



**UNIVERSIDAD
MAYOR**

FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE CONSTRUCCIÓN CIVIL

Sistemas Constructivos Sustentables en Madera y Tierra

Proyecto de título para optar al grado profesional
Constructor Civil

Autor: Javier Quintana Mansilla

Profesor Guía: Marcos Espinoza Gamboa

Diciembre 2018

Santiago, Chile

Dedicatoria

"Hay una fuerza motriz más poderosa que el vapor, la electricidad y la energía atómica: la voluntad".

Albert Einstein

Esta memoria va dirigida a todas las personas que me han acompañado en este proceso de aprendizaje y que me han entregado sus saberes de manera genuina. A todos los que creen que se puede vivir de otra forma y que no tienen miedo a romper con los estereotipos. A mis padres Ronald y Marisol, y a mi hermana Ingrid, por el apoyo incondicional, siempre con palabras de aliento; lo agradezco sinceramente. A Maud, por traer a ese ser tan maravilloso a la Tierra y cuidarla estos 5 años de estudios en mi ausencia cada noche. A Ayelén, mi hija, por ser mi maestra de vida. También dedico esta memoria a todos los que queremos construir una sociedad y un mundo más justo, a los que pensamos en nuestras futuras generaciones y queremos dejarles un legado para que disfruten de este maravilloso planeta.

Resumen

El presente documento da a conocer la combinación madera-tierra como una unidad estructural idónea para la construcción y desarrollo de diversas edificaciones sustentables. Si bien existen numerosos sistemas constructivos basados en la utilización del mencionado binomio, para este estudio se escogieron dos de los más utilizados, que destacan por su versatilidad, rapidez en la ejecución y bajo impacto medioambiental: la técnica de pared de quincha y el procedimiento de fardos de paja. El propósito principal de este estudio es dar a conocer los sistemas constructivos mencionados para así contribuir a su promoción, validación y posicionamiento en el ámbito convencional del rubro de la construcción, y de esta forma permitir a la ciudadanía ampliar la gama de posibilidades al momento de elegir un método de construcción. El que se regularicen estos procedimientos dará una gran oportunidad a que se desarrollen aún más proyectos con estas características y que más personas opten a una vivienda con altos estándares de calidad.

Summary

This document discloses the wood-clay combination as a structural unit suitable for the construction and development of various sustainable buildings. Although there are numerous construction systems based on the use of the aforementioned binomial, for this study two of the most used were chosen, which stand out for their versatility, speed of execution and low environmental impact: the quincha wall technique and the procedure of bales of straw. The main purpose of this study is to publicize the aforementioned construction systems in order to contribute to their promotion, validation and positioning in the conventional field of construction, and in this way allow the public to expand the range of possibilities at the moment of choose a construction method. The regularization of these procedures will give a great opportunity to develop even more projects with these characteristics and that more people opt for housing with high quality standards.

Índice

Introducción.....	6
Objetivo general:	8
Objetivos específicos:	8
Desarrollo:.....	9
Sustentabilidad	9
Construcción sustentable	10
La Madera	13
Características y propiedades de la madera como material de construcción:.....	15
El Barro.....	19
Tierra arcillosa.....	21
La Arena	23
Paja de Trigo.....	26
SISTEMAS CONSTRUCTIVOS.....	31
La Quincha	31
Técnica de la quincha.....	38
Sistemas Constructivos con Fardos de Paja.....	43
Procedimiento de Construcción con Sistema No Autoportante.....	46
CONCLUSIONES:.....	56
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58
ANEXO FOTOGRÁFICO	60

Introducción

La construcción es una actividad que históricamente se ha ido transformado en pos de cubrir las necesidades de los habitantes del planeta. Hoy, este gran rubro tiene la tarea y desafío de adaptarse a las nuevas exigencias, sobre todo en lo que concierne al área medio ambiental, ya que no se puede obviar el gran impacto que ha generado la deforestación, el exceso de explotación de recursos energéticos o el uso desmedido del patrimonio hídrico, entre otras prácticas. En efecto, para extraer, fabricar y modificar diversos materiales de construcción, el medio natural es intervenido de tal manera que terminan generándose grandes emisiones de CO₂ y consumiéndose enormes cantidades de energía.

Es por esta razón que el foco debe ser puesto en la incorporación de técnicas constructivas que aminoren dicho impacto y que sean más amigables con el entorno, no solamente desde la obtención del recurso, sino también abarcando el comportamiento del material una vez que el producto es utilizado de manera permanente, es decir, cuando ya pasa a ser un integrante del conjunto habitacional y deja de ser un material por sí solo. Para dar respaldo a lo planteado anteriormente es preciso adentrarse a conocer las cualidades y capacidades de dos nobles materiales que históricamente han sido utilizados por la población durante miles de años: la madera y el barro¹.

Ambos elementos, al ser de procedencia natural, cuentan con un muy bajo gasto energético en todas las etapas de producción, elaboración, extracción y distribución; es más, el barro muchas veces no debe ser transportado ya que se obtiene del suelo del lugar de la obra, si cumple con las cualidades plásticas necesarias para su uso.

¹ En adelante, se utilizarán indistintamente los conceptos “barro” y “tierra” para denominar la mezcla conformada por arcilla, arena y fibra de paja.

En el presente estudio se ahondará en la versatilidad de ambos materiales y se explicará cómo, en conjunto, se potencian y consiguen un gran resultado en cuanto a calidez, durabilidad, menor gasto energético, aislación térmica y ductilidad. Estos elementos, en combinación, han sido sometidos a todos los ensayos y esfuerzos a los que se acostumbra exponer a los materiales, formando parte, por consiguiente, de técnicas que han sido respaldadas en diversos lugares del planeta; de hecho en algunos países ya está normada y oficializada la construcción basada en algunos de estos sistemas. La técnica de pared de quincha y la de fardos de paja son un ejemplo emblemático de ello, por lo que se expondrán sus propiedades físicas, su resistencia a distintos esfuerzos y los detalles del proceso constructivo.

SOLO USO ACADÉMICO

Objetivo general:

Dar a conocer las características positivas de los materiales y así promover su uso. Apoyar con este estudio otros previos para contribuir a la validación de estos sistemas constructivos y así lograr su reconocimiento como sistema convencional oficial.

Objetivos específicos:

Presentar 2 técnicas de construcción. Sistema de pared de Quincha y sistema de fardo paja con ensamble poste-viga.

Nombrar ventajas y desventajas de los materiales en cuestión, cómo se potencian y complementan.

Dar a conocer los aspectos sustentables del binomio Madera-Tierra en las técnicas mencionadas

SOLO USO ACADÉMICO

Desarrollo:

Sustentabilidad

Hay muchos puntos de vista para abordar el concepto de sustentabilidad. En términos generales, se suele vincular con el actuar ecológico y eficiente del ser humano respecto del medio en el cual habita. No obstante lo anterior, en el *Informe Brundtland*² (1987) se establece que sustentabilidad es “la posibilidad de mantener procesos productivos y sociales durante lapsos generacionales, obteniendo de dichos procesos, iguales o más recursos y resultados que los que se emplean en realizarlos, y con una distribución de dichos resultados y recursos que, en principio, discrimine positivamente a los hoy discriminados negativamente, hasta alcanzar una situación de desarrollo equipotencial de la humanidad, en términos de mejora sustantiva de los niveles y calidad de vida.” Además, distingue diferentes ámbitos en los que se mueve la sustentabilidad. Aquí se considerarán dos: el económico y el energético-ambiental.

La Sustentabilidad Económica consiste en la capacidad de disponer de los recursos necesarios de manera eficiente para reducir los costos de ejecución de algún proceso. La Sustentabilidad Ambiental y Energética, por su parte, se refiere a la administración eficiente y racional de los recursos naturales con el fin de prevenir y minimizar los impactos ambientales, de manera tal que sea posible mejorar el bienestar de la población actual sin comprometer la calidad de vida de las venideras generaciones.

² Es un documento elaborado y firmado por distintas naciones, con el fin de contrastar y enfrentar la postura de desarrollo económico actual junto con el de sustentabilidad ambiental.

Construcción sustentable

El rubro de la construcción es responsable de un porcentaje muy elevado del consumo energético y de la utilización de los recursos naturales disponibles, tanto en la obtención de los materiales como también en la fabricación de estos.

Así, la construcción sustentable se manifiesta como un reto a conquistar y un principio en el cual persistir. En particular, un compromiso con el medio ambiente implica principalmente controlar el gasto energético, que a la vez debe ser medido y justificado, además de concientizar sobre el valor especial en el impacto ambiental que generan los materiales de construcción y poner énfasis en los ciclos de vida de las materias primas utilizadas, para lo cual se debe tomar en consideración la prevención en los residuos y en las emisiones de CO₂. Dicho compromiso también conlleva la apertura hacia la incorporación de materiales de procedencia reciclada, además de la conservación y reutilización de los recursos, para así crear entornos que sean ambientalmente sanos.

La construcción sustentable debe promover la fabricación de productos que puedan reducir los efectos ambientales adversos, proporcionar a los consumidores una orientación e información exacta y con base científica sobre sus productos, y contribuir a la realización de mejoras ambientales importantes.

Según Kibert, (1994) en términos amplios la construcción sustentable debería entenderse como la ampliación de la construcción tradicional, pero con consideraciones de responsabilidad hacia el medio ambiente por parte de todos los actores involucrados. Esto implica un interés creciente en todas las etapas del proceso, considerando las diferentes alternativas con especial énfasis en el cuidado de los recursos naturales, de modo que se prevenga la contaminación ambiental y así se proporcione un ambiente saludable, tanto al interior de los edificios como en su entorno.

A continuación se señalan algunas de las definiciones que algunos autores han acuñado para el esclarecimiento de un término tan abstracto como es el de “Construcción Sostenible”. No por conocidas conviene dejarlas de lado y olvidarse de ellas, ya que de la fusión de las distintas ideas planteadas se podría obtener una comprensión más acabada del mencionado concepto:

“El término de Construcción Sustentable abarca, no sólo los edificios propiamente dichos, sino que también debe tener en cuenta su entorno y la manera cómo se comportan para formar las ciudades. El desarrollo urbano sostenible deberá tener la intención de crear un entorno urbano que no atente contra el medio ambiente, con recursos, no sólo en cuanto a las formas y la eficiencia energética, sino también en su función, como un lugar para vivir.”³

“La Construcción Sustentable deberá entenderse como el desarrollo de la Construcción tradicional pero con una responsabilidad considerable con el Medio Ambiente por todas las partes y participantes. Lo que implica un interés creciente en todas las etapas de la construcción, considerando las diferentes alternativas en el proceso de construcción, en favor de la minimización del agotamiento de los recursos, previniendo la degradación ambiental o los prejuicios, y proporcionar un ambiente saludable, tanto en el interior de los edificios como en su entorno.”⁴

“La Construcción Sustentable, que debería ser la construcción del futuro, se puede definir como aquella que, con especial respeto y compromiso con el Medio Ambiente, implica el uso sostenible de la energía. Cabe destacar la importancia del estudio de la aplicación de las energías renovables en la construcción de los edificios, así como una especial atención al impacto ambiental que ocasiona la aplicación de determinados

³ World Wide Fund. (1993). *El sector del entorno construido. Informe previo al seminario. Consejo para la educación medioambiental de WWF*. Leicester, Inglaterra: Departamento de Medioambiente. Universidad de Leicester.

⁴ Kibert, Charles (1994) CIB-TG16 Primera conferencia internacional sobre construcción sostenible (Florida)

materiales de construcción y la minimización del consumo de energía que implica la utilización de los edificios.”⁵

En síntesis, a partir de estas concepciones se puede precisar que el desarrollo sustentable es aquel que responde a las necesidades del presente sin poner en riesgo la posibilidad de crecimiento de las futuras generaciones. Una construcción será sustentable cuando en todas sus etapas de diseño, ejecución, operación y el término de su vida útil, integren criterios que reduzcan y consideren de manera significativa los impactos negativos en el medio ambiente y en los habitantes.

⁵ Casado Martínez, N (1996). Edificios de alta calidad ambiental. Ed. Ibérica, Alta tecnología ISSN 02110776

Para poder demostrar las técnicas en madera-tierra propuestas, es primordial desglosar sus componentes y dar a conocer las características que posee cada material por sí solo. A continuación se detallará a la madera.

La Madera

Es la materia prima de origen vegetal más explotada por el hombre. Se obtiene de los árboles de tallo leñoso, encontrándose su parte más sólida debajo de la corteza del árbol. Se utiliza para fabricar productos de gran utilidad como también se utiliza para la edificación de espacios habitable; por sus propiedades, es usado en una gran variedad de proyectos.

Una característica de Chile es que los bosques que se dan en forma natural lo hacen en zonas templadas y frías, a diferencia de otros lugares del mundo, donde predominan en selvas lluviosas tropicales. Sin embargo, en Chile se han introducido dos especies forestales de gran uso: los cultivos de pino Radiata y eucaliptos. Estas variedades arribaron desde Estados Unidos y Australia, respectivamente, y en la actualidad constituyen la veta del desarrollo forestal nacional.

Por otro lado, las plantaciones forestales aportan significativamente a la reducción de los gases de efecto invernadero, puesto que los árboles en etapa de crecimiento tienen mayor capacidad para capturar carbono que los ejemplares maduros. Gracias al proceso de la fotosíntesis, los árboles absorben a lo largo de su vida grandes cantidades de dióxido de carbono. Este queda fijado en sus paredes celulares y puede llegar a representar la mitad del peso seco de un árbol. Así, por ejemplo, en una tonelada de pino silvestre –de donde se obtienen 500 kilos de madera seca–, el carbono acumulado alcanza los 250 kilos de dióxido de carbono. Por lo tanto, la madera es uno de los principales materiales que contribuyen a mitigar el cambio climático y, en consecuencia, la convierte en uno de los materiales con menor trazabilidad de huella de carbono.

La extracción y manufactura de madera consume menos energía que la elaboración de otros materiales, y la mayor parte de ella se obtiene de fuentes renovables. La producción de cemento, vidrio y acero, por ejemplo, requiere de altísimas temperaturas que se alcanzan utilizando grandes cantidades de energía proveniente de combustibles fósiles. De hecho, la energía utilizada para producir una tonelada de cada uno de estos materiales puede multiplicar cinco, catorce y veinticuatro veces, respectivamente, la energía necesaria para producir una tonelada de madera. Por lo mismo, el volumen de CO² que se emite a la atmósfera durante estos procesos es mucho menor en el caso de la madera (0,28 t, frente a 4 t que genera la fabricación de acero, 7,5 t el PVC y hasta 15 t el aluminio).

Además, la optimización de los procesos en la industria forestal ha logrado reducir sustancialmente los residuos sólidos de su producción. Hoy prácticamente toda la materia prima se aprovecha en productos útiles, entre los que se cuenta una amplia variedad de paneles reconstituidos, fibras y combustibles derivados de la madera.

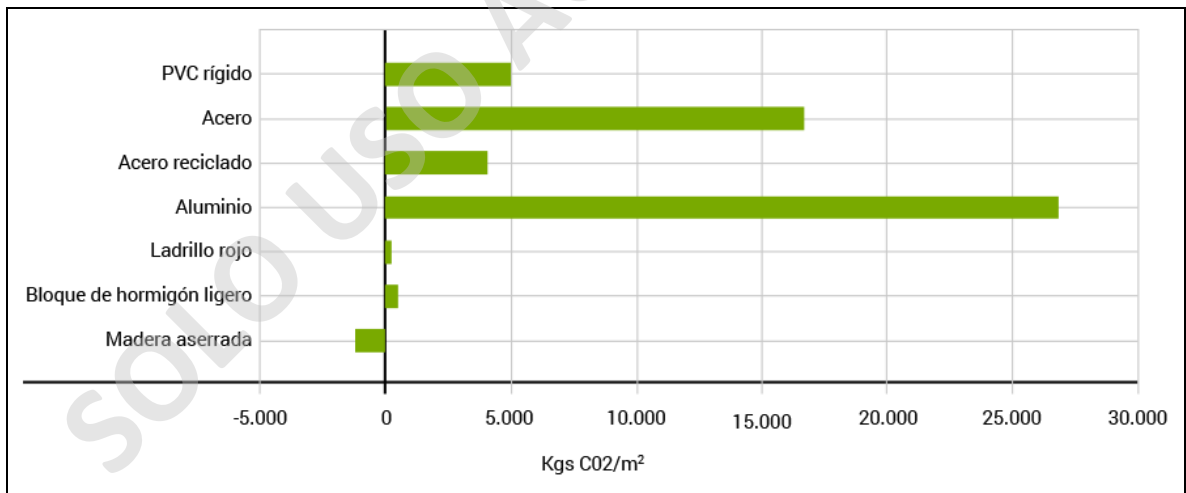


Fig 1.-Comparación del CO2 producido por diferentes materiales (emisiones netas de CO2, incluido el efecto sumidero de carbono). Fuente: “La reducción de la huella de carbono y el impacto ambiental de edificios nuevos”, Tasmania Timber, CSAW / RTS, Reportes ambientales para materiales constructivos, 1998–2001 (CEI-Bois)

A diferencia del hormigón, el ladrillo y el metal, la madera es un material natural que, después de extraído, puede ser repuesto una y otra vez. Su disponibilidad para el consumo humano está garantizada en la medida en que se lo produzca y utilice de manera responsable.

Características y propiedades de la madera como material de construcción:

Ventajas

- *Aislante acústico, térmico y eléctrico*

La madera es un material compuesto de fibras huecas, alineadas axialmente a la longitud del árbol; estos huecos o espacios contienen aire atrapado que le imparten excelentes cualidades como aislante del sonido y del calor. Este material presenta una buena absorción de las ondas acústicas, lo que se traduce en una reducción de la reverberación de las ondas sonoras y en una mejora del confort acústico interno de los recintos. Debido a su porosidad, la madera posee una baja conductividad térmica, lo que la convierte en un excelente aislante. Combinada con otros materiales usados con fines aislantes (lanas minerales, poliestireno, fibra de trigo, celulosa), una construcción de madera puede satisfacer los requerimientos de aislación térmica de una vivienda incluso en climas extremos. Las cavidades presentes en su estructura celular permiten a la madera aislar el calor hasta seis veces más que el ladrillo, quince veces más que el hormigón y 400 veces más que el acero.

Es eficiente como aislante eléctrico cuando la madera está seca, o sea, cuando su contenido de humedad es inferior al punto de saturación de la fibra (>20%).

- *Durable*

Con un diseño y una correcta puesta en obra, las soluciones constructivas que utilizan madera pueden llegar a ser muy durables. Este hecho es fácilmente constatable a través de la observación de las cuantiosas obras que con cientos de años de antigüedad a sus espaldas han llegado hasta nuestros días en perfecto estado de conservación.

Por otra parte, la madera es un material resistente a la acción de un gran número de compuestos químicos, presentando un mejor comportamiento que el hierro y los aceros normales a la acción de los ácidos y de las soluciones y ambientes salinos.

- *Regulador de humedad*

La madera mantiene un equilibrio higroscópico con el medio, tomando o cediendo humedad hasta alcanzar el equilibrio. Por dicho motivo, la presencia de madera en una vivienda regulariza la humedad del medio interior.

- *Material Sismorresistente*

Las soluciones constructivas basadas en madera pueden presentar un desempeño similar o incluso superior al de otros materiales frente a un movimiento telúrico. Considerando que las fuerzas en un sismo son proporcionales al peso de las estructuras que las reciben, las construcciones basadas en madera, que son entre seis y nueve veces más livianas que las de albañilería u hormigón, están expuestas a impactos menores que otras de materiales más pesados.

A esta característica se suma el que, gracias a sus numerosas conexiones por medio de clavos y demás fijaciones, los sistemas constructivos basados en madera correctamente diseñados logran disipar mejor las energías que sobrevienen repentinamente durante un

sismo. Esto las hace más flexibles y menos susceptibles a colapsar si alguna de las partes de la estructura falla.⁶

- *Resistente al fuego*

Comúnmente se piensa que la madera es más vulnerable al fuego que otros materiales. Lo cierto, sin embargo, es que una construcción de madera de ingeniería puede ofrecer excelentes condiciones de seguridad frente a un incendio y suficiente resistencia al fuego como para evitar que este se propague y ocurra una falla estructural. Al comportarse de manera más predecible, los ocupantes de las viviendas pueden contar con un margen de reacción más amplio que en construcciones de otros materiales que tienden a colapsar más rápida y repentinamente.

Todos los materiales sufren algún grado de daño cuando son expuestos a altas temperaturas. En el caso de la madera, sus propiedades aislantes la dotan de cierta resistencia al fuego hasta los 250°C (temperatura a la que el acero ya comienza a debilitarse). Si acaso llega a inflamarse, su baja conductividad térmica hace que se quemara muy lentamente, formándose en el exterior una capa de carbón que protege la parte interna y conserva sus propiedades estructurales por más tiempo⁷.

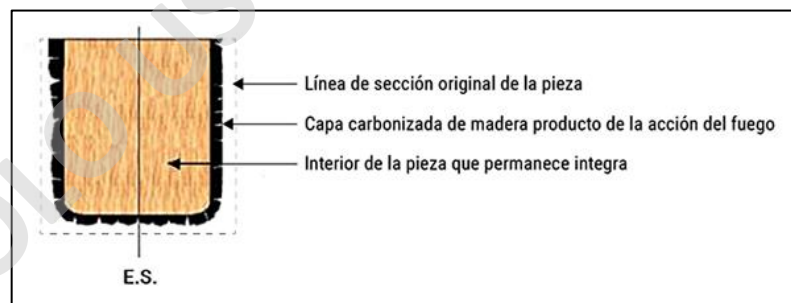


Fig 2.-Muestra comportamiento de madera frente al fuego

⁶ <http://www.madera21.cl/2757-2/#1480606633955-b20d09b9-3c2f>

⁷ <http://www.madera21.cl/2757-2/#1480606592685-487c848c-e250>

. Desventajas

La madera, debe protegerse tanto de la intemperie (rayos UV, humedad) como de los agentes bióticos que puedan afectarla (hongos, termitas). Para ello, existen criterios de protección por diseño y protecciones superficiales.

Entre los criterios de protección por diseño, están, por ejemplo: separar la madera del suelo (al menos 30 centímetros), utilizar envolventes ventiladas para que la madera respire y evacúe la humedad, no dejar superficies horizontales al exterior (siempre con inclinaciones), y la generación de aleros o corta-goteras y botaguas para proteger a la madera del impacto directo de la humedad y el escurrimiento.

Entre las protecciones superficiales se encuentran distintos productos como protectores de madera a base de agua, además de pinturas al temple, es decir pinturas orgánicas que, en combinación con elementos de la madera, la protegen de los rayos UV. Si se busca menor mantención, se recomienda la utilización de productos que no formen una película. Esto, siempre como proceso adicional al tratamiento de preservación establecido según la norma NCh819.

Certificaciones

En la actualidad existen certificados FSC y PEFC que garantizan que la materia prima utilizada ha provenido de una explotación forestal ecológica, económica y socialmente responsable, y que en la etapa productiva se le dio énfasis a la reutilización de los elementos derivados de los procesos lo que redujo los residuos resultantes.

Finalmente, hoy ya existe un reglamento de rotulado para madera y su uso para la construcción, cuyo objetivo es contar con elementos cuya trazabilidad sea conocida al momento de su selección para la construcción.

El Barro

Para adentrarse en el mundo del barro es importante conocer su origen, historia, composición y propiedades. El barro como material de construcción se encuentra a disposición del ser humano de manera abundante y, prácticamente, en cualquier lugar del planeta. Se estima que ha sido utilizado para construir en todos los continentes y en todas las edades de la humanidad, desde que los primeros hombres decidieron juntarse en asentamientos permanentes. Se puede afirmar, entonces, que la construcción en tierra ha acompañado al hombre desde siempre en la creación de su hábitat.

Aunque fueron las casas más primitivas las que se edificaron con tierra cruda, estas técnicas no son algo del pasado. Estudios indican que entre un 30 % y 50% de la población mundial habita actualmente en viviendas construidas en tierra (Craterre, 2016).

En Chile, el uso de la tierra en la construcción se remonta a épocas precolombinas, decayendo su uso en las primeras décadas del siglo XX con el arribo de los materiales industrializados y la creación de las primeras normativas que limitaron su uso. No obstante, hasta el día de hoy, existe en nuestro país un rico patrimonio construido con este material. En la actualidad, son cada vez más los arquitectos y constructores chilenos que experimentan con la construcción en tierra, en la búsqueda de una arquitectura contemporánea sustentable. Al ser la tierra un material no estandarizado, conservar el patrimonio vulnerable frente a la acción sísmica y lograr un estándar profesional en la arquitectura en tierra se imponen como fundamentales desafíos.

La tierra es una mezcla de arcilla, limos y arena. A la hora de hacer construcciones con tierra, no todos los tipos son adecuados para construir. La composición y las propiedades de los diferentes tipos de tierra dependerán de las condiciones locales, es decir, del lugar de donde se extraiga el material. No será lo mismo la extracción de tierras en la montaña que a orillas del río.

Por lo tanto, se debe seleccionar la tierra adecuada para cada técnica constructiva. Para empezar, uno de los requerimientos básicos es que la tierra no contenga humus, es decir, aquella primera capa del suelo que contiene materiales orgánicos, hongos, raíces, bacterias, etc. El material utilizado debe tener una composición determinada para poder aprovechar correctamente sus propiedades. Lo primero es efectuar un análisis de las proporciones de grava, arcilla, arena y limos que tiene la tierra, para obtener las características plásticas idóneas y determinar si es necesaria o no la utilización de estabilizantes (fibra de trigo, Cal, Cemento).

Las propiedades de la grava, la arena y los limos, son totalmente diferentes de la arcilla. Estos son simplemente agregados que no tienen fuerzas de cohesión, y se forman a partir de la erosión de las piedras, o por el movimiento del agua. El agua es el componente clave ya que es el elemento que activa las fuerzas de cohesión de la mezcla de tierra.

SOLO USO ACADÉMICO

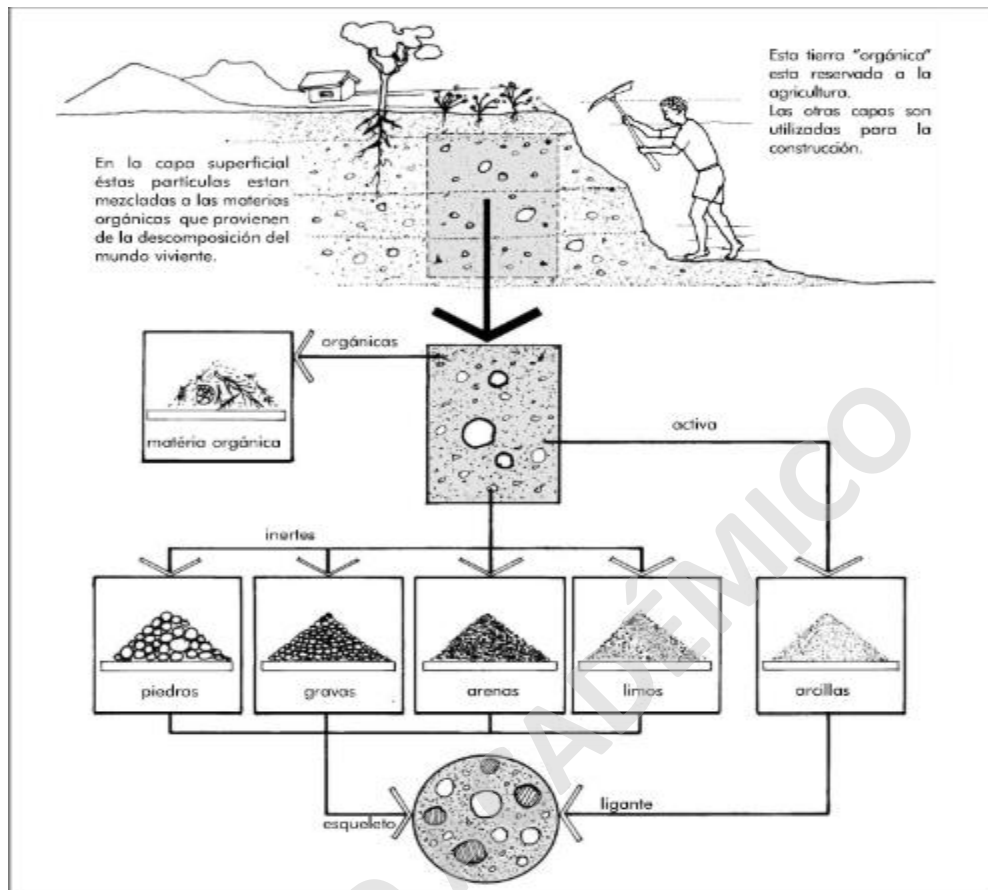


Fig 3-.Elementos presentes en la tierra

Los tres componentes fundamentales del barro son arcilla, arena y paja; a continuación se dan a conocer los atributos de cada uno de ellos:

Tierra arcillosa

El material fundamental para cualquier elaboración o técnica de barro es la tierra arcillosa. La arcilla proviene de la erosión mecánica y química de la roca madre; es el producto del desgaste químico de feldspatos y silicatos. Esta roca se disgrega en partículas minerales de dimensiones variables desde fragmentos pulidos hasta polvos arcillosos. Las arcillas se caracterizan por ser eminentemente plásticas. Esta propiedad se debe principalmente a que la morfología de sus partículas (forma de láminas) permite que el agua las lubrique facilitando así el deslizamiento de unas partículas sobre otras al

aplicarse un esfuerzo sobre ellas. Además de esto, la enorme plasticidad de la arcilla es favorecida por estar compuesta por partículas de tamaño extremadamente pequeño y contar con una capacidad de abultamiento muy alta.

Al efectuar una excavación es posible encontrarse con diversos espesores de la capa de tierra vegetal: puede medir desde algunos centímetros hasta incluso dos metros. Debajo, en el subsuelo, generalmente se hallan capas de arcilla, horizontales o inclinadas, de similar espesor. Si al llover se forman pozas sobre la tierra o esta se fisura cuando está seca, existe una alta probabilidad de que contenga arcilla.

La plasticidad se suele cuantificar a través de la determinación del índice de Atterberg. En esta escala se mide el límite líquido, el límite plástico y el límite de retracción, marcando una separación entre los cuatro estados o modos de comportamiento de un suelo sólido, semisólido, plástico y semilíquido. Sobre la composición granulométrica, el comportamiento, naturaleza y calidad de la arcilla es posible saber gracias a la relación entre el límite líquido y el índice de plasticidad. Existe una gran variación entre los límites de Atterberg de diferentes minerales de la arcilla, e incluso para un mismo mineral arcilloso, debido mayormente a las diferencias en el tamaño de las partículas y al grado de perfección del cristal. Como ley general, mientras más pequeñas son las partículas y más imperfecta es su estructura, más plástico es el material.

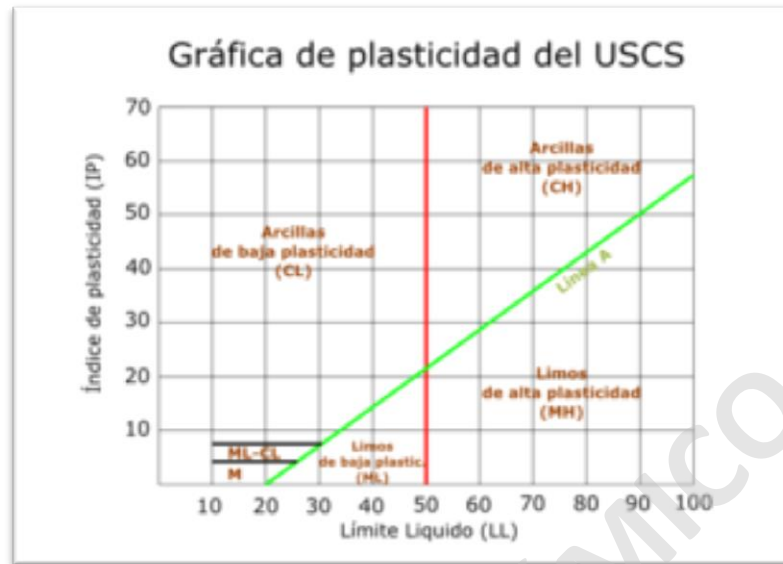


Fig 4.-Tabla de clasificación de materiales en función de los límites de Atterberg

Otra característica de la arcilla es que al evaporarse el agua en el proceso de secado, la mezcla se encoge, lo que se conoce como retracción. Para evitar este proceso, normalmente se estabiliza la mezcla con arena, la cual ocupa un porcentaje en el resultado final de la mezcla según la calidad de la arcilla; mientras más porcentaje de tierra arcillosa, más arena se requiere para estabilizar. Cabe mencionar que la arena es uno de los materiales más usados en la mayoría de las industrias.

La Arena

La arena es uno de los materiales de construcción más utilizados en el mundo. Se le emplea como componente para hormigones y morteros, como también para realizar mezclas del barro. Su extracción presenta pocas dificultades y se le puede hallar en abundancia. En su estado natural, es la agrupación o conjunto de partículas de rocas silíceas que se acumulan usualmente en las costas y en los lechos de ríos.

De forma artificial, es el resultado de la desintegración química o mecánica natural y la trituración artificial de las rocas. La primera se produce por agentes naturales tales como

el agua pura o por ácidos o sales disueltas que provocan modificaciones en determinados componentes de las rocas. Por su parte, la desintegración mecánica se genera por la acción erosiva de las aguas, la nieve o el viento y por el frotamiento entre los materiales. La trituración se lleva a cabo a través de aparatos mecánicos como molinos que pueden ser de quijadas, de martillo o rotatorios.

Para que sea catalogada como arena, su tamaño debe ser inferior a los 5mm y superior a los 2 mm. Una de las características principales de la arena es que puede comprimirse fácilmente, por lo que resulta ideal para realizar mezclas resistentes de barro. Muchas veces, la calidad de la arcilla depende en gran medida de la cantidad de arena que se agregue a la mezcla; este proceso se conoce como estabilización. Cuando la arena cuenta con demasiadas impurezas, impacta negativamente en el resultado del barro, ya que puede incidir en que este tenga menos dureza y menor resistencia. En el mismo sentido, tiene la desventaja de que si se pone en partes muy superiores a la arcilla tiende a desprenderse de la mezcla una vez seca.

En ciertas ocasiones es posible realizar una mezcla de barro con poco o nada de arena; esto dependerá de la cantidad de arena que pueda tener de manera natural la tierra obtenida. Para determinar la cantidad de materiales presentes en un volumen de tierra que será utilizado para la confección de barro, se realiza un muestreo de sedimentación de los sustratos existentes en dicha prueba.

Prueba de campo de sedimentación

Una vez localizada e identificada la tierra arcillosa, hay que tener una idea de cuánta arcilla hay en una muestra. Idealmente se quiere que dicha muestra contenga de un 10 % a un 30% de arcilla para poder construir, ya que mientras más arcilla presente la muestra más porcentaje de arena se debe incluir para estabilizar la mezcla. La prueba dará una idea aproximada de cuánta cantidad de arcilla, arena, limo, etc. hay en nuestra muestra.

Se debe trabajar en una botella o frasco transparente idealmente liso y con tapa. Se debe tomar una muestra de tierra y quitar las ramas, hojas y piedras grandes. Si la tierra a utilizar está hecha terrones, se debe machacar para hacerlos polvo. Luego se debe llenar un tercio del recipiente con la tierra, y rellenar con agua limpia. Se recomienda agregar una cucharadita de sal para ayudar a separar la arcilla del agua. Una vez cerrado el frasco se sacude de manera vigorosa hasta que la tierra quede completamente disuelta en el agua. Luego se debe dejar decantar en un lugar seguro y que permita hacer la observación necesaria. Dentro de los primeros segundos caerán los áridos más gruesos en el fondo, luego seguirán por sedimentación los áridos más finos y que poseen más densidad que los limos. Es necesario que a cada nivel de estrato se marque el frasco para conocer los porcentajes existentes de cada elemento en la muestra. Luego de este proceso se puede ver un líquido nubloso y la materia orgánica flotando arriba. Si a los diez minutos el líquido se ve transparente, se concluye que no hay arcilla en la muestra y, por lo tanto, se debe buscar otra tierra. Por el contrario, si el agua del frasco es opaca o nebulosa, hay que esperar hasta que se aclare. Puede tardar desde unas horas hasta varios días, dependiendo del tipo y cantidad de arcilla presente.

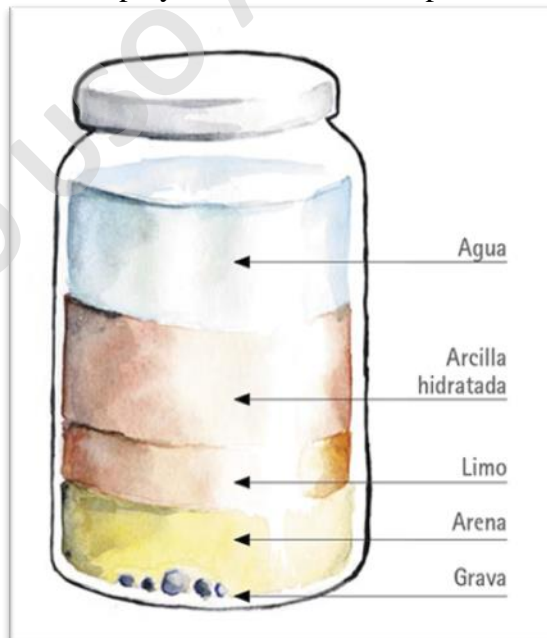


Fig 5.-Prueba de sedimentación

Es importante recordar que cuando la arcilla está mojada se expande. Así que la cantidad “real” de arcilla en la muestra hidratada será algo menos de lo que aparenta. Sin embargo, no se necesita ser tan exactos. Con esta prueba se sabe si se ha confundido la arcilla con el limo, y también se da una idea aproximada de cuánta arcilla hay en nuestra muestra, así como también de la presencia de arena. De esta forma es posible empezar a probar mezclas con las que se pueden trabajar.

Es necesario conocer otro elemento fundamental a la hora de elaborar una mezcla de barro. Se trata de otro material de procedencia natural, el cual es reutilizado de otra actividad industrial como lo es la agricultura. Su nombre es Fibra de Triticum; aunque es popularmente conocido como fibra de paja de trigo. Cabe destacar que la reutilización de este elemento, al ser un material desechado tras la obtención del trigo, hace que la mezcla sea aún más sustentable.

Paja de Trigo.

La paja es un material que la naturaleza produce anualmente y se encuentra disponible en diversos lugares. Los desechos del uso de paja en la construcción no crean problemas como sobrantes de una obra, ya que se degrada fácilmente.

Para la producción de fardos de paja y el transporte de los mismos a la obra, se necesita mucho menos energía que para la producción de otros elementos constructivos, por lo que se puede afirmar que no producen un impacto ambiental considerable.

También se puede agregar que por la incorporación química del CO₂ durante el proceso de fotosíntesis, se hace un aporte favorable al medio ambiente, contrarrestando el daño que se realiza produciendo y transportando fardos.

Las casas aisladas térmicamente con paja reducen la contaminación con CO₂ producida durante la construcción. La paja como material de construcción reúne por lo tanto, una serie de requisitos como para ser considerado sustentable, más que la madera, ya que

esta necesita mucho más energía para su procesamiento y, por ende, genera más CO2 en su producción que el fardo.

Para construir en barro, ya sea para revoques o como técnica de relleno de muro, el fardo debe tener ciertas características antes de ser utilizado, ya que al ser un producto de origen natural podría contener humedad en su interior, lo cual no resulta adecuado. Para evitar esto, es necesario seguir las siguientes recomendaciones.

Para saber si un fardo está completamente seco, cuando es levantado se debe sentir relativamente liviano y no tener humedad dentro cuando es sondeado profundamente con los dedos. Además debe estar bien compactado; un fardo de estas características no se deforma cuando es levantado por sus propios amarres. Las ataduras de plástico trenzado o alambre, que son las mejores, deben estar lo suficientemente apretadas alrededor del fardo, de tal manera de no poder insertar más de dos o tres dedos entre ellos y la paja. Otro factor a considerar es la uniformidad del tamaño; si es que se ocupara completo, el tamaño de los fardos varía, especialmente en su longitud. Fardos de dos hilos miden alrededor de 46cm de ancho, 35 cm de alto y entre 86-102 cm de largo.(Fig. 6)



Fig 6.-Fardo de paja,

En síntesis, los tres elementos se pueden agrupar bajo la siguiente definición: la arcilla cumple el rol de conglomerante, la arena le da estructura y firmeza, y la paja le da la

resistencia a la tracción necesaria. Si se hiciera una analogía con el cuerpo humano, la arcilla serían los músculos; la arena, los huesos; y la paja serían nuestras articulaciones.



Fig 7.-Texturas del barro.

Una vez presentados los elementos que componen la mezcla de barro, es relevante dar a conocer las ventajas y desventajas de este gran material. A continuación se detallan las bondades del barro:

Ventajas

- Regulador de la humedad:

El barro tiene la capacidad de absorber y expeler humedad de manera más rápida y en mayor cantidad que ningún otro material de construcción, lo que permite regular la humedad interior y mantenerla de manera constante sin perder su estabilidad ni sobrepasar su límite en contenido de humedad (5-7% sobre su peso) incluso con humedades del 95%.

Los primeros 1.5cm de barro son capaces de absorber hasta 300gr/m² cada 48 horas, mientras un material como el ladrillo cocido o el hormigón proporciona variaciones en la humedad interior de 5-10%. (Minke, 200*)

- Contenedor térmico:

Debido a su elevada inercia térmica y porosidad, es capaz de acumular el calor generado durante el día por la irradiación del sol y expulsarlo durante la noche, es decir, regula la temperatura de forma pasiva. Esto se evidencia en climas donde la oscilación térmica es alta.

- Ahorra energía:

Tanto la manipulación como la preparación y transporte del barro ocupan solamente del 1% al 5% de la energía requerida para producir y transportar el hormigón armado o ladrillos.

- Es reutilizable:

Solo basta con molerlo y humedecerlo para poder emplearlo de forma ilimitada; así, nunca se convertirá en un material de desecho que atente contra el medio ambiente.

- Economiza los costos de traslado:

Como se suele encontrar en el lugar de la obra —incluso, es posible obtenerlo de las excavaciones para la fundación— disminuye los costes de movimientos de tierra, materiales y transporte.

- Protege a la madera:

Debido a su bajo contenido en humedad (va del 0.4 al 6% sobre su peso) y a su alta capilaridad, el barro es capaz de mantener secos a los fragmentos de madera que están en contacto con él, lo cual la preservará del ataque de insectos y hongos.

Ahora bien, en cuanto a las desventajas, el principal inconveniente sigue radicando en el aseguramiento de la calidad de los distintos tipos de barro. Estos pueden ser muy diferentes en sus composiciones y propiedades, de modo que para los proyectistas de

obras es necesario realizar un procedimiento de control de la calidad que proteja también al consumidor. Las desventajas radican en que no es un material industrializado. No se producen sacos de barro como de cemento; para cada proyecto se tienen que hacer estudios de composición de la tierra y ensayos de campo; es a partir de esta información que recién puede producirse el barro adecuado. Otro punto a considerar es su alta sensibilidad al agua como agente erosivo. Por lo tanto, siempre debe estar bien cubierto o, en caso de dejarlo expuesto en zonas lluviosas, se hace necesario utilizar algún impermeabilizante.

Lo que se recomienda es que la persona a cargo de la obra sea capacitada o que tenga previa experiencia con la elaboración del barro, ya que una mezcla mal realizada podría generar muchos problemas tanto en el proceso de ejecución como también en el futuro de una vivienda.

Pese a los desafíos mencionados, cabe mencionar que el barro, debido al efecto cohesivo de la arcilla, no necesita ser activado por cocción o curado químico, como sí ocurre con otros materiales de construcción de tierra. Por esto último y por todo lo anterior es posible catalogar al barro como material sustentable.

SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

La Quincha

El término quincha proviene del quechua *quinzha* (“cerco”, “palizada” o “corral”), y con él se alude a una pared hecha a partir de varillas y barro. Este sistema, tradicional de Sudamérica, comenzó como la elaboración de una estructura hecha a partir de marcos de madera sobre los cuales se entrelaza caña, para finalmente rellenarla con barro y paja. Es una técnica indígena que, al igual que el bahareque, ha sido ampliamente utilizada desde la época pre-hispánica en países como Perú, Ecuador, Uruguay, Panamá, en el sur de Colombia y en Chile. Su difusión y perfeccionamiento fue muy vasto en Perú, llegando incluso a incorporar técnicas españolas para construir las plantas superiores de edificios urbanos. Se distinguen así la quincha pre-hispánica de la virreinal.

Existen muchas formas de llevar a cabo este sistema constructivo, las que dependerán de la disponibilidad de materiales (biodiversidad) y las necesidades geográfico-climáticas de la zona de edificación.

En Chile, si bien se emplean diversos métodos de construcción con quincha, el que hoy predomina se caracteriza por componerse por una estructura de tabique de madera, conformada, tanto en su cara interior como exterior, por un entramado de listones de madera que se pueden disponer de manera horizontal o diagonal, permitiendo la generación del espacio necesario para contener el material de aislación térmica, hecho de arcilla diluida y paja de trigo. El barro en esta técnica se emplea solo como revestimiento. Para fines prácticos, en el presente texto esta técnica se denominará *quincha alivianada*.

- **Fundaciones**

Una ventaja que se nos presenta en el caso de las casas de entramado ligero es el bajo peso propio de la estructura, lo que repercutirá positivamente a la hora de dimensionar las fundaciones o considerar si se supera o no la tensión admisible del terreno.

En el sistema de plataforma, los elementos estructurales y de transmisión de esfuerzos al terreno son los muros de carga. Este es un elemento lineal, por lo que, para recoger las cargas que se quieren transmitir se tendrá que pensar en una fundación lineal o superficial, salvo en casos excepcionales como podría ser la introducción de un pilar de madera o metálico para reducir la luz excesiva de una viga. En tal caso, el pilar necesitaría otro tipo de fundación como una zapata aislada.

Hay que tener en cuenta que en el caso de las estructuras de madera, la cimentación tiene una doble función. Además de transmitir las cargas al terreno, cumple el rol de evitar que la humedad llegue a la madera y en este caso al barro, lo cual se consigue través de un adecuado diseño constructivo. La fundación responde a técnicas constructivas convencionales, es decir, se ejecuta con hormigón armado como también en poyos de madera, dependiendo del diseño y de las características del terreno.

- **Tabiquería**

Para desarrollar esta técnica constructiva es importante basarse en la normativa de la construcción en madera (NCH1198) y conocer el método constructivo de una tabiquería.

Esta norma establece los métodos y procedimientos de diseño estructural que determinan las condiciones mínimas que deben cumplir los elementos y las uniones en las construcciones de madera aserrada, elaborada, laminada-encolada y postes de madera. Cabe señalar que esta norma no tiene como propósito excluir el uso de materiales, uniones, ensambles estructurales o diseños que difieran sus criterios, cuando sea posible una demostración por medio de un análisis basado en teorías comprobadas, ensayos a escala real o de prototipos, estudios de analogía con uso de modelos o experiencia extensa en usos que el material, unión, ensamble, estructura o diseño puede desarrollar satisfactoriamente para la aplicación prevista.

Esta normativa se aplica sobre la estructura de edificaciones corrientes de madera, elementos estructurales de madera en construcciones mixtas, andamiajes, moldajes, entibaciones, puentes, postes de madera, etc.

La madera debe especificarse y cumplir con las normas nacionales: NCh173 de madera y terminología general, NCh174 de unidades y dimensiones, NCh992 de defectos a considerar en la clasificación y terminología, NCh1970/1 de especies latifoliadas y NCh1970/2 de especies coníferas.⁸

La técnica en madera que se ocupa en Chile para la confección de la quincha alivianada es la de sistema de plataforma. Es el método más utilizado en la construcción de viviendas con estructura en madera. Su principal ventaja es que cada piso (primero y segundo nivel) permite la construcción independiente de los tabiques soportantes y auto-soportantes, a la vez de proveer de una plataforma o superficie de trabajo sobre la cual se pueden armar y levantar.

Los tabiques son elementos entramados compuestos por piezas verticales y horizontales de madera que se distribuyen de forma similar e independiente del tipo de servicio que presten, ya sea como elemento constructivo resistente o de separación entre recintos. Los tabiques pueden prefabricarse externamente para luego erguirlos a mano o a través de sistemas auxiliares mecánicos simples. Esto se puede ejecutar paralelamente a la materialización de dicha plataforma de primer piso de hormigón o madera. Esta última tiene como característica el estar conformada por elementos horizontales independientes de los tabiques, que se apoyan sobre la solera de amarre de ellos, la que además servirá como una barrera cortafuego a nivel de piso y cielo para la plataforma.

Según su ubicación, los entramados verticales o muros pueden tener función estructural o no, siendo soportantes o auto-soportantes, respectivamente.

Se denominan tabiques soportantes aquellos que conforman todo el perímetro exterior en forma continua y cerrada con una de sus caras expuestas a la intemperie y son parte de la estructura resistente de la vivienda. Es un tabique diseñado para soportar cargas estáticas y dinámicas. Las primeras son aquellas producidas y aportadas por estructura de techumbre con solución de cubierta, entramados verticales de niveles superiores, e entramado de entrepiso, sobrecargas de uso, peso propio, nieve y otros.

⁸ Fuente: I.N.N – NC h 1198 of91

Tabique autosoportante, por su parte, es todo elemento vertical que cumple funciones de separación entre los recintos interiores de una vivienda y que sólo puede recibir cargas de magnitud reducida. Aun cuando no requiere de piezas arriostrantes, es recomendable incorporar aquellos componentes que ayudan a la adecuada fijación de muebles colgantes de tipo mural, soportes de clóset, artefactos, cañerías y ductos de instalaciones básicas en la vivienda.

En el sistema de quincha alivianada todo el cerramiento exterior es de carácter portante. Adicionalmente, podrán existir otros interiores que, además, responderían a tabiques de sectorización del interior.

La función de los soportantes es la misma que cualquier muro de carga, es decir, recibir y transmitir a la cimentación las cargas estáticas y dinámicas a las que se ve sometido. En la siguiente figura (Fig. 8) se muestra la estructura típica de un entramado vertical soportante.

SOLO USO ACADÉMICO

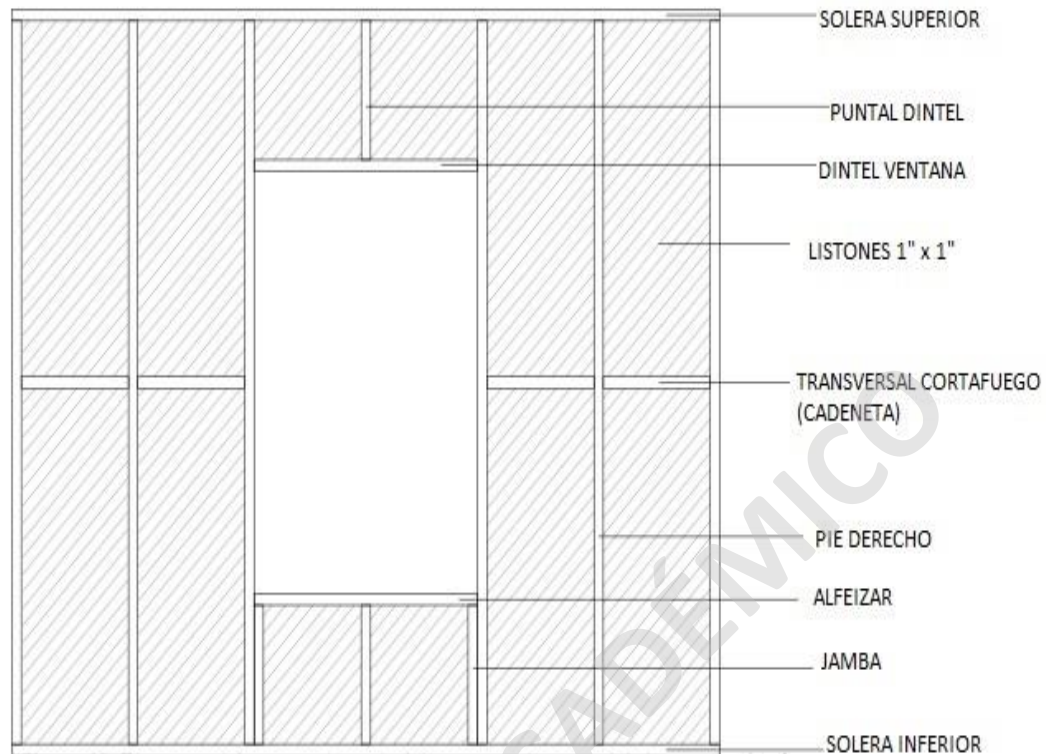


Fig 8.- Estructura del entramado vertical de un muro de carga del sistema de plataforma. Fuente :Propia Ver texto para detalles de cada uno de los componentes.

A continuación, se describirán los componentes de la estructura de la figura 8.

Solera inferior: Pieza horizontal inferior que fija, por medio de uniones clavadas, todas las piezas verticales tales como pies derechos, jambas y zoquetes a la solera superior e inferior. Su principal función es distribuir las cargas verticales hacia la plataforma. Como se vio en el apartado de cimentación, en el caso que la solera del tabique vaya anclada sobre una plataforma de hormigón, dicha pieza debe de estar separada del hormigón mediante una lámina impermeabilizante y, a la vez, debe de estar tratada contra ataques bióticos y abióticos.

Pie derecho: Pieza vertical unida por medio de fijaciones clavadas entre la solera superior e inferior. Su principal función es transmitir axialmente las cargas provenientes del sistema de plataforma con entramado ligero de madera en niveles superiores de la estructura. Se colocan con una separación entre ejes de 61cm.

Solera superior: Pieza horizontal superior que une, por medio de uniones clavadas, todos los elementos verticales tales como pies derechos, jambas y puntales de dintel. Transmite y distribuye a los componentes verticales las cargas provenientes de niveles superiores de la vivienda.

Transversal cortafuego: Pieza componente que separa el espacio entre dos pies derechos en compartimentos estancos independientes. También es llamada “cadena”. Su función consiste en bloquear la ascensión de los gases de combustión y retardar la propagación de las llamas por el interior del tabique en un eventual incendio. Permite, además, el clavado o atornillado de revestimientos verticales y ayuda a evitar el pandeo lateral de los pies derechos en el plano del tabique.

Dintel: Corresponde al conjunto de una o más piezas horizontales que solucionan la luz en un vano de puerta o ventana. Su estructuración dependerá de la luz y de la carga superior que recibe, pudiendo ser desde un listón colocado plano a dos colocados planos o de canto o, incluso, una viga de madera laminada si fuera necesario.

Alféizar: Pieza horizontal soportante en elementos de ventana. Por lo general es utilizado sólo en tabiques soportantes perimetrales. Su estructuración dependerá de la longitud o ancho del vano, tipo y materialidad de la ventana que se especifica.

Jamba: Pieza vertical soportante que complementa la estructuración de vanos en puertas y ventanas. Su función principal es apoyar la estructuración del dintel. Además, mejora la resistencia al fuego del vano como conjunto.

Puntal de dintel: En aquellos dinteles de luz no mayores de 80 cm, y siempre que no actúen cargas puntuales provenientes de niveles superiores, la unión entre estos, la solera superior y el dintel en un vano de puerta o ventana puede ser resuelta por medio de piezas verticales de longitud menor denominadas “puntales de dintel”, que permitirán mantener, para efectos de modulación, la fijación de revestimientos por ambas caras del entramado.

Listones 1” x1”: Son componentes arriostrantes del tabique; transmiten y disipan las cargas de la techumbre o de pisos superiores, además sirven de contención para la aislación termia a base de paja liviana.

- **Cubierta:**

La cubierta o techumbre es aquella estructura de una edificación que se sitúa sobre el cielo del último piso. Su función es la de aislar a la vivienda del medio ambiente, protegiéndola del frío, calor, viento, lluvia y/o nieve, para lo cual recibe un recubrimiento.

Se distinguen dos áreas: una vinculada a la arquitectura (aguas o vertientes y encuentros de techumbres) y otra a la estructuración (tijeral). Las aguas cumplen con la función de recibir la lluvia y/o nieve; son superficies planas y con pendiente. La techumbre se puede diseñar a dos o cuatro aguas, ya sea de forma tradicional (frontón) o en “cola de pato”, con o sin lucarna, esta última con un agua o dos.

La inclinación de las aguas, es decir, el ángulo que estas tienen en relación con un plano horizontal cualquiera, es definido en la etapa de diseño y dependerá de las condiciones climáticas de la zona. Se puede expresar en porcentaje o en grados.

La enmaderación, también conocida como tijeral, es la que sostiene la cubierta y las cargas que esta requiera, transmitiéndolas a los muros soportantes. Por lo tanto, los elementos que la conforman cumplen funciones estructurales.

Para este sistema constructivo es indiferente el diseño de techumbre, lo más relevante para las técnicas que se revisten en barro es proteger los muros con un buen alero, de aproximadamente 60 cm como mínimo como también el uso de canaletas de agua lluvias, para así evitar la abrasión producto de la lluvia.

Técnica de la quincha

La quincha es muy eficaz como material antisísmico debido a la elasticidad del entramado de madera, el cual absorbe las vibraciones evitando que se propaguen por el resto de la estructura. Además, su ligereza facilita el montaje, aminora las cargas sobre la edificación y, en caso de colapso, no provoca demasiados daños.

Para la fabricación de la tabiquería normalmente se emplean listones de 2"x4" de madera seca y se confecciona de la misma manera que tradicionalmente se construyen las tabiquerías, es decir, con bastidores de una longitud máxima de 3 metros y con pies derechos a 61 cm del eje entre sí, además de la puesta del cadeneteado según el requerimiento del diseño. Una vez realizado y levantado el tabique tanto perimetral como interior, se comienza por colocar listones de manera diagonal u horizontal a una separación de 10 cm entre sí, por ambas caras del muro, generando un entramado que enriestra y refuerza la estructura de la tabiquería, lo que disipa las cargas horizontales y verticales a través de estos listones. Este empalizado también ayuda a la contención de la aislación que se utiliza para este proceso constructivo. (ver foto 1)



Foto 1.-Muros armado con técnica de quincha. Fuente propia

Existen varias maneras de rellenar estos muros con materiales de origen natural; se pueden hacer con paja seca, paja alivianada, mezcla de barro y hasta con materiales reutilizados como los eco-ladrillos (botellas plásticas rellenas con desechos inorgánicos).

A continuación, se expondrá el método de aislación y relleno con paja liviana:

La paja liviana es una solución que está compuesta por arcilla diluida (también llamada barbotina) y paja suelta, las cuales son mezcladas de tal manera que la fibra de trigo quede completamente recubierta de la lechada de arcilla, con el fin de que la fibra no quede expuesta a la degradación, ya que la arcilla cumple la función de protegerla y preservarla por tiempo indeterminado al mismo tiempo que mejora la capacidad térmica y acústica del recinto. La longitud de esta paja deberá ser ligeramente superior a la utilizada para la fabricación de adobe⁹, ya que esta es fundamental para crear una estructura interna entretejida que, junto a la capacidad plástica de la arcilla contenida en la tierra de la mezcla, entrega estabilidad estructural al conjunto del bloque entre el tabique y evita que se disgregue durante su manipulación.

⁹ Masa de barro y paja, moldeada en forma de ladrillo y secada al sol, utilizada en la construcción.

El relleno de los muros se debe hacer de manera manual y compactando suavemente con algún elemento que se pueda introducir entre el tabique y los listones exteriores que la contienen.(foto 2)



Foto 2.-Puesta de paja liviana en quincha. Fuente propia

La capacidad aislante de la paja liviana está dada por su relación con la barbotina. Cuanto mayor sea el contenido en paja, mayor será el valor aislante y, al mismo tiempo, menor su inercia térmica. En cuanto al aislamiento acústico, aunque la reducción del ruido variará en función del espesor del muro, se trata de un material que, además, tiene excelentes propiedades, como absorbente, es decir, mejora las propiedades acústicas del recinto donde se coloque controlando el tiempo de reverberación.

Una vez terminado el relleno de los muros, se debe aplicar en ambas caras un revoque con un alto contenido de fibra lo que permite cubrir los 2,5 cm de espesor que poseen los listones del entramado. Esta es una capa imprimante que le da la adherencia a las otras dos capas que se deben colocar. El revoque debe ser colocado con la palma de la mano desde abajo hacia arriba. La segunda capa de revoque debe contener fibra más pequeña; esta capa sirve para crear una superficie más regular, la cual debe tener un espesor de 2 cm sobre el listón de 1", ya que, como el barro no se adhiere fácilmente a la madera, ese

grosor previene que se fisure el revestimiento producto del contacto con la madera del entramado(ver foto 3).



Foto 3.- Imprimación, revoque grueso. Fuente propia

Para finalizar la capa de revestimiento, se debe colocar una mezcla llamada revoque fino, la cual está compuesta por arcilla, arena fina y fibra no mayor a 2 cm de longitud; comúnmente se utiliza aserrín o paja de trigo cortada.

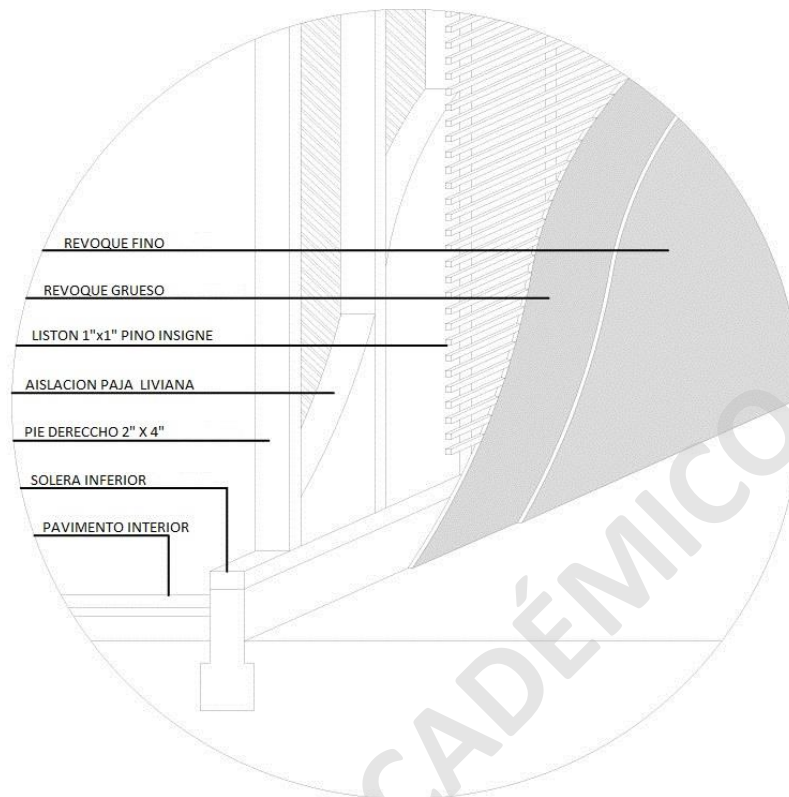


Fig 9.-Escantillón sistema constructivo Quincha Alivianada. Fuente: Propia

Para que no existan problemas con el agua lluvia, es recomendable que el sobrecimiento esté bien aislado del nivel de terreno natural, ya que por capilaridad es muy común que se transmita la humedad a las paredes, lo que daña de manera considerable los revoques y rellenos del muro.

En síntesis, este sistema las características más relevantes son poseer un apropiado comportamiento sísmico debido a su condición estructural flexible; también al ser un sistema compuesto por tierra, madera y paja se transforma en un material altamente respirable y de elevada inercia térmica lo que genera un microclima que hace que los espacios anteriores sean altamente confortables.

Sistemas Constructivos con Fardos de Paja

A fines del siglo XIX, la invención en Estados Unidos de la máquina embaladora de paja permitió la construcción de casas a partir de los fardos de dicho material. Comenzaron siendo refugios para los colonos, ya que los materiales más tradicionales, como la madera o la piedra, no se encontraban con facilidad en las zonas interiores del país. Así fue como descubrieron que se trataba de un material muy aislante que, además de barato, les resultaba fácil de trabajar. De esta forma es que llegaron a construirse, entre 1915 y 1940, más de 70 casas con fardos de paja.



Fig 10 Simonton House, Nebraska 1908. Fuente: Barbara Jones Amazonails (2007)

La primera casa que se construyó con fardos en Europa fue en 1921 en Montargis, Francia. El buen estado en el que se encuentra esta vivienda permite que continúe siendo habitable al igual que docenas de edificios construidos en la misma época.

Las siguientes imágenes muestran el estado de la casa cuando fue construida (fig11) y cómo se encuentra actualmente (fig12).



Fig.11-La “Maison Feuillete”,1921.Fuente:blog-arquitectura.blogspot.com.es
 Luego de la Segunda Guerra Mundial este tipo de construcción cayó en desuso, resurgiendo varios años después, en la década de los 70. Hoy, ya son miles las casas de que se construyen en base a este material.



Fig.12-La “Maison Feuillete”,2016.Fuente:blog-arquitectura.blogspot.com.es

Se han desarrollado tres tipos de sistemas constructivos con fardos de paja a lo largo de la historia del mundo. A continuación, se describen brevemente cada uno de ellos:

1. Sistema Autoportante (Método Nebraska)

Este es el método original de construcción con fardos, creado por los pioneros en las llanuras de Nebraska (EEUU). Este sistema es del tipo portante. Se caracteriza por utilizar los fardos de paja como material estructural para soportar el peso de la cubierta. Los fardos se van entrelazando como si fuesen ladrillos; es muy similar a la colocación de ladrillos tipo albañilería simple, pero sin ningún mortero que los adhiera. Se unen a los cimientos y entre ellos por medio de tensores o estacas. Para una correcta elaboración se debe confeccionar un zuncho perimetral (actualmente se usa en placa Osb) de madera, que consolida la pared de fardos hacia los cimientos, como también permite apoyarse a la cubierta.

2. Sistema No Autoportante (Método de Pilares y Vigas)

Este sistema es el más usado en zonas sísmicas, se caracteriza por transmitir peso de la cubierta sobre la estructura (pilares y vigas) preferentemente de madera o de otros materiales disponibles como acero u hormigón; los fardos de paja cumplen únicamente el rol de material aislante puesto que se colocan entre los pilares. Esta técnica solicita un nivel mayor de conocimientos, sobre todo en materia de la carpintería, además al ser un diseño portante posee más flexibilidad y está más preparado para recibir diversos esfuerzos naturales, como lo es el viento o un sismo.

3. Sistema de Fardos de Paja con Mortero (Método Canadiense).

Este método se caracteriza por usar los fardos como si fuesen ladrillos uniéndolos con mortero de cemento o cal. Los fardos se disponen de manera vertical para que así el cemento forme una especie de pilares. Es un sistema que requiere mucho trabajo y posee un alto costo de construcción.

Debido a la sismicidad del territorio chileno, es recomendable utilizar el sistema de construcción en fardos del tipo no autoportante, ya que se confecciona principalmente con madera, lo que entrega la flexibilidad y resistencia necesaria para poder soportar los esfuerzos requeridos ante sismos o vientos.

A continuación se detalla el desarrollo de este sistema.

Procedimiento de Construcción con Sistema No Autoportante

Se basa en construir una estructura auto-portante independiente del muro de fardos. Esta estructura soporta todo el peso del techo y lo comunica hacia la fundación. Dentro de la estructura, los fardos de paja cumplen función de relleno del muro generando el cierre de las paredes, donde a su vez desempeñan un rol aislante. Además, llevan una malla metálica que los cubre, y que va afirmada a la armazón, la que finalmente recibe el estuco dejando el muro sellado. Al usar este sistema constructivo se debe tener en cuenta que el tamaño de la estructura, si es bien diseñada, hace posible la construcción de 1 ó 2 pisos. Además, es primordial proteger los muros de la humedad, como también almacenar los fardos en lugares secos antes de su uso.



Foto 4.- casa de fardos, no portante

- ***Fundación***

Una fundación bien estructurada y bien elaborada crea una base estable y duradera, que protege a los muros de fardos del contacto con la humedad del suelo.

En los puntos en que se encuentran ubicados los pilares, todo el peso de la estructura es soportado por las fundaciones. Estas deben hacerse de una mayor calidad estructural en esos sectores, dado que todos los pesos vivos o muertos de la techumbre se concentran sobre ese punto. También es preciso mencionar que el peso de los muros se distribuye en el resto de la cimentación.

En general, las fundaciones, pueden tener profundidades variables, ya que el escaso peso que le entrega el muro a estas hace que las cimentaciones no requieran de grandes alturas. Aun así, el diseño de las fundaciones siempre está en función de factores geográficos, como la capacidad de carga del tipo de suelo, cargas horizontales de vientos, condiciones sísmicas, por nombrar algunos.

El ancho del cimiento debe ser igual o mayor al ancho del fardo, y nunca de una dimensión inferior. En la mayoría de los casos se utiliza hormigón con bolón desplazado.

Es necesario utilizar láminas de polietileno tanto en costados como en la base de los cimientos para impedir que la humedad suba por capilaridad. También se puede usar hormigones con aditivos impermeabilizantes.

Para soportar las distintas capas del piso, es importante que el sobrecimiento tenga una altura de 20 cm como mínimo. Es recomendable construir una terminación en forma de talud por el lado exterior del sobrecimiento para que cualquier posibilidad de filtración de agua o humedad se evacúe automáticamente.

Como el ancho del sobrecimiento debe ser igual al del fardo, se puede rellenar con hormigón, lo que constituye una solución más tradicional y simple, pero costosa. Otra alternativa consiste en mantener las dimensiones tradicionales del sobrecimiento y rellenar el espacio faltante por medio de ladrillos. Independiente de la opción escogida, es necesario colocar entre el sobrecimiento y la primera hilera de fardos una lámina de

polietileno, papel fieltro o membranas asfálticas para evitar que desde la fundación le llegue humedad a la zona inferior del muro de fardos. Es posible prolongar esta protección y utilizarla cubriendo los costados del muro.

- ***Pilares, Vigas y Cadenas***

Un armazón compuesto por pilares, vigas y cadenas, es decir, un armazón autoportante rígido, recibe todas las cargas de la techumbre y las traspasa a los cimientos. Usualmente los pilares están hechos de madera (dimensionada o rollizo), hormigón armado o acero. En el presente escrito solo se abordarán las particularidades de los pilares de madera. Pueden ubicarse en la mitad del muro o por la cara exterior o interior de este; cualquiera sea su ubicación, hay que utilizar relleno para completar el volumen restante. Básicamente el relleno consiste en paja suelta que se va acopiando y comprimiendo en la parte faltante. Para impedir que la paja sobresalga del muro se utiliza una doble malla hexagonal, que se va enganchando en tanto se va avanzando con el relleno. (fig 13)

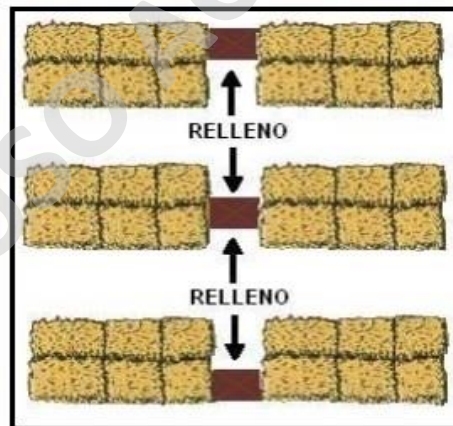


Fig. 13.-.Vista superior pilar y fardo.

También se pueden usar sacos de arpillera rellenos con paja comprimida o una mezcla de paja suelta con arcilla diluida. Sin embargo, si se quiere evitar rellenar estas zonas, es posible hacerle al fardo un sacado o muesca que permita ajustar el fardo al pilar. Estas

incisiones deben hacerse a los costados del fardo y nunca en la mitad de este, pues de esta forma podría desmoronarse.

Un pilar de madera puede ir anclado directamente a la fundación o, mediante barras de acero o anclajes metálicos, al sobrecimiento. Las dimensiones de estos últimos están superpuestas a las del pilar. Este anclaje suele enterrarse a unos 20 cm de la fundación.

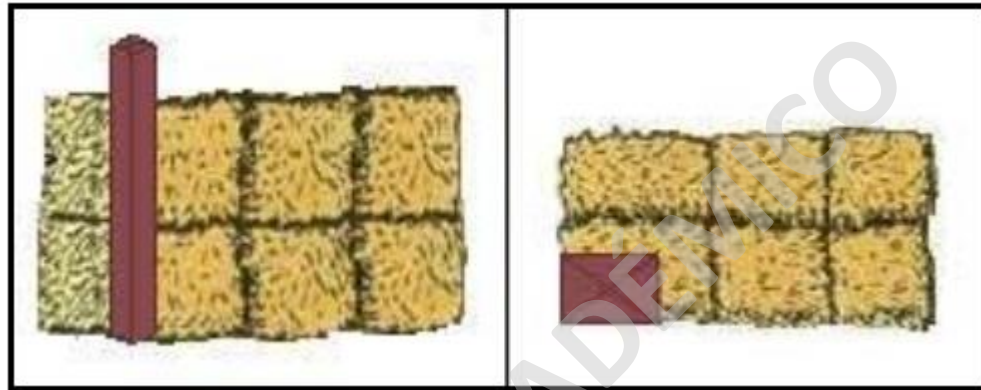


Fig.14,-. Aquí se muestra cómo se evita la muesca en la mitad del fardo.

El empotramiento del pilar de madera, si este forma parte integrante de la fundación por medio de aquel, debe tener incrustados en su extremo clavos de 4" o 6", para así conseguir una mayor adherencia con el hormigón.

Las vigas primarias y cadenas secundarias cumplen con la función de unir los pilares, lo cual permite que el conjunto completo actúe como un solo elemento.

El gancho de 6 mm. de diámetro se amarra a la enfierradura y sirve de guía para los anclajes. Este anclaje, de hasta un metro de largo, se entierra al fardo y se une a la cadena. Luego, se estuca la base superior del muro y se cubre así el anclaje, lo que evita que este pueda desplazarse. Esta barra contribuye a que el muro de fardos se mueva en la misma dirección que el resto de la estructura, aunque el muro no ayude como elemento soportante.

También es posible usar tensores que comiencen en las fundaciones y terminen en las vigas o cadenas, al igual que en los muros de albañilería. El procedimiento sería el mismo que el del sistema autoportante.

Independiente del tipo de material que se utilice, cuando la viga o cadena está en la mitad del muro, se reemplaza el uso de tensores o barras de anclaje por el sistema conocido como “corchete”, que es en una estructura de madera en forma de “U” invertida. Cuando se utiliza para unir el muro tanto a la viga como a la fundación, recibe el nombre de “doble corchete” o “paréntesis”.

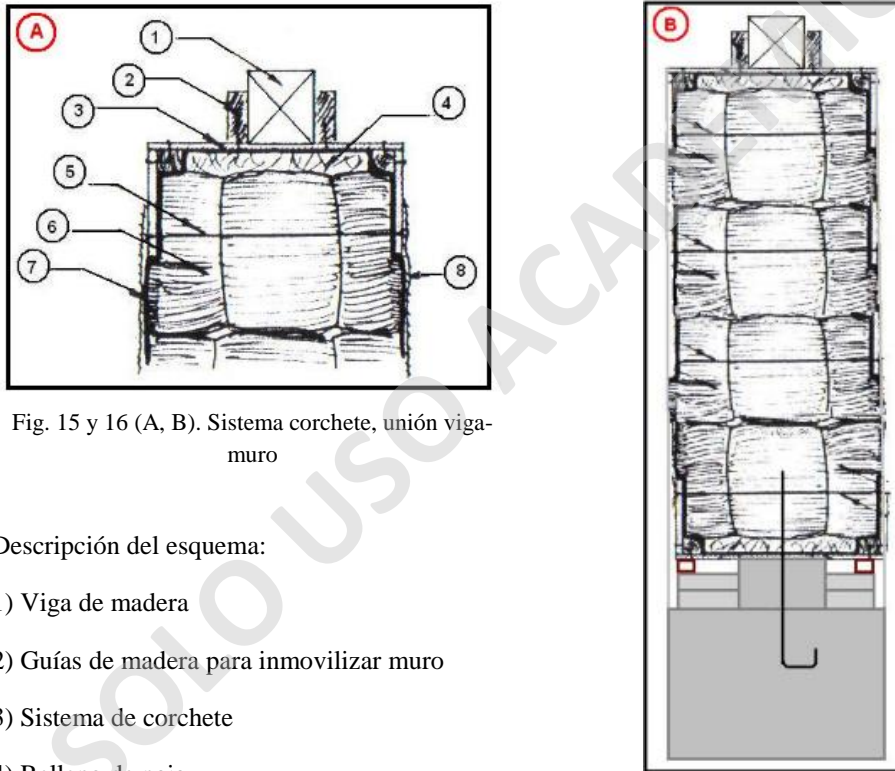


Fig. 15 y 16 (A, B). Sistema corchete, unión viga-muro

Descripción del esquema:

- 1) Viga de madera
- 2) Guías de madera para inmovilizar muro
- 3) Sistema de corchete
- 4) Relleno de paja
- 5) Alambre amarre
- 6) Fardo de paja
- 7) Polietileno
- 8) Malla hexagonal

- ***Estructura para puertas y ventanas***

Las soluciones de construcción con fardos para ambas estructuras son prácticamente las mismas, diferenciándose únicamente en que el sistema no autoportante precisa de vanos lo suficientemente resistentes para soportar el peso de la techumbre. Por ejemplo, en el caso de ventanales de mayor tamaño, la estructura puede ser de madera adosada al armazón soportante de la casa, mientras que una ventana más sencilla y con menos detalles requiere de marcos simples de madera adosados a las hileras del muro.

En los muros estructurales, la combinación de cargas vivas y muertas de la cubierta se apoyan directamente sobre los muros, incluyendo los marcos de las puertas y ventanas. Todas las cargas de la cubierta son absorbidas, con estructuras rellenas, por cualquier cercha estructural que se utilice y únicamente las cargas del muro sobre puertas y ventanas son sostenidas por el armazón, el marco de la puerta o de la ventana.

Los armazones estructurales para las ventanas se asemejan a un marco con aletas, las que forman parte de una cantería determinada, proporcionada por el empalme de los bloques de fardos. En el supuesto de que la altura del antepecho no sea coincidente con el nivel del fardo completo, las aletas pueden removerse a alguna posición que les permita ajustarse y encajar en la cantería, para luego empotrarse al fardo, o de lo contrario, suprimir las del extremo superior para no restringir la luz de la ventana. Asimismo, deben utilizarse puntales de madera con el fin de mantener su posición y reforzar el marco al muro, fijándose con pernos y tornillos.

La proporción de los dinteles corresponde al doble de su largo en comparación con la anchura del vano, traslapándose como mínimo 0,60 cms. a cada lado de la abertura. Además, debe asegurarse que estos resistan lo suficiente como para no ceder, pero a la vez no tener un sobrepeso innecesario. En caso de que la altura sea inferior a la del alto de un fardo, puede incorporarse otra hilera de fardos sobre el dintel o también un relleno.

La construcción de los armazones estructurales para las puertas es similar al de las ventanas y se sostienen directamente sobre la loza, fijándolos mediante pernos. Es normal que se utilicen armazones de similar anchura que la pared de fardos. Antes de

levantar los muros, tanto los armazones de puertas como de ventanas, deben fijarse en su sitio y ser reforzados para que no se deformen.

La ubicación de los vanos para puertas y ventanas debe proyectarse con antelación, además de tener un distanciamiento mínimo de un fardo de las esquinas, con el fin de evitar la deformación del muro, permitiéndole una mayor rigidez estructural.

- ***Estructura de techumbre***

Si bien la techumbre de una casa de fardos tiene las mismas características que las estructuras que se realizan sobre madera o metal, el método constructivo del muro de paja puede incidir en la forma de construir la techumbre.

Cuando las construcciones realizadas con fardos se combinan con un armazón estructural, con cualquier tipo de tejado pueden rematarse, puesto que estos tipos estructuras reposan sobre pilares. También se pueden construir aleros prolongado la estructura de techumbre o extender estos envigados a fin de cubrir porciones de superficie contigua a la edificación, formando corredores o galerías cubiertas.

Cualquiera de las alternativas de alero es recomendable para ambos sistemas constructivos mencionados, pues ayudan a que los muros se preserven de las precipitaciones, sobre todo en zonas donde estas abundan.

Para contribuir a bajar el centro de gravedad de la construcción e incrementar a la vez su estabilidad, es aconsejable que la techumbre sea liviana. Es conveniente, entonces, distribuir equitativamente (tanto en forma como en cantidad) las cargas sobre los pilares. Además, hay que tener en cuenta que el alero debe tener como mínimo 60 cm de largo.

- ***Terminaciones***

Es posible aprovechar la superficie rugosa de los fardos y aplicar directamente el revestimiento, como barro, cemento, yeso, etc. Para asegurar la adherencia de los revestimientos menos adhesivos es aconsejable instalar una malla hexagonal entre los fardos de paja y el revestimiento exterior e interior.

La malla debe medir aproximadamente 3/4" y ser galvanizada. Se tiene que colocar verticalmente y fijar en el extremo superior del muro a la solera. En el extremo inferior debe fijarse a los alambres de la primera hilera de fardos, y lateralmente a los pilares. Hay que hacer amarras intermedias a las hebras de alambres de los fardos. Hay que envolver, además, por completo los vanos de puertas y ventanas con la malla.

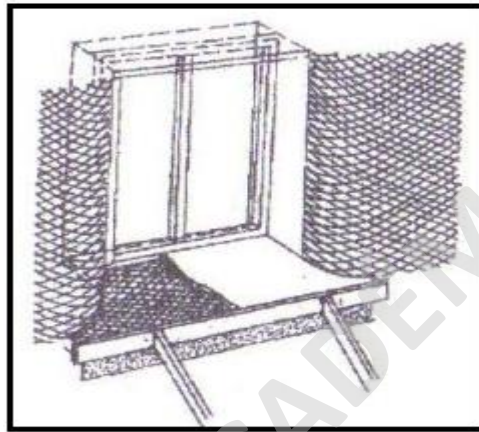


Fig.18. Malla hexagonal en ventanas

La duración de los estucos o revoques está en relación directa con la adherencia al fardo y con la resistencia a los diversos agentes de erosión: la lluvia, los golpes, los roces, las heladas, los cambios de temperatura, etc. Es muy importante que los estucos presenten dos condiciones que asegurarán su duración y eficiencia en el tiempo: flexibilidad y permeabilidad al vapor. La flexibilidad que presentan las estructuras de madera y la flexibilidad que presenta el material de relleno obligan o condicionan al estuco a presentar similares características. El otro aspecto de gran importancia y que determina la elección del color y el estuco a usar, es el de la respiración de los muros.

La respiración de los muros permite que el aire exterior se enfríe o caliente cuando pase a través de la masa de los fardos, antes de que se mezcle con el aire interior. Por esta razón es que la solución que se propone es la de una mezcla de barro en tres capas de aplicación. La primera capa es un imprimante de solo arcilla diluida en agua y que puede ser proyectada con una pistola de textura y grano, con la ayuda de un compresor,

Esta capa recubre todas las caras expuestas de los fardos y ensucia la malla existente, lo que contribuye a otorgar una mejor adherencia. La segunda capa está compuesta por arcilla arena y paja, la mezcla de barro tradicional, con un espesor de 3 cm por cada cara. Para finalizar, se debe colocar la última capa de revoque fino compuesta por arcilla, arena y fibras de menos de 2 cm de largo. Esta capa debe ser de 5mm a 8 mm de espesor.

Ventajas

Una de las principales virtudes de la construcción con fardos está dada por sus características térmicas, ya que son un excelente material aislante, lo que proporciona confort en invierno y verano. El gran espesor de sus muros y su baja conductividad térmica ayuda a mantener la habitabilidad. Otra de las características positivas es su resistencia al fuego; para que sea eficiente se deben escoger los fardos más densos y apretados posibles, ya que bajo estas condiciones el fuego no puede propagarse debido a que no existe oxígeno para que se produzca la combustión. Según un ensayo realizado por la IDIEM (Instituto de Investigaciones y Ensayos de Materiales de la Universidad de Chile, año 2003) este retarda al fuego con un factor de F-120, por lo que se puede considerar al muro de fardo como un muro cortafuego según la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones.

Desventajas

Uno de los principales obstáculos que presenta esta técnica constructiva es que para obtener la materia prima se debe esperar a que se produzca la cosecha del trigo, es decir, su adquisición proviene de un proceso estacional, aunque una alternativa pudiese ser la de almacenamiento en bodegas, siempre y cuando los fardos no estén en contacto con la humedad. Por tratarse un material no convencional, a diferencia de lo que es el hormigón o los ladrillos, no es posible su compra en el comercio establecido para la construcción sino que se debe realizar en forma directa con el agricultor. Por esta razón es fundamental generar una buena planificación de obra, para así no atrasarse en la ejecución del proyecto.

Otra desventaja que tiene este tipo de técnica es que cuando en el centro del fardo se presenta humedad en exceso, se genera la proliferación de hongos, es decir, putrefacción, lo que se traduce en una descomposición de la estructura del fardo. Por esta razón es que se hace indispensable una buena protección contra la humedad. Para mantener un fardo libre de humedad y conservar su calidad es aconsejable almacenarlo bajo techo, aislándolo del suelo mediante polietileno. Además se debe corroborar la humedad del material con un higrómetro. La humedad dentro del fardo debe ser de un 10 % como máximo, de lo contrario, se recomienda no utilizarlo.

Una de las restricciones del sistema es la altura máxima de la vivienda. Esta técnica no autoportante limita la estructura de madera, ya que para conseguir una mayor altura se necesitarían más refuerzos y mayores dimensiones estructurales, reflejando ese aumento en los costos finales del proyecto. Por lo tanto, lo más viable es ejecutar solo dos pisos como nivel máximo.

Por último, una de las desventajas más significativas es la clasificación a la cual se puede acoger este sistema constructivo según la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (O.G.U.C), puesto que si se adhiere a la clase F (adobe) su altura máxima será de 3,5 metros, es decir, solo un piso; mientras que si se clasifica según la clase E (madera) la altura máxima será de 7mt, si es que no posee cálculo estructural, es decir, dos pisos.

Sustentabilidad

Frente a la situación del aumento del consumo energético, poseer una vivienda con buena aislación adquiere gran relevancia, ayudando a conservar la energía en su interior. Desde este punto de vista, el uso de fardos como material de construcción genera un valioso aporte, contribuyendo al ahorro de energía durante la operación de la vivienda.

Cabe señalar que este sistema constructivo además contribuye a la reducción del consumo energético en todas sus etapas, desde la obtención de los materiales para su ejecución y la elaboración misma de la vivienda, hasta incluso cuando ya es habitada.

CONCLUSIONES:

Estos sistemas constructivos actualmente no poseen certificaciones y, por lo tanto, no se ha podido crear una normativa que regule estos métodos. Aunque en la actualidad ya se han hecho ensayos en Chile que avalan resistencia al fuego, esfuerzos a la compresión de muros de fardos y la conductividad térmica de estos últimos, para lograr esta tarea se necesita más apoyo e inversión tanto de privados como del Estado para poder elaborar y corroborar científicamente todas sus propiedades expuestas en esta memoria.

Es indiscutible que el conjunto madera-barro se desarrolla bajo el cuidado del medio ambiente, ya que se requiere menos energía desde la obtención de los materiales, como también en el proceso constructivo e incluso una vez habitada la casa. Este tipo de construcciones son elementos vivos que regulan humedad, calor y frío, invitando a los residentes a un espacio de alto estándar térmico y estético.

Hoy en día existen muchas construcciones que se están desarrollando con ambas técnicas, y para regularizar las viviendas se deben ajustar a otras normas existentes, pero que no son exclusivamente de los materiales propuestos. La tarea que está pendiente, entonces, es justamente lograr que estos materiales sean respaldados y reconocidos por sus cualidades. Si bien estandarizar la tierra y su calidad como para poder comercializar puede ser algo complejo, no se debe desestimar la libre obtención de este material si es que se respetan los parámetros de plasticidad necesaria para su elaboración. También se deben tomar las consideraciones planteadas en esta memoria para la obtención de los fardos de paja. Todo el resto de los materiales empleados en estas técnicas se comercializan bajo los estándares que la norma exige.

Para finalizar, es imperioso que como sociedad tomemos la iniciativa de abrirnos a nuevas posibilidades en el ámbito de la construcción habitacional, ya que la vivienda constituye una necesidad fundamental que trasciende a las generaciones, y por esta razón se deben crear espacios más comprometidos con el medio ambiente. Es responsabilidad

de nosotros como constructores ofrecer estas alternativas a la población y proyectar una mejor calidad de vida para los habitantes del mundo.

SOLO USO ACADÉMICO

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Araneda, L. & Muñoz, A. (2010). *Análisis del comportamiento térmico del sistema constructivo con fardos de paja* (tesis de pregrado). Universidad de La Frontera, Valdivia, Chile.

Arriola, V. & Tejada, U. (2008). *Manual de Quincha Prefabricada para Maestros de Obra*. Lima, Perú: CIDAP.

CORMA. (2017-2018). *Madera21*. Santiago, Chile. Recuperado de <http://www.madera21.cl>

Corporación de Desarrollo Tecnológico. (2012). *Evaluación de Daños y Soluciones para Construcciones en Tierra Cruda, Manual de Terreno* (N° 32). Santiago, Chile: Ediciones Raizfutura.

CRATERRE. (2010-2018). *Culturas constructivas y desarrollos sustentables*. Grenoble, Francia. Recuperado de <http://www.craterre.org>

Díaz, R. (2011). *Desarrollo sustentable*. México D.F., México: McGraw-Hill.

Fundación PROTIERRA. (2016). Encuentro nacional de constructores en tierra. Santiago, Chile. Recuperado de <http://www.enacot.cl>

Gatti, F. (2012). *Arquitectura y construcción en tierra: Estudio comparativo de las técnicas contemporáneas en tierra* (tesis de maestría). Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona, España.

I.N.N. (1991) of 2014. *Madera- Construcciones en madera –Cálculo*. Chile

Mínguet, J. M. (Ed.). (2010). *Eco Refurbishment*. Barcelona, España: Monsa.

Minke, G. (2005). *Manual de construcción en tierra: La tierra como material de construcción y su aplicación en la arquitectura actual*. Montevideo, Uruguay: Fin de Siglo.

Minke, G. (2005). *Manual de construcción para viviendas antisísmicas de tierra*. Kassel, Alemania: Universidad de Kassel.

Minke, G. (2017). *Cúpulas de tierra optimizadas*. Santiago, Chile: Cable a Tierra.

Minke, G. (2017). *Muros y revoques de tierra*. Santiago, Chile: Cable a Tierra.

MINVU. (2018). *Construcción sustentable*. Santiago, Chile. Recuperado de <http://csustentable.minvu.gob.cl>

RCP. (2010-2018). *Casas de Paja*. Madrid, España. Recuperado de <http://www.casasdepaja.com>

SOLO USO ACADÉMICO

ANEXO FOTOGRÁFICO

Fotografías de proyectos realizados con técnicas de Madera- Tierra.



Foto 5.- Chicureo, técnica quincha.-Javier Quintana



Foto 6.- chicureo, técnica quincha.-Javier Quintana



Foto 7-Batuco, técnica quincha.-Javier Quintana



Foto 8-Paine técnica quincha.-Javier Quintana



Foto 9-Colina, técnica Fardo- Jorge Broughton



Foto 10-Curacavi, técnica Fardo- Jorge Broughton



Foto 11-Chillán, técnica Fardo- Estudio Terra



Foto 12-Lampa, técnica Fardo- Juanjo Garcia

