

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE PANEL EN TIERRA EN
EL SITIO**

**FREDY ALEXANDER BUITRAGO VIVAS
WILLIAN FERNANDO CASTELLANOS ALBA**



**UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA
FACULTAD DE ARQUITECTURA
PROGRAMA: TECNOLOGÍA EN CONSTRUCCIONES ARQUITECTÓNICAS
BOGOTA D.C
2016**

Diseño de un Sistema de Producción de Panel en Tierra en el Sitio

Fredy Alexander Buitrago Vivas
Willian Fernando Castellanos Alba

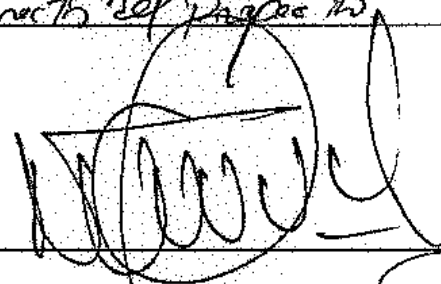
Monografía para Optar al Título de Tecnólogo en Construcción de Edificaciones

Asesor: Fernando López (Arquitecto)

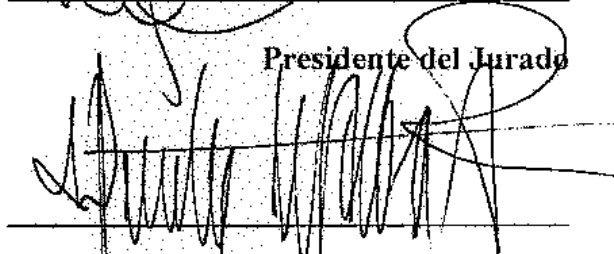
Universidad La Gran Colombia
Facultad de Arquitectura
Programa: Tecnología en Construcciones Arquitectónicas
Bogotá D.C
2016

Nota de Aceptación


Se aprueba el proyecto
Cumple con todas las especificaciones
Jesús Lopez B.
Director del Proyecto



Presidente del Jurado



Jurado



Jurado

Jose Alvarez H.

Bogotá, D.C., Noviembre de 2016

Dedicatoria

Este trabajo de grado es dedicado a mis padres, Genna Vivas y Jorge Buitrago, mi hermana Diana Paola Buitrago Vivas quienes me apoyaron para que este sueño de terminar este trabajo fuera posible y me enseñaron a luchar siempre por mis sueños. Quienes en momentos difíciles estuvieron a mi lado para seguir guiando mi vida.

Tabla de Contenido

Introducción	10
Planteamiento del Problema.....	13
Metodología.....	14
Tipo de Estudio	14
Población	14
Marco Histórico	15
Marco Referencial	19
La Arquitectura de Chan Chan.....	19
Construcción por etapas.....	22
Material de construcción.....	22
Técnicas de Construcción	24
Técnica de Construcción con Adobe	24
Construcción con adobe.....	24
Arquitectura de tapia pisada.	28
<i>Herramientas.</i>	<i>31</i>
<i>La Formaleta o moldes para tapial.</i>	<i>31</i>
<i>Pisones.</i>	<i>33</i>
<i>Aparatos de Compactación por Impacto.</i>	<i>34</i>
Proceso Constructivo de Tapia Pisada	35
Identificación de tierra.....	35
<i>Análisis de suelos.....</i>	<i>35</i>
<i>Toma de muestras.</i>	<i>36</i>
<i>La compactación.....</i>	<i>37</i>
<i>Compactación con prensas.....</i>	<i>37</i>

<i>Características de las prensas.</i>	37
<i>Tipo de prensa.</i>	37
<i>Modo de compresión.</i>	38
<i>La estabilización.</i>	38
<i>La cimentación.</i>	41
Cómo Construir con Tapia Pisada	46
Muros de tapia pisada.	46
<i>Aparejo de la tapia.</i>	46
<i>Construcción de esquinas.</i>	46
Rehabilitación Sísmica de Viviendas de Adobe y Tapia Pisada.	47
Disminución del peso.....	48
Mejoramiento de entresijos y de su acción de diafragma.	49
Plaqueta de concreto.	49
Vigas corona perimetrales.	50
Entablado complementario.	50
Rehabilitación de muros.	51
<i>Rehabilitación con malla de acero y mortero de arena y cal.</i>	51
<i>Detalles y proceso constructivo.</i>	52
<i>Rehabilitación con elementos de madera confinantes.</i>	56
<i>Materiales</i>	56
 Diseño de un Sistema de Producción de panel en tierra en el sitio	60
 Conclusiones	62
 Resultados	63
 Bibliografía	64

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Fabricación de ladrillos con adobe

.....	25
Ilustración 2. Estándar de los ladrillos	26
Ilustración 3. Muro en tapia pisada	29
Ilustración 4. Proceso de compactación.	30
Ilustración 5. Cimentación.....	42
Ilustración 6. Cimentación con fragmentos.....	42
Ilustración 7. Cimentación en roca o barro cocido.....	43
Ilustración 8. Cimentación con mezcla de arena y cal	43
Ilustración 9. Cimentación ciclópea	44
Ilustración 10. Sobre cimientos	44
Ilustración 11. Sobrecimiento con ladrillo cocido.....	45
Ilustración 12. Sobrecimiento relleno de material compactado	46
Ilustración 13. Construcción de las esquinas de los muros	47
Ilustración 14. Rehabilitación sísmica.....	47
Ilustración 15. Disminución del peso en construcciones.....	48
Ilustración 16. Mejoramiento de entrepisos	49
Ilustración 17. Plaqueta de concreto.....	49
Ilustración 18. Vigas corona perimetrales	50
Ilustración 19. Entablado complementario.....	51
Ilustración 20. Materiales necesarios.....	52
Ilustración 21. Preparación de alambrones.....	53
Ilustración 22. Ubicación de la malla.....	53
Ilustración 23. Vista de la malla en alzado.....	54
Ilustración 24. Perforación para ubicación de la malla	54
Ilustración 25. Ajustando los alambres	55
Ilustración 26. Malla vertical y horizontal.....	55
Ilustración 27. Casa rehabilitada con malla.....	56
Ilustración 28. Rehabilitación con madera	57

Ilustración 29. Refuerzos para la madera	58
Ilustración 30. Refuerzos con madera, horizontales y verticales	59

Índice de Imágenes

Imagen 1. Ksar Kbenati, Marruecos, Arquitectura de arcilla y piedra	15
Imagen 2. Normandía Francia. Arquitectura con entramado de madera, ladrillo o piedra	15
Imagen 3. Barichara, Colombia. Arquitectura colonial en piedra arcillosa	16
Imagen 4. Detalle de muro Chimú en la ciudadela de Chan Chan	20
Imagen 5. Ciudadela chan- chan –Perú. Construcción en adobe.....	23
Imagen 6. Construcción muro con adobe sobre basamento de piedra.....	24
Imagen 7. Secado de ladrillos.....	27

Índice de Tablas

Tabla 1. Rangos de los pisones manuales.	33
Tabla 2. Profundidad de toma de muestras de suelos.....	36
Tabla 3. Elección de estabilizantes.....	39

Resumen

La tierra como material de construcción y como técnica constructiva tanto en edificaciones de carácter austero, como en construcciones nobles del estilo de murallas, castillos, ha estado presente en la historia de la arquitectura.

En la arquitectura en tierra existen las técnicas constructivas del adobe y la tapia pisada como las más importantes, por eso se busca profundizar acerca de dichas técnicas para encontrar una alternativa o mejoramiento a la forma de construir con tierra planteando nuevas soluciones de construcciones.

Se sabe que existen un gran número de viviendas en tierra que han sido construidas con técnicas ancestrales sin tener en cuenta su tiempo y costo, por eso se busca que mediante la aplicación de un proceso de construcción sistemático en el cual se apliquen las técnicas combinadas se logre la optimización de recursos naturales como la tierra cruda y a su vez sea la solución para brindar viviendas en tierra cruda

SISTEMA DE PRODUCCIÓN PANEL EN TIERRA EN EL SITIO

Introducción

En la actualidad se encuentran muchas construcciones en tierra cruda, algunas ya denominadas patrimonios culturales, otras sin enumerar, y grandes extensiones de casas de tierra y ciudades que aún se conservan; se considera que gran parte de la población sigue viviendo en estos tipos de casas por lo cual se puede pensar que son las adecuadas para cobijar a gran parte de la población que carecen totalmente de vivienda o viven en refugios provisionales.

Indudablemente la construcción en tierra es una construcción costo/calidad baja, por ende puede ser una solución frente a los problemas socioeconómicos de las sociedades. De igual manera es una buena solución o alternativa viable por su doble aspecto: económico y de protección climática. Se estima que el costo de una vivienda rustica de tierra con la técnica El tapial auto construida no es altamente costosa (Construcción en tierra, 2012).

En cuanto a este aspecto se pretende plantear un proceso para la elaboración sistemática de paneles de tierra cruda en el que se disminuyan los tiempos de procesamiento y por consiguiente los costos de su producción, que garanticen la estabilidad y calidad que una vivienda requiere para cumplir con la normatividad vigente.

En el planteamiento del proceso de elaboración de paneles de tierra cruda se proyecta realizar mediante un sistema neumático una herramienta que acelere el proceso de la construcción de los paneles, de forma que se fabriquen de manera más certera con respecto a la composición y estabilidad que puedan ofrecer, haciendo que el proceso de producción no sea lento y que el período para la utilización de las piezas en obra sea relativamente corto.

Uno de los factores que contribuyen para que el sistema tenga una buena aceptación es que los materiales de construcción como el acero, el concreto y el ladrillo implica el consumo de cantidades significativas de energía, lo que a su vez contribuye al deterioro ambiental y a problemas como el calentamiento global; exceptuando el acero, los otros materiales son

SISTEMA DE PRODUCCIÓN PANEL EN TIERRA EN EL SITIO

difícilmente reciclables y los desechos de demoliciones terminan en su mayoría en botaderos de basura (Los materiales y su impacto en el medioambiente, 2013).

Actualmente en Colombia es preciso buscar el fomento de la construcción a través de sistemas que permitan el desarrollo de viviendas económicas de ahí que los diferentes grupos de investigación consideran que “es indispensable para reducir el déficit de vivienda en Colombia, que afecta el 31% de los hogares” (Universidad del Rosario. Facultad de Economía, s.f.) .

Esta problemática es especialmente compleja en la zona rural, en la cual se encuentra el 24% de la población Colombiana, y donde cerca del 80% de los hogares tienen ingresos inferiores a cuatro salarios mínimos.

Se estima que el costo de una vivienda rústica de tierra es económicamente viable, por eso se cómo se tiene objetivo general dado en la investigación se tiene la elaboración sistemática de paneles de tierra cruda en el que se disminuyan los tiempos de construcción y por consiguiente los costos de su producción. Analizando y estudiando las ventajas y desventajas de las técnicas utilizadas en la historia de la arquitectura en tierra, haciendo modificaciones y reajustes a los procesos de producción del tapial para adecuarlos a la construcción de viviendas económicas.

A ese propósito se ha dividido la investigación en cinco capítulos que nos ayudan a tener una base o conocimiento sobre la arquitectura en tierra y sus posibilidades de encontrar en ella una alternativa al gran déficit de vivienda presentado anteriormente. Al analizar el primer capítulo vemos el marco histórico que nos muestra cómo la humanidad con el material de la tierra ha construido desde siglos atrás en otros continentes y como en Colombia el hombre la ha utilizado hasta el día de hoy, luego en el segundo capítulo se encuentra el marco referencial donde encontramos nuestro modelo de referente el cual nos introduce y nos guía en el uso de la tapia pisada, viendo como esta técnica dio una solución de vivienda a la comunidad de chan- chan. Luego en el tercer capítulo trata sobre las dos técnicas de construcciones más empleadas para la fabricación de viviendas, estas técnicas son el adobe y

SISTEMA DE PRODUCCIÓN PANEL EN TIERRA EN EL SITIO

la tapia pisada, las cuales han sido utilizadas a través de la historia de la arquitectura basadas en el uso de recursos naturales como la tierra, caracterizándolas en técnicas económicas y de fácil aplicación en la construcción de viviendas asequibles y fáciles de construir por ser recursos de fácil adquisición (Wiki EOI, s.f.). De otro modo estas técnicas requieren de herramientas y materiales que no son de alto costo pero necesarias al momento de ir a desarrollar las actividades y que facilitan la aplicación de las técnicas en el momento de fabricación de piezas para la elaboración de las viviendas.

En el cuarto capítulo trata de cómo rehabilitar las viviendas existentes en adobe y tapia pisada, mediante un manual práctico y técnico que estudia cada uno de los capítulos de construcción de una obra en tierra. Este capítulo busca dar a conocer como mediante la aplicación correcta de este manual se logra evitar pérdidas humanas debido a que un gran número de personas en Colombia y en el mundo viven en viviendas construidas en adobe y tapia pisada sin ningún tipo de estudio técnico, por eso aquí encontramos desde el mejoramiento de la cimentación, un buen reforzamiento estructural, instalaciones eléctricas e hidrosanitarias, un mejoramiento de muros, un mejoramiento pañetes, revoques, hasta una buena estética (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, s.f.).

Para el análisis del quinto capítulo se presenta un diseño de un sistema de producción de paneles en tierra en el sitio, buscando industrializar una técnica para mejorar el proceso constructivo de una vivienda, minimizando tiempo de construcción, mano de obra y empleando maquinaria para elevar el índice de producción. En el planteamiento del proceso de elaboración de paneles de tierra cruda se proyecta realizar mediante un sistema neumático una herramienta que acelere el proceso de la construcción, buscando de esta forma contribuir a la reducción de escasez de vivienda en Colombia y luchar por la generación de viviendas dignas para todos.

SISTEMA DE PRODUCCIÓN PANEL EN TIERRA EN EL SITIO

Planteamiento del problema

La problemática de la vivienda, impulsada por el desbordamiento de las ciudades y el crecimiento industrial y demográfico en expansión, así como los factores medioambientales, económicos y sociales que afectan a nuestra población, nos conducen al planteamiento de alternativas y soluciones que minimicen la necesidad de contar con recursos económicos para la generación de viviendas de bajo costo.

La utilización de la tierra como un material para la construcción que ofrece numerosas posibilidades siendo accesible al alcance de todos y su producción optimizada con la combinación de técnicas mecánicas pueden contribuir al planteamiento de alternativas de solución para la reducción de costos de producción de los materiales necesarios para la construcción de una vivienda (Materfad, 2013).

SISTEMA DE PRODUCCIÓN PANEL EN TIERRA EN EL SITIO

Metodología

Tipo de Estudio

Investigación de tipo hermenéutica que concluye en el ensayo de un diseño de construcción de tapia pisada basado en el análisis de fuentes de información preexistentes

Población

El diseño será implementado para la población del Casco urbano del municipio de la Calera Cundinamarca.

SISTEMA DE PRODUCCIÓN PANEL EN TIERRA EN EL SITIO

Marco Histórico

El comportamiento instintivo del hombre, la conducta después de que apareciera la vida sobre nuestro planeta, la necesidad de protegerse de las especies animales y los cambios climáticos, lo obliga a construir sus arquitecturas a partir de materiales que lo rodearon, adquiriendo así un principio de evolución.

Después de unos años de su aparición, este construyó las primeras ciudades, pueblos, en Egipto de los Faraones y Mesopotamia, las construcciones eran en tierra cruda; las cuales tuvieron un gran uso en Europa en la edad media (Diversificación ASL, 2008).

Imagen 1. Ksar Kbenati, Marruecos, Arquitectura de arcilla y piedra



Fuente: (Doat, Hays, Houben, Matuk, & Vitoux, 1990)

Imagen 2. Normandía Francia. Arquitectura con entramado de madera, ladrillo o piedra



Fuente: (Doat, Hays, Houben, Matuk, & Vitoux, 1990)

SISTEMA DE PRODUCCIÓN PANEL EN TIERRA EN EL SITIO

En África, el Medio Oriente, las civilizaciones Romanas, Asia e India, Emperadores Chinos moraron en viviendas de tierra cruda; simultáneamente los indios en América del Norte la usaban, los aztecas en México, los Mochicas en los Andes Americanos. Hoy en día una gran parte de la población vive en construcciones hechas de tierra cruda.

Además de la Construcción de vivienda tanto rurales como urbanas esta también fue utilizada para la construcción de grandes monumentos, los más prestigiosos, los más útiles al desarrollo material y espiritual de las diferentes comunidades, civilizaciones y pueblos; pirámides (Egipto), Monasterios, Iglesias, Mezquitas, así como la torre de Babel que se construyó en el siglo XVII antes de Cristo (90 m. De altura), siendo el primer rascacielos, la Gran Muralla China construida netamente en tierra cruda, los cuales son testimonios hoy en día (Vegas, Mileto, & Busto, s.f.).

Los orígenes del uso de la tierra como material de construcción en Colombia nos remonta hasta nuestros ancestros, en efecto en tierra era que los chibchas rellenaban los intersticios que dejaban los bajareques de sus chozas. Con la llegada de los españoles a América y la fundación de nuevas ciudades estos trajeron en su haber las técnicas del adobe y la tapia pisada (técnicas tradicionales), ejemplo de estas técnicas son: Barichara, Santander, Villa de Leiva, Boyacá, Popayán, Cauca y el centro de Bogotá y otras (Rivero, 2007).

Imagen 3. Barichara, Colombia. Arquitectura colonial en piedra arcillosa



Fuente: (Doat, Hays, Houben, Matuk, & Vitoux, 1990)

SISTEMA DE PRODUCCIÓN PANEL EN TIERRA EN EL SITIO

La tierra cruda ha sido utilizada en todos los continentes tanto en Colombia como en otros continentes Americanos que ha años de su conquista algunas ciudades aún testimonian el uso urbano y rural de la tierra como material de construcción.

Los pueblos y ciudades construidas en tierra cruda constituyen una composición fundamental de una identidad cultural, de un patrimonio, asiendo estos lugares modelos que pueden ser reproducidos o ejemplos a seguir (Terra. Ecología práctica, 2005); Después de algunos años la renovación tecnológica destinada a la utilización de la tierra como material de construcción se ve más fundamentado en los países desarrollados gracias a un trabajo científico arquitectónico, habiéndose llegado a una malgama de las técnicas tradicionales con los nuevos adelantos tecnológicos, especialmente en reforzar las edificaciones, la protección contra la humedad, a nivel de cimientos y techos .

En las diversas tradiciones culturales y populares, las diferentes comunidades han usado el ingenio del lugar, creando así un medio de continuidad entre la historia, la actualidad y el futuro de este material.

Actualmente la tierra cruda es utilizada más en la parte rural, por su fácil consecución en el medio, por tener más ventajas que desventajas, pero se está utilizando ya en zonas urbanas como sucede actualmente en la sabana de Bogotá donde ya se ven varios ejemplos, claro que en menor proporción.

Por lo anterior la tierra es uno de los materiales más antiguos de construcción en la historia de la Humanidad. La arquitectura de tierra no solamente es una curiosidad arqueológica, puesto que este material sigue siendo preponderante en la construcción de edificaciones y una forma de hábitat, aunque prácticamente olvidadas ahora, las construcciones en tierra aun así siguen siendo parte del paisaje cotidiano (Terra. Desarrollo en Ingeniería especializada. SAS, s.f.).

Los recursos de la arquitectura constructiva en tierra permiten construir edificaciones altas pero también edificaciones extensas, adaptadas a las actividades colectivas de las

SISTEMA DE PRODUCCIÓN PANEL EN TIERRA EN EL SITIO

comunidades urbanas y rurales, igualmente permiten una fusión completa de creaciones arquitectónicas y artísticas.

Se han censado a través del mundo más o menos veinte métodos tradicionales de la construcción utilizando los recursos de la tierra cruda. En las más diversas variantes regionales se han distinguido dos procedimientos principales: de una parte la Tierra Apisonada y por otra parte la construcción en adobe. En estos dos métodos la tierra es escogida en función de su naturaleza y de su composición granulosa (Terra. Ecología práctica, 2005).

SISTEMA DE PRODUCCIÓN PANEL EN TIERRA EN EL SITIO

Marco Referencial

La elaboración de las viviendas con tierra por parte de los seres humanos se lleva a cabo desde tiempos inmemoriales, prueba de ellos quedan los vestigios de otras civilizaciones como evidencias irrefutables; en las diferentes culturas y sobre todo aquellas a las que refiere la cultura precolombina se pueden evidenciar estos aspectos, tales como:

En Perú existe la ciudadela de Chan Chan, la ciudad de barro más grande de América, construida en tapia pisada perteneciente a la Cultura Chimú, (1200-1480). Chan Chan se ubica en el valle de Moche, frente al mar, a mitad de camino entre el balneario de Huanchaco y la ciudad de Trujillo, capital del departamento de La Libertad en la costa norte del Perú. El sitio arqueológico cubre un área aproximada de veinte kilómetros cuadrados. La zona central está formada por un conjunto de diez recintos amurallados (llamados "ciudadelas") y otras pirámides solitarias. Este conjunto central, cubre un área de seis kilómetros cuadrados, aproximadamente. El resto, está formado por una multitud de pequeñas estructuras mal conservadas, veredas, canales, murallas y cementerios (Química.es, s.f., pág. 2).

La Arquitectura de Chan Chan

La forma arquitectónica como está organizada la ciudadela Chan Chan refleja que existió una fuerte estratificación, con clases sociales distintas ocupando diferentes áreas y edificios propios a su condición económica. Las ciudadelas, por ejemplo, están protegidas por altas murallas y tienen un solo acceso, facilitando el control de los que ingresaban y salían (Wikipedia. La enciclopedia libre, 2016, pág. 10).

Las ciudadelas comparten características formales, como:

- Son áreas cercadas de forma rectangular.

SISTEMA DE PRODUCCIÓN PANEL EN TIERRA EN EL SITIO

- Tienen orientación norte / sur.
- Están divididos en tres sectores.
- Es notable un alto grado de planificación en su construcción.
- Acceso principal ubicado al norte.
- Similar zonificación al interior de las ciudadelas.
- La presencia de plazas, audiencias, depósitos, plataforma funeraria y pozos.

Al interior, su organización está dada por 3 sectores: norte, central y sur.

Imagen 4. Detalle de muro Chimú en la ciudadela de Chan Chan



Fuente: (Wikipedia. La enciclopedia libre, 2016)

El sector norte es una plaza o patio con banquetas (muros bajos que pueden ser usados para sentarse) en su perímetro, con un acceso hacia el sur, al que se llega subiendo por una pequeña rampa. Este acceso conduce a las audiencias y los depósitos. Estas llamadas audiencias, son construcciones que vista desde arriba tienen forma de "U" y que debieron albergar a un funcionario o personaje ligado a las más importantes funciones administrativas de la ciudad (Wikipedia. La enciclopedia libre, 2016, pág. 12).

En el sector central se pueden encontrar la mayor concentración de construcciones dedicadas al almacenamiento de productos. Además se encuentra la *Plataforma Funeraria*, pequeña pirámide trunca de baja altura, al interior de la cuál estuvo enterrado el Señor principal de cada una de las ciudadelas. La mayoría de estas plataformas fue saqueada en los primeros años

SISTEMA DE PRODUCCIÓN PANEL EN TIERRA EN EL SITIO

de la conquista española (1532) (Wikipedia. La enciclopedia libre, 2016, pág. 13).

La zona central está formada por un conjunto de 10 recintos amurallados (llamados "ciudadelas") y otras pirámides solitarias. Este conjunto central, cubre un área de unos 6 kilómetros cuadrados. El resto, está formado por una multitud de pequeñas estructuras, veredas, canales, murallas y cementerios (Wikipedia. La enciclopedia libre, 2016, pág. 14).

El sector sur, es en apariencia, un cercado libre de construcciones, pero que gracias a las excavaciones arqueológicas, se ha podido saber que allí existieron estructuras hechas en materiales perecederos, que evidencian actividades domésticas. Esta zona, fue el área de residencia, donde se ubicaron la cocina y los dormitorios. Seguramente por eso, es aquí donde se ubica el pozo de agua que abasteció del líquido elemento a todos los habitantes de la ciudadela (Wikipedia. La enciclopedia libre, 2016, pág. 15).

Los Complejos Arquitectónicos de Elite se ubican fuera de las ciudadelas. Son recintos construidos en adobe con paredes y esquinas rectas (planto ortogonal), que se encuentran en una gran variedad de formas y muy diferentes entre sí en cuanto al tamaño y calidad de sus construcciones. Sin embargo, comparten una constante: repiten algunas características propias de las ciudadelas, como son patios, audiencias, depósitos, pozos de agua, orientación y distribución interna. Estos edificios no sirvieron únicamente como residencias, sino también a una vasta gama de actividades relacionadas con la administración. Los habitantes de estos complejos debieron realizar actividades semejantes o relacionadas con dueños de las ciudadelas, aunque, con mucha menos importancia política y económica (Wikipedia. La enciclopedia libre, 2016, pág. 16).

Se ha considerado a Chan Chan como una ciudad compuesta sólo por edificios monumentales y grandes templos.

SISTEMA DE PRODUCCIÓN PANEL EN TIERRA EN EL SITIO

Construcción por etapas.

Chan Chan no se construyó en una sola etapa. En base al estudio de los adobes, se ha podido establecer que hay 3 momentos en la historia urbana de esta ciudad. La etapa uno, correspondería al núcleo original, formado por las ciudadelas Uhle y Chayhuac. Posteriormente creció hacia el oeste, con Tello y Laberinto, esta última, la primera en usar la división tripartita de su espacio interior. En la etapa dos se construyen Gran Chimú y las edificaciones de los sectores norte y oeste. La etapa 3 está marcada por la construcción de las 5 ciudadelas restantes (Urbipedia. Archivo de Arquitectura, 2016, pág. 15).

Material de construcción.

Los muros están hechos de canto rodado de 50 centímetros de alto, que sirven de base para paredes de quincha (caña con barro), con techos del mismo material, soportados por horcones de madera. Al interior se han descubierto evidencias de actividades domésticas, como fogones, batanes y cerámica utilitaria. Pero ésta no fue la única ocupación de sus moradores (Urbipedia. Archivo de Arquitectura, 2016, pág. 16).

Para construir esta ciudad se utilizaron materiales propios de la región. Asimismo, las ciudadelas fueron construidas usando muros de tapia pisada sobre cimientos de piedra unidos con barro, más anchos en la base y angostos en la cima. Para construir pisos, rellenos de paredes, rampas y plataformas, se emplearon adobes rotos, junto con tierra, piedras y otros desechos. La madera se usó para hacer postes, columnas y dinteles. También se usó la caña el carrizo y la estera. Los techos fueron confeccionados entretejiendo atados de paja (Urbipedia. Archivo de Arquitectura, 2016, pág. 17).

Uno de los detalles que más admiran los actuales visitantes, es la gran belleza, variedad y cantidad de muros decorados con altorrelieves. Estos fueron hechos con moldes y decoraron las paredes de patios, audiencias y corredores, al interior de las ciudadelas. Los motivos decorativos más comunes fueron las

SISTEMA DE PRODUCCIÓN PANEL EN TIERRA EN EL SITIO

combinaciones geométricas, pero también son comunes las representaciones de peces y aves (Urbipedia. Archivo de Arquitectura, 2016, pág. 18).

Imagen 5. Ciudadela chan- chan –Perú. Construcción en adobe.



Fuente: (Wikipedia. La enciclopedia libre, 2016)

SISTEMA DE PRODUCCIÓN PANEL EN TIERRA EN EL SITIO

Técnicas de Construcción

Técnica de Construcción con Adobe

Construcción con adobe.

El adobe es:

una pieza para construcción hecha con una masa de barro (arcilla y arena) mezclada a veces con paja, moldeada en forma de ladrillo y secada al sol; con ellos se construyen paredes y muros de variadas edificaciones. La técnica de elaborarlos y su uso están extendidos por todo el mundo, encontrándose en muchas culturas que nunca tuvieron relación (Wikipedia, 2015, pág. 1).

Las construcciones de adobe se suelen remozar con una capa del mismo barro con lo que dan ese aspecto tan curioso de las casas típicas de Tierra de Campos.

Imagen 6. Construcción muro con adobe sobre basamento de piedra



Fuente: (Wikipedia, 2015)

En México, Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia, Argentina y en el sur y norte de Chile las casas de adobe son aun patrimonio de muchas familias humildes, que conservan esta tradición desde tiempos inmemoriales. Mezclar pasto seco con el barro permite una correcta aglutinación, gran resistencia a la intemperie y evita que los bloques una vez solidificados tiendan a agrietarse. Posteriormente

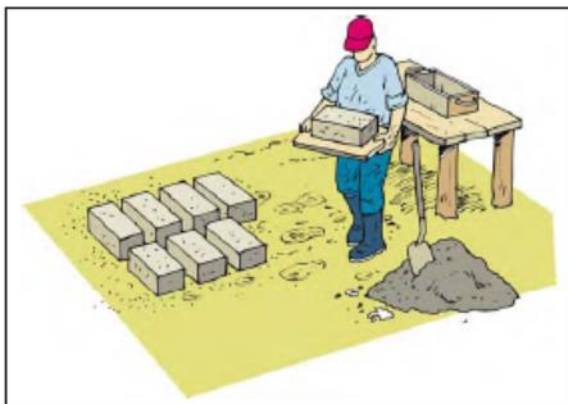
SISTEMA DE PRODUCCIÓN PANEL EN TIERRA EN EL SITIO

los bloques se adhieren entre sí con barro para levantar muros (Wikipedia, 2015, pág. 6).

Actualmente algunos arquitectos siguen utilizando muros de adobe en combinación con cimientos, columnas y losas de hormigón debido a sus características. En muchas ciudades y pueblos de Centro y Sur de América la construcción con adobes se mantiene viva aunque amenazada por las imposiciones del mercado formal (Wikipedia, 2015, pág. 7).

En países de mano de obra barata es muy económico; permite fabricar directamente los materiales para construir su propia casa.

Ilustración 1. Fabricación de ladrillos con adobe



Fuente: (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, s.f., pág. [18])

La tierra indicada para la elaboración de adobe es aquella en la que existe una proporción adecuada de arena y arcilla (Terra. Ecología práctica, 2005). La arcilla debe estar limpia, es decir no debe tener piedras grandes, basuras, ni residuos vegetales, de lo contrario, el adobe que resulte será de mala calidad, de poca resistencia y durará poco.

Se elabora con una mezcla de un 20% de arcilla y un 80% de arena y agua, se introduce en moldes, y luego se deja secar al sol por lo general unos 25 a 30

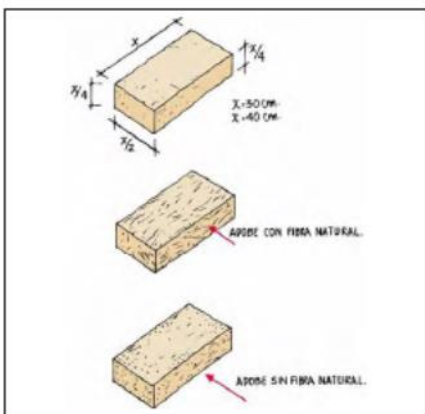
SISTEMA DE PRODUCCIÓN PANEL EN TIERRA EN EL SITIO

días. Para evitar que se agriete al secar se añaden a la masa paja, crin de caballo, heno seco, que sirven como armadura (Quimica.es, s.f., pág. 4) .

Los moldes pueden utilizarse, dobles y además ganeras como G, hechos en madera, o acero esto facilita su remoción de los bloques.

El tamaño de estos es muy variable desde 0.15x 0.15x0.30cm (España), 0.15x0.30x0.50 cm (nuevo México EE.UU.), 0.08x0.30x0.40cm (Colombia).

Ilustración 2. Estándar de los ladrillos



Fuente: (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, s.f., pág. [18])

Para su producción se coloca el molde sobre el piso y con una pala o palustre se vierte la mezcla de tierra húmeda presionándola y empujándola hacia las esquinas.

Con una reglilla (pieza de madera de bordes rectos) previamente mojada se analiza la superficie y aras con el molde. Se comienza a apisonar a las orillas del molde y se continúa en el centro hasta conseguir una superficie firme y plana.

Estará completo este proceso, si los moldes no dejan huella sobre los adobes producidos en sus superficies; los adobes producidos a máquina son generalmente más fuertes que los producidos a mano.

SISTEMA DE PRODUCCIÓN PANEL EN TIERRA EN EL SITIO

Imagen 7. Secado de ladrillos



Fuente: (Wikipedia, 2015)

Los adobes se dejan secar sobre el suelo después de quitarles los moldes. El sitio escogido para la producción de los adobes deberá tener sombra la mayor parte del día, para evitar la luz del sol directa y el agrietamiento debido a un secado demasiado rápido (Guía para construir el patrimonio familiar, 2010). Estos deberán mantenerse cubiertos de los rayos del sol durante los primeros días después de moldeados, después de curados dos o tres días los adobes pueden ponerse de lado y apiñarse a intervalos para un curado posterior de tres semanas, es conveniente cubrirlos con lienzos encerrados para protegerlos de todo daño debido a lluvias ocasionales. Para protegerlos de un curado demasiado rápido deberán cubrirse o mantenerse a la sombra durante semana y media.

En cuanto a su duración depende en su mayor parte de la naturaleza de la tierra, el método de producción, el tamaño, las muestras ensayadas y la cantidad de humedad.

El trabajo de la construcción de una vivienda se divide en dos partes a saber: la primera parte donde se elaboran los bloques o adobes; la segunda parte de la construcción de la edificación; por lo tanto el personal requerido para la primera parte es de cinco o cuatro obreros así: dos amasadores, dos moldeadores y el maestro, para la segunda parte se necesita una cuadrilla o más, dependiendo del rendimiento requerido; cada cuadrilla está conformada por un maestro y cuatro oficiales por lo general y dependiendo del sitio son los mismos de la primera parte.

SISTEMA DE PRODUCCIÓN PANEL EN TIERRA EN EL SITIO

Tres hombres sientan en una jornada laboral de ocho horas diarias de 600 a 700 adobes con un rendimiento de 29 adobes x hombre/hora.

Las herramientas requeridas para la primera parte son: pica, pala, molde, reglilla, carretilla y azadones. Las herramientas requeridas para la segunda parte son: Artesa, palustre, plomada, llanas madera, hilo, nivel, llana metálica, cinta métrica, nivel de manguera.

En la ejecución de obra para proteger el muro se construye un sobre cimiento a base de piedras pequeñas y medianas, pegada con mortero cal- arena 1:5 es necesario impermeabilizar la cara superior del cimiento con una capa de emulsión asfáltica.

Para pegar los adobes se puede utilizar mezclas terciadas (cal, arena y arcilla) 1:6 o mezcla con cemento. Para proteger las juntas se usan pequeñas piedras las que se introducen en las juntas, lo cual da mayor conservación al muro, así mismo se pueden emplear refuerzos de piedra en las esquinas.

En el enlucimiento de las fachadas como de muros interiores de la construcción, se aplica un mortero de proporción 1:3:6 de cemento, cal y arena, aplicado con palustre, llana y regla, suele usarse yeso en vez de cal. Una vez terminado el revestimiento se procede a pintar a base de vinilo de agua para así darle un color, variedad e identidad a la construcción.

Arquitectura de tapia pisada.

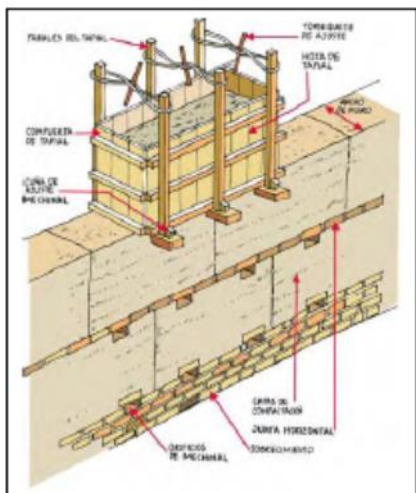
La tapia pisada es un procedimiento por medio del cual se construyen casas con tierra, sin sostenerlas con piezas de madera y sin mezcla de paja o relleno.

Este método consiste en apisonar, capa por capa, en medio de dos tablones con el espesor normal de los muros de piedra, tierra preparada con este propósito.

Apisonada de esta manera, la tierra se liga, toma consistencia y forma una masa homogénea, que puede ser elevada hasta la altura necesaria para una vivienda o construcción (Servicio Nacional de Aprendizaje [SENA], s.f., pág. 11).

SISTEMA DE PRODUCCIÓN PANEL EN TIERRA EN EL SITIO

Ilustración 3. Muro en tapia pisada



Fuente: (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, s.f., pág. [19])

La Tapia pisada tal como ha sido empleada tradicionalmente en algunos países, (por ejemplo en Francia), ha sido abandonada más por factores de orden socio económico que por razones técnicas. Se buscó el medio de producir, en épocas de penuria, un hábitat de bajo costo.

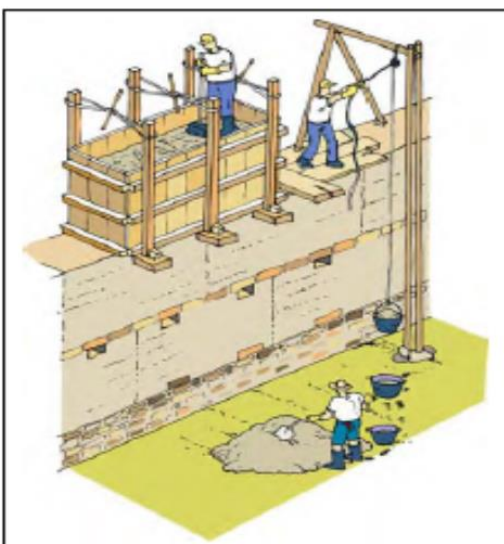
La necesidad de reconstruir de una manera económica y durable, hizo surgir los proyectos oficiales de construcción con tierra.

En Alemania, fueron construidas miles de viviendas rurales. Llegó a haber cinco centros de investigación cuyo propósito era proporcionar una ayuda práctica, un saber hacer, sobre la tapia pisada, aplicando la tecnología moderna y formando especialistas.

En Francia, se cambió el enfoque de los experimentos. Se ensayó a implantar la técnica en las regiones donde se ignoraba, como en la Somme, donde se construyeron dos granjas modelo en tapia pisada.

Se podrían citar miles de ejemplos: Estados Unidos, Canadá, Inglaterra, Bélgica, Dinamarca, Suecia, Australia, etcétera. Casi todos los países industrializados han hecho intentos para actualizar esta técnica de construcción.

SISTEMA DE PRODUCCIÓN PANEL EN TIERRA EN EL SITIO

Ilustración 4. Proceso de compactación.

Fuente: (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, s.f., pág. [19])

Esta técnica se basa en compactar tierra en capas de 0.10 m. La compactación se hace con una herramienta elaborada en obra denominada pisón. Se trata de un instrumento de madera similar a un remo aunque la forma y el peso varían de una región a otra. La compactación se hace dentro de una formaleta denominada tapial que consta de dos tableros de madera de 2.0 m de largo por 1.0 m de alto llamados hojas de tapial y dos compuertas que dan el ancho del muro. Las dimensiones de las hojas de tapial no son estándar. Varían de una región a otra al igual que el pisón (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, s.f., pág. [19]).

Las hojas de tapial descansan sobre tres elementos horizontales transversales llamados mechinales. Los mechinales tienen en sus extremos unas cajas donde se instalan los paraleles que son elementos verticales que ajustan las hojas del tapial para que no se abran con el continuo impacto del pisón (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, s.f., pág. [19]).

SISTEMA DE PRODUCCIÓN PANEL EN TIERRA EN EL SITIO

La parte superior de los parales se ajustan con un amarre de fique. Una vez se termina de pisar la sección, se desmonta el tapial y se desplaza horizontalmente para pisar una nueva sección. Al desmontar el tapial y extraer los mechinales quedan unos orificios que atraviesan el muro y que son característicos de este sistema constructivo (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, s.f., pág. [19]).

El grupo de trabajo en general consta de cuatro personas:

- Pisón y contrapisón: encargados de la compactación (el pisón es quien usualmente tiene el mando y la experiencia).
- El zurronero: su labor es proveer constantemente de tierra al tapial.
- El preparador de tierra: encargado de extraer la tierra y desmoronarla.

La tierra necesaria se extrae directamente del suelo. Demasiado seca, para tener suficiente cohesión, debe ser apisonada. A la técnica de tapia pisada se pueden enumerar varias ventajas, como lo es la Rapidez en la construcción y uno de los que más nos interesa en este trabajo, costo mínimo, economía de madera, aislamiento térmico, transformación en abono a la demolición, resistencia al fuego, solidez y durabilidad.

En relación a las Herramientas se hará referencia a las herramientas que se han utilizado durante varios siglos y otras con el fin de comprender las variaciones de la puesta en obra de esta técnica.

Herramientas.

La Formaleta o moldes para tapial.

Para realizar la formaleta se deben utilizar tablas rectas de madera seca, de aproximadamente 3 cm. de espesor, estas se pueden cepillar para obtener un paramento liso y evitar que la tierra se adhiera a la formaleta, pueden ser machihembradas para ensamblarlas. Después se ensamblan con los montantes o barras de los extremos. Para facilitar su manejo

SISTEMA DE PRODUCCIÓN PANEL EN TIERRA EN EL SITIO

se les pueden poner manijas de hierro. La forma tradicional es recta y sus dimensiones muy variables según la localidad.

Dejando de lado las pequeñas variaciones que aparecen en la configuración de cada parte, estos son los elementos que conforman una tapialera tradicional,

- Dos tapas laterales formadas por tablas horizontales de tres a cinco centímetros de grueso, con refuerzos en formas de costillas verticales de unos cinco por diez centímetros, de sección a una distancia entre cincuenta y ochenta centímetros.
- Dos tapas de fondo de características semejantes a las anteriores y encajadas en estas.
- Dos travesaños de madera o agujas de hierro que soportan el peso de las tapas y permiten el encaje de los costales en unas cajas acuñadas. Puede haber otras dos arriba o ser sustituidas por tirantes.
- Cuatro costales de madera encajados en las agujas y atirantados arriba, cuya función es impedir que los tableros se abran bajo la presión de la tierra apisonada.

En la actualidad hay nuevos tipos de tapialeras. Se intenta que sean manejables y ligeras, más resistentes otras y con nuevas formas en ocasiones.

Las variedades de tapialeras son las que modifican las formas recta de las mismas, las más comunes son las tapialeras en L y T. Existen otros diseños de otras formas variadas como tapialeras curvas de radio variable. Las tapialeras en L y T se emplean para hacer las esquinas de las paredes y los encuentros de tapias respectivamente. La mejora de la trabazón es importante sobre todo en áreas de peligro sísmico, por ello se usan hoy con mayor demanda en zonas donde son introducidas a partir de terremotos.

Junto a las ventajas citadas, las tapialeras en L y T tienen la desventaja de su mayor peso y número de piezas, lo que hace más difícil su montaje y nivelación; y la precisión que se requiere en la medida de todos sus elementos.

SISTEMA DE PRODUCCIÓN PANEL EN TIERRA EN EL SITIO

Pisones.

En la mayor parte de los casos se suele utilizar pisones de mano, pero si se pretende construir con más rapidez, o disminuir el coste de mano de obra en una edificación, puede usarse varios pisones mecánicos. Estos son costosos, mas siempre cabe la posibilidad de alquilarlos para obras pequeñas.

Los pisones de mano son importantes tanto sus dimensiones como su peso. Conviene elegir uno que esté de acuerdo a la fortaleza y estatura de los operarios, por lo que, si éstos se turnan o trabajan simultáneamente, convendrá tener varios pisones diferentes. Las características de los pisones manuales convienen que se hallen dentro de los rangos siguientes:

Tabla 1. Rangos de los pisones manuales.

Material	Madera dura o metal
Número de cabezas	1, a veces 2, en los pesados
Peso	6 a 12 kg. (Depende del operario)
Ideal	140gr/cm ² de punta
Altura total (Depende del operario)	120 a 180 cm
Diámetro del mango	4 a 6 cm
Sección de la punta	60 a 144 cm ² (Típico de 60 cm ²)
Punta De	madera o acero
Forma de la punta	Plana o en ángulo de hasta 120°
Presión ejercida	100 a 160 gr/cm ²
Altura apisonado	Mayor a 20 cm golpeando ligeramente.

Fuente: (Doat, Hays, Houben, Matuk, & Vitoux, 1990)

Pisones mecánicos: Con la utilización de pisones mecánicos puede disminuirse el tiempo de apisonado por persona de dos a cinco veces. La elección del tipo de pisón se hace generalmente en base a su rendimiento económico, que obviamente deberá ser estudiado en cada caso.

Baste aquí decir se pueden usar pisones neumáticos o vibrantes. Su peso deberá estar en el rango de 10 a 15 kg. Los pisones neumáticos deberán tener carrera larga y avance medio

SISTEMA DE PRODUCCIÓN PANEL EN TIERRA EN EL SITIO

golpeando con fuerza. La cabeza puede ser de 15 x 15 cm. La presión necesaria es de 5 Kg/cm² y el compresor de un rendimiento de 750l/min.

Aparatos de Compactación por Impacto.

Apisonadores neumáticos. Se utilizan estas herramientas en la fundición pesada (concreto) para pisar la arena dentro de las formaletas. Los vibradores son demasiados pequeños para pisar los muros; solamente los apisonadores de suelos nos interesan.

Estos apisonadores deben tener un recorrido rápido, un golpe potente y una alimentación de aire moderada. La presión de aire debe alcanzar los 5kg/cm².

Los apisonadores neumáticos pueden tener presiones estáticas del orden de 0.45 kg/cm². El número de golpes puede variar de 400 a 700/minuto. Esto da como resultado una compactación muy enérgica. Se constató que los muros apisonados con apisonador neumático tienen una densidad seca notablemente uniforme, mientras que el apisonado manual daba un resultado muy irregular.

Los pisonos vibrantes tienen una presión estática de 0.05 a 0.10kg/cm². Pero este inconveniente es compensado por una frecuencia muy alta de golpes /min (500 a 1.000). La profundidad de la compactación del nivel AASHO estándar alcanza 30 cm². Y el peso se sitúa entre 60 y 100 kgs. El recorrido es corto (35 a 40 mm) y la velocidad de avance es el orden de 13 m/min. En general se compactan 15 cm². En cuatro pasadas. El rendimiento es de cerca de 7 m³ / hora.

Estos aparatos, de tamaño moderado, pueden ser empleados en diferentes tipos de formaleta. Su peso los hace más aptos para el apisonado de planchas, espacios reducidos, etc.

Los martillos neumáticos equipados con un ariete, deben proscribirse porque su recorrido es muy corto y su frecuencia elevada (cerca de 800 golpes/min.) además estos aparatos pesan de 15 a 25kgs, lo cual hace su manipulación muy fatigante. Es de notar que las

SISTEMA DE PRODUCCIÓN PANEL EN TIERRA EN EL SITIO

cabezas de los pisones deben ser de una sola pieza (en hierro colocado) o si no las soldaduras no resisten las vibraciones.

Proceso Constructivo de Tapia Pisada

Identificación de tierra.

Análisis de suelos.

El material debe analizarse cuidadosamente en todos los casos, pues de sus características va a depender la calidad de las paredes, su resistencia y durabilidad básicamente. Esto no quiere decir que haya que realizar siempre ensayos sumamente precisos, pues la construcción con tierra se basa en parámetros aproximados, dado que los suelos difieren mucho en cada lugar y que se trata de aprovechar la mayor parte de ellos para construir.

En ciertas zonas de América en la actualidad, y en España antiguamente (en realidad hasta hace poco), los albañiles expertos identificaban la tierra apta para construir por su color, su textura, su olor después de la lluvia, su sabor, por la forma de escurrirse en los dedos, por la mancha que queda en la mano, por la forma de romperse al caer al suelo y, sobre todo, por la información que obtuvieran de las construcciones de los alrededores.

En los últimos años personas de distintas partes del mundo han creado una serie de pruebas que en su conjunto, dan una idea del suelo bastante fiel, semejante a la que en otros casos podría optar la experiencia.

Sin embargo, para edificaciones de importancia es recomendable acudir a un laboratorio de suelos con las muestras obtenidas.

No todas las tierras son adecuadas para la construcción en tapia pisada. Se estima que a la mejor tierra debe estar compuesta por:

- Gravilla 0 al 15%

SISTEMA DE PRODUCCIÓN PANEL EN TIERRA EN EL SITIO

- Arena: 40 a 50%
- Limo: 35 a 20%
- Arcilla: 15 a 25%

Toma de muestras.

Las muestras deben ser tomadas del lugar exacto de aprovisionamiento. Las arcillas suelen hallarse en las partes altas de las elevaciones del terreno y las arenas en las partes bajas. Se precisa una tierra que contenga ambas.

Debe cavarse varios hoyos hasta cubrir el área suficiente para toda la extracción. Una vez quitado el suelo orgánico se tomarán muestras, una muestra de cada estrato diferente o un cada metro, a las siguientes profundidades:

Tabla 2. Profundidad de toma de muestras de suelos.

<i>Tipo de excavación</i>	<i>Profundidad de toma de muestras</i>
Manual	0.50 a 1.5 m
Mecánica	0.50 a 3 m

Fuente: (Doat, Hays, Houben, Matuk, & Vitoux, 1990)

Cada muestra de suelo se guarda en una bolsa numerada, anotando en un cuaderno la localización y profundidad de la muestra que contiene. Es suficiente con 2 kg., de tierra en cada muestra para los ensayos de clasificación del suelo. Los laboratorios pueden exigir entre 10 y 50 kg, para un test completo.

Para darle continuidad a las técnicas tanto en comunidades urbanas como rurales se han venido asimilando, reinventando y mejorando estas técnicas que han probado sus cualidades y sus potencialidades de adaptación a las condiciones geográficas y culturales de las sociedades, puesto que se encuentran muy diversas. La técnica de la construcción con tierra es actualmente lo suficiente segura para competir con los materiales clásicos. Heredera de una tradición popular posee las ventajas de una tecnología simple, al tiempo que demanda poco inversión en materiales, es fácilmente adaptable.

SISTEMA DE PRODUCCIÓN PANEL EN TIERRA EN EL SITIO

La compactación.

La compactación es fundamental de la construcción de tapia pisada. Un trabajo de investigación existe sobre las herramientas adecuadas para esta técnica.

La compactación puede ser manual o mecánica:

Manual: los pisones utilizados tradicionalmente en Suecia, Australia, Brasil y Colombia tenían formas muy diferentes, algunos tenían una extremidad en forma de cuña, otros en extremo aplanado.

Mecánica: Para hacer una buena escogencia de la herramienta adecuada, son indispensables los ensayos en la obra. La energía de compactación de una maquina obedece a múltiples factores. La cantidad óptima de pasadas realizables, la velocidad de progresión deseable, el espesor óptimo de la capa suelta a compactar de una vez.

Compactación con prensas.

Actualmente existen en la industria de la cerámica numerosas prensas para la fabricación de bloques.

Algunas pueden ser utilizadas para las tierras estabilizadas, otras han sufrido transformaciones y finalmente otras han sido diseñadas para la fabricación de bloques de tierras prensados. Todavía quedan algunas que potencialmente pueden ser adaptadas para otros usos.

Características de las prensas.

Tipo de prensa.

Los tipos que se presentan a continuación se han diferenciado según la fuente de energía:

- Manual. En este caso el apisonamiento lo hace uno o varias personas por medio de un sistema de palanca o pistón.

SISTEMA DE PRODUCCIÓN PANEL EN TIERRA EN EL SITIO

- **Mecánico.** El apisonamiento de tierra se hace por un sistema de palanca o de pistón accionado mecánicamente por un motor de gasolina, diesel o eléctrico.
- **Hidráulico.** La energía del motor se transmite a la bandeja de compactación por un sistema hidráulico.
- **Neumático.** La energía del motor se transmite al pistón por un sistema neumático.

Modo de compresión.

- **Presión estática:** el apisonamiento se realiza por el acercamiento lento de las dos superficies entre las cuales se encuentra la tierra que es retenida lateralmente.
- **Presión Dinámica:** La compactación se obtiene por un apisonamiento de la tierra en un molde. La presión ejercida sobre el bloque no se controla fácilmente.

La estabilización.

La tabla de valoración y utilización de los suelos ofrece una primera idea sobre la estabilización que puede hacerse en un suelo determinado; fundamentalmente si éste es apto para ser utilizado por sí solo, con que técnica y cuáles son los estabilizantes compatibles con él (Servicio de Conservación de Recursos Naturales del Departamento de Agricultura de Los Estados Unidos, s.f.).

La estabilización puede servir para mejorar una determinada cualidad de un suelo o, en último extremo, para corregir una deficiencia que esté presente. Pero es mejor no intentar la conversión de un material en otro bueno por medio de la estabilización.

Un mal material en este caso, es por ejemplo, una grava arenosa sin finos, y su estabilización con cemento portland da lugar, efectivamente a un material bueno, pero éste se llama comúnmente hormigón o concreto, es objeto de un tratamiento muy distinto y sirve a otros objetivos.

Sea cual fuere el estabilizante elegido será necesario realizar ensayos antes de su puesta en obra para comprobar que las características del material son las previstas.

SISTEMA DE PRODUCCIÓN PANEL EN TIERRA EN EL SITIO

Tabla 3. Elección de estabilizantes

Estabilizante	Tipo de suelo necesario	Consecuencia principal	Uso para
Cemento portland	Arenoso Wp entre 5 y 20	Gran incremento de las resistencias húmeda y seca. No disminuye absorción. Disminuye retracción	1 tapial 2 bloque comprimido
Cal	Arcilloso Wp > 15	Incremento de resistencias. Húmeda y seca. No disminuye absorción	1 adobe 2 bloque comprimido 3 tapial
Cemento + cal 1:1	Arcilloso Wp >	Incremento de resistencias. Húmeda y seca. No disminuye absorción	adobe 2 bloque comprimido 3 tapial
Emulsión asfáltica	Arenoso Wp < 13		

Fuente: (Doat, Hays, Houben, Matuk, & Vitoux, 1990)

En el caso de que se haya decidido estabilizar la tierra siguiendo los criterios de la tabla de elección de estabilizantes, debe seguirse un proceso diferente para la puesta en obra de cada uno de ellos.

a. **Cemento Portland**

- Se utiliza en los suelos arenosos en proporciones del 3 al 8% del peso de la tierra seca. Con menos de un 3% puede ser contraproducente, a no ser que un ensayo demuestre lo contrario. Más de un 50% suele resultar antieconómico pues se entra ya en un puesto de tipo hormigón.
- La resistencia que aporta el cemento depende de gran medida de cómo se halla mezclado con la tierra.
- Debe mezclarse con el suelo perfectamente seco al que habrá pulverizado todos los terrones.
- Al agregar el agua necesaria se inician las reacciones de fraguado. Utilícese enseguida.
- Debe mantenerse húmedo durante siete días cubriéndolo con sacos, paja, etc. (no con plásticos) protegiéndolo del sol otros siete. A los siete días alcanza la mayor parte de resistencia.

SISTEMA DE PRODUCCIÓN PANEL EN TIERRA EN EL SITIO

b. Cal.

- Se usa preferentemente con suelos arcillosos a los que fortalece muchas veces, pero no siempre por eso es preciso ensayar el resultado antes de adoptarlo definitivamente. También admite un cierto contenido de materia orgánica en el suelo.
- La cal suele ayudar a deshacer los terrenos de los suelos arcillosos, no presentando por ello grandes dificultades su mezcla. En el caso de que haya mucha arcilla procédase del modo siguiente:
- Júntese la cal con la tierra y añádase agua de modo de que la mezcla se humedezca.
 - Manténgase cubierta y húmeda durante 24 horas.
 - Mézclese otra vez pulverizando bien todos los terrones, y utilice enseguida.
 - Una vez elaborados los elementos de tierra manténgalos cubiertos y húmedos durante 10 días y otros siete a la sombra si hace sol.
 - El endurecimiento de esta mezcla con cal es muy dilatado en el tiempo. Alcanza su máxima resistencia más lentamente que el cemento, aumentando progresivamente durante varios meses;
 - Se emplea en proporciones que van del 2% al 8%, según el tipo de suelo y las características que se quiera obtener. Generalmente se emplea por debajo del 5% del peso seco.

c. Cal y cemento.

Se emplea en suelos demasiados arcillosos para estabilizarlos con cemento portland y demasiado poco para que la cal reaccione con ellos lo suficiente para incrementar su resistencia, aunque sí para hacerlos más manejables y poder luego mezclarlos con el cemento.

- Mézclese el suelo con la cal como si fuera estabilizar solo con ella.
- Una vez pulverizado el suelo, añádase el cemento mezclándolo bien.
- Añádase el agua, mezclando, y utilice enseguida.

SISTEMA DE PRODUCCIÓN PANEL EN TIERRA EN EL SITIO

- Debe curarse durante iguales plazos que en el caso de la cal, si bien alcanza más pronto la mayor parte de su resistencia.
 - Suele emplearse en proporción 1:1, y en cantidades alrededor del 2% de cada componente, lo que deberá decirse con ensayos.
- d. Emulsiones asfálticas
- Son mezclas de asfaltos con agua, más fáciles de mezclar con la tierra que el asfalto solo. Deben emplearse solamente los de fraguado (separación en agua y asfalto) lento.
 - Se emplea en suelos arenosos, mejorando su coeficiente de absorción y su resistencia húmeda, pero disminuyendo a corto plazo la resistencia seca. Es adecuado, sobre todo, para adobe.

Para adobe se mezcla con el barro fluido a mano sin dificultad. Para tapial o bloque comprimido a pesar de que mejoran mucho sus cualidades, sobre todo la de los bloques, no es fácil realizar la mezcla pues aumenta el contenido en agua de la tierra más allá de lo aceptable para su compactación.

Por ello en muchas ocasiones hace falta secar la tierra antes de mezclarlo, y no se obtiene un producto perfectamente homogéneo. Es preferible, pues, restringir su uso a tierra cuya humedad natural sea muy baja, evitando así al menos la espera del secado. Utilícese en cantidades entre el 3% y el 6% del peso del suelo seco, realizando ensayos de comprobación.

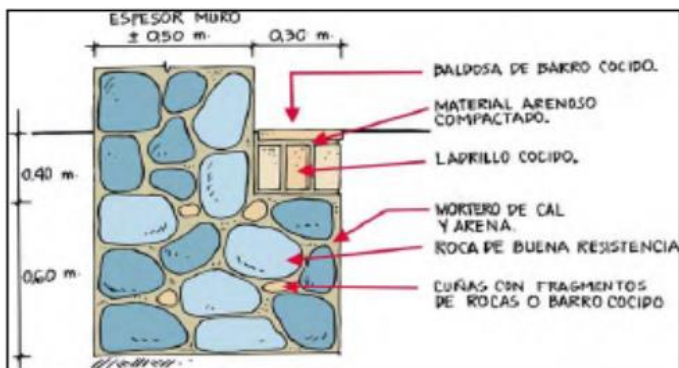
La cimentación.

La cimentación se construye con base en vigas corridas en roca y material de relleno conformando un entramado de vigas bajo los muros principales de la edificación.

En general la profundidad de la cimentación alcanza el suelo firme por debajo de la capa orgánica (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, s.f., pág. [20]).

SISTEMA DE PRODUCCIÓN PANEL EN TIERRA EN EL SITIO

Ilustración 5. Cimentación

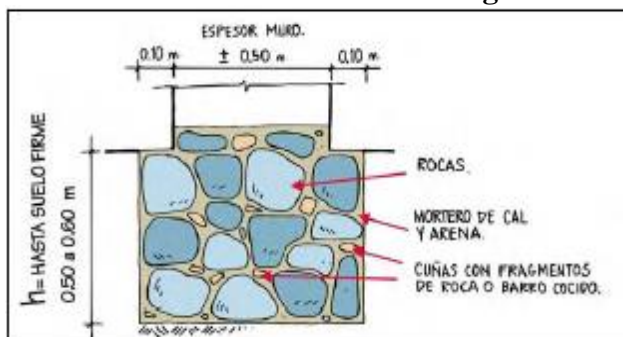


Fuente: (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, s.f., pág. [20])

- Las formas más frecuentes de cimentación son en “L”, en “T” invertida o cimentación prismática del mismo ancho del muro.
- Las rocas que constituyen el material principal de la cimentación pueden ser de tipo anguloso, redondeado o una mezcla de los dos.

Los fragmentos angulosos pequeños permiten el agarre entre elementos mayores y sirven de cuña para nivelar las rocas. Los fragmentos de tipo redondeado provienen generalmente de ríos y quebradas. Al igual que en el caso anterior, los cantos rodados se traban acuniándose con guijarros (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, s.f., pág. [20]).

Ilustración 6. Cimentación con fragmentos



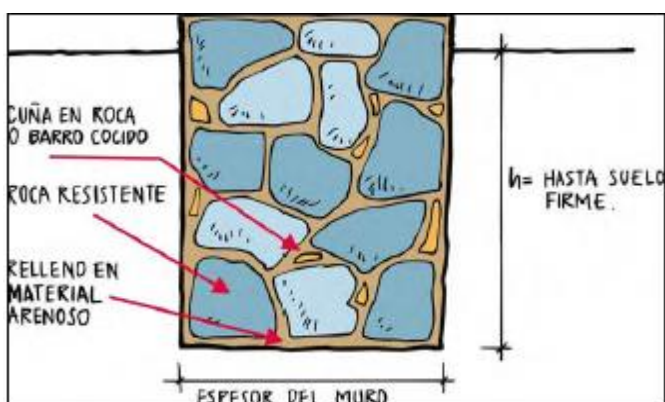
Fuente: (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, s.f., pág. [20])

SISTEMA DE PRODUCCIÓN PANEL EN TIERRA EN EL SITIO

Algunas veces los espacios entre las rocas que conforman la cimentación se dejan vacíos. Otras veces se llenan con material arenoso que facilita su colocación y en muchas ocasiones se utiliza cal y canto como cementante (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, s.f., pág. [21]).

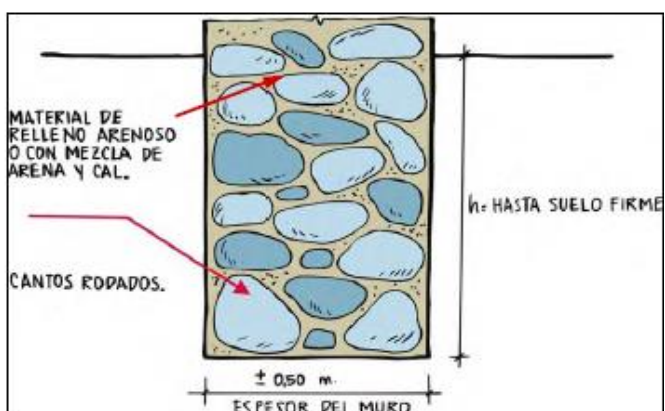
Cuando la construcción se ubica en un terreno inclinado, la cimentación se proyecta hasta la cota superior del piso conformando espacios vacíos los cuales se utilizan normalmente como despensas, cavas o cuartos de Herramientas (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, s.f., pág. [21]).

Ilustración 7. Cimentación en roca o barro cocido



Fuente. (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, s.f., pág. [21])

Ilustración 8. Cimentación con mezcla de arena y cal

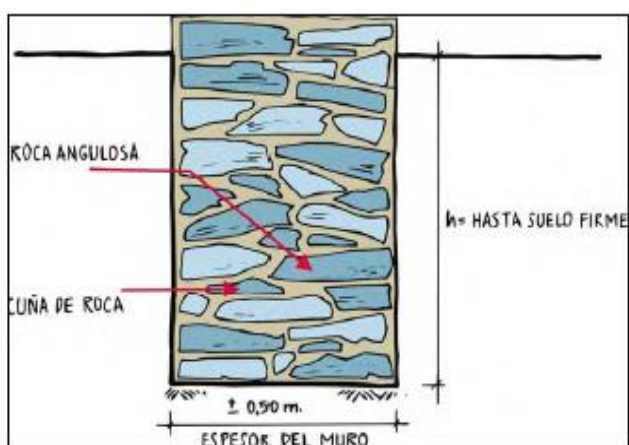


Fuente: (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, s.f.)

SISTEMA DE PRODUCCIÓN PANEL EN TIERRA EN EL SITIO

Como los muros de tierra son gruesos, el ancho de los cimientos repercute ciertamente sobre el costo de la vivienda. Conviene por tanto, escoger las soluciones tecnológicas más económicas. Cabe recordar que un cimiento debe ser suficientemente resistente a las cargas de la construcción, servir de amarre, ser lo suficientemente profundo para quedar por debajo de la línea de hiladas y rebasar el suelo para formar un sobrecimiento. En cualquier caso un buen drenaje del terreno es indispensable. Los materiales del cimiento pueden ser piedra, concreto, bloques de cemento y hormigón de tierra fuertemente estabilizado.

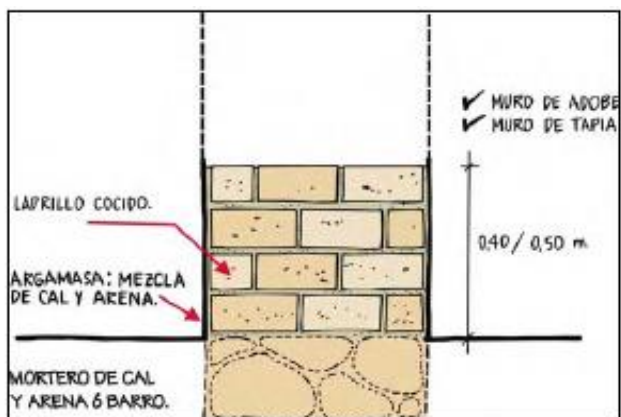
Ilustración 9. Cimentación ciclópea



Fuente: (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, s.f., pág. [21])

a. Los Sobre cimientos

Ilustración 10. Sobre cimientos



Fuente: (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, s.f., pág. [22])

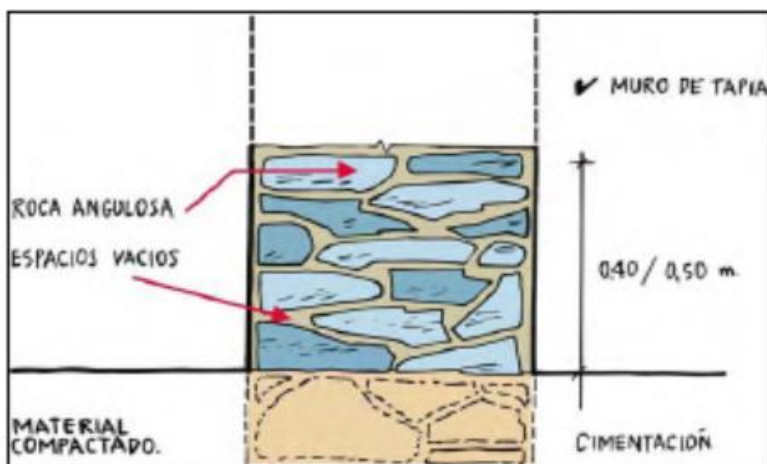
SISTEMA DE PRODUCCIÓN PANEL EN TIERRA EN EL SITIO

Por encima de la cota del terreno hasta donde llega la cimentación se proyecta el sobre cimiento en material rígido y resistente. El sobre cimiento tiene como propósito proteger el muro de tierra en tapia o adobe de la humedad, de la acción del agua superficial y de goteo y de otras acciones agresivas que ocurren a nivel de piso, y conformar la base definitiva de asiento de los muros (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, s.f., pág. [22]).

Los sobre cimientos ascienden generalmente hasta 0.50 m pero pueden proyectarse hasta alturas mayores siguiendo un alineamiento en el muro totalmente irregular. Generalmente se cubren con un pañete más grueso que el resto del muro y se pintan de un color oscuro para generar una mayor protección (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, s.f., pág. [22]).

Los sobrecimientos se construyen con ladrillo cocido sentado con cal y canto o barro con fragmentos de roca equivalentes a los de la cimentación. Los vacíos que quedan hacia la parte externa del sobre cimiento se nivelan con pañete (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, s.f., pág. [22]).

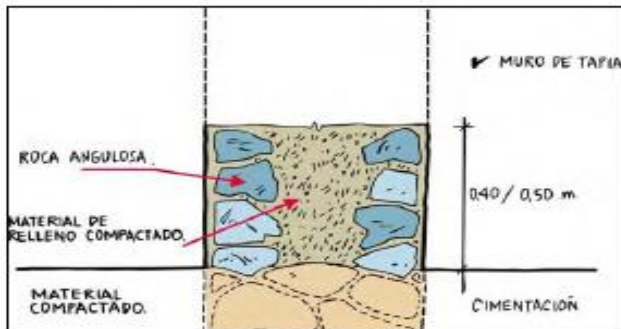
Ilustración 11. Sobrecimiento con ladrillo cocido



Fuente: (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, s.f., pág. [22])

SISTEMA DE PRODUCCIÓN PANEL EN TIERRA EN EL SITIO

Ilustración 12. Sobrecimiento relleno de material compactado



Fuente: (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, s.f., pág. [22])

Cómo Construir con Tapia Pisada

Muros de tapia pisada.

Aparejo de la tapia.

Las secciones de tapial se tratan de la misma manera como se levanta un muro con adobes pero de gran tamaño. Para realizar las juntas horizontales se escarifica con un punzón la superficie del muro que recibe la nueva hilada sin colocar ningún tipo de elemento de conexión (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, s.f., pág. [27]).

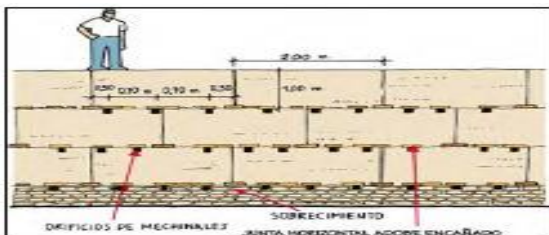
En algunas ocasiones se instalan elementos en las juntas horizontales tales como adobes, trozos de teja, de ladrillo cocido, caña o tendidos de esterilla de guadua, todo con el fin de proporcionar una superficie de fricción entre las dos hiladas. También, en algunos casos se colocan adobes para rellenar los orificios de los mechinales ([27]).

Construcción de esquinas.

Generalmente los encuentros de dos muros principales (por ejemplo uno perimetral y uno carguero) se levantan con disposiciones de trabe similares a las de esquinas de adobe o ladrillo ([27]).

SISTEMA DE PRODUCCIÓN PANEL EN TIERRA EN EL SITIO

Ilustración 13. Construcción de las esquinas de los muros



Fuente: (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, s.f., pág. [27])

Rehabilitación Sísmica de Viviendas de Adobe y Tapia Pisada.

Las características propias de este tipo de construcciones están relacionadas directamente con la reconocida vulnerabilidad sísmica que se les atribuye. No es factible proponer varios niveles de intervención o rehabilitación, como se propone en otros sistemas constructivos, y sólo puede pensarse en la práctica en una reestructuración integral que permita lograr un nivel de seguridad equivalente con el que tendría una vivienda nueva construida con criterios sismorresistente (...) (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, s.f., pág. [62]).

Ilustración 14. Rehabilitación sísmica



Fuente: (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, s.f., pág. [62])

Por esta razón la protección de este tipo de edificaciones y de la vida de sus ocupantes ante los terremotos significa llevar a cabo una serie de intervenciones estructurales que deben realizarse en forma integral (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, s.f., pág. [62]).

SISTEMA DE PRODUCCIÓN PANEL EN TIERRA EN EL SITIO

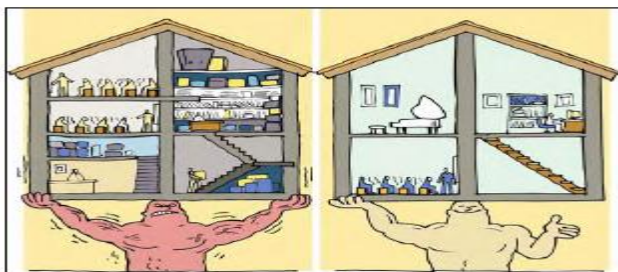
Las intervenciones aquí propuestas tienen como propósito la reducción de la vulnerabilidad de la edificación pero, en particular, su objetivo es retardar al máximo el colapso total o parcial en caso de terremotos extremos, con el fin de proteger la vida de los ocupantes, dando tiempo a las personas de escapar antes de que ocurra el colapso. Por esta razón se recomienda realizar en lo posible todas las intervenciones sugeridas o la mayoría, pues en conjunto harían la edificación más segura ([62]).

Disminución del peso.

La disminución del peso contribuye a que las fuerzas inerciales que se producen a causa de la acción del terremoto se reduzcan. Es una medida de bajo costo pero usualmente es insuficiente y sólo factible en casos de sobrepesos importantes (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, s.f., pág. [63]).

- a. Eliminar sobrecargas importantes tales como archivos, bultos, papeles, etc.
- b. Reemplazar cubiertas pesadas en teja de barro con capas de mortero por cubiertas livianas en teja de zinc o de acero galvanizado.
- c. Reemplazar sistemas de entrepiso con mortero y tabletas por sistemas de madera.
- d. Eliminar pisos intermedios o buhardillas.

Ilustración 15. Disminución del peso en construcciones



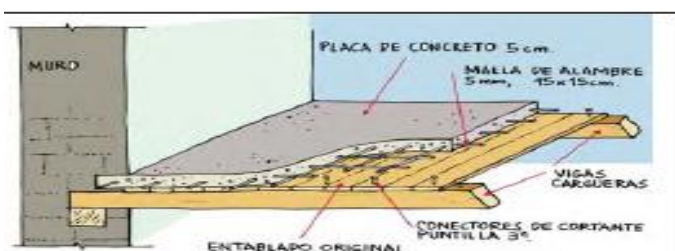
Fuente: (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, s.f., pág. [63])

SISTEMA DE PRODUCCIÓN PANEL EN TIERRA EN EL SITIO

Mejoramiento de entrepisos y de su acción de diafragma.

Un diafragma efectivo permite distribuir las fuerzas de manera adecuada a los elementos verticales más resistentes y permite absorber los efectos de torsión debido a las irregularidades de la construcción. Se plantean varias alternativas para lograr una mejor acción de diafragma de los entrepisos o de la cubierta cuando se presenta un sismo (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, s.f., pág. [64]).

Ilustración 16. Mejoramiento de entrepisos

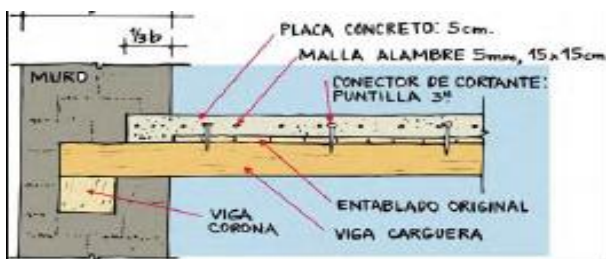


Fuente: (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, s.f., pág. [64])

Plaqueta de concreto.

Consiste en fundir una plaqueta de concreto sobre el entramado de madera existente. Se debe generar una conexión efectiva entre la plaqueta y las vigas cargueras principales. Se debe también generar una conexión efectiva a los muros perimetrales. Se debe verificar la resistencia de la madera o colocar apuntalamientos temporales mientras la mezcla de concreto fragua (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, s.f., pág. [64]).

Ilustración 17. Plaqueta de concreto



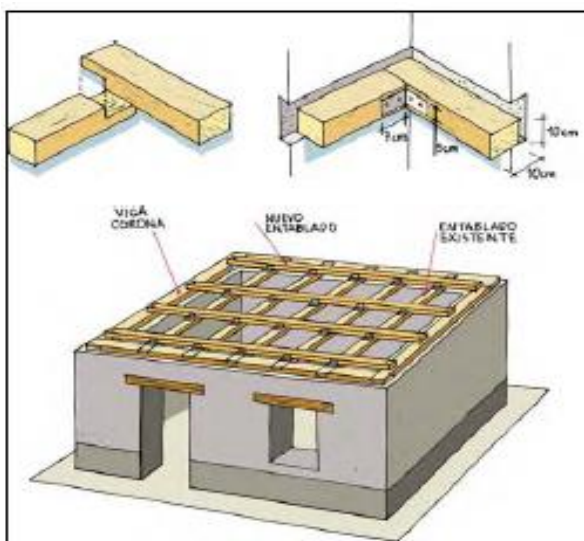
Fuente: (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, s.f., pág. [64])

SISTEMA DE PRODUCCIÓN PANEL EN TIERRA EN EL SITIO

Vigas corona perimetrales.

En los casos en donde no existen vigas de corona sobre los muros de adobe y tapia pisada se recomienda instalar una viga de amarre en la parte superior e inferior del muro y alrededor de todo el perímetro de la edificación. La viga corona puede ser de madera, preferiblemente, o incluso de concreto. Las vigas coronas deben interconectarse en las intersecciones de muros y en las uniones con muros transversales para garantizar la continuidad del amarre tanto en la parte interna como en la externa de los muros (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, s.f., pág. [65]).

Ilustración 18. Vigas corona perimetrales



Fuente: (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, s.f., pág. [65])

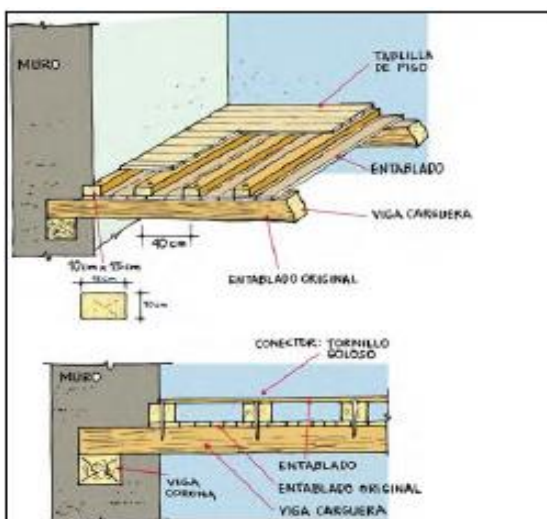
Entablado complementario.

Consiste en colocar un entablado en las dos direcciones principales del entrepiso o en la dirección perpendicular en caso que ya exista un entablado previo que se encuentre en buen estado. El entablado deberá ir adecuadamente conectado a todos los elementos del entablado existente y a los elementos de soporte en todo el perímetro (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, s.f., pág. [65]).

SISTEMA DE PRODUCCIÓN PANEL EN TIERRA EN EL SITIO

El nuevo entablado deberá conectarse a los elementos perimetrales de madera ó vigas corona existentes, especialmente a los que van en dirección paralela a los elementos de entrepiso ya existentes (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, s.f., pág. [65]).

Ilustración 19. Entablado complementario



Fuente: (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, s.f., pág. [65])

Rehabilitación de muros.

Rehabilitación con malla de acero y mortero de arena y cal.

Consiste en instalar mallas con vena por franjas horizontales y verticales (simulando franjas verticales y horizontales confinadas) en las zonas críticas de los muros principales de la vivienda. Los tramos de malla se instalan en la cara interna y externa del muro en forma simultánea. Las mallas de las dos caras se interconectan con alambrones de 8 mm colocado en orificios previamente perforados los cuales se rellenan con mortero de cal y arena. El amarre del alambón y la malla se realiza únicamente en las venas de la malla. Los alambrones van espaciados cada 20 cm en promedio en las dos direcciones. Posteriormente la malla se recubre con mortero de cal y arena (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, s.f., pág. [66]).

SISTEMA DE PRODUCCIÓN PANEL EN TIERRA EN EL SITIO

Materiales

- Malla con vena calibre 19
- Cal apagada
- Arena fina
- Alambrones de 8 mm
- Puntillas de 2" de longitud.

Cuando se trate de muros en tapia pisada, los orificios de los mechinales deben rellenarse con una matriz de mortero de cal, arena y roca, ladrillos o adobes. Para lograr un mejor llenado se recomienda clavar una cuña de madera en el orificio apenas unos minutos después de haberlo llenado (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, s.f., pág. [67]).

Ilustración 20. Materiales necesarios



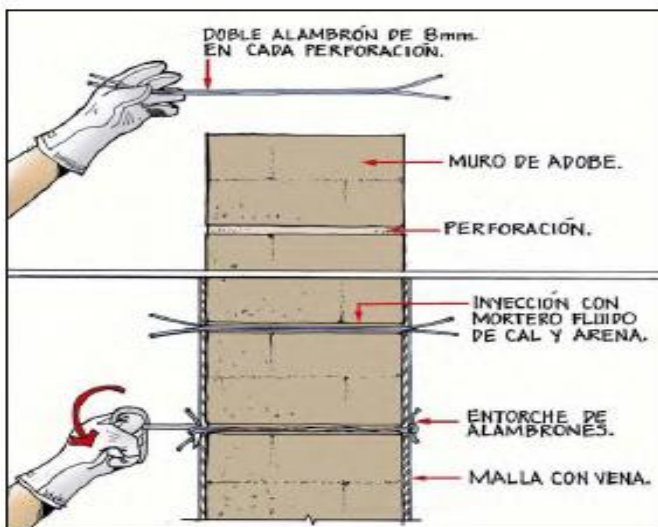
Fuente: (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, s.f., pág. [66])

Detalles y proceso constructivo.

- Ubicación de orificios de conectores según distribución de las venas de la malla y zonas de traslajos. Preparación de alambrones para conexión (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, s.f., pág. [67]).

SISTEMA DE PRODUCCIÓN PANEL EN TIERRA EN EL SITIO

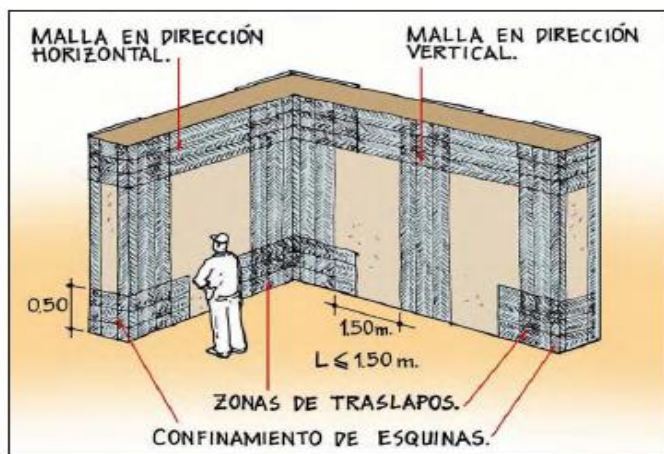
Ilustración 21. Preparación de alambrones



Fuente: (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, s.f., pág. [67])

- Detalle de instalación de malla en las esquinas. Definir ubicación de malla para localizar orificios. Soportar mallas en su posición con puntillas (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, s.f., pág. [67]).

Ilustración 22. Ubicación de la malla



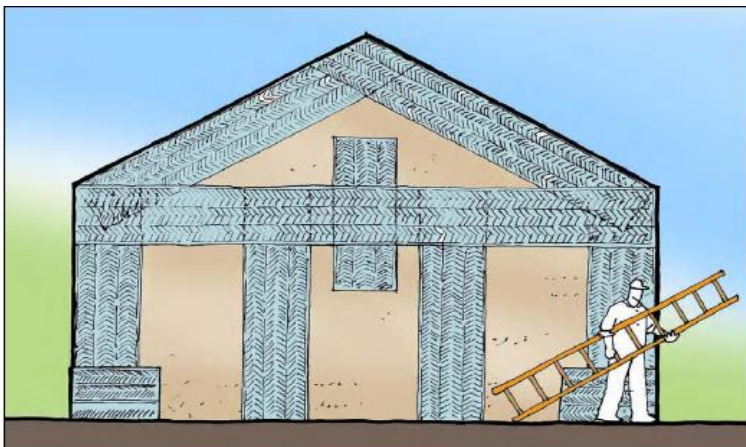
Fuente: (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, s.f., pág. [67])

- Detalle de la instalación de mallas en las culatas de la vivienda. Definir ubicación de mallas para localizar orificios. Las mallas se pueden soportar en su posición

SISTEMA DE PRODUCCIÓN PANEL EN TIERRA EN EL SITIO

mediante las puntillas de 2" de longitud (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, s.f., pág. [68]).

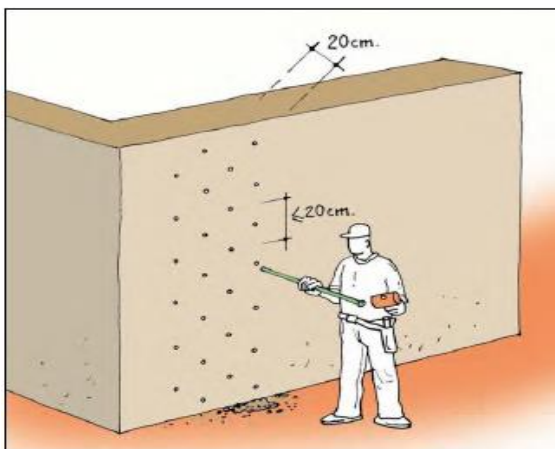
Ilustración 23. Vista de la malla en alzado



Fuente: (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, s.f., pág. [68])

- Abrir los orificios para conectores en las proyecciones de las venas de la malla. Los orificios deben quedar espaciados a distancias del orden de 20 cm o menos en las dos direcciones (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, s.f., pág. [69]).

Ilustración 24. Perforación para ubicación de la malla

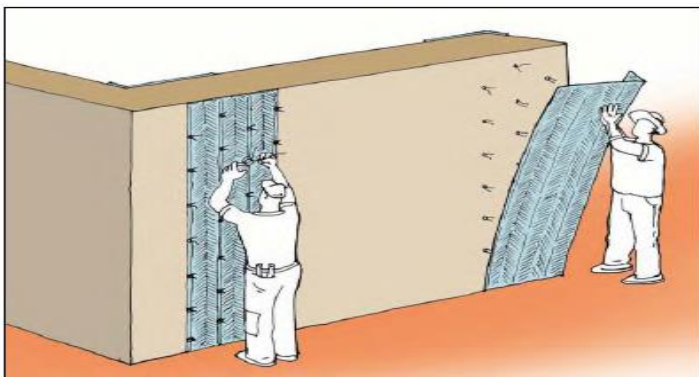


Fuente: (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, s.f., pág. [69])

SISTEMA DE PRODUCCIÓN PANEL EN TIERRA EN EL SITIO

- Rellenar los orificios con mortero fluido de cal y arena en proporción 1:2. Ir ajustando alambres en las zonas de mallas no traslapadas (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, s.f., pág. [69]).

Ilustración 25. Ajustando los alambres



Fuente: (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, s.f., pág. [69])

- Instalación de la malla en esquinas. De los 70 cm de ancho que tienen cada una de las mallas de refuerzo vertical, 50 cm quedan en uno de los muros esquineros y los 20 cm restantes en el otro muro que conforma la esquina para traslapar con la malla contigua. Una vez instalados los refuerzos verticales se procede a instalar la malla horizontal de 50 cm de ancho. Los alambres en las zonas de traslapes deben conectar las dos mallas simultáneamente a espaciamientos del orden de 20 cm menos en las dos direcciones (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, s.f., pág. [70]).

Ilustración 26. Malla vertical y horizontal



Fuente: (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, s.f., pág. [70])

SISTEMA DE PRODUCCIÓN PANEL EN TIERRA EN EL SITIO

- Aplicación del pañete de recubrimiento. Se debe humedecer el muro previamente a la aplicación del pañete. Se recomienda aplicar el pañete únicamente en la zona de ubicación de las mallas de refuerzo (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, s.f., pág. [71]).

Ilustración 27. Casa rehabilitada con malla

Fuente: (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, s.f., pág. [71])

Rehabilitación con elementos de madera confinantes.

Consiste en la instalación de tablas de madera, horizontales y verticales con el fin de aumentar la resistencia de los muros y mantener la consistencia y unidad de la estructura. Las tablas deben colocarse tanto por la cara externa como por la cara interna de todos los muros. Las tablas horizontales de los muros que se interceptan se unen mediante pernos de acero de manera que se evite la desarticulación de los diferentes muros y se mantenga siempre unida la edificación. Las tablas de madera se interconectan mediante pernos pasantes y mediante puntillas convencionales clavadas sobre las tablas hasta penetrar los muros (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, s.f., pág. [72]).

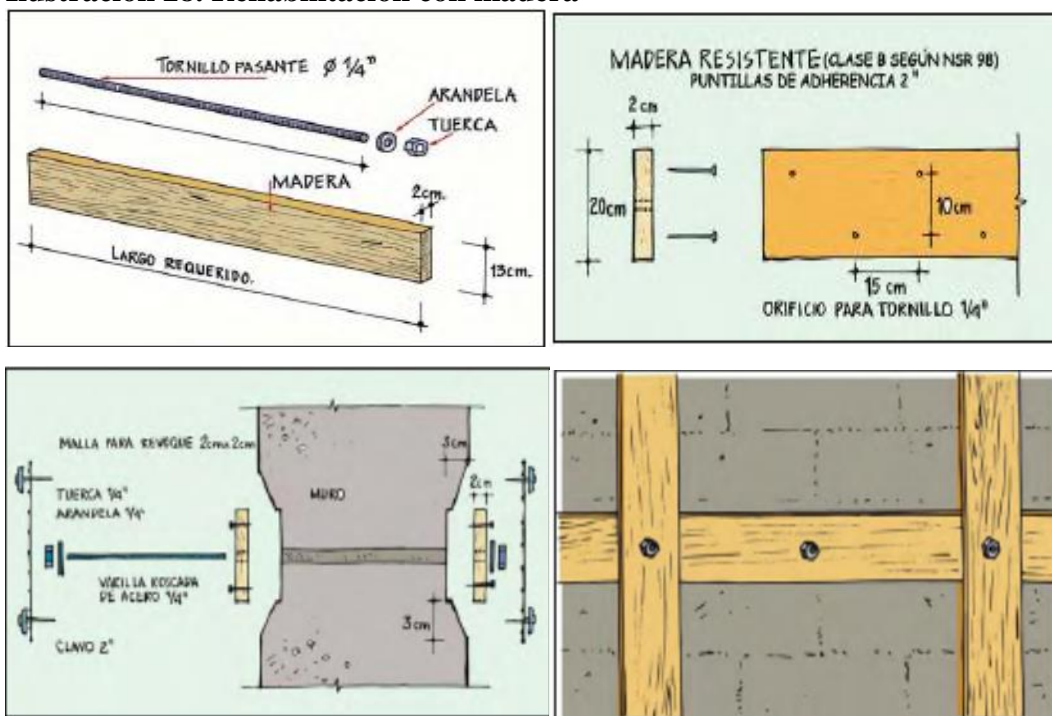
Materiales

- Tablas de 15 cm de ancho y 2 cm de espesor Clase B según NSR-98

SISTEMA DE PRODUCCIÓN PANEL EN TIERRA EN EL SITIO

- Tornillos de 1/4 pulgada galvanizado o varilla de acero roscada con longitud igual al ancho del muro más 5 cm
- Dos juegos de tuerca y arandela por cada tornillo de 1/4 pulgada
- Platinas de 1/8 pulgada para conexión de esquina interna y externa
- Tornillos golosos para platinas exteriores de esquina
- Puntillas de 2 pulgadas
- Mortero de cal y arena

Ilustración 28. Rehabilitación con madera



Fuente: (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, s.f., pág. [72])

Las tablas de madera se instalarán de la siguiente manera:

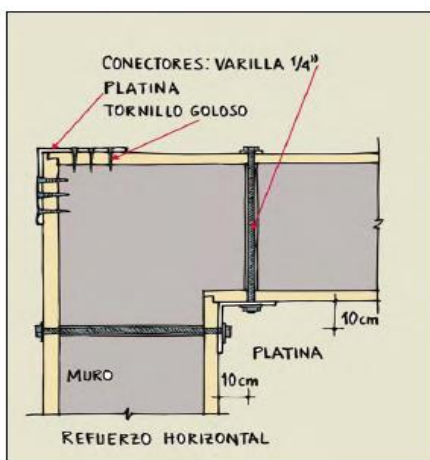
- Las tablas horizontales se instalarán a 50 cm medidos desde la viga de cimentación hacia arriba y a 20 cm desde la viga corona de entresuelo hacia abajo. Se colocarán tablas horizontales adicionales de manera que la separación vertical entre las mismas no exceda 1.5 m.
- Las tablas verticales se instalarán a 10 cm de las esquinas tal como lo muestra la figura. Se colocarán tablas verticales adicionales a separaciones

SISTEMA DE PRODUCCIÓN PANEL EN TIERRA EN EL SITIO

de máximo 1.5m. Además se colocaran tablas verticales en los bordes de las aberturas de puertas o de ventanas y en las esquinas de intersección con otros muros contiguos.

- A nivel de los entrepisos las tablas verticales en ambas caras del muro se conectan con un tornillo, atravesando el muro al nivel de la viga corona de entrepiso. Igual procedimiento se seguirá en la parte superior de los muros, a nivel de las cubiertas interconectando las tablas de madera mediante tornillos que atraviesan la viga corona correspondiente. Se colocará igualmente un perno de conexión a nivel de la viga de cimentación.
- El ancho de las tablas de madera confinante debe ser superior a la altura del muro dividida entre 15, nunca menos de 20 cm. Se deben utilizar tablas con espesor mínimo de 2 cm. Estas deben ser de buena calidad y deben estar libres de fisuras, grietas, desgarres, defectos o nudillos.

Ilustración 29. Refuerzos para la madera



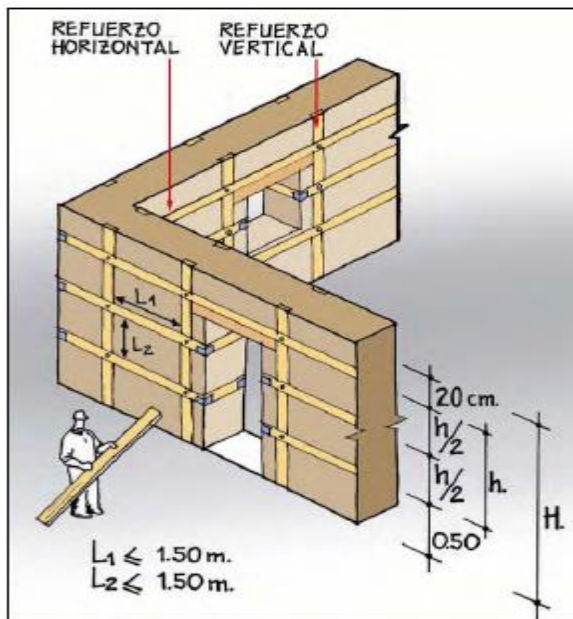
Fuente: (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, s.f., pág. [73])

- El ancho de las platinas de esquina debe ser del orden de $3/4$ del ancho de la tabla de madera de refuerzo. El espesor de estas platinas debe ser de $1/8$ ” o superior.

SISTEMA DE PRODUCCIÓN PANEL EN TIERRA EN EL SITIO

- Cuando se trate de muros de tapia pisada, los orificios de los mechinales se rellenan con una matriz de mortero de cal, arena y roca o ladrillo. Para lograr un mejor llenado se recomienda clavar una cuña de madera en el orificio apenas unos minutos después de haberlo llenado.
- El espaciamiento máximo entre pernos conexión las tablas de madera debe ser de 50 cm.

Ilustración 30. Refuerzos con madera, horizontales y verticales



Fuente: (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, s.f.)

SISTEMA DE PRODUCCIÓN PANEL EN TIERRA EN EL SITIO

Diseño de un Sistema de Producción de Panel en Tierra en el Sitio

Se busca industrializar una técnica para mejorar el proceso constructivo de una vivienda. Minimizando tiempo de construcción, mano de obra empleando maquinaria para elevar el índice de producción.

En el proceso constructivo se empleará un encofrado metálico, el cual está diseñado para soportar y resistir un alto uso, ya que al utilizar un equipo neumático el encofrado puede llegar a sufrir daños, lo cual afectaría directamente la forma del panel, y a su vez se generarían grandes fallas estructurales.

La placa en acero que se empleará para comprimir la tierra tiene un peso de 55kg un largo máximo de 1,20 m, un ancho de 0.30 cm y una altura de 0.10m. La cual mediante un brazo hidráulico comprimirá la tierra, lo cual mejora la producción, puesto que al ser una placa que comprime la tierra uniformemente, comparado con otros equipos neumáticos se reducirá el impacto y se evita el efecto de perforación que generan otros equipos. En cuanto al peso de la plancha y el encofrado es mucho más alto que los otros equipos, pero en relación a estos aparatos la intervención de la mano de obra es mínima, porque en lo que tiene que intervenir el operario es en el vaciado de tierra.

Para la selección de la tierra se deben tener en cuenta los componentes del suelo como son las gravas, las arenas, los limos y las arcillas. Las gravas son las encargadas de generar la estabilidad, las arenas son las encargadas de crear una fricción interna, los limos tiene una fricción menor que las arenas pero con presencia de agua la cohesión aumenta y las arcillas son el componente que dan cohesión y plasticidad.

Al suelo se le pueden realizar pruebas de olor, color, tacto, sedimentación, cintilla y prueba de bola, las cuales ayudan a facilitar la escogencia de la tierra, para la elaboración de la edificación. Se debe tener en cuenta que la proporción de cada uno de los elementos que

SISTEMA DE PRODUCCIÓN PANEL EN TIERRA EN EL SITIO

van a componer el producto final, puesto que una mala proporción de estos elementos pueden generar fallas en el resultado final.

En el proceso de vaciado de la tierra dentro del encofrado metálico se realizará manualmente, vaciando capas uniformemente con una altura de 20 cm para comprimir a 10 cm, ya que la plancha va a crear una frecuencia similar a 600 golpes, que es la misma generada por un aparato de referencia .

Esto generará que en la elaboración de un panel de 2.30m de alto x 1.20m de largo x 0.30m ancho se realice en un tiempo aproximado de 30 minutos, con la participación de una cuadrilla, la cual repartirá sus funciones de la siguiente forma: un operario será el encargado de manipular el funcionamiento de la plancha, y los dos otros operarios se encargaran del vaciado de la tierra.

En el funcionamiento de la plancha y los brazos hidráulicos es necesario utilizar aceite y gasolina lo cual generara un gasto de 1.2 Litros por hora debido a las características de la plancha y los brazos empleados en este sistema.

SISTEMA DE PRODUCCIÓN PANEL EN TIERRA EN EL SITIO

Conclusiones

La construcción de viviendas mediante la arquitectura en tierra cruda con el proceso sistematizado brinda una alternativa de solución para el cubrimiento de las necesidades de la población que se encuentre sin un techo o quienes viven en albergues provisionales, de igual modo la construcción en tierra no solamente pasa a ser un método económico si no que genera un ambiente de atracción por la conservación del medio ambiente y el aprovechamiento de los recursos.

Mediante este método de construcción se lograra optimizar los tiempos logrando construir una casa en tres días que significa un gran ahorro en dinero por eso se puede decir que las construcciones serán exequibles para personas de bajos ingresos.

Por otra parte es importante resaltar que aunque la arquitectura en tierra ha permanecido vigente ante las miradas y los recuerdos, es una técnica que debe ser más divulgada y se hace necesario para una mayor aplicación de la misma, realizar formación a los profesionales que pueden aplicarla, de crear ambientes de investigación, sociabilizar los documentos y experiencias encontradas.

SISTEMA DE PRODUCCIÓN PANEL EN TIERRA EN EL SITIO

Resultados

Recopilación de información que imparte una base de conocimiento sobre una técnica diferente y prevaleciente en la historia de la arquitectura, generando de esta manera la posibilidad de combinar conceptos de las diferentes técnicas de construcción con tierra cruda, con el ánimo de plantear el diseño de un sistema de producción mecánico para la elaboración de paneles en tierra, los cuales se pueden constituir en el elemento fundamental en la elaboración de una vivienda segura y económica.

Bibliografía

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. (s.f.). *Manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia pisada*. (P. d. Social, Ed.) Obtenido de <http://www.desenredando.org/public/libros/2005/csrve/mradobetapia.pdf>

Construcción en tierra. (2012). *Revista Arqhys.com*. Obtenido de <http://www.arqhys.com/articulos/tierra-construccion.html>

Diversificación ASL. (28 de octubre de 2008). *De las sociedades depredadoras a las agrícolas. Los primeros estados [mensaje de un blog]*. Obtenido de http://cmr3esodiversificacion.blogspot.com.co/2008/10/de-las-sociedades-depredadora-las_28.html

Doat, P., Hays, A., Houben, H., Matuk, S., & Vitoux, F. (1990). *Construir con tierra* (Vol. I). (C. Sánchez, & C. Ospina, Trads.) Bogotá: Fondo Rotatorio Editorial.

Guía para construir el patrimonio familiar. (2010). *Construyendo mi casa*, 6(Agosto). Obtenido de <http://construyendomicasa.com/index.php/descargas/volumen6?format=raw>

Los materiales y su impacto en el medioambiente. (2013). *Construdata*. Obtenido de http://www.construdata.com/Bc/Construccion/Noticias/los_materiales_y_su_impacto_en_el_medioambiente.asp

Materfad. (2013). *el futuro en construcción*. Obtenido de https://issuu.com/fadbarcelona/docs/futuroconstruccion_cast

Química.es. (s.f.). *Adobe*. Obtenido de <http://www.quimica.es/enciclopedia/Adobe.html>

SISTEMA DE PRODUCCIÓN PANEL EN TIERRA EN EL SITIO

- Rivero, S. (2007). El uso masivo de la tierra como material de construcción en Colombia. *Apuntes*, 20(2), 351-363. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/apun/v20n2/v20n2a15.pdf>
- Servicio de Conservacion de Recursos Naturales del Departamento de Agricultura de Los Estados Unidos. (s.f.). *Guia para la evaluacion de suelos y valoracion de sitios*. Obtenido de https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/16/nrcs143_023817.pdf
- Servicio Nacional de Aprendizaje [SENA]. (s.f.). *Construcción de muros en tapia y bahareque*. Obtenido de http://biblioteca.sena.edu.co/exlibris/aleph/u21_1/alephe/www_f_spa/icon/8830/construccion_muros_tapia_bahareque.html#
- Terra. Desarrollo en Ingeniería especializada. SAS. (s.f.). *AdoboBlock. Concreto de tierra*. Obtenido de <http://terradesarrollo.com/d0cs/adoblock.pdf>
- Terra. Ecología práctica. (2005). *Construir con tierra*. Obtenido de <http://www.terra.org/categorias/articulos/construir-con-tierra>
- Universidad del Rosario. Facultad de Economía. (s.f.). Déficit de vivienda en Colombia. *Política de vivienda: alcances y perspectivas, II*(11), 1-12. Obtenido de http://www.urosario.edu.co/Universidad-Ciencia-Desarrollo/ur/Fasciculos-Anteriores/Tomo-II-2007/PDF/2007_fasciculo11/
- Urbipedia. Archivo de Arquitectura. (31 de octubre de 2016). *Chan Chan*. Obtenido de http://www.urbipedia.org/index.php?title=Especial:Citar&page=Chan_Chan&id=455193
- Vegas, F., Mileto, C., & Busto, J. (s.f.). *VII. Arquitectura de tierra. Materiales y técnicas de construcción de la torres de Babel*. Obtenido de <http://personales.upv.es/cami2/investigaci%C3%B3n/articulos%20en%20pdf/MILETO%20Y%20VEGAS%20-%20Torre%20Babel%201.pdf>

SISTEMA DE PRODUCCIÓN PANEL EN TIERRA EN EL SITIO

Wiki EOI. (s.f.). *Materiales de construcción en construcción sostenible*. Obtenido de http://www.eoi.es/wiki/index.php/MATERIALES_DE_CONSTRUCCI%C3%93N_en_Construcci%C3%B3n_sostenible

Wikipedia. (2015). *Adobe*. Obtenido de <https://ast.wikipedia.org/wiki/Adobe>

Wikipedia. La enciclopedia libre. (8 de noviembre de 2016). *Chan Chan*. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Chan_Chan