáticas adversas como la ocurrencia de lluvias, se puede construir un techo de protección que puede funcionar de manera temporal y es de bajo costo. En este caso, se construyeron unos arcos de bambú amarrados con mecate y con "pijas de bambú" que se pudieron introducir con ayuda de un taladro con el que se hicieron los orificios necesarios para las pijas. Sobre los arcos de bambú se colocó una lona reforzada que permitió continuar con el trabajo y aislar la lluvia la construcción.



Figuras 33 y 34: En la página anterior a la izquierda detalles del armado de los arcos de bambú con apoyo de pijas y mecate. A la derecha, acomodo de los arcos de bambú distribuidos uniformemente en el área del techo.



Figuras 35 y 36: Arriba vista exterior de la bio-construcción con la lona de protección. Abajo vista interna del acomodo de la lona.

Este techo de arcos de bambú y lona estuvo funcionando muy bien durante cuatro meses de temporada lluviosa sin ninguna complicación ni avería. Se retiró para sustituirlo por el techo de madera y lámina por el que finalmente se optó por construir. Es importante que las paredes queden suficientemente cubiertas para evitar al máximo que la lluvia moje las pacas o tenga algún efecto sobre el repello recién colocado, si es el caso.

2.8 CONSTRUCCIÓN DEL TECHO

Se presupuestó un techo de madera con duela amachimbrada (madera trabajada en tablas que se ensamblan por la forma en la que sus bordos están cortados), vigas y teja que hubiera sido factible construir, sin embargo su costo era elevado, alrededor de \$ 40,000 pesos. Se decidió finalmente construir un techo de lámina soportado por vigas y polines de madera debido a que el costo es significativamente menor y dado que el uso final de la bio-construcción es como bodega de crianza y cultivo.

Se eligieron láminas galvanizadas acanaladas para una parte de la construcción, y lámina transparente de fibra de vidrio para la caseta de cría de codorniz, con la finalidad de evitar el calentamiento excesivo y contar con suficiente iluminación para los animales. La lámina galvanizada tiene la ventaja de ser durable y, a diferencia de aquellas fabricadas con asbesto, absorbe menos calor al reflejarlo; además no está hecha de materiales tóxicos que pueden reaccionar con la humedad en la época lluviosa, y provocar un ambiente indeseable y dañino al interior de la construcción.

La base de madera para soportar las láminas se construyó con fajillas y polines de madera de primera calidad. Sobre los arcos de la base de madera, las láminas se fijaron con pija y rondanas para evitar la infiltración de agua al interior.

En caso de optar por la construcción de un techo a base de arcos de bambú, pueden soportar materiales ligeros como los que se construyen empleando hojas de palmas u otros materiales fibrosos disponibles en la costa y algunos tipos de climas. El bambú bien trabajado o secado, y protegido con aceite de linaza, es un material firme y durable hasta por más de 20 años. Si se emplearan estos materiales, deberían seleccionarse bambúes de diámetro suficiente para soportar el peso del techo y no tan delgados como los que se muestran en esta experiencia de trabajo.



Figuras 37 y 38: A la izquierda se muestran los detalles de la base de madera del techo con las travesas hechas con polines y vigas. A la derecha la obra del techo terminada.

3. PISO DE CAL Y ARENA

Para la elaboración del piso, se eligió una técnica a base de cal y arena. Las razones son:

- El sitio cuenta con terreno arcilloso.
- El piso de cal y arena es económico.
- Este tipo de piso es saludable por los elementos naturales con los que se elabora.
- Es otra técnica novedosa que puede difundirse en la comunidad.
- Impide que insectos y otros animales se críen en el interior de las viviendas.
- El piso se elaboró de acuerdo con la información y capacitación que se recibió por parte de un curso organizado por la SEDESOL (Secretaría de Desarrollo Social) en años anteriores a partir de un proyecto comunitario. El curso fue impartido por el Dr. Luis Fernando Guerrero Baca de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM). Las prácticas iniciales recomendadas son: **la prueba de la cal y la de la tierra**

3.1 PRUEBA DE LA CAL

Material:

1. Un frasco alargado de vidrio, de boca ancha.
2. Agua
3. Cal

Procedimiento:

- a) Se pone la cal dentro del frasco hasta llenar un tercio.
- b) Se hace una marca en el nivel que alcanzó la cal en polvo.
- c) Se agrega agua hasta llenar el frasco.
- d) Se agita la mezcla y se deja reposar.
- e) Cuando se ha asentado completamente la cal y el agua de encima está limpia, se observa el nuevo nivel final de la cal.

Se considera que la cal es excelente cuando duplica su volumen y es buena cuando el nivel se eleva arriba de la marca que pusimos al principio. Una cal es mala cuando el nivel final se mantiene en la marca inicial y peor, si se queda debajo de esa marca.

Las cales frescas hacen burbujas, dejan salir vapor y hasta se calientan cuando se les agrega el agua. Las cales caducas no reaccionan con el agua. La mejor cal es la que está salida del horno recién apagada o comprada en piedra y apagada. Cuidado con la cal que se compra en las tiendas.



Figuras 39 y 40: A la izquierda, se añade agua al nivel de cal registrado y se mezcla. A la derecha, después del reposo, el nivel de la cal asentada aumenta si su poder cementante es bueno.

3.2 LA PRUEBA DE LA TIERRA

3.2.1 LA COMPOSICIÓN DE LA TIERRA.

Para la elaboración de los pisos es útil saber en forma muy sencilla cómo está compuesta la tierra donde vamos a trabajar.

Los componentes principales del suelo son: Arcilla, Limo y Arena.

Si se pone en un frasco la tierra con agua, se agita y se deja en reposo después de un rato se pueden observar las capas de arcilla hasta arriba, el limo en medio y al fondo la arena y gravas (ver figura 41).

Cada terreno tiene diferentes cantidades y no existe una proporción que se pueda considerar ideal entre estos componentes pues la variedad de los tipos de arcillas hace que cada caso sea distinto. Por esta razón es más importante saber cómo se relacionan entre ellos para ver si se pueden usar en su estado natural.



Figura 41. Prueba de la tierra para distinguir de manera general la proporción de arenas, limos y arcillas

3.2.2 PRUEBA DE LA BARRA DE BARRO.

La “Prueba de la barra” es más precisa para saber las propiedades del suelo. Nos permite conocer qué tan arcilloso o arenoso es un suelo. Para ver si la tierra se compactará bien con la cal, es necesario hacer una prueba muy sencilla.

Materiales

- Tierra del suelo hecha polvo y sin piedritas u otros restos.
- Una superficie plana con borde regular parejo, como una mesa.
- Una hoja de papel
- Una regla de 30 centímetros

Procedimiento:

- Se mezcla poco a poco la tierra con agua y se va amasando hasta que tenga una consistencia como de plastilina.
- Se coloca sobre una superficie lisa y se modela con las manos para darle la forma de una barra cilíndrica 20 cm de largo y entre 1 y 2 cm de grueso (ver figura 42).
- Se coloca la barra de tierra sobre la hoja de papel, perpendicularmente al borde de la mesa. La hoja de papel deberá sobresalir del borde de la mesa unos 5 cm (ver figura 43).

- Se coloca la regla junto a la barra y paralela a ésta, con el inicio en el extremo lejano al borde, sobre el papel (ver figura 44).

- Se jala un poco la hoja de papel para dejar libre el extremo de la barra y con cuidado se continúa jalando hasta que se doble y se rompa (ver figura 45).



Figura. 42: Barra de barro



Figura 43: Barra sobresale 5 cm del borde de la mesa



Figuras 44 y 45: La regla y barra se jalan juntas despacio hasta medir el punto de quiebre de la barra

Resultado de la prueba

- Se mide el pedazo roto de la barra.
- Si su tamaño es menor a los 5 centímetros quiere decir que la tierra es demasiado arenosa por lo que va a necesitar un poco más de cal que la recomendada.
- Si el tamaño del pedazo roto está entre los 5 y los 15 cm la tierra es buena.
- Si el pedazo roto mide más de quince centímetros quiere decir que la tierra es demasiado arcillosa por lo que habrá que ponerle arena fina hasta que "pase la prueba".
- Lo óptimo es que la barra se quiebre entre los 5 y los 15 cm.

3.3 ELABORACION DE PISOS DE CAL Y ARENA

a) Preparación del piso: Se marcan niveles del piso a un metro sobre la pared con mangueras de nivel.

b) Excavado: Se excavan 20 a 25 cm de piso dependiendo de lo duro que esté. Mayor dureza menor profundidad

c) Emparejado y compactado del piso del fondo. Según el volumen excavado, la tierra que se sacó se va regresando en dos o tres capas que se compactan cada una por separado. En cada capa se prepara una mezcla de cal y tierra a razón de 19 cubetas de tierra fina y limpia por una cubeta de cal humedeciendo y mezclando perfectamente. Al hacer un puño de tierra en la mano este debe compactarse pero no escurrir agua.



Figuras 46 y 47: Detalles de la mezcla de tierra y cal humedeciendo la mezcla con apoyo de una regadera.



Figura 48: Detalle del apisonado de la cal con tierra para la base del piso de cal y arena

3.3.1 ENTORTADO

- a) Para el entortado, la mezcla se hace con cal y arena mezclando tres carretilladas de arena pasada por harnero sin gravas con una carretilla de cal.
- b) Se mezclan perfectamente ambos materiales
- c) Se añade el agua necesaria como cuando se hace mezcla de cemento.
- d) Se hace el entortado con técnica común, con apoyo de una madera para dispersar y emparejar la mezcla.
- e) Se deja secar hasta que se agriete por varias horas o días.



Figura 49: Detalle de la mezcla de cal y arena

3.3.2 ACABADO FINAL

- a) Para la mezcla final se incorpora arena y cal a razón de 2 partes de arena fina por una de cal.
- b) Se adiciona agua suficiente para que quede como una lechada.
- c) Sobre esta capa se puede poner un acabado de arena fina mezclando una parte de arena por una de cal, añadiendo color en polvo y agua de baba de nopal como sellador. Si la capa anterior (2:1) es la última capa, se mezcla ahí el color y la baba de nopal. La ventaja de estos pisos es que también se pueden pegar losetas de barro o pisos no vidriados sobre esta mezcla de 1:1.





Figuras 50, 51 y 52: Figura al centro arriba, mezcla de arena y cal para el entortado. Figuras abajo, muestran los detalles del acarreo y colocación de la mezcla y aplanado del entortado.

4. MATERIALES Y COSTOS

En esta experiencia de trabajo, en la construcción de dos bodegas de 3 m² al interior con dos ventanas y puertas los materiales utilizados principales fueron los siguientes:

- Aproximadamente 1500 costales
- 100 pacas de paja limpia (sin semilla) de trigo o cebada de preferencia.
- 2 rollos de malla de gallinero de 1.5 m de alto
- Clavos de 5 pulgadas para sujetar los alambres de púas al costal
- Pijas de 4 pulgadas para sujetar las escuadras de madera de refuerzo de las paredes con los marcos de puertas y ventanas
- 2 rollos de alambre de púas grueso
- 6 litros de matapolilla ecológico
- Vigas de madera para marcos de puertas y ventanas
- 30 m de malla metálica cuadrículada para acabado de marcos de puertas y ventanas
- Alambre recocado para sujetar la malla de gallinero
- Alambrón para flejado de pacas de paja

- Aproximadamente 20 bultos de cal para el piso
- Alrededor de 20 costales de estiércol de caballo para repello
- 3 camiones de grava para relleno de las zanjas
- 1 camión de piedra
- 1 camión de arena (sobrado)
- Laminas galvanizadas y de fibra de vidrio para el techo
- Polines y vigas para el techo
- Una lona para el techo provisional
- Puertas y ventanas de herrería, con fibra de vidrio
- Grapas para malla borreguera para sujetar la malla cuadriculada de los marcos de ventanas y puertas
- 6 tramos de tubo de pvc y codos de 45 grados de 6 pulgadas para el canal colector de agua de lluvia
- 100 piezas de bambú para las varillas entre las pacas de paja y la base del techo provisional
- El costo total de la construcción fue de alrededor de \$60,000 pesos.

Cabe hacer notar que aproximadamente un 15 % del total invertido en la construcción se pagó por concepto de asesoría técnica calificada debido a la inexperiencia de los participantes en esta obra. Además de \$4,000.00 pesos como pago de la construcción del techo.

Este tipo de construcciones, pueden hacerse mediante trabajos colectivos entre los miembros de la comunidad pudiéndose abaratar los costos ya que es un trabajo que no requiere de conocimientos altamente tecnificados y con cierta experiencia en albañilería se pueden lograr.

Las herramientas de trabajo consistieron en: seguetas, martillos, pinzas y taladro, principalmente. El trabajo más tecnificado y que necesita mayor equipo es la construcción de marcos de puertas y ventanas, y sobre todo el trabajo de la base de madera del techo y la colocación de la lámina de fibra de vidrio y láminas galvanizadas.

De igual manera, las puertas y ventanas, que en este caso son de herrería, necesitan un servicio especializado para que la obra quede con los acabados bien hechos y sea durable. Se refiere en la literatura que existen casas de este tipo de más de 100 años de antigüedad.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Este trabajo fue posible con el esfuerzo de varias personas y la inversión de tiempo de trabajo comunitario entre miembros de la comunidad estudiantil, que combinaron su trabajo práctico en esta obra y las actividades propias de su vida estudiantil en el Instituto Tecnológico Superior de Pátzcuaro. En adelante se presentan algunas conclusiones:

- Las bio-construcciones son propuestas antiguas de construcción pero se consideran proyectos viables y rentables para diversos propósitos.
- Este tipo de proyectos, así como los beneficios que aportan, deben ser valorados debido a los bajos costos de producción que pueden representar y el beneficio de usar recursos locales.
- Este tipo de construcciones no son temporales, puede traer beneficios a largo plazo a un gran número de personas de la comunidad rural, ya sean productores o no.
- El beneficio del confort térmico de este tipo de construcciones permite el ahorro de energía eléctrica para calefacción o enfriamiento ya que se generan ambientes térmicos estables o poco variables al interior.
- La paja es un aislante térmico y acústico que representa un material ligero de transportar y, a comparación de otros materiales de construcción como el cemento y la varilla, es

menos contaminante y demandante de gasto de agua en su producción y extracción, siendo un residuo de la cosecha o cultivo de granos.

- Se refiere en la literatura que el repello debe ser de 7 a 10 cm de espesor evitando con ello el riesgo de incendio y los problemas de exceso de humedad de paredes en temporada de lluvias.

- El uso de papel reciclado le da propiedades especiales a la mezcla de repello recomendada a partir de esta experiencia de construcción.

- Se han practicado diversas pruebas y se han hecho diversas investigaciones para conocer las propiedades de las pacas o balas de paja obteniéndose los siguientes resultados:

- Según el arquitecto Prof. Dr. Ing. Gernot Minke los muros de fardos de paja pueden soportar una carga superior a los 500 kg por metro lineal de muro portante (esto corresponde a $1000\text{kg}/\text{m}^2$)³.
- Las pacas tienen una resistencia al fuego de 90 minutos, sólo se deben evitar las grietas y los pedazos de fibras que queden sueltos sobresalientes del repello. Su resistencia se debe a la estanqueidad ya que el oxígeno no puede circular fácilmente entre la paca debido a los acabados con cal y tierra.
- Tiene una muy baja capacidad de conducción térmica, razón por la cual son excelentes aislantes térmicos. Según varios ensayos realizados en diferentes países centroeuropeos, se considera que la bala de paja, con una densidad de $100\text{kg}/\text{m}^2$ tiene un $\lambda = 0,045\text{W}/\text{mK}$ de coeficiente térmico.
- Inercia térmica: Cuando se tiene una estufa encendida dentro de la casa en invierno, el revoco de barro de los muros de paja pueden retener este calor (siendo de que tiene mucha masa) y la paja, que es de baja conductividad, evita que este calor llegue a salir de la casa.

- Se recomienda proteger la vivienda de las diferentes fuentes de humedad que se pueden presentar:
 1. Humedad por capilaridad
 2. Humedad por condensación
 3. Humedad por salpicadura
 4. Humedad accidental
 5. Humedad incorporada durante la construcción

Para ello será suficiente hacer un buen repello sin grietas y evitar que al colocarlo no se seque perfectamente o que durante la construcción las pacas de paja se mojen y se ocasione descomposición, pudrición o proliferación de hongos. Será suficiente construir alerones amplios en el techo.

- Las pacas de paja también son excelentes aislantes acústicos por el grosor que tienen.

RECOMENDACIONES:

- La experiencia adquirida en ese proyecto deja una clara idea de cómo mejorar proyectos futuros. Concretamente, en lo relacionado con la alineación de las pacas y costales que debe ser más uniforme para nivelar las superficies de una manera más eficiente y estética.

- La desorganización y falta de planeación de un proyecto final en el que los participantes no se comprometen de principio a fin, ocasiona que sean pocas las personas que saquen adelante el trabajo y, en un proyecto comunitario, puede ocasionar disputas. Es por ello recomendable tener claros los compromisos adquiridos, programando los tiempos de trabajo y delegando responsabilidades a los miembros del equipo de trabajo.

- Los costales empleados son de desuso de la venta de maíz para tortillerías y son altamente sensibles a la fotólisis por lo que deben ser cubiertos rápidamente con repello o protegidos del sol.

- La zanja perimetral para desvío de agua de lluvia, se puede proteger con membrana antes de rellenarla con grava para aislar el aporte de arcilla que va azolvando el canal, disminuyendo su tiempo de vida útil.

- La parte basal de costales de tierra que se implementó como cimiento en esta obra, sirve de cimiento firme pero además es una barrera contra roedores que en otras construcciones de este tipo han ocasionado problemas (según se reporta en experiencias obtenidas en construcción únicamente con pacas de paja).

6. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

CASBA: Californian Straw Building Association (EE.UU.)
<http://www.strawbuilding.org/>

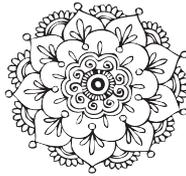
DCAT : Development Center for Appropriate Technology (Centro de desarrollo de tecnologías apropiados, EE.UU.) www.dcat.net

Design of Straw Bale Buildings: The State of the Art. 2006. Edited by Bruce King (contributors, John Straube, David Mar, Kelly Lerner, Rene Dalmeijer, and others), Green Building Press

EBNet: Ecological Building Network. (Red de Bioconstrucción, EE.UU.)
<http://www.ecobuildnetwork.org/strawbale.htm>.

La Maison en Paille (Francia)
<http://www.lamaisonenpaille.com/>

Patti Stouter, ASLA, 2008. Earthbag Building in the Humid Tropics: Simple Structures. Online version available at www.earthbagbuilding.com. 1st. ed.



Este manual se terminó de elaborar en febrero de 2011 en las Instalaciones del Instituto Tecnológico Superior de Pátzcuaro.

Responsables de redacción:

Leticia Oseguera Figueroa
Juan Esteban Trinidad Huerta

Fotografía:

Juan Esteban Trinidad Huerta
Isaí Guerrero Jiménez
Nidia Erendira Guerrero Jiménez

Asesoría Técnica en Bioconstrucciones (Construcción Alternativa):

Pattinson Keane
José Gabriel Espinoza Gual