



Universidad Autónoma del Estado de México

Facultad de Arquitectura y diseño



Maestría En Diseño

Título del proyecto

**Sistema constructivo modular con
materiales alternativos que favorezca a la
flexibilidad en la construcción de vivienda**

Mónica Yesenia Andrade Martínez

Director de Tesis:

Dr. Jesús Enrique de Hoyos Martínez

Tutores Adjuntos:

Dr. Alberto Álvarez Vallejo

Dr. Gonzalo Martínez Barrera

Contenido

| | |
|---|----|
| Introducción | 4 |
| 1. Modulación y flexibilidad en el diseño arquitectónico | 7 |
| 1.1. Definiciones: modulación y flexibilidad | 7 |
| 1.1.1. Módulo y modulación..... | 7 |
| 1.1.2. Flexibilidad..... | 10 |
| 1.2. La vivienda y el dinamismo social | 15 |
| 1.3. La métrica y la geometría: modulación en la forma..... | 17 |
| 1.3.1. Sección aurea..... | 20 |
| 1.3.2. Geometría fractal, teselaciones y solidos platónicos | 24 |
| 1.3.3. Formas modulares presentes en la naturaleza..... | 29 |
| 1.4. Antropometría y ergonomía: medida de la forma | 32 |
| 1.4.1. Factores ergonómicos en el diseño de los espacios arquitectónicos | 32 |
| 1.4.2. Dimensiones antropométricas | 35 |
| 2. Los sistemas constructivos con elementos modulares prefabricados | 42 |
| 2.1. La implementación de sistemas modulares en la construcción a partir del siglo XX..... | 42 |
| 2.1.1. Principales aportes e innovaciones en la flexibilidad y modulación del siglo XX..... | 44 |
| 2.1.2. Recientes proyectos que aplican el concepto de flexibilidad | 52 |
| 2.2. Sistemas constructivos en seco y sus elementos | 57 |
| 2.2.1. Resistencia | 59 |
| 2.2.2. <i>Funcionalidad</i> | 62 |
| 2.3. Fijaciones, conexiones y ensambles en elementos modulares..... | 63 |
| Uniones utilizadas en madera | 65 |
| Uniones metálicas..... | 71 |
| 2.4. Análisis de sistemas constructivos en seco con uso de elementos modulares..... | 73 |
| 3. Materiales alternativos con posibilidad de uso en elementos modulares prefabricados..... | 83 |

| | |
|--|-----|
| 3.1. Definición y clasificación de los materiales alternativos | 84 |
| 3.2. Materiales producto del reciclaje | 86 |
| 3.2.1. Celulosa de papel | 89 |
| 3.2.2. Polímeros | 92 |
| 3.2.3. Envases de Tetrapack | 93 |
| 3.3. Materiales de origen natural..... | 96 |
| 3.3.1. Madera | 96 |
| 3.3.2. Tierra | 98 |
| 3.3.3. Bambú | 102 |
| 3.1.1. Cañas o Carrizo..... | 105 |
| 3.1.2. Paja | 107 |
| 3.1.3. Mimbre y tule Otras fibras naturales:..... | 109 |
| 3.2. Análisis y valoración de aplicación en elementos modulares..... | 112 |
| 4. Capítulo IV desarrollo de la propuesta modular | 114 |
| 4.1. Metodología para la propuesta..... | 114 |
| 4.2. Descripción de la propuesta desarrollada | 116 |
| 4.3. Proceso de experimentación..... | 122 |
| Conclusiones..... | 130 |
| Capítulo 1 | 130 |
| Capítulo 2 | 131 |
| Capítulo 3 | 132 |
| Capítulo 4 | 133 |
| Bibliografía | 135 |

Introducción

Actualmente en la sociedad y en la conformación de la familia se han dado cambios inminentes, para la construcción de una vivienda ya no es únicamente la familia tradicional conformada por los papás y los hijos. Los cambios demográficos y la singularidad de cada familia demanda viviendas de diferentes características, que no se puede resolver con viviendas tipo como hasta ahora se ha venido haciendo. Si a esto se le agrega el hecho de que la familia experimenta un proceso de crecimiento y desarrollo en el cual pasa por diversas etapas en las cuales la demanda de espacios arquitectónicos dentro de una vivienda también va cambiando.

Las viviendas y sistemas constructivos que siguen vigentes hoy en día no están preparados para responder de manera eficiente a dichos cambios, es decir no ofrecen flexibilidad de ningún tipo. Son sistemas rígidos en el sentido de que no ofrecen la posibilidad de realizar modificaciones de manera fácil a una vivienda.

Por otro lado, actualmente se vive una época de concientización ambiental donde es necesario pensar a futuro al momento de hacer uso de los recursos. Los recursos que se tienen no son ilimitados, es por tanto que se hace necesaria la búsqueda de estrategias para optimizar esos recursos al máximo evitando desperdicios y reciclando lo más posible. La industria de la construcción es una de las grandes consumidoras de recursos a gran escala.

Ante estas premisas se plantea en este trabajo, desarrollar una propuesta que pueda responder a esas exigencias tanto ambientales como sociales. Mediante la combinación de técnicas constructivas tradicionales y sistemas prefabricados, se pretende desarrollar un sistema modular en el que se pueda implementar el uso de materiales alternativos a lo convencionales, materiales amigables con el medio ambiente y de fácil obtención. Los materiales alternativos que se proponen en este estudio son de dos tipos, reciclados y naturales.

El presente trabajo consta de cuatro capítulos, en cada uno se desarrolla un marco que va dando forma a la investigación, y en el último capítulo se desarrolla una propuesta experimental, que dará pauta a la comprobación o refutación de la hipótesis que se plantea: Un sistema constructivo a base de módulos ensamblados con un sistema en seco (evitando un una unión monolítica de los elementos) favorecería a generar viviendas flexibles que se adapten a las cambiantes necesidades espaciales de sus habitantes, y a la optimización de materiales.

El capítulo uno conforma el marco teórico de la investigación, como primer punto se presenta una definición de manera explícita de los términos módulo, flexibilidad, sistema en seco y prefabricación, que son de suma importancia para comprender el trabajo, siendo que el termino flexibilidad se usa en relación a las múltiples opciones que puede ofrecer un espacio construido y no a la propiedad física de la elasticidad y flexibilidad e un material.

En este capítulo también se integra parte de la teoría de los fijos y flujos, que parte de la geografía, pero que aplicada en el urbanismo y en la arquitectura permite comprender el dinamismo en la sociedad. Además se incluyen el análisis de algunas teorías de la geometría en cuanto a la modulación y a la forma: geometría fractal, sección aurea, Teselaciones, solidos platónicos, entre otras. Ésta primera parte se concluye con un estudio de los elementos ergonómicos y antropométricos necesarios para lograr ambientes confortables.

En el segundo capítulo se aborda el marco histórico y técnico, se analizan los principales antecedentes históricos en relación a sistemas constructivos flexibles prefabricados, que básicamente tienen inicio en el siglo pasado y a la fecha sigue siendo un tema vigente que se sigue estudiando y aplicando de diferentes formas. También se analizan los componentes que conforman un sistema constructivo, diferenciando un sistema constructivo convencional versus un sistema constructivo en seco con elementos prefabricados.

Los sistemas constructivos en seco se integran por elementos más complejos que deber permitir uniones reversibles entre elementos, para cumplir con los planteamientos de flexibilidad y adaptabilidad, que permitan recuperar los componentes para su reúso. En este apartado también se analizan algunos sistemas constructivos con las anteriores características, donde se identificas diferentes tipos de sistemas, los cuales se dividen en tres tipos de acuerdo al tamaño y características de sus componentes: tipo lego, mecano y sistemas tridimensionales.

En el capítulo tres se describen varios materiales con posibilidad de uso en elementos modulares, los cuales son de dos tipo: naturales y reciclados, la selección se realiza de acuerdo al uso previo que han tenido dichos materiales como material de construcción, en el caso de materiales reciclados, se evidencia el uso de tres grandes grupos de productos del desecho muy abundantes entre los residuos: el plástico, el papel y el Tetra pack. En el caso de los materiales naturales, se identifican diversos sistemas constructivos de materiales de antaño, como lo es la tierra y la madera. y algunos otros muy abundantes que está en auge su utilización, como lo son las fibras naturales.

En la última parte, el capítulo cuatro se diseña y se desarrollan los elementos para integrar un sistema constructivo flexible, con base a lo analizado en los capítulos anteriores, se define la forma, las mediadas, los materiales con que puede ser construido, así como las uniones y formas de ensambles. Con todo esto definido la última parte comprende la experimentación, que determina la factibilidad o no factibilidad del sistema propuesto, en relación a costo, procesos y propiedades mecánicas del sistema.

1. Modulaci3n y flexibilidad en el dise1o arquitect3nico

1.1. Definiciones: modulaci3n y flexibilidad

En este capitulo, se plantea una definici3n a los t3rminos m3dulo, flexibilidad; sistema constructivo en seco y prefabricaci3n. Mediante los cuales se podr3n entender la aplicaci3n que tienen estos t3rminos es el presente trabajo. Estos elementos retomados con dos fines primordiales en torno a su aplicaci3n en la construcci3n de vivienda: optimizar recursos y lograr dise1os susceptibles a futuras transformaciones.

1.1.1. M3dulo y modulaci3n

El t3rmino m3dulo hace referencia una unidad, pieza o medida. Un patr3n y elemento con determinada geometr3a con el que se pueden constituir componentes de mayor tama1o a partir de la agregaci3n elementos iguales. Una definici3n muy acertada propuesta por Bacherlad es la siguiente "se llama m3dulos a los componentes de un conjunto y en la construcci3n, un m3dulo es una caja, una c3lula, un elemento tridimensional" (Bacherlad, 1975: 81), es decir pueden ser piezas bidimensionales, tridimensionales o un incluso patr3n de medida.

En la arquitectura y la construcci3n se pueden identificar diversas formas de modulaci3n, que van desde el dise1o modular arm3nico con elementos dispuestos de manera modular a determinadas medidas (antiguos templos griegos, construcciones romanas, etc.), piezas iguales que utilizadas como materiales constructivo, elementos constructivos prefabricados en una escala m3s grande (paneles modulares, piezas de recubrimiento), por mencionar algunos ejemplos.

Los elementos modulares seg3n su forma y geometr3a se pueden clasificar en lineales, superficiales o volum3tricos, que en t3rminos generales tienen diferentes grados de aplicaci3n dependiendo el caso. Los elementos lineales pueden conformar esqueletos estructurales, mientras que los superficiales constituyen como su nombre lo indica, superficies, ya sea muros, losas, entrepisos. Y

finalmente los volumétricos que son elementos tridimensionales terminados, células habitacionales, un claro ejemplo de estos últimos elementos se puede ver en la arquitectura de contenedores, donde se adaptan contenedores marítimos en desuso para generar células habitacionales, en la imagen 1.1 se puede observar el uso de dichos contenedores.



Imagen 1. 1 Arquitectura de contenedores
Fuente: Sánchez Corral 2012

A lo largo del siglo XX se desarrollaron diversos sistemas prefabricados con elementos modulares volumétricos, de los cuales Alkmim (2012) hace un estudio donde identifica diferentes clasificaciones de los módulos tridimensionales, y las divide de acuerdo a su estructura, su peso y su movilidad, principalmente, dichas clasificaciones se pueden identificar en la tabla 1.2.

Tabla 1. 1 Clasificación de módulos tridimensionales

| ESTRUCTURA | |
|---|--|
| Portantes | Auto portantes |
| Son responsables por el funcionamiento estructural del edificio. Deben garantizar la rigidez y estabilidad del conjunto | No realizan funciones portantes y rigidizadoras en la edificación, requiere la existencia de una estructura auxiliar |
| PESO | |
| Ligeros | Pesados |
| Utilizan materiales livianos como el acero, el aluminio, la madera y los plásticos. son | Tienen como principal componente el hormigón, material de elevado peso, |

| | |
|---|--|
| más susceptibles a la automatización y robotización del ensamblaje de sus componentes | además aportan al conjunto mejores prestaciones térmicas y acústicas. |
| MOVILIDAD | |
| Permanentes | Reemplazable |
| Son todas las unidades que, después de ancladas entre sí o en una estructura auxiliar, no pueden ser desplazadas. | En este tipo de construcción existen distintas soluciones que posibilitan quitar y poner unidades. |

Fuente: Elaboración propia con base en Alkmim 2012

También identifica diferentes formas de agrupación con otros elementos del mismo tipo donde describe los módulos individuales extensibles, los acoplables y no acoplables, “El término no acoplables está directamente relacionado a las células habitables, concebidas por procesos industriales que no permiten la adición de nuevos módulos para ampliar o modificar el sistema” (Alkmim, 2012: 23). También se puede lograr a través de la forma de inserción cuando se trata de una construcción vertical que puede ser elementos insertos en una estructura central o en una estructura llamada “de botellero” que es una retícula estructural donde tiene cabida los elementos modulares.

Con lo anterior se distingue un panorama en la utilización de las características a considerar al momento de diseñar un elemento constructivo modular. La modulación en la arquitectura constituye un elemento importante para la optimización de los recursos materiales, puesto que si un diseño se realiza tomado en cuenta las dimensiones de los materiales con que será construido, es posible reducir desperdicios de material, lo que también favorece a la reducción de costos en la construcción.

Para fines de este estudio el término módulo se entenderá como elemento constructivo de una forma geométrica determinada, utilizado en conjunto como componentes constructivos para definir espacios dentro de una vivienda (ya sea muros, losas, pisos, entre otros.). Partiendo de los conceptos de fractalidad y autosimilitud un módulo constructivo es un fracción de un elemento constructivo

que al unirse con fracciones similares constituyen un elemento completo, el cual a su vez constituye lo que es una célula habitacional y finalmente una vivienda o un edificio, a partir de la agregación del módulo básico.

1.1.2. Flexibilidad

El concepto de flexibilidad tiene muchas connotaciones de acuerdo al campo de estudio donde se utilice, flexibilidad como propiedad física y mecánica de los cuerpos relacionada a la elasticidad de los materiales, que es la capacidad de un material de deformarse o doblarse sin romperse. Sin embargo en este estudio para en el ámbito de la arquitectura y la construcción, la flexibilidad se define en relación a la adaptabilidad de los espacios, que se refiere a la adecuación de los elementos constructivos que conforman los espacios habitables a las diferentes necesidades del usuario de una vivienda.

El término flexibilidad se asocia con otros conceptos como versatilidad, polivalencia, multifuncional, espacios abiertos, entre otros. Características que definen al espacio como área de múltiples actividades. Estos términos le dan al concepto de flexibilidad una connotación de áreas multiusos. Donde un espacio libre puede albergar diversas funciones. Otros términos relacionados a flexibilidad son: transformación, readecuación y adaptabilidad lo cual implica un diferente acomodo de los componentes constructivos en el transcurso del tiempo. Causa (2001) relaciona a esta definición incluyo otros verbos “implica siempre disponer – tramar, pautar, ritmar, que no necesariamente rigidizar otras” (Gausa et al., 2001).

”El concepto de adaptación deriva del proceso del mundo orgánico. Describe la acomodación de un organismo o de distintos miembro de él a su medio, para conservar o mejorar las condiciones de vida” (Bubner, 1979: 26). En este sentido se enfoca a la vivienda y las diferentes demandas espaciales. La flexibilidad se define en relación a cambios, a transformaciones. El hombre es un ser cambiante por naturaleza, es por ello que se ve en la flexibilidad la posibilidad de tener alternativas de acomodo dentro de los espacios habitables que constituyen la vivienda.

Para Gausa (2001) Flexibilidad significa tener una mayor multiplicidad de opciones, una manera más fácil de escoger. “El objeto no es el flexible, sino que, las múltiples alternativas de escoger objetos similares y competitivos, se convierten en las formas que adopta la flexibilidad” (Gausa et al., 2001). De este modo se pueden tener espacios abiertos, que permitan transformaciones continuas, con poco gasto de recursos.

“La flexibilidad actualmente define al espacio arquitectónico como un sistema capaz de ser readecuado con dos fines primordiales, responder más eficientemente a las cambiantes necesidades de nuestra sociedad, permitiendo el libre desarrollo de los individuos y sus actividades; así como también la sensata utilización de los recursos empleados en la construcción y funcionamiento de dicho espacio arquitectónico” (Colmenarez, 2009: 6). La importancia de la flexibilidad en los sistemas constructivos radica precisamente en la optimización, tanto de los recursos, como del espacio habitable, requerimiento que demanda la sociedad actual en constante transformación, así como el planeta mismo, debido a la escasez, sobreexplotación y desperdicio de recursos naturales.

“La arquitectura flexible consiste en edificios diseñados para responder fácilmente a los cambios a lo largo del tiempo de vida, los beneficios de diseñar de esta manera pueden ser considerable: tienen un uso más prolongado, se puede adaptar mejor a sus fines, se acomoda a la experiencia e intervención de sus usuarios; tiene ventajas de innovación técnica más fácilmente; y es económica y ecológicamente más viable” (Kronenburg, 2007: 7). Es posible identificar que de acuerdo a diferentes puntos de vista, la flexibilidad conserva una misma esencia, responder a las cambiantes necesidades de los usuarios, lo que se refiere a espacios modificables.

En relación a lo anterior, la flexibilidad se retoma como capacidad de transformación y no la flexibilidad y maleabilidad de objeto mismo. El ser humano no permanece estático, a lo largo de su vida experimenta diversas transformaciones, las cuales se plasman en necesidades y actividades que requieren diferentes espacios en la vivienda. “El hombre tiende a seguir algunos

rituales cotidianos variables en las diferentes edades. El uso de un ambiente no es, de hecho, constante, ni en términos cuantitativos ni cualitativos en las varias fases de la vida” (Coppola Pignatelli, 2004: 151). Ante esta premisa Rogers (2010) enfatiza la necesidad de construir edificios susceptibles a futuras modificaciones con el fin de optimizar recursos.

Al tiempo que sirve de marco de la vida ciudadana, los edificios deben responder a las necesidades específicas de sus usuarios. Ello plantea la cuestión de cómo proyectarlos para que cumplan los requisitos exigidos. La vida moderna está cambiando mucho más de prisa que los edificios que le sirven de escenario; así, un edificio industrial se puede convertir en un edificio de oficinas en cinco años y en una universidad en diez. De este modo, los edificios que resulten susceptibles de modificaciones tendrán una vida útil más prolongada y serán más eficientes en el uso de sus recursos. No obstante, proyectar esa flexibilidad de uso supone que la arquitectura, inevitablemente, se aleje de las formas fijas y perfectas. La arquitectura clásica, por ejemplo, extrae su belleza de su composición armónica: nada puede añadirsele o quitársele. Pero cuando la sociedad demanda edificios capaces de responder a requisitos cambiantes, es necesario ofrecer flexibilidad e investigar sobre nuevas formas de expresar belleza dentro de su funcionalidad. (Rogers, 2010: 74)

La flexibilidad en la arquitectura y construcción se asocia con diferentes términos: adaptabilidad, movilidad, evolución, transformación e incluso elasticidad, “La flexibilidad responde a la necesidad de modificar el entorno en el tiempo y es subdividible en tres conceptos: movilidad, evolución y elasticidad” (Colmenarez, 2009: 8) en todos los aspectos implica un cambio, que refiere crecimiento o decrecimiento de los espacios, que también puede ser una readecuación o reacomodo de la distribución de los espacios. “Flexibilizar significa abrir a lo indeterminado, implica siempre disponer: tramar, pautar, ritmar, que no necesariamente rigidizar. Flexibilizar ciertas cosas implica siempre disponer otras” (Gausa et al., 2001)

En relación a la flexibilidad aplicada a la arquitectura, “se tiene el concepto de arquitectura adaptable, es una arquitectura de corta vida que se caracteriza por

acomodarse de forma pasiva o activa a las diferentes funciones y/o requerimientos. Se distingue por ser una arquitectura móvil, transformable, y está diseñada para cumplir ciclos y responder a las diversas dinámicas del hombre” (Franco, Becerra and Porrás, 2011). Por otro lado Kronenburg (2007) señala cuatro características de la arquitectura flexible: adaptación, transformación, movilidad e interacción, que más que características se podrían definir como tipos, de acuerdo a la manera en que las aborda.

- **Adaptable:** edificios diseñados a ajustarse a diferentes funciones, usos y cambios climáticos, es una arquitectura que tiene un ajuste flojo y, a veces se llama la construcción abierta.
- **Transformable:** incluye edificios que cambian de forma, espacios, o apariencia por la alteración física de su estructura, la piel o la superficie interna. Es una arquitectura que se abre, se cierra, se expande y se contrae.
- **Móvil:** incluye edificios que se trasladan de un lugar a otro lugar para cumplir mejor sus funciones, es una arquitectura que rueda, flota o vuela.
- **Interactuable:** incluye edificios que responden a los requerimientos del usuario de manera automática o intuitiva. Es una arquitectura que usa sensores para iniciar cambios en apariencia, ambiente o la operación que están habilitados por sistemas cinéticos y materiales inteligentes.

Por lo anterior es posible identificar que la flexibilidad en la arquitectura se puede dar de diferentes formas, lo cual puede ir desde una casa rodante hasta una casa desarmable, o una casa domótica, sin embargo es importante enfatizar que para este estudio el objetivo principal es el estudio de la flexibilidad transformable, que permite la agregación y desagregación de elementos.

Los edificios flexibles están enfocados a responder a las situaciones de cambio en su uso. Esta arquitectura se adapta en lugar de estancarse; se transforma en lugar de restringir; es móvil en lugar de ser estática; interactúa con los usuarios en lugar de inhibirlos. Esta es una forma de diseño, que por su propia esencia es

interdisciplinaria y multifuncional; en consecuencia es frecuentemente innovadora y expresiva de los temas de diseño contemporáneo (Kronenburg, 2007: 11)

Es importante considerar dos características que deben cumplir los elementos modulares para lograr la flexibilidad del espacio: la primera es la prefabricación, que es la producción de elementos de construcción fuera de su destino definitivo, elementos independientes. Se construyen elementos completos o partes de ellos antes de ser colocados, tratándose de elementos que en la construcción tradicional se realizarían in situ o en taller con procesos industriales.

Una segunda característica es con respecto a la forma de unión de los materiales, la cual se plantea con sistemas constructivos en seco o abiertos. Que básicamente implica que las maneras de unión y fijación de los elementos constructivos sean mediante mecanismos que se puedan quitar y poner, que permita la recuperación de los elementos. Un ejemplo de estos métodos constructivos se puede ver tanto en madera como en metal, que se unen a través de tornillo, pernos o placas.

En relación a ambos conceptos: modulación y flexibilidad, se retoma el planteamiento desarrollado por Luis de Garrido el cual denomina naturalezas artificiales en el que propone la elaboración de elementos constructivos generalistas, que den lugar a la creación de componentes o envolventes constructivas mediante sistemas de ensamble, con lo que se posibilite tres cosas: que sean “*fácilmente ampliables, reducibles y reconfigurables*” (De Garrido, 2012: 32) y son esto elementos precisamente los que se pueden lograr aplicando los términos de flexibilidad y modulación.

Al igual que ocurren en la naturaleza, deben establecerse un conjunto de componentes básicos, capaces de formar todo tipo de organismos y sistemas complejos. Unos organismos que puedan crecer, evolucionar, decrecer, repararse y llegado el momento transformarse o biodegradarse. [...] los componentes básicos deben ser lo más generalistas posibles, con la finalidad de que puedan servir para la creación de la mayor variedad posible de artefactos. [...] éstos deben estar

construidos de un modo tal que todo y cada uno de sus componentes básicos puedan ensamblarse entre sí con la mayor facilidad posible. (De Garrido, 2012: 32)

En este sentido, el término componente básico generalista es en relación a un elemento constructivo estandarizado por así decirlo, que sin embargo puede brindar la posibilidad de múltiples opciones en cuanto a forma y tamaño en una edificación. La importancia de los módulos en cuanto a la optimización de recursos materiales recae asimismo en la forma de utilizarlos, es decir a manera de ensamble, lo cual puede facilitar la manipulación y recuperación de dichos componentes.

1.2. La vivienda y el dinamismo social

El término flexibilidad en relación al espacio habitable de una vivienda, como ya se mencionó anteriormente, hace referencia a los constantes cambios que experimenta la familia o el usuario que la habita a lo largo de su vida, lo cual se refleja en diferentes requerimientos espaciales dentro de ésta, que implican una transformación del espacio, el proceso constructivo de una vivienda es un proceso largo que va en constante transformación dependiendo de las condiciones y etapas que valla teniendo sus habitantes. Es decir es un proceso continuo, sobre todo si se trata de una vivienda autoconstruida.

“Para los japoneses, los indígenas australianos y de hecho para todo el mundo, el acto de hacer un hogar, un lugar para trabajar o para relajarse, es algo que hacemos a lo largo del camino. Es un acto transitorio y continuamente en desarrollo” (Kronenburg, 2007: 13), por tanto es preciso considerar estos cambios al momento de diseñar una vivienda, lo cual puede repercutir en su durabilidad y su funcionalidad.

En proceso de crecimiento familiar transcurre en varias etapas en las cuales ocurren diversas transformaciones: en edades y por consiguiente actividades y rutinas; número de integrantes, incluso condición económica, lo que también se

denomina movilidad social. Todos estos cambios repercuten en la calidad y tamaño de la vivienda donde suceden éstas dinámicas sociales.

El transcurso de estos cambios que experimentan los espacios se dan en la dimensión espacio-tiempo, “el componente espacio-tiempo se identifica con la geometría reimaniana, que tiene la peculiaridad de no ser percibida por los órganos de los sentidos, por lo que desafía el sentido común” (De Hoyos, 2010: 67) y es precisamente el tiempo, la cuarta dimensión que determina el cambio en un determinado espacio, que este caso es la vivienda. Lo que Santos (2000) denomina acontecimiento “a través del acontecimiento podemos observar la constitución actual de cada lugar y la evolución conjunta de los diversos lugares, un resultado del cambio paralelo de la sociedad y del espacio” (Santos, 2000).

Al considerar que la suma de estos acontecimientos dados en un determinado tiempo, son un actuar de acuerdo a la edad de cada individuo que habita un espacio, el cambio de los seres humanos radica en el crecimiento constante y el paso por diferentes etapas de la vida. Al hablar de cambio, de fases en las etapas de la vida, es necesario abordar el término de movimiento que se relaciona con el proceso espacio-tiempo “Si existe movimiento, entonces existe tiempo: la cuarta dimensión del espacio de la geometría no lineal” (De Hoyos, 2010: 76), que se podría definir como la vivienda siendo habitada en diferentes etapas y ciclos.

“A lo largo de nuestras vidas tenemos diferentes ciclos, la niñez, la adultez y la vejez. En fin, todos estos comportamientos nos llevan a confirmar que lo único permanente es el cambio y por ende necesitamos dinámicas productos, interfaces, arquitecturas, ciudades flexibles y adaptables que se ajusten a las necesidades reales de la humanidad” (Franco, Becerra and Porras, 2011: 11). Es por tanto que a partir de estas premisas se puede deducir que la flexibilidad se logra con el diseño de espacios a partir de la geometría no lineal, donde el tiempo repercute en el cambio o transformación de la delimitante espacial de la vivienda.

Y partiendo del movimiento, de acontecimientos y sucesos que se dan en un punto en el espacio y en determinada temporalidad, se retoma la teoría de Milton Santos

de los flujos y los fijos, considerando los flujos como las personas en movimiento, en crecimiento dentro de un espacios; y los flujos como los elementos estáticos que delimitan los espacios dentro de una vivienda, De Hoyos explica la teoría de Milton Santos desde una perspectiva arquitectónica, “concibe el espacio (en la arquitectura) como fijo y la espacialidad como movilidad, [...] Los flujo en el diseño son ampliamente referidos en el proceso de creación, mientras que los fijos se definen por ser el objeto en el espacio (De Hoyos, 2010: 95).

Sin embargo los fijos también son susceptibles a cambio, que tienen lugar a partir del movimiento de los flujos, es decir de las personas “a partir der del principio de transformación de los espacios construidos, que a pesar de estar fijos, sufren modificaciones a partir de los flujos, es decir de las rutinas que con el tiempo las personas asignan a su lugar (De Hoyos, 2010: 111). En el proceso de ocupación de una vivienda es posible identificar el concepto de los flujos mediante el análisis de la célula familiar que Coppola analiza haciendo énfasis en los diferentes requerimientos espaciales en una vivienda de acuerdo a la etapa familiar que se vive.

Ante esta premisa el término de flexibilidad con su aplicación en el ámbito de la vivienda, pretende responder a una nueva condición de ésta: el dinamismo, lo que implica que una vivienda sea diseñada y construida para poder adaptarse con facilidad a los cambios que experimenta una familia a lo largo de su vida, que en términos constructivos significa agregar o desagregar componentes que conforman espacios para la vivienda.

1.3. La métrica y la geometría: modulación en la forma

Una vez analizado los términos de modulación y flexibilidad, una parte importante para constituir las formas de un elemento modular es la geometría. Dentro de la construcción modular, la geometría y la medida son dos elementos indispensables para lograr una optimización del espacio en relación a los materiales tomando en cuenta la escala humana y ergonomía.

El papel de la geometría con respecto a la arquitectura va en relación al estudio de la forma de los elementos que constituyen la envolvente de los espacios arquitectónicos, dichas formas modeladoras del espacio se analizan para el presente trabajo se identifica la aplicación de dos enfoques de estudio dentro de ésta rama de las matemáticas, que dan pauta a un análisis profundo de múltiples posibilidades que ofrece la geometría para la construcción de elementos modulares: la geometría euclidiana y la geometría fractal.

Como definición la “Geometría significa etimológicamente “medición de la tierra”, y es en este sentido genérico como se ha retomado por el carácter simbólico que adquiere a partir de su utilidad en el trazo, delimitación y organización del espacio del hombre” (Bernal and De Hoyos, 2012), dicho espacio en relación a la arquitectura se delimita por elementos constructivos que tienen forma y medida, que tienen la posibilidad de ser modulares, es decir, seguir un patrón de forma y/o medida.

A lo largo de la historia en la arquitectura ha estado presente el patrón que tiene lugar tomando de referencia elementos de medida al alcance, es decir, el cuerpo humano. “Las medidas, como señala Vitrubio, han estado siempre basadas en la figura humana, como ejemplo obvio tenemos el pie, pero algunas de las demás, como la palma, el dedo y el codo, ya son arcaicos” (Pedoe, 1976) sin embargo hoy en día aún permanece vigente el sistema de medida basado en la proporciones humana expresados en Pulgadas, pies y yardas principalmente.

En relación a esto “Vitrubio nos dice que los griegos antiguos diseñaban sus templos de acuerdo a las proporciones humanas [...] se refirió a la distancia entre columnas y a la altura correcta de éstas, medidas ambas expresadas en términos de diámetro columna. Ese elemento, elegido para expresar las proporciones de la estructura completa (tal como los pies lo hacen respecto de las proporciones del cuerpo humano), se llama módulo, concepto que desempeña un importante papel a todo lo largo de la historia de la arquitectura” (Doczi, 1996), la modulación se puede lograr tanto en la relación de medida de separación de una columna a otra, como en los elementos estructurales y ornamentales de sus edificios con

dimensiones y formas específicas. En la imagen 2.1 se puede observar la modulación de medida y proporción en el Partenón.

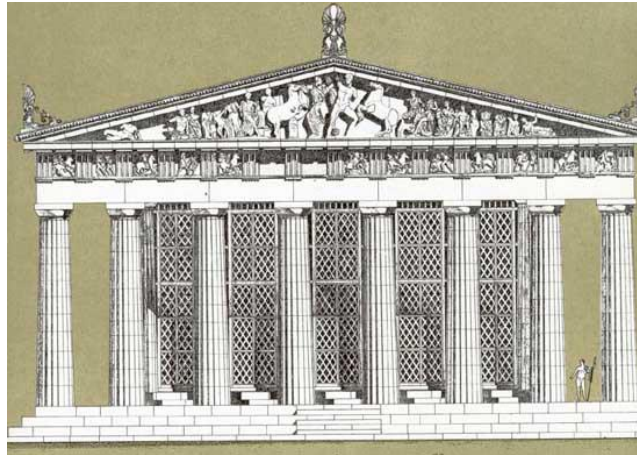


Imagen 1. 2 patrones de medida en Partenón

Fuente: <http://art1arquitectura.blogspot.mx/2011/05/el-partenon-y-la-divina-proporcion.html>

Los elementos modulares dentro de la geometría han sido estudiados desde diferentes enfoques, que van desde las medidas proporcionales basadas en el cuerpo humano, que los griegos utilizaban en las construcción de sus templos; las formas planas, polígonos, fundamentadas en fórmulas matemáticas; hasta la geometría que implica la relación espacio-tiempo que considera la cuarta dimensión, que puede ser medida a manera de fractal, a través de medidas irracionales.

“Una gran revolución de ideas separa las matemáticas clásicas del siglo XIX de la matemática moderna del siglo XX. Las matemáticas clásicas tenían sus raíces en las estructuras geométricas regulares de Euclides y las continuas evoluciones dinámicas de Newton. Las matemáticas modernas comenzaron con la teoría del set de Cantor and la curva que llena el espacio de Peano” (Bovill, 1996: 17).

Con el estudio de la geometría en la relación espacio-tiempo, surge un nuevo enfoque que separa la geometría en plana y no lineal, la geometría tradicional, denominada Euclidiana que considera el estudio de las figuras planas y volúmenes en las tres dimensiones del plano cartesiano; con la geometría no lineal, Reimanniana, dentro de la que puede ser considerada la geometría fractal, “El componente espacio-tiempo se identifica con la geometría reimanniana, que

tiene la peculiaridad de no ser percibida por los órganos de los sentidos, por lo que desafía al sentido común” (De Hoyos, 2010: 67) En la tabla 2.1 se pueden ver de manera resumida la diferencia entre ambas geometrías.

Tabla 2. 1 Diferencia entre la geometría euclidiana y la fractal

| Euclidiana | Fractal |
|---------------------------------------|--|
| Dimensión entera | Dimensión fractal |
| Trata objetos hechos por el hombre | Apropiada para formas naturales |
| Descrita por formulas | Algoritmos recursivos (iteración) |
| Tradicional (más de 2000 años de uso) | Moderna (aproximadamente 10 años de uso) |

Fuente: (De Hoyos, 2010: 75)

A partir de la descripción de las vertientes que facilita el estudio de las formas geométricas es posible identificar algunas teorías en cuanto a la proporción y forma que pueden dar pauta a la identificación de elementos modulares factibles para su desarrollo y utilización en la construcción.

1.3.1. Sección aurea

La sección aurea es la proporción armónica que rige el crecimiento de todas las cosas presente en la naturaleza y desde su descubrimiento ha sido motivo de profundos estudios y aplicación tanto en obras arquitectónicas como en trabajos artesanales, tratándose de obras creadas por el hombre, “Las proporciones de la naturaleza se han intentado atrapar tanto en el arte como en la arquitectura clásica con patrones” (De Hoyos, 2010). Su importancia radica en ser el patrón de crecimiento de la naturaleza que mantiene siempre una proporción armonica, en términos matemáticos “La sección aurea puede ser definida como la proporción entre dos secciones de una línea, o las dos dimensiones de una figura plana en la

cual la menor de las dos es a la mayor como la mayor es a la suma de ambas. Esto puede ser expresado algebraicamente por la ecuación de las dos proporciones $a/b=b/(a+b)$ ” (D.K. Ching, 1945: 314), en palabras de Doczy es “la relación recíproca exclusiva entre dos partes desiguales de un todo, en la que la parte pequeña es a la mayor lo que está es al todo” (Doczi, 1996), que también puede ser representado por el número de oro equivalente a la cantidad fraccionaria “1.618” (Bonell, 1994).

En relación con la sección aurea está la serie sumatoria de nominada fibonaccci progresión “Cada periodo siguiente es la suma de los dos precedentes, y la proporción entre dos consecutivos periodo tiende a aproximarse a la sección aurea como la serie de progresión al infinito” (D.K. Ching, 1945: 314), que también es un referente de patrón de crecimiento presente en la naturaleza, donde los valores son en resultantes en división con el anterior da como resultado el número de oro, “Cualquier número de esta serie dividido por el siguiente da un resultado cercano a 0,618 ... y cualquier número dividido por el anterior, un resultado cercano a 1,618 ... , es decir los cocientes proporcionales característicos entre las partes menor y mayor de la sección áurea” (Doczi, 1996).

Con respecto a la forma geométrica, su estudio ha sido plasmado en el denominado rectángulo aureo, a partir del cual se genera una curva logarítmica que tiene las siguientes características de acuerdo a Bonell (1994): tiene una continuidad al infinito, puede repetirse indefinidamente y mantiene la forma constante; por otro lado “el número de oro participa también en la construcción de otra figura geométrica, el pentágono, que subtiende esquemáticamente la morfología de los organismos vivos basados en la simetría dinámica pentagonal” (Bonell, 1994: 23) en la imagen

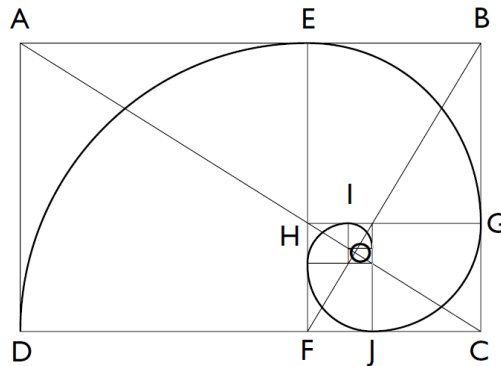


Imagen 1. 3 Geometrías de la sección aurea

Fuente: (Bonell, 1994)

En el campo de la arquitectura ésta proporción armónica ha tenido mucha aplicación a lo largo de la historia, considerando que este patrón rige el crecimiento en la naturaleza, un elemento de estudio ha sido sin duda el ser humano a través del estudio de las proporciones de su cuerpo y su aplicación en relación a las medidas empleadas en la arquitectura. “Se ha demostrado – especialmente en el renacimiento – que el cuerpo humano obedece a una regla áurea. Cuando los anglosajones adoptaron sus medidas lineales, se estableció una correlación entre el valor pie y el valor pulgada, lo cual se extiende (implícitamente) a los valores correspondientes del cuerpo. En lo sucesivo, quedó consagrada la traducción de nuestro Modulor a base de 6 pies (182.88 centímetros) en valores llenos”. (Le corbusier, 1980: 53).

El modulator de Le Corbusier es precisamente un patrón de medida en base a la sección aurea que ha sido utilizado para proporcionar los edificios en base a medidas antropométricas. “El Modulor es un aparato de medida fundado en la estatura humana y en las matemáticas. Un hombre-con-el-brazo-levantada a los puntos determinantes de la ocupación de espacio”. (Le corbusier, 1980: 51), Una peculiaridad de la sección aurea es que la medida de los elementos geométricos con que se representa (rectángulo áureo) no equivale a un número entero, en relación al sistema métrico decimal, noción reflejada en el modulator equivalente a 6 pies (182.88 cm) Le Corbusier estaba en contra del sistema decimal y argumentaba que era un sistema despersonalizado, por lo que en el desarrollo de

éste sistema modular empleó el sistema métrico inglés. En la imagen se puede observar el modulator de Le Corbusier.

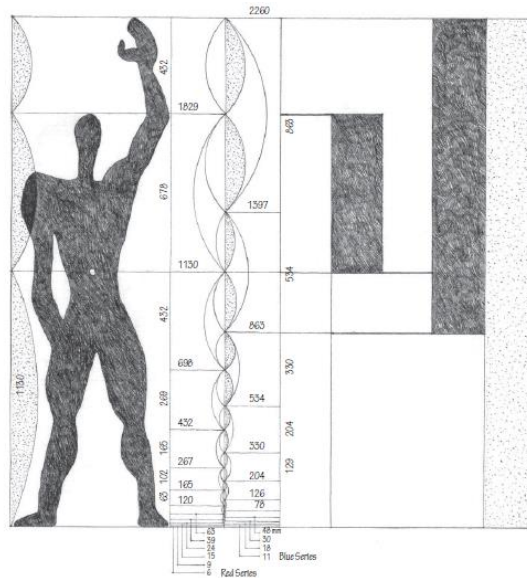


Imagen 1. 4 Modulator de Le Corbusier
Fuente: (D.K. Ching, 1945)

Por tanto, en lo referente a la modulación y la aplicación de la sección aurea, el modulator constituye un claro ejemplo, “Le Corbusier veía al modulator no solamente una serie de números con una exclusiva armonía, sino como un sistema de medición que podía regir longitudes, superficies y volúmenes y mantener la escala humana en todas partes. Esto podría prestarse a una infinidad de combinaciones, unidad con diversidad... el milagro de los números” (D.K. Ching, 1945: 331).

Se puede identificar una relación entre medida armonía y multiplicidad de opciones donde la sección aurea toma partido al regir las proporciones y por consiguiente la medida de los espacio arquitectónicos, conservando de este modo la relación de cada parte de un edificio con el todo. “El poder de la sección áurea para crear armonía, surge de su exclusiva capacidad de aunar las diferentes partes de un todo, de modo que, conservando cada una de su propia identidad, las combina no obstante en el patrón mayor de un todo único” (Doczi, 1996: 13). Y esta relación proporcional se puede ver reflejada desde la distribución de los espacios arquitectónicos de un edificio hasta los elementos ornamentales de la envolvente, de lo cual se tiene muchos ejemplos en la arquitectura antigua.

1.3.2. Geometría fractal, teselaciones y sólidos platónicos

Con respecto a la modulación y al crecimiento, la geometría fractal constituye un elemento importante a tomar en cuenta, siendo que, como su nombre lo indica, pequeñas fracciones de un todo que puede expresar desde fracciones de medida de un territorio completo (un mapa), las formas geométricas complejas de la naturaleza (nubes, plantas.), hasta sucesos en parámetros que no son perceptibles mediante los sentidos como el ritmo cardíaco (los latidos del corazón); por tal razón la fractalidad es aplicada en múltiples campos del conocimiento, dentro de la geometría, su estudio se considera dentro de la geometría no lineal.

“Los parámetros fractales han demostrado su capacidad para describir distribuciones de agregados en la geometría no euclidiana que en la actualidad se desarrolla a través de fractales, los cuales de forma algebraica definen patrones de movimiento orgánico” (De Hoyos, 2010: 73). La geometría fractal constituye un lenguaje a través del cual es posible representar elementos tan diminutos como una bacteria o tan gigantescos como el espacio exterior. La geometría fractal es principalmente utilizada para la representación de formas complejas y fenómenos rítmicos presentes en la naturaleza, su campo de aplicación es muy amplio, que va desde las ciencias naturales hasta las ciencias exactas.

La geometría fractal es representada por fragmento en diferentes escalas. “Un fractal como una figura geométrica cuya estructura básica, fragmentada o irregular, se repite a diferentes escalas. Esto es, una figura geométrica compuesta por fragmentos en una infinita variedad de tamaños, tales que cada uno de ellos es una copia reducida del total (“la parte contiene al todo”). (Luque, 2013). En el área de la arquitectura su aplicación ha sido posible gracias a la utilización de la tecnología, mediante los ordenadores, puesto que al ser medidas fraccionaria a diferentes escalas, no es posible su estudio a través de la geometría euclidiana, pues su manejo es mediante algoritmos.

Hay dos maneras de que los conceptos fractales pueden ser utilizados en la arquitectura y el diseño. En primer lugar, la dimensión fractal de un diseño

puede ser medida y utilizada como una herramienta crítica. A modo de ejemplo, la falta de progresión de textura podría ayudar a explicar por qué algunos la arquitectura moderna nunca fue aceptada por el público en general. Es demasiado plana. En segundo lugar, las distribuciones fractales se pueden utilizar para generar ritmos complejos para su uso en el diseño. A modo de ejemplo, la dimensión fractal de una cresta de una montaña detrás de un proyecto de arquitectura se podría medir y se utiliza para guiar a los ritmos fractales del diseño del proyecto. (Bovill, 1996: 6)

Un concepto presente en los fractales, que se estudia dentro de los elementos modulares es la auto-similitud de las formas, que implica una repetición de la forma a diferentes escalas, “Una estructura es auto-similar si ha experimentado una transformación por la cual la dimensión de su estructura fue totalmente modificada por el mismo factor de escala. La nueva forma puede ser más pequeña, más grande, girada y/o trasladada, pero su forma permanece similar. Similar significa que las proporciones relativas de los lados y los ángulos internos de las formas permanecen iguales” (Bovill, 1996: 14) entre los ejemplos más conocidos está el copo de nieve de Koch y el triángulo de Sierpinski, que se pueden observar en la figura 2.4.

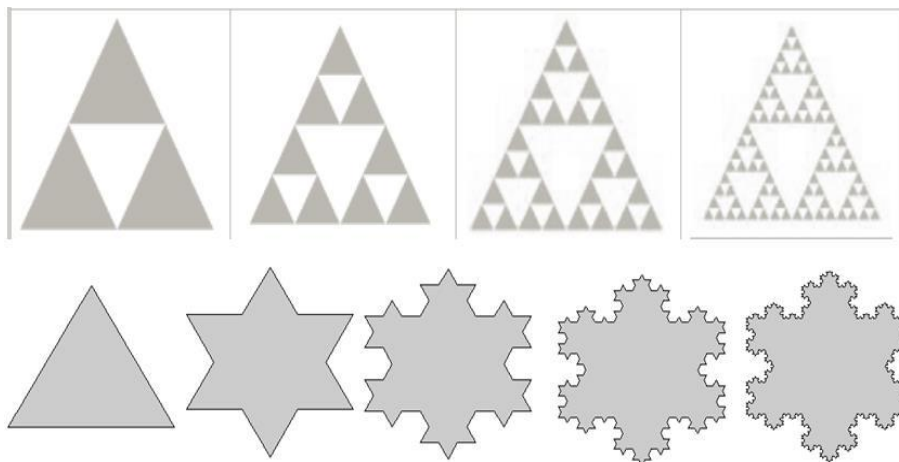


Imagen 1. 5 Copo de nieve de Koch y el triángulo de Sierpinski
Fuente: http://www.icmat.es/cultura/graffiti/para_docentes.html

La peculiaridad de los fractales es que sigue un patrón en diferentes escalas, de manera que el componente mayor está compuesto de elementos más pequeños pero de la misma forma, y el patrón se puede repetir de manera infinita tanto en crecimiento como decrecimiento, lo que permite una análisis tanto microscópico como en escala macro. La relación de auto-similitud que se ve expresada en los fractales también la podemos encontrar en las denominadas teselaciones, que a diferencia de los fractales la medida de las formas geométrías permanece constante, es decir no mantiene una constante de crecimiento o decrecimiento.

“Una teselación es una manera de llenar un plano entero con formas congruentes sin superposiciones o huecos” (Pottmann et al., 2007: 152), mediante formas similares, polígonos, que recubren totalmente un plano con la repetición de una o más patrones de formas. A diferencia de los fractales, las teselaciones al ser figuras planas, su estudio es posible a través de la geometría euclidiana. Las teselaciones pueden ser de tres tipos, dependiendo del tipo de formas que se utilicen, ya sean polígonos regulares o formas completamente irregulares que son congruentes entre si y configuran el llenado de un plano. Los tipos de teselaciones son: regulares, semi-regulares e irregulares.

Las Teselaciones regulares están formadas de la repetición de un polígono regular, “Existen tres Teselaciones regulares debido al hecho de que el ángulo del vértice de las baldosas debe ser un divisor de 360 grados. Por lo tanto, sólo tenemos Teselaciones regulares con triángulos regulares, cuadrados y hexágonos” (Pittman et al., 2007: 152), puesto que cualquier otra figura regular no sería capaz de tapizar completamente un plano, dejaría huecos que se tendrían que llenar con otras figuras, éstos teselados regulares de pueden observar en la figura 2.5

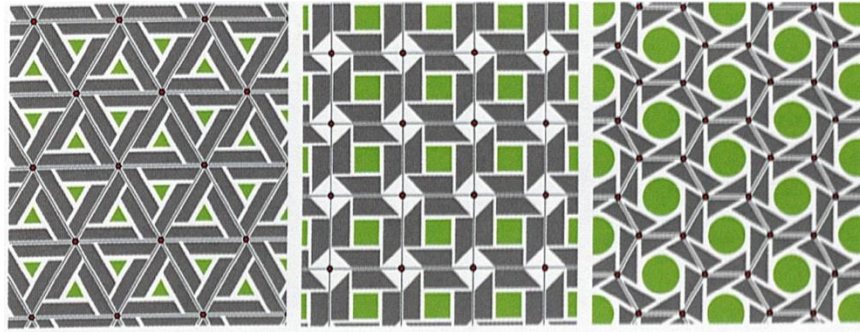


Imagen 1. 6 Teselaciones regulares a base de triángulos, cuadrados y hexágonos

Fuente: (Pottmann et al., 2007)

Las Teselaciones irregulares están conformadas por formas geométricas como su nombre lo indica, totalmente irregulares, en este grupo, por tal motivo pueden tener múltiples posibilidades, este tipo de Teselaciones es muy común.

En cuanto a las teselaciones semi-regulares tienen la característica de combinar 2 o más formas de polígonos regulares. En este caso solo existen 8 teselaciones que cumplen con esta característica.

“Considerando las teselaciones que usan dos o más polígonos regulares diferentes, añadimos una regla que cada vértice debe tener la misma configuración, esto significa que cada vertice tener que tener el mismo número y la misma secuencia de congruencia de polígono regular. Teselaciones que siguen esta regla son llamados semirregulares” (Pottmann et al., 2007: 154). Una peculiaridad de este tipo de teselaciones es que guardan una relación con los sólidos arquimedianos o semirregulares, que son *“poliedros convexos que están constituidos por dos o más tipo de polígonos regulares, por tanto todos sus vetices piramidales son congruentes”* (Pottmann et al., 2007: 91) puesto que mantienen la misma configuración de formas que dichos sólido solo que de forma plana.

“Tenemos también cinco poliedros platónicos regulares y 13 poliedros de Arquímedes semi-regular. En el plano tenemos ocho teselaciones semi-regulares diferentes” (Pottmann et al., 2007: 154), con la diferencia en la cantidad de teselaciones con respecto a los sólidos arquimedianos. En la imagen 2.6 se puede observar que tanto las figuras planas como los volúmenes tienen relación respecto al patrón de figuras que siguen, por ejemplo la teselación que sigue el

patrón 3, 12, 12, corresponde al dodecaedro truncado de las figuras volumétricas. Salvo que en algunos casos el número de lados de las formas planas aumenta, probablemente por el hecho de ser plano.

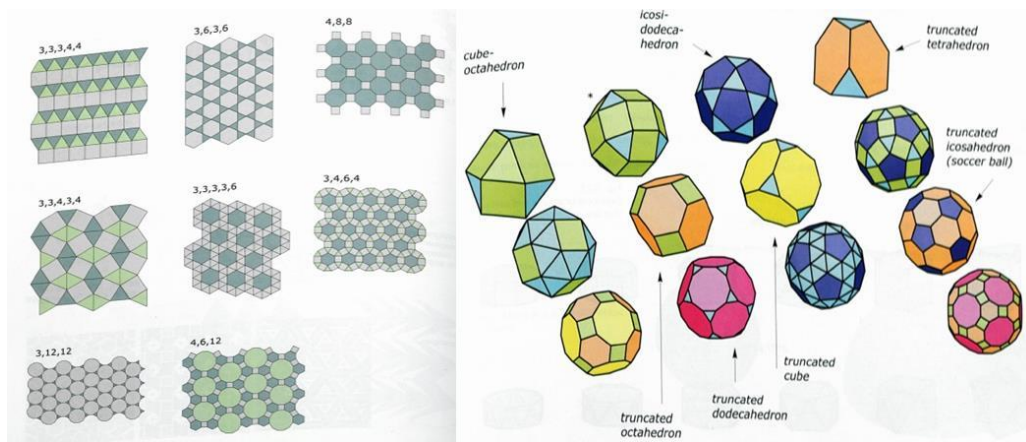


Imagen 1. 7 Teselaciones planas y Sólidos Arquimedianos
Fuente: (Pottmann et al., 2007)

Las Teselaciones constituyen una forma de seguir patrones a través de polígonos planos de diferentes formas que posibilita mediante la combinación de figuras simples una múltiple variedad de alternativas de formas modulares, este tipo de repeticiones de patrones en forma plana se pueden encontrar desde artesanías de hasta en pisos y fachadas de los edificios.

Por otro, lado en forma volumétrica, los sólidos platónicos y arquimedianos también representan un ejemplo de las alternativas que ofrecen las formas geométricas regulares, que van desde la más sencilla que son el triángulo y el cuadrado, hasta el dodecágono.

El estudio de las múltiples posibilidades geométricas tanto de las Teselaciones como de los sólidos platónicos ha sido estudiado a través de la papiroflexia, donde, de manera volumétrica a través de doblados y en los sólidos arquimedianos mediante la agregación de forma similares se pueden lograr interesantes composiciones, y de este modo también se puede prever el comportamiento estructural de una envolvente a escala elaborada de papel.

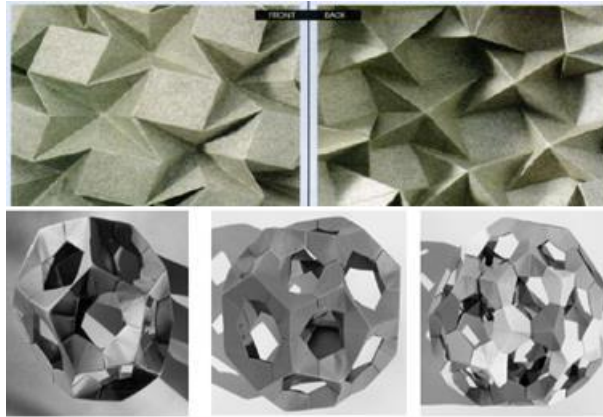


Imagen 1. 8 Papiroflexia y modulación

Fuente: (Larios, 2004)

1.3.3. Formas modulares presentes en la naturaleza

En las últimas décadas, en la búsqueda de nuevas formas aplicables a la arquitectura, surge una tendencia del estudio de las formas presentes en la naturaleza y su comportamiento, principalmente estructural, para su aplicación en el ámbito de la arquitectura, si bien es cierto que la imitación de las formas y mecanismos presentes en la naturaleza, no es una novedad, sin embargo la ventaja con la que se cuenta hoy en día es el gran avance tecnológico que hace posible el un estudio más profundo de los organismos naturales y en cuestiones formales mediante software es posible lograr el desarrollo de las figuras para su posible aplicación a estructuras y envolventes en edificios.

Uno de los grandes arquitectos que se caracteriza por tomar en cuenta las formas presentes en la naturaleza es Frei Otto, su obra se inclinó más a las tensoestructuras y membranas livianas, donde gracias la observación de estructuras presentes naturaleza pudo experimentar y proponer formas orgánicas livianas, además de lograr la optimización de materiales al construir las superficies mínimas posible, en el caso de las cubiertas que fue en lo que más desarrolla su obra, en la imagen se puede observar las formas orgánicas que desarrolla en las cubiertas.



Imagen 1. 9 obra de Frei Otto

Fuente: <http://www.archdaily.mx/mx/763571/la-obra-de-frei-otto-en-10-imagenes>

La idea de analizar los elementos arquitectónicos desde una perspectiva biológica a ha dado lugar a la llamada arquitectura biónica o biomimética. *“La biónica se ocupa de la aplicación de soluciones biológicas a la tecnología moderna, aunque estemos acostumbrados a verla aplicada a un contexto médico. Su campo se extiende a sistemas de ingeniería y arquitectura tratando la relación forma/función y entrando en el dominio de la morfología funcional, definiéndola en el campo de la construcción como biomorfica”* (Rossi, 2009), a través de estudio de este tipo de mecanismo resultan también formas modulares.

De la tendencia a analizar la naturaleza resultan formas interesantes que se logran a través de un determinado número de patrones diferentes aplicados para crear envolventes de figuras complejas que requieren del respaldo de sistemas informáticos para su mayor precisión en la elaboración. Un ejemplo de edificios cuya forma retoma elementos de la naturaleza es el estadio nacional de Beijing, el cubo de agua, el cual se puede observar en la imagen 1.10.



Imagen 1. 10 Cubo de agua, Estadio nacional de Beijing
Fuente: <http://conciencia-sustentable.abilia.mx>

No obstante a pesar de la complejidad que representan las formas abstraídas de la naturaleza, a través de la geometría se pueden simplificar en formas básicas, como ejemplo esta la envolvente desarrollada como ejercicio de un análisis biomimético. El resultado fueron elementos compuestos de módulos básicos que en forma rectangular con un hueco en forma de elipse en cada módulo.



Imagen 1. 11 Envolvente bau-bionik
Fuente: (Nachtigall and Pohl 2013, Bau bionik)

El análisis de las diferentes teorías en cuanto a forma que ofrece la geometría permite identificar características de patrones y proporciones que pueden ser consideradas al diseñar un elemento modular constructivo. A partir de elementos geométricos básicos se pueden lograr geometrías complejas en la envolvente de un edificio.

1.4. Antropometría y ergonomía: medida de la forma

Al construir elementos modulares que serán parte de un sistema constructivo, es importante tener en cuenta al usuario de los espacios habitables. Que implica tanto la percepción del espacio habitable así como las medidas adecuadas que permitan al usuario moverse en el entorno construido. Para estos aspectos es necesario tomar en cuenta dos disciplinas de estudio del hombre: la ergonomía y la antropometría. La ergonomía incluye diversos aspectos referentes a interrelación del hombre con su entorno, la manera en que percibe el entorno, para un estudio mayormente detallado se desglosa en diversas áreas y factores. La antropometría es una rama de la ergonomía.

1.4.1. Factores ergonómicos en el diseño de los espacios arquitectónicos

“La ergonomía estudia los factores que intervienen en la interrelación hombre-artefacto, afectados por el entorno” (Cruz and Garnica, 2010: 34). En el ámbito arquitectónico considera los factores de la percepción del espacio, si consideramos que “el artefacto es todo objeto utilitario para el servicio y comodidad del hombre” (Cruz and Garnica, 2010: 35), la vivienda por consiguiente puede ser considerada un artefacto. Así como todos los elementos que interfieren para la integración de los espacios habitables (elementos constructivos, mobiliario, etc.).

Los factores ergonómicos que deben ser considerados en el diseño en general, se denominan factores humanos y se dividen en: fisiológicos, psicológicos y sociales. Dentro de los fisiológicos se consideran “todos los factores biológicos que atañen al hombre como ser dinámico y cambiante en sus funciones vitales, con un proceso de desarrollo de cualidades orgánicas observables y mensurables” (Cruz and Garnica, 2010: 40). Dentro de los que se puede considerar el proceso de crecimiento y las diferentes etapas por las que pasa el hombre.

Los factores biológicos a su vez se dividen en estructurales y funcionales. Los primeros son estudiados por la anatomía que identifican la forma, ubicación y composición, y la antropometría se encarga de determinar las dimensiones de los órganos del cuerpo humano. Medidas que se consideran al momento de dimensionar espacios arquitectónicos y al definir las dimensiones de los espacios mínimos para que puedan ser funcionales.



Imagen 1. 12 Percepción del espacio arquitectónico

Fuente: <http://www.descroll.com/architecture/house-in-itami-tato-architects>

En cuanto a los factores funcionales “se refieren al hombre como organismo activo con sus capacidades cinéticas, homeostáticas y de desarrollo y sustitución de tejidos; abarca los órganos sensoriales” (Cruz and Garnica, 2010: 49). Y son los sentidos los encargados de recibir los estímulos del exterior generados por el ambiente en que se desenvuelve el hombre. Tanto la vivienda como cualquier otro espacio arquitectónico donde permanece el usuario influyen en la creación de estímulos para la percepción del espacio en la que interfieren todos los sentidos.

“Todo ser viviente está sujeto al ambiente que lo rodea. El aire que respiramos nos mantiene en dependencia con el entorno”. Una de las necesidades de supervivencia del hombre es “mantener el equilibrio fisiológico interno, que puede ser alternado por los agentes físicos del medio ambiente y a los cuales debe adaptarse. Estas necesidades son: oxígeno, equilibrio térmico, luz solar, control de sonidos y vibraciones entre otros” (Cruz and Garnica, 2010: 49). Estos factores dependen de agentes externos y por tanto de la calidad de los espacios arquitectónicos.

Para una mejor comprensión de los aspectos ergonómicos que se dan a partir de estímulos externos, está la ergonomía ambiental que “es el área de la ergonomía que se encarga del estudio de las condiciones físicas que rodean al ser humano y que influyen en su desempeño al realizar diversas actividades, dichas condiciones son: el ambiente térmico, nivel de ruido, nivel de iluminación y vibraciones” (Vicioso, 2012). En el diseño arquitectónico, estos factores se logran con los materiales y elementos constructivos con buenas propiedades y un diseño adecuado. De acuerdo a Vicioso (2012) Las condiciones ergonómicas a tomar en cuenta para lograr ambientes agradables son las siguientes:

- **Ambiente sonoro:** el ruido se puede caracterizar psicológicamente por resultar molesto e indeseable, físicamente por su aleatoriedad espectral y de intensidades. El enfoque en esta área es encontrar la forma de reducir, controlar o aislar la emisión de ruido para lograr una condición ambiental óptima.
- **Ambiente lumínico:** la iluminación puede interferir en la adecuada visualización de los objetos y entornos, en el confort y salud visual. Para lograr un agradable ambiente lumínico se estudian los factores de la visión, las fuentes de iluminación, así como las características y requerimientos de las tareas y el entorno.
- **Ambiente térmico:** Para el ser humano es de suma importancia mantener y regular la temperatura interna del cuerpo, que como la materia en general, tiende a igualar su temperatura con el ambiente que lo rodea. es importante proveer un ambiente que permita establecer dicho equilibrio y evite el estrés térmico.
- **Calidad del aire**

La función que pueden aportar los elementos de un sistema constructivo para lograr ambientes agradables en el interior de una vivienda, se explican al analizar las propiedades de los materiales a emplear en los elementos

constructivos. Una de las principales propiedades a considerar al elegir algún material constructivo es la conductividad térmica, pues un material con baja conductividad térmica va a evitar pérdidas o ganancias excesivas de calor, lo cual favorece a una temperatura agradable en el interior de la vivienda.

Otros aspectos para lograr el confort dependen principalmente del diseño de la vivienda en aspectos como orientación, ventilación e iluminación, los cuales a su vez pueden influir en mejorar la calidad del aire y la humedad. La importancia de tomar en cuenta todos estos aspectos radica en la posibilidad de lograr espacios confortables que ofrezcan buenas condiciones de habitabilidad en el interior de la vivienda.

1.4.2. Dimensiones antropométricas

“La antropometría se refiere a la medida del tamaño y proporciones del cuerpo humano. Se basa en la teoría de que las formas y espacios en la arquitectura son o contenedores o extensiones del cuerpo humano y por lo tanto deben ser determinados por sus dimensiones” (D.K. Ching, 1945: 338), que en ámbito de la arquitectura y diseño permite dimensionar artefactos ergonómicos para el uso humano, los espacios que conforman una vivienda pueden ser considerados artefactos y a una escala menor éstos se descomponen en elementos constructivos que delimitan los espacios arquitectónicos.

Estas dimensiones son de dos tipos esenciales: estructurales y funcionales. Las estructurales son las de la cabeza, troncos y extremidades en posiciones estándar. Mientras que las funcionales o dinámicas incluyen medidas tomadas durante el Movimiento realizado por el cuerpo en actividades específicas (Vicioso, 2012).

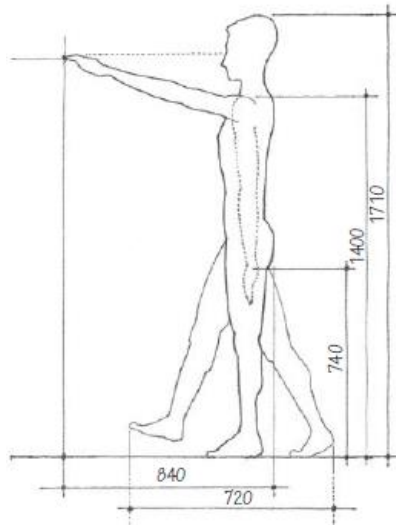


Imagen 1. 13 Antropometría: métrica del cuerpo humano
Fuente: (D.K. Ching, 1945)

“Las dimensiones que se toman en un estudio antropométrico están determinadas por las variables predominantes de la actividad de análisis. Consecuentemente la movilidad postural del sujeto en su accionar resuelve cuales deberían ser las dimensiones” (Cruz and Garnica, 2010: 47). En este caso la unidad de análisis son los espacios arquitectónicos que conforman una vivienda, donde se plantea la modulación como instrumento para dimensionar los espacios obteniendo un mínimo común múltiplo con base en las medidas antropométricas del cuerpo humano.

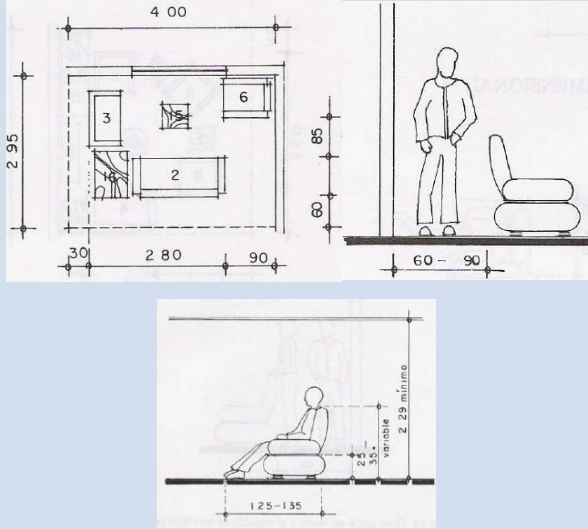
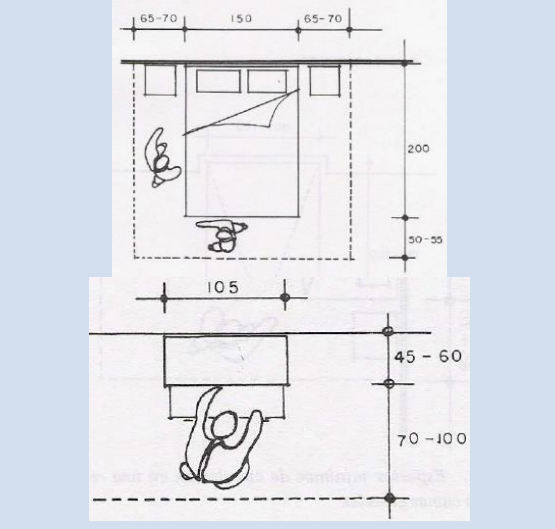
Si bien la unidad de análisis es la vivienda y en una manera más desglosada son los diferentes espacios que conforman la vivienda, las variables se pueden determinar de acuerdo a la actividad a realizar en cada espacio. “Las cuatro funciones base que se desarrollan en la casa habitación son: recuperación, relación, recreación y servicio. Estas cuatro funciones originan partes arquitectónicas que son espaciales para cada actividad según listado y como consecuencia dan origen a las partes características del programa de la casa habitación, clasificadas en tres grupos: recepción de servicios e íntimas” (Plazola, 2001: 147).

De acuerdo a Plazola (2001) se analizan las dimensiones mínimas para diferentes espacios de una vivienda con el fin de obtener un común múltiplo que pueda resultar en una medida para un elemento constructivo modular. De las cuatro funciones base, Plazola desglosa ocho funciones más específicas: 1) leer y estar, 2) comer y beber, 3) Dormir, 4) Cocinar, 5) Aseo de personas, 6) juego de niños y jardinería, 7) Aseo de ropa y casa, y 8) vehicular.

Cada una de las ocho funciones requieren determinado espacio en una vivienda, los cuales no necesariamente tienen que ser específicos para una sola actividad, por ejemplo la función comer y beber puede compartir espacio con la función cocinar. Todas estas actividades requieren de ciertas dimensiones que permitan desarrollar las diferentes actividades de manera óptima. Por lo que para una mejor comprensión se analizan de manera específica cada una de las funciones que puedan dar pauta a unas dimensiones modulares.

El análisis de las dimensiones a tomar en cuenta de los espacios mínimos propuestos por Plazola se enfocaron principalmente en los espacios dinámicos, es decir de circulación y de funciones activas (función cocinar por ejemplo). Y se analizan por pares de funciones que de alguna manera están ligados ya sea por la función que desempeñan o por la localización.

Tabla 1. 2 Funciones de recuperación, relación y recreación

| Función: Estar y leer | Función: Dormir |
|---|--|
|  |  |

| | |
|---|---|
| Espacios arquitectónicos Estancia Sala de T.V Biblioteca Estudio | Espacios arquitectónicos Recamara principal Recamara |
| Circulaciones: de 60 a 90 cm Mobiliario: variable | Circulaciones: de 55 a 60 cm Área dinámica: 70 – 100 cm Mobiliario: variable |

Fuente: Elaboración propia con imágenes de (Fonseca, 2002)

Las funciones estar y leer; y dormir se refieren a los espacios donde es posible la recuperación, la relación y la recreación, en diferentes niveles de privacidad. Donde entran diferente mobiliario que se deben tomar en cuenta al dimensionar espacios.

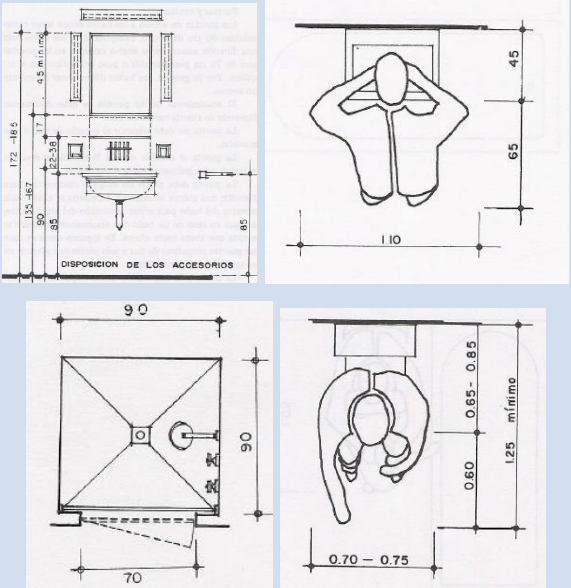
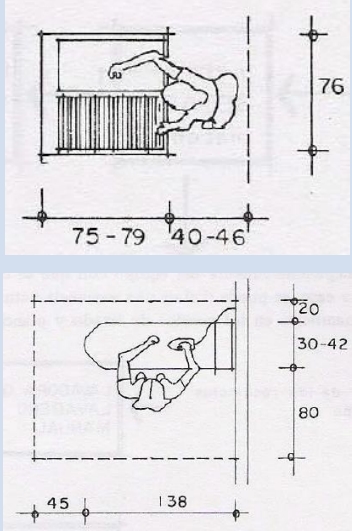
Tabla 1. 3 funciones de servicio

| | |
|--|--|
| Función: Comer y beber | Función: Cocinar |
| | |
| Espacios arquitectónicos Comedor Desayunador | Espacios arquitectónicos Cocina |
| Circulaciones: de 55 a 60 cm Mobiliario: variable | Circulaciones: 45 a 50 cm Área de trabajo: 95 cm Mobiliario: variable |

Fuente: Elaboración propia con imágenes de (Fonseca, 2002)

Por otro lado los espacios que desempeñan funciones de servicio son más dinámicos, por tanto es importante considerar un flujo mayor de actividades y por ende espacios suficientes para desempeñar actividades específicas según sea el caso. Ya sea preparado de alimentos, limpieza, aseo de ropa o de las personas, entre otras.

Tabla 1. 4 Funciones de servicio

| Función: Aseo de personas | Función: Aseo de ropa y de casa |
|--|--|
|  |  |
| <p>Espacios arquitectónicos Baño Sanitario</p> | <p>Espacios arquitectónicos Patio de servicios Cuarto de lavado Área de planchado</p> |
| <p>Circulaciones: de 60 a 70 cm Mobiliario: variable</p> | <p>Circulaciones: de 55 a 60 cm Área de trabajo lavar: 40-46 cm Área de trabajo planchar: 80 cm Mobiliario: variable</p> |

Fuente: Elaboración propia con imágenes de (Fonseca, 2002)

Plazola considera otras dos funciones que en total suma ocho: función vehicular y función juego de niños y jardinería, sin embargo éstas últimas no se analizan sus medidas mínimas porque son áreas por lo general exteriores y las medidas son muy variables, dependen del tamaño del terreno.

Otros aspectos a considerar además de las circulaciones entre cada espacio, están las circulaciones generales que incluyen los pasillos de distribución general y las circulaciones verticales, ya sea escaleras, rampas o montacargas. “Existen dos tipos de circulaciones: horizontales y verticales. Las circulaciones verticales son las escaleras y las rampas; también las hay mecánicas como los elevadores, montacargas y las escaleras eléctricas. En el caso de la arquitectura habitacional las más usuales son las fijas” (Fonseca, 2002: 69)

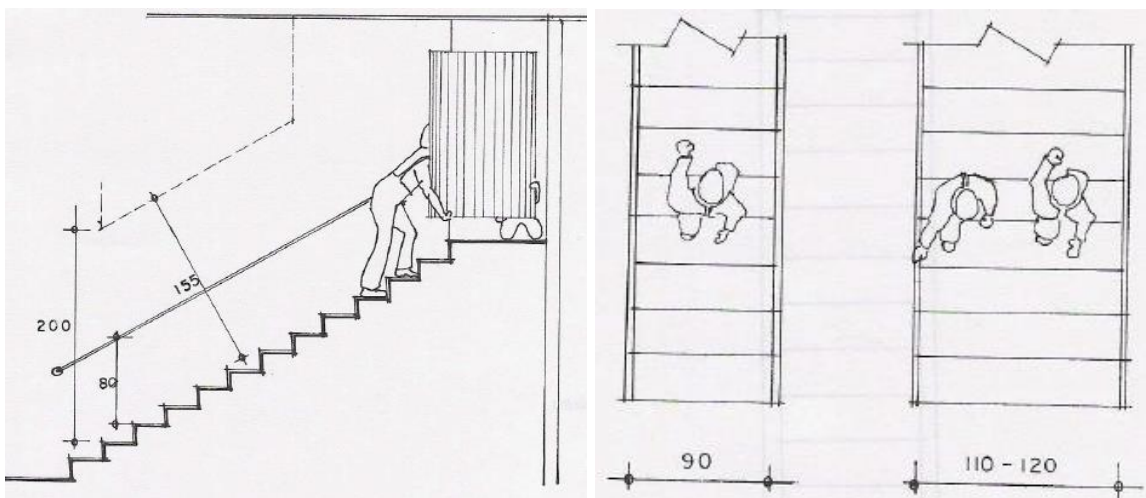


Imagen 1. 14 Medidas mínimas en circulaciones verticales
Fuente: (Fonseca, 2002)

La dimensión mínima de las escaleras debe permitir mover mobiliario con comodidad, tanto en lo ancho como en lo alto, para una eficiente escalera Fonseca (2002) señala un mínimo de 90 cm de ancho y una altura libre de 200 cm desde cada peralte. En el caso de las circulaciones horizontales las dimensiones varían de acuerdo a la afluencia de personas y a los espacios que se conecten. Que van desde 35 cm hasta 1.40 como se puede observar en la imagen 1.5.

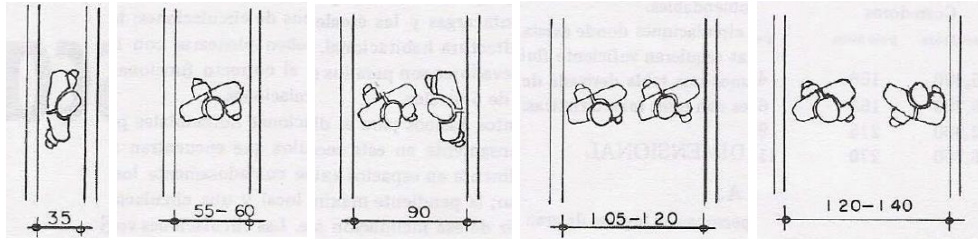


Imagen 1. 15 Medidas mínimas para circulaciones

Fuente: (Fonseca, 2002)

Al analizar las medidas que se plantean como mínimas para el óptimo funcionamiento de los espacios arquitectónicos habitacionales se tienen medidas muy variadas, que varían de acuerdo a cada espacio arquitectónico. Sin embargo en si se retoma una medida minima como múltiplo para generar espacios mayores se podría considerar ya sea 30 o 35 cm. ambas coinciden frecuentemente en forma multiplicada al analizar las dimensiones de los espacios mínimos que se describen anteriormente.

2. Los sistemas constructivos con elementos modulares prefabricados

2.1. La implementación de sistemas modulares en la construcción a partir del siglo XX

Las técnicas de construcción prefabricada y modular no representan una novedad en el ámbito de la arquitectura, pues a lo largo de la historia se han desarrollado diversas técnicas que implican ya sea la modulación de elementos contruidos o la prefabricación a través de elementos estandarizados. La modulación se ve reflejada desde la fabricación del tabique o adobe en las antiguas construcción, no obstante la modulación también se observa en las proporciones de medida usadas en la construcción, como claro ejemplo esta la antigua arquitectura griega.

Otro ejemplo se observa en las construcciones japonesas, donde utilizan los llamados biombos o tatami japonés para delimitar los espacios, es este caso se puede decir que utilizan tanto la modulación para lograr flexibilidad en la distribución interna de los espacios. Sin embargo la flexibilidad implementada mediante elementos prefabricados es más reciente, que se da a partir de la tecnología desarrollada en la revolución industrial.

La prefabricación se ha visto reflejada en diversas obras arquitectónicas a lo largo de la historia, la construcción del cristal Palace por Paxton y la torre Eiffel son algunos ejemplos. La evolución de la prefabricación está determinada básicamente en el incremento de tamaño de los elementos constructivos independientes. Pues si bien algunos de los materiales ancestrales también son prefabricados, pero son elementos de pequeñas dimensiones. El avance en cuanto a componentes prefabricados de mayores dimensiones va de la mano con la producción en serie y la implementación de nuevos materiales en la construcción. Tal es el caso del acero y el concreto. Así como nuevas formas de unión de componentes constructivos.

A lo largo del siglo XX y a inicios del siglo XXI se ha dado pauta un sinnúmero de proyectos y sistemas constructivos encaminados a la flexibilidad en la construcción, cuyas propuestas en este sentido se inclinan a la innovación en materiales, a la construcción en serie y sobre todo a la reducción de costos al sustituir la mano de obra por sistemas industrializados.

“En la era de la industrialización (primera mitad del Siglo. XIX), la construcción puede apropiarse de numerosos materiales de reciente descubrimiento, novedades técnicas y métodos de producción en serie. La adaptabilidad la vemos sobretudo en exposiciones, en las que es importante la ligereza, la rapidez del montaje y la posibilidad de emplear de nuevo las piezas. La estandarización y la fabricación de elementos constructivos baratos dieron un gran impulso” (Bubner, 1979: 28). En el siglo XX, la implementación de estos sistemas tiene lugar en la arquitectura habitacional y es a partir de entonces que surgen grandes proyectos donde se implementa la construcción modular prefabricada.

En lo que respecta a la modulación en la arquitectura habitacional, la casa japonesa que se menciona anteriormente constituye un claro ejemplo de la modulación de espacios *“la casa japonesa es ligera y sencilla, pero está construida con precisión y con materiales adecuados. [...] Otra forma que destaca es que la casa japonesa corresponde de forma muy especial a las necesidades humanas. Desde tiempos remotos existe un módulo referido al hombre, la unidad del tatami como relación interior de las construcciones (91/182 cm)”* (Bubner, 1979: 28).

Además de la modulación la arquitectura japonesa también aplican la flexibilidad de los espacios, *“en su interior el espacio puede conformarse y modificarse por los paneles móviles que dan respuesta tanto a las cambiantes configuraciones familiares como a las diferentes necesidades que surgen en la dinámica familiar”* (Franco, Becerra and Porras, 2011: 13), al ofrecer esta conformación dinámica de los espacios arquitectónicos logra optimizar recursos y crear espacios adaptables.

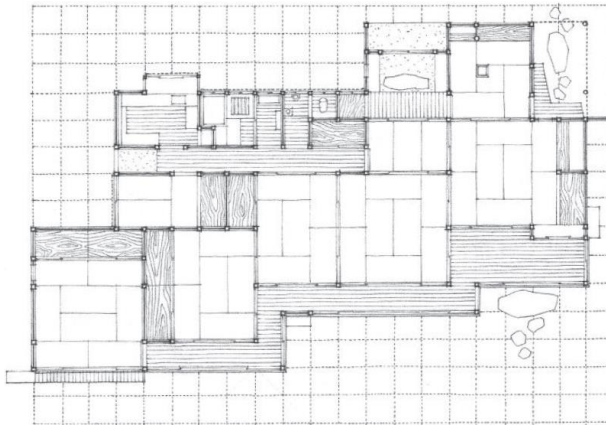


Imagen 2. 1 Modulación en planta de la casa japonesa
Fuente: (D.K. Ching, 1945)

A pesar de ser una técnica ancestral, ésta modulación se sigue vigente hoy en día en la vivienda japonesa. *“En Japón, un flexible modo de vivir continúa hasta hoy en día, en parte por convicción y en parte por la falta de espacio en la vivienda urbana. La casa de la familia japonesa moderna tiene al menos una habitación de tatamis, donde flexibles objetos de amueblado o llenado se introducen, se mueven alrededor o se remueven si es necesario. La misma habitación puede ser usada como un espacio social, un espacio privado de retiro o un cuarto de dormir”* (Kronenburg, 2007: 14). Lo cual es gracias al seguimiento de las técnicas ancestrales que hoy en día siguen vivas con los tatamis como elementos de modulación.

2.1.1. Principales aportes e innovaciones en la flexibilidad y modulación del siglo XX

A pesar de la implementación de elementos modulares desde tiempos remotos, la flexibilidad en cambio, se detecta como necesidad a principios del siglo XX, expresada en una libertad de elección y en la multiplicidad de opciones para el espacio habitables. *“Los trabajos y conclusiones de arquitectos de principios del siglo XX, denotan la exigencia de un modo de habitar más digno, con más libertad individual, menos explotación por los intereses privados, casi siempre va acompañada de la necesidad de un tipo de construcción adaptable”* (Bubner, 1979: 29), el término adaptable es el que empieza a tomar partido para la

implementación de una forma nueva de construir tendiente a prever futuras transformaciones.

Entre los arquitectos más reconocidos por implantar la tecnología industrial de elementos prefabricados en construcciones tendientes a la flexibilidad están Le Corbusier y Walter Gropius, quienes cada uno en su ámbito pudieron dar pauta a la aplicación de la industrialización y modulación en la construcción. De acuerdo a Strike (1991) Le Corbusier por su parte desarrolla el modulo “el hombre-con-el-brazo-levantado de 2.20 m de alto”, patrón que utilizaba para determinar las medidas de sus proyectos, además introdujo el concepto de planta libre en los edificios, encaminada a la libertad de acomodo de los espacios interiores y de este modo tener multiplicidad de opciones. El concepto de planta libre lo define de la siguiente manera:

“el sistema de apoyo soporta las cubiertas intermedias y llega hasta abajo del tejado. Las paredes intermedias se introducen según las necesidades, de modo que ningún piso esté ligado a otro. Dejan de existir las paredes de carga y solo hay membranas de distinto espesor. La consecuencia es la libertad absoluta en la configuración de la planta” (Le Corbusier citado en (Bubner, 1979: 30)



Imagen 2. 2 Le Corbusier y el concepto de la planta libre

Fuente: http://noticias.arq.com.mx/Detalles/16468.html#.VVAAnOfI_Okr

La implementación del concepto de planta libre tiene su aplicación a principios del Siglo XX, un ejemplo se observa en su obra la casa domino. *“Le Corbusier había concebido ya en 1914 la idea de un sistema estructural normalizado para la construcción de viviendas. La casa domino consistía en un esqueleto de serie en hormigón armado que permitía diversos tipos de cerramiento para ofrecer diferentes formas de alojamiento”* (Strike, 1991: 135), este proyecto expresa los primeros indicios de la prefabricación en la construcción, que en estos primeros proyectos el hormigón fue el material en auge.

La obra de Le Corbusier y su manera de pensar fueron puntos clave para el avance tecnológico en los procesos constructivos, pues a diferencia de la ideología que pudieran tener las autoridades y las empresas respecto a la construcción industrializada, él veía una nueva alternativa de construcción que pudiera responder de una formas más eficiente a las necesidades de la población, es decir tener mayor posibilidades en cuanto a las distribución y el diseño de los espacios. *“Los arboles por ejemplo con sus ramas, sus hojas y sus nervaduras me afirman que las leyes de crecimiento y combinación pueden y deben ser más ricas y más sutiles”* (Le corbusier, 1980). Y a través de la planta libre que implemento en su obra arquitectónica permitiera esa flexibilidad en el uso del espacio interior.

En 1955, Le Corbusier a través de sus “máquinas de habitar” muestra un cambio de pensamiento en cuanto a la manera de proyectar a partir del momento en que utiliza la modularidad como manera de racionalizar y optimizar la producción. Con la influencia de la revolución industrial, estas células tridimensionales son ejecutadas con hormigón armado y siguiendo procesos de producción en serie. *“En la fase inicial del Siglo XX se reconoce por vez primera que la arquitectura debe adaptarse a los constantes cambios y renovaciones que aporta el desarrollo técnico en todos los campos de la vida. Con ello se plantea una exigencia esencialmente nueva a la arquitectura, contraria a las ideas tradicionales según las cuales la solidez y durabilidad, son propiedades inherentes”* (Bubner, 1979: 31).

A partir de este cambio en la forma de diseñar el espacio surgen diversas propuestas en relación a la modulación y prefabricación en la construcción. Su manera de pensar e interés por innovar influenciaron a arquitectos jóvenes para implementar nuevos materiales en la construcción. Como resultados tempranos ésta la Aluminaire House:

“La casa fue inicialmente construida como una pieza central para la Exhibición de productos aliados Artes y Construcción en la ciudad de Nueva York, posteriormente ésta fue trasladada a una larga isla para su permanente elevación. El edificio tenía mucha innovación en técnicas constructivas, no solo su prefabricación que permitía su construcción en 10 días y su desensamble en 6. Estaba hecha de aluminio y marcos de acero y revestida en los perfiles de paneles de aluminio” (Kronenburg, 2007: 33), esta casa constituye uno de los primeros ejemplos en cuanto a vivienda totalmente desmontable construida con materiales ligeros de nueva tecnología para esa época, la casa se puede observar en la imagen 2.3.



Imagen 2. 3 Aluminaire House de Albert Frey y L. Kocher
Fuente: http://www.nyit.edu/magazine/modern_artifact/

Por su parte Gropius fomentó el desarrollo de sistemas prefabricados aprovechando su cargo como director de la Bauhaus, llevó a la práctica proyectos experimentales que empleaban materiales nuevos.

En 1926 se levantó el prototipo de una 'casa de acero'[...] contaba con una cimentación de hormigón, una estructura de acero, y un cerramiento formado por planchas exteriores de acero Siemens de tres milímetros de espesor, el aislante, una cámara de aire, tableros de torfoleum y placas de mortero de escoria. La casa tiene interés por el uso temprano de una estructura de acero diseñada para admitir una distribución flexible de la planta. También es interesante por el uso pionero de la construcción en seco gracias al empleo de la estructura de acero y por el uso del panel del cartón-yeso, que se introdujo en la construcción de los edificios a mediados de los años veinte (Strike, 1991: 140).

Precisamente la construcción en seco o sistema constructivo abierto es lo que da pauta a una construcción modificable, por lo tanto flexible. El potencial que se ve a estos sistemas constructivos con elementos prefabricados es la construcción en masa, para dar respuesta a la necesidad de vivienda que se suscitó en esas fechas, después de un periodo de guerras. Sin embargo la construcción en masa demandaba una considerable cantidad de materiales de construcción, que para ese entonces los prototipos de vivienda con sistema constructivo en seco se proponía básicamente de acero, concreto y aluminio.

Otro arquitecto que implementa el concepto de planta libre y flexible en las construcciones arquitectónicas es Frank Lloyd Wright, *"cuyos proyectos estaban fuertemente influidos por la estructura de la casa japonesa, nos habla de organic architecture (1910). Compara la casa con un organismo: "el edificio moderno, a diferencia de la irresponsable acumulación de partes, es ante todo un ser orgánico" esta tesis, Wright la pone en manifiesto en la planta libre y flexible"* (Bubner, 1979: 28).

Sin embargo el concepto de flexibilidad de Wright está más enfocado a la integración de la arquitectura a la naturaleza de donde deriva el organicismo *"movimiento que propone que todo objeto arquitectónico debe ser integrado con la naturaleza e incluso parecer que saliera de ella, por esta razón, tanto los materiales como el aspecto formal, responden a una relación directa con las formas naturales"* (Franco, Becerra and Porras, 2011), su tendencia era construir usando las técnicas modernas en conjunto con materiales tradicionales.

Por otro lado Fuller plantea que los proyectos arquitectónicos deben considerar las necesidades y requerimientos futuros de los usuarios, por lo que ve en la tecnología industria una posibilidad de satisfacer la necesidades de vivienda de toda la población *“La obra de Fuller buscó la aplicación real y directa de la ciencia a la vida humana y su entorno a través del diseño científico y la tecnología industrial”* (Franco, Becerra and Porras, 2011). Asimismo Fuller apostó por la construcción en serie y la adaptabilidad térmica de sus proyectos, con lo que pretendía la adecuación de sus proyectos en sitios impensables. De acuerdo a Franco (2009) su obra es conocida bajo el concepto de Arquitectura Científica-Adaptable. Entre sus más reconocidos proyectos esta la Dymaxion House

Aunque no se construyó en forma, la Dymaxion House de Fuller (1929) es ciertamente el más famoso ejemplo del diseño de vivienda encaminado a la producción en masa, que logra una alta calidad, desarrollo habitacional individual para gran número de personas a costo accesible. La casa fue autoconstruida con su propio poder generador, depósito de aguas residuales, y una anfibia forma de transporte por avión o automóvil. (Kronenburg, 2007: 33)

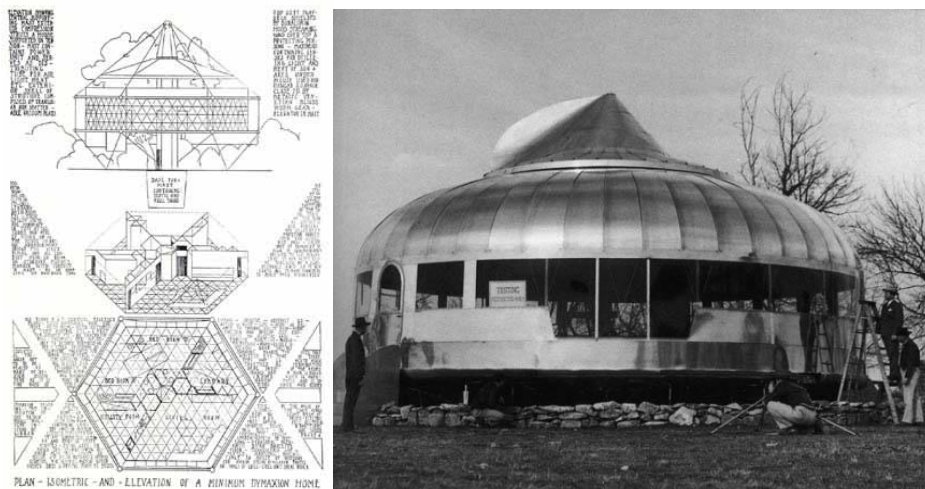


Imagen 2. 4 Dymaxion House de Fuller
Fuente: (Franco, Becerra and Porras, 2011)

Un antecedente importante a tomar en cuenta en relación al desarrollo de sistemas modulares flexibles es el movimiento metabolista japonés que surge en 1959, cuyos fundamentos se basan principalmente en aplicar la analogía biológica

al crecimiento de las ciudades, mediante la integración de módulos prefabricados que conforman edificios inconclusos, de modo que permitan la agregación o desagregación de elementos con el paso del tiempo, manifiestos que hacen los metabolistas de acuerdo a Franco (2009) en 1960, a través del cual plantean respuestas arquitectónicas aplicadas en mega estructuras flexibles y adaptables con un crecimiento análogo a los procesos biológicos.

Además plantean que las leyes del espacio y de la continua transformación funcional son el futuro para la sociedad y la cultura (Franco, Becerra and Porras, 2011). A pesar de que este movimiento arquitectónico no prospero siendo que sus proyectos dejaron que cumplir con sus planteamientos iniciales, constituye un importante aporte en la manera de ver la arquitectura desde la cultura occidental. En la imagen 1.2 se muestra el edificio Capsule Tower una de la obra más representativa del movimiento metabolista.



Imagen 2. 5 Capsule Tower del movimiento metabolista

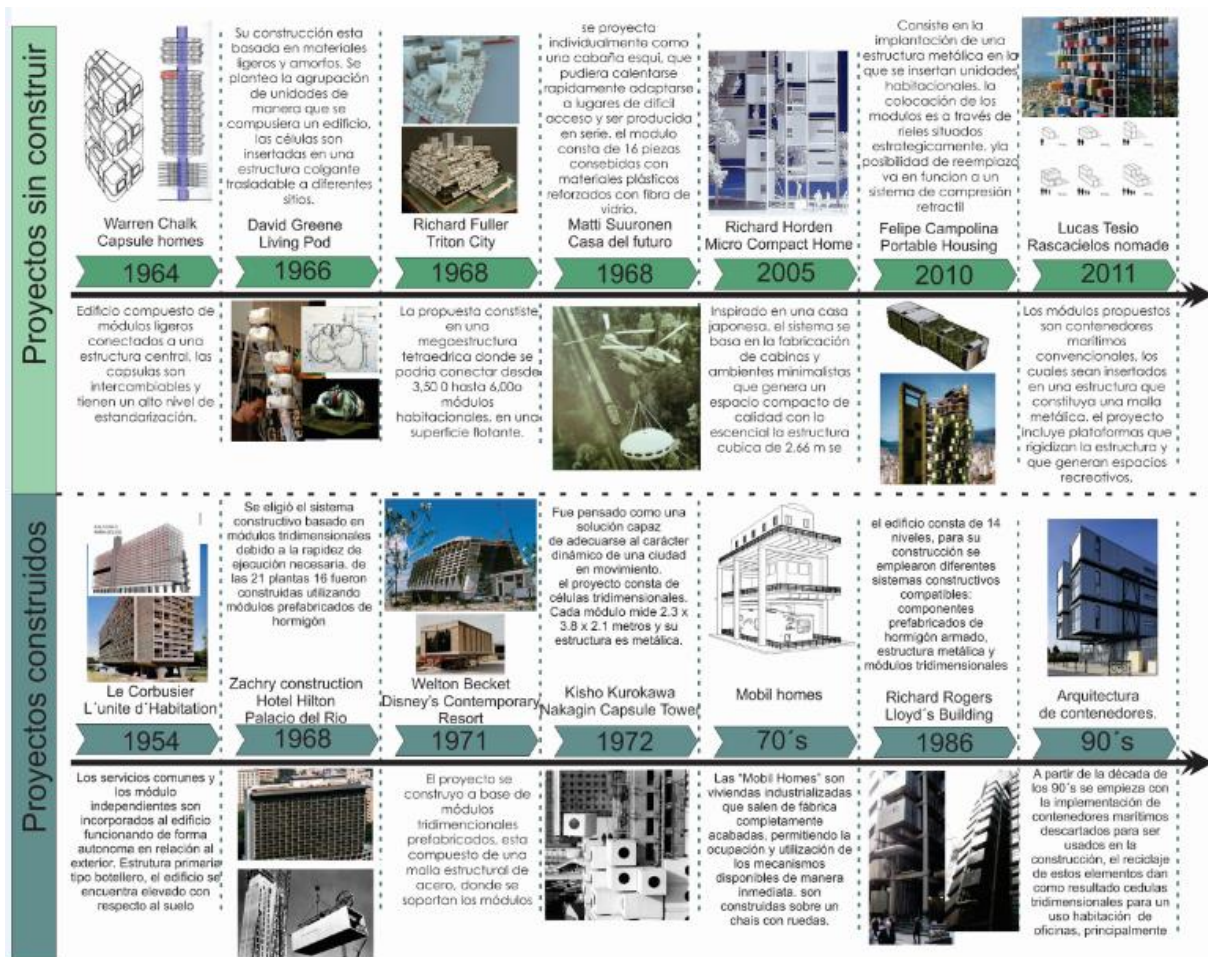
Fuente: <http://amoarchitettura.blogspot.com/2012/07/nakagin-capsule-tower.html>

La Capsule tower está conformada por células habitacionales iguales, es decir, módulos, que se agregan o desagregan a una estructura preestablecida, cada módulo equivale a un espacio mínimo de 2.5 x 4. Para su montaje la célula era construida *“completamente con muebles y aparatos en la construcción el interior de la capsula, que fue ensamblado en fabrica. Después cada capsula fue levantada por gruas y asegurada al eje central de concreto con solo cuatro tornillos de alta tensión, haciendo las unidades separables y reemplazables”*

(Flagge et al., 2005: 46), este tipo de modulación podrían entrar en las estructuras que Alkim (2012) describe como estructura de botellero, donde mediante una estructura reticular predeterminada, es posible insertar elementos constructivos modulares.

A grandes rasgos se resumen algunos de los proyectos y arquitectos mas sobresalientes en terminos de flexibilidad y modulación durante el siglo XXI que representan un importante antecedente en el desarrollo de sistemas constructivos adaptables y prefabricados. Hoy en día prevalece la construcción prefabricada que en edificios de gran escala ahorran muchos tiempo en construcción.

Sin embargo existe un sinnumero de proyectos y sistemas constructivos que se han inclinado a la construcción prefabricada, siendo que es una alternativa para la optimización de los recursos materiales principalmente. En la siguiente linea del tiempo se pueden observar varios proyectos a gran escala que plantean la modulación y la flexibilidad, algunos si fueron construidos, aunque otros se quedaron solo en proyectos.



2.1.2. Recientes proyectos que aplican el concepto de flexibilidad

Actualmente la construcción prefabricada flexible sigue tres vertientes básicamente, por un lado se utiliza en construcciones de grandes edificios que permite un ahorro considerable en tiempo y por consiguiente en mano de obra. Por el otro lado la construcción prefabricada para atender a personas víctimas de un desastre natural o una situación que los dejó desprotegidos, esta vertiente es la vivienda emergente, donde se requieren viviendas de rápida construcción. Y por último el enfoque de las construcciones sustentables, donde se busca una optimización de los recursos naturales. Si bien la flexibilidad ha sido un tema poco explorado en esta última vertiente, se busca innovar en cuestión de materiales, donde toman partido los conceptos de reusó y reciclaje.

La primera vertiente enfocada a grandes construcción que por lo general no necesariamente son de uso habitacional, utilizan regularmente materiales altamente industrializados, como lo son el concreto y el acero. La construcción prefabricada modular ha tenido mucha influencia en edificios de gran tamaño, pues permite ahorrar tiempo de construcción, sin embargo a nivel residencial no es muy común el uso de sistemas constructivos prefabricados.



Imagen 2. 6 Proyecto de contenedores

Fuente: (Sánchez Corral, 2008)

Entre las alternativas de materiales, en la década de los 90's se ha optado por la utilización de contenedores marítimos, lo cual a la fecha ha resultado ser viable y existen una gran variedad de proyectos a base de éstos elementos en todo el mundo, proyectos como "Keetwonen en Amsterdam es el proyecto de vivienda hecho con contenedores más grande en la actualidad y fue destinado a los estudiantes. Cada contenedor cuenta con dormitorio, cuarto de estudio, baño, cocina y balcón. También, proyectos como Container City en Londres o "Crou" en Le Havre, Francia, muestran cómo esta técnica se ha puesto de moda principalmente para el público joven que busca algo diferente y económico para vivir" (Sánchez, 2008).

Los contenedores como elementos modulares posibilitan la flexibilidad en la construcción, se puede tener una vivienda muy reducida con un solo contenedor, sin embargo es posible agregar otros módulos y agrandar una vivienda como se

deseo. Estos elementos se pueden considerar células constructivas completas, que se modifican individualmente de acuerdo al diseño que se plantee.

Otra vertiente donde ha tenido el desarrollo de las variables flexibilidad y modulación es mediante la reutilización de desechos para fabricar elementos constructivos, a partir de los residuos muy comunes que hay en grandes cantidades, se busca generar nuevos materiales, ya sea en paneles o en piezas pequeñas ensamblables. Con lo que se intenta concientizar a la población sobre el mal uso de los recursos naturales.

Hay dos posturas y estudios muy recientes: “estructuras adaptables” de Ricardo Franco, y “naturalezas artificiales” de Luis de Garrido, que plantean de manera muy clara los términos de flexibilidad en la arquitectura, para lograr espacio dinámicos que respondan más eficientemente a las necesidades de la sociedad actual. Y han desarrollado proyectos interesantes en la evolución de los sistemas constructivo.

En el desarrollo de su trabajo de estructuras adaptables Franco también incluye el término “arquitectura adaptable, el cual define al edificio como un sistema capaz de ser readecuado con dos fines principales: responder más eficientemente a las cambiantes necesidades de nuestra sociedad, permitiendo el libre desarrollo de actividades y personas; y la utilización más racional del espacio, de los recursos y materiales destinados a la construcción y el funcionamiento de la arquitectura” (Franco, 2009: 108). En el desarrollo de los espacios adaptables, Franco (2009) se enfoca en sistemas móviles, que permiten un dinamismo al desdoblarse y desplegar elementos constructivos.



Imagen 2. 7 sistemas móviles es espacios interiores

Fuente: (Franco, 2009)

AL tendencia de Ricardo Franco en cuanto a la arquitectura adaptable se oriente básicamente a la movilidad en los elementos constructivos a través de mecanismos y articulaciones de diversos tipos que permiten dinamizar el espacio constantemente, estos mecanismos resultan muy acertados para su aplicación en viviendas mínimas, pues se optimiza el espacio al máximo. Un aporte importante del Grupo de Investigación Estructuras Adaptables (GEA) es un detallado estudio de sistemas móviles aplicables a elementos constructivos mediante diferentes tipos de articulaciones.

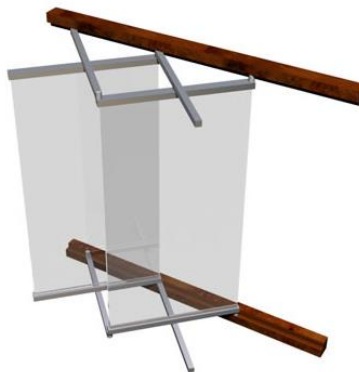


Imagen 2. 8 sistema móvil con articulaciones

Fuente: <http://avalon.utadeo.edu.co/comunidades/grupos/gea/matSuDes.html>

Por su parte Luis de Garrido plantea un nuevo concepto en el diseño y la construcción flexible, tendiente a un nuevo paradigma en la forma de diseñar las construcciones, y lo denomina “Naturalezas Artificiales” postura en la que propone el análisis de la naturaleza, pero no para su aplicación tal cual, sino aprehender de la naturaleza y comprender para realizar propuestas que incluso mejoren en relación

a la naturaleza, de manera que se fabriquen edificios altamente eficientes que no perjudiquen el entorno natural, sino que evolucionen junto con la naturaleza generando un ambiente equilibrado.

Luis de Garrido plantea un nuevo Ecosistema artificial, para eficientar el uso de recursos y aportar en el caso de la flexibilidad y adaptabilidad de los espacios arquitectónicos. “En este nuevo ecosistema artificial se crean, se manipulan y se transforman determinado número de componentes, que a su vez pueden ensamblarse entre sí, formando un elevado número de artefactos complejos, que puedan transformarse continuamente con un ciclo de vida infinito. Este ecosistema artificial paralelo de artefactos fabricados por el hombre debe ser capaz de evolucionar de forma simbiótica con el ecosistema natura, y por tanto no debe ocasionarle daño alguno” (De Garrido, 2012: 29).

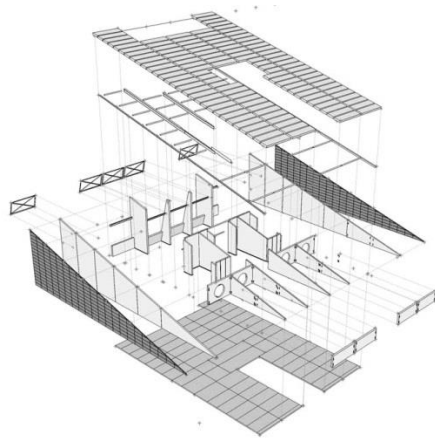


Imagen 2. 9 explosivo de Green box de Luis de Garrido

Fuente: <http://www.mundo-geo.es/green-living/proyectos-arquitectonicos-verdes?image=8>

Ésta propuesta plantea el uso de elementos modulares. “El hombre debería fabricar un conjunto finito de componentes arquitectónicos, que podrían ensamblarse entres si de múltiples formas, creando un enorme abanico de organismos arquitectónicos, que podrían evolucionar de forma continua y con un ciclo de vida infinito. Estos organismos arquitectónicos podrían repararse y modificarse continuamente, por lo que no se generarían residuos en el proceso, y no sería necesario fabricar nuevos componentes” (De Garrido, 2012: 29). Esto

implica una nueva forma de diseñar, puesto que si bien existen piezas en común, muchas de ellas son diferentes entre sí, e implica un arduo trabajo al momento de desglosar las piezas que conformaran un edificio arquitectónico.

2.2. Sistemas constructivos en seco y sus elementos

Un sistema es “un conjunto de elementos heterogéneos en diferentes escalas, los cuales están relacionados entre sí, con una organización interna que se adapta a la complejidad del contexto” (Montaner, 2009: 11). En el caso de la construcción “los sistemas suelen estar constituidos por unidades, éstas, por elementos, y éstos, a su vez, se construyen a partir de unos determinados materiales” (Carrió, 2005: 38). Una unidad puede ser una célula habitacional.

Un sistema constructivo está integrado por un conjunto de elementos con diferentes funciones en la conformación de una envolvente arquitectónica. “Es el conjunto de elementos y unidades de un edificio que forma una organización funcional con una misión constructiva común sea ésta de sostén (estructura) de definición y protección de espacios habitables (cerramientos) de obtención de confort (acondicionamiento) o de expresión de imagen y aspecto (decoración). Es decir, el sistema como conjunto articulado, más que el sistema como método (Carrió, 2005: 38)

Una vez explicado el concepto de sistema en el ámbito de la construcción se puede hablar de dos tipos de sistemas: sistema cerrado y sistema de montaje en seco, los cuales se relacionan en la manera en que se unen los elementos constructivos. En el sistema cerrado los elementos se unen de manera monolítica, permanente. Mientras que en el montaje en seco se utilizan mecanismos de unión que mantienen abierta la posibilidad de reacomodo o recuperación de los componentes constructivos.



Imagen 2. 10 componentes verticales y horizontales de un sistema constructivo

Fuente: <http://www.sistemamodulab.es/web/>

“El montaje en seco ofrece grandes ventajas, pues la humedad es [...] la causa directa de la mayoría de los fallos de los antiguos sistemas de construcción [...] con la eliminación de la humedad y el ajuste perfecto de cada elemento, la casa prefabricada permite establecer un precio fijo y un periodo de tiempo definido” (Strike, 1991: 142), no obstante la construcción en seco permite optimizar materiales al momento de construir y la recuperación de los elementos constructivos en caso de ser necesario, a diferencia de las técnicas convencionales donde blocks son pegados con argamasa y que equivalen a una unión monolítica definitiva de los elementos constructivos.

El diseño y la disposición de los elementos de un sistema constructivo según CORMA (2007), que concuerda algunos puntos con lo anterior que define Carrio, deber cumplir con tres características fundamentales: seguridad, funcionalidad y durabilidad. La seguridad comprende la capacidad de las construcciones para soportar las acciones de la intemperie (lluvia, viento, sismos, etc.), las cargas a las que se somete la estructura, así como su mismo peso y resistencia al fuego. Esta parte es la más importante siendo que una vivienda tiene como función principal resguardar al ser humano de la intemperie.

La funcionalidad se refiere a las condiciones de habitabilidad dentro de una vivienda. En esta parte se contemplan “condiciones estables y adecuadas con respecto a la temperatura, humedad, acústica, iluminación, ventilación y calidad de aire” (CORMA, 2007: 77), lo que garantiza espacios confortables dentro de una

vivienda. Mientras que la durabilidad se refiere a materiales que tengan una larga duración de manera que no implique mucho mantenimiento y pueda garantizar permanencia.

A partir de lo anterior se definen cuatro características a considerar en un sistema constructivo: la resistencia (seguridad), funcionalidad, habitabilidad y durabilidad. Todo esto se logra tanto con elementos constructivos eficientes como con el diseño y la distribución de los espacios. De aquí se desglosan los elementos constructivos necesarios para conformar una envolvente con las características antes descritas. Los elementos constructivos se pueden clasificar en elementos estructurales y no estructurales y de acuerdo a esto las funciones que cumplen en una envolvente arquitectónica son diferentes. En este apartado se describen las primeras dos características que debe cumplir un sistema constructivo: resistencia y funcionalidad.

2.2.1. Resistencia

Los elementos estructurales deben de cumplir con las características de resistencia para dar estabilidad suficiente a una envolvente. Lo que se define como mantener el equilibrio de los elementos, en términos estructurales se expresa como mantener el equilibrio de rotación y de traslación. Moore (2000) define diversos sistemas estructurales que funcionan de diferente manera y cuyos componentes también difieren en cuanto a forma y unión de los elementos.

Como primer sistema están las estructuras armadas que “son ensambles de tirantes (que trabajan en tensión) y puntales (que trabajan en compresión) configurados en triángulos con juntas articuladas, de manera que todas las fuerzas internas sean axiales (en compresión directa o tensión sin flexión o cortante). Esta categoría general de estructuras triangulares incluye cables, armaduras, marcos tridimensionales y geodésicos” (Moore, 2000: 30). La forma triangular, además de la estabilidad que le brinda a los elementos estructurales permite una mayor versatilidad en cuanto a la propuesta de formas de una envolvente además se logran claros más grandes. En la imagen 2.8 se observan dos tipos de armaduras

con base en triángulos. Esta geometría triangular es fundamental para el comportamiento de la armadura, ya que el triángulo es el único polígono que tiene una geometría estable.

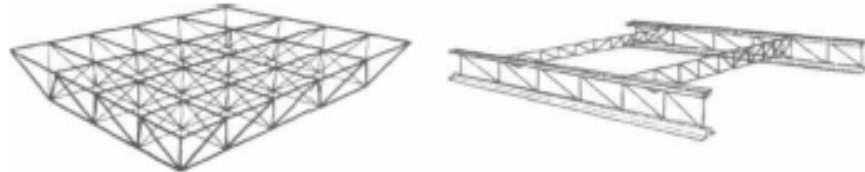


Imagen 2. 11 Sistema de marco tridimensional y Sistema de armadura con conexión horizontal

Fuente: (Moore, 2000)

Otro sistema estructural es a través de marcos. “Los sistemas de marcos estructurales transfieren cargas al suelo a través de sus elementos horizontales y elementos verticales que son resistentes a la flexión y al pandeo como resultado de sus momentos de reacción internos” (Moore, 2000: 65). Los elementos verticales son las columnas y muros de carga, mientras que los horizontales son las trabes y las losas. Moore (2000) define cada elemento constructivo de la siguiente manera:

- **Columna:** es un elemento estructural lineal (comúnmente vertical) que está sometido a esfuerzos de compresión a lo largo de su eje.
- **Muro de Carga:** es un elemento de compresión que distribuye continuamente cargas verticales en una dirección, las cuales se propagan de manera gradual a los cimientos.
- **Viga:** es un elemento estructural lineal al que se le aplican cargas perpendiculares a lo largo de su eje; a tales cargas se les conoce como carga de flexión.
- **Losas:** es un componente de flexión que distribuye la carga horizontalmente en una o más direcciones dentro de un solo plano.

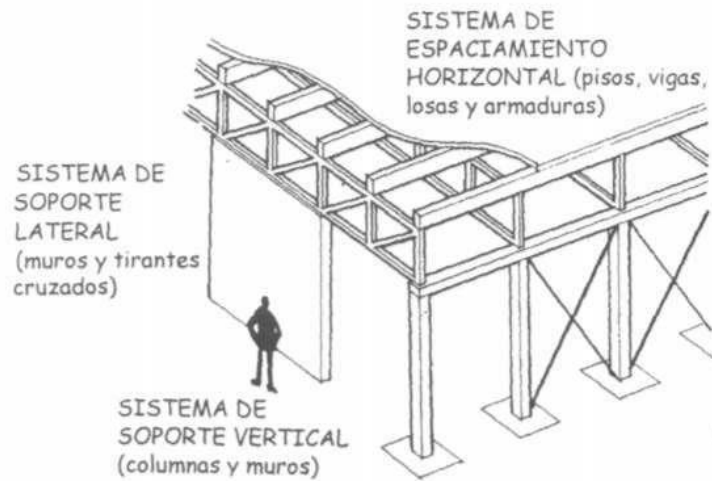


Imagen 2. 12 Sistema común de marcos con los elementos que incluye

Fuente: (Moore, 2000)

“Las vigas, losas, columnas y muros de carga se combinan para formar marcos ortogonales (rectilíneos), el sistema de carga más usado en edificios. Los marcos distribuyen las cargas en forma horizontal (por medio de trabes) a las columnas que transmiten las fuerzas verticalmente (a la cimentación de soporte). Esto se refiere por lo común a una construcción de poste y viga. Las losas se pueden sustituir por vigas y los muros de carga por columnas, pero el comportamiento permanece igual. Además de estos componentes verticales y horizontales el sistema debe incorporar soporte lateral para resistir cargas horizontales como las fuerzas ejercidas por el viento y sismos” (Moore, 2000: 103).

En construcciones de madera estos marcos estructurales con elementos verticales y horizontales se realizan a través de entramados. “Se llama entramado a la disposición de piezas estructurales de madera que se combinan en diversas posiciones formando una trama” (CORMA, 2007). De esta manera se logra mayor resistencia mecánica al elemento constructivo, sobre todo si se trata de elementos verticales intermedios, como lo son los entrepisos. En el caso de construcciones con acero, estos entramados se logran con los armados de varilla y al colar se consolida un elemento monolítico, dado que es un sistema cerrado.

Las propiedades mecánicas de los elementos de un sistema constructivo definen la seguridad estructural del sistema. Tanto en términos de resistencia mecánica, como de resistencia a riesgos de otra naturaleza: fuego, agua, entre otros. Si bien la estructura conforma el esqueleto del edificio, también son necesarios elementos de cerramiento que completen la envolvente arquitectónica, los cuales definen la funcionalidad de un edificio.

2.2.2. Funcionalidad

La funcionalidad de una envolvente constructiva se da mediante varios factores, entre ellos está el diseño arquitectónico, donde se definen las distribuciones que darán pauta a una óptima solución funcional. Sin embargo en términos constructivos, los elementos de cerramiento interfieren para cumplir ésta parte. Los componentes que se pueden considerar son básicamente para cubrir las funciones mediante tres tipos de elementos: muros o elementos divisorios, vanos para puerta y para ventanas, esto en cuanto

Los elementos constructivos utilizados para cumplir con estas funciones pueden ser desde elementos pequeños (blocks, tabique) o paneles, que constituyen elementos de mayores dimensiones. Actualmente existen en el mercado oferta de paneles muy variados, que cumplen funciones diferentes de acuerdo a sus características. Tanto en piezas pequeñas como placas o paneles de mayor tamaño existen una gran variedad de sistemas que permiten la flexibilidad.

Si bien los elementos constructivos de una construcción convencional donde los componentes se unen de forma monolítica, se pueden simplificar: una trabe, una columna, una losa. En el caso de los sistemas constructivos abiertos los componentes son más complejos siendo deben considerar una unión reversibles y por tanto mecanismos que puedan favorecer a ello.

Para que un sistema constructivo pueda responder a los requerimientos de flexibilidad Franco (2006), varias condiciones: transformabilidad, de manera plegable o tener la posibilidad de presentar variaciones en su forma; transportabilidad, que el sistema pueda ser transportado de manera fácil, lo cual

se relaciona con la siguiente condición; Livianidad. Minimalización, se refiere al empleo de las mínimas cantidades de energía (material, fuerza, tiempo). Y por último Modulación, lo cual implica que el sistema pueda ser construido de una manera sistemática y rápida a partir de elementos estandarizados. De acuerdo a Franco y Torres (2006) existen tres tipos de sistemas estructurales móviles:

- **Paneles móviles:** lo constituyen sistemas compuestos por paneles portantes, los cuales obtienen su movilidad a partir del deslizamiento de sus elementos sobre elementos guías, como por ejemplo rieles.
- **Sistemas izados de membranas:** están constituidos por membranas sujetas a mecanismos de polea y cables. El sistema requiere de estructuras rígidas que soporten los componentes móviles.
- **Sistemas articulados:** Compuestos básicamente por barras o elementos rígidos y articulaciones, son estructuras livianas que permiten crear un sinnúmero de propuestas espaciales. Posibilitan la creación de estructuras que cumplan con todas las condiciones de flexibilidad o adaptabilidad.

2.3. Fijaciones, conexiones y ensamblajes en elementos modulares

Al unir dos o más elementos constructivos en diferentes planos se generan nudos o uniones, que pueden acoplarse con elementos de fijación ya sea del mismo material o diferente. Los elementos de fijación mayormente utilizados son de acero, por la gran resistencia que se puede lograr al utilizar piezas metálicas pequeñas para unir elementos constructivos que pueden ser de acero, madera, concreto o de cualquier otro material.

Las uniones realizadas in-situ pueden ser secas o húmedas. “Uniones secas son por sistemas de atornillado, soldado o uniones adhesivas (se pueden poner en carga tras su ejecución o al poco tiempo); uniones húmedas: por hormigonado o unión de pasta o morteros (hay que esperar hasta que el material se fragüe antes de la puesta en carga)” (Barluenga, 2012). Las uniones en seco a diferencia de las

uniones húmedas tienen más posibilidades de recuperar los elementos una vez terminada la vida útil de algún elemento constructivo.

Las uniones determinadas por un sistema en seco, son aquellas que pueden revertir la unión de elementos, donde es posible recuperar las piezas. Es por ello que en este apartado se analizan formas de unión en seco con uso óptimo en elementos modulares. Partiendo de sistemas constructivos con madera, prefabricados de concreto armado y acero, que es donde se utiliza mayormente conexiones mediante mecanismos externos.

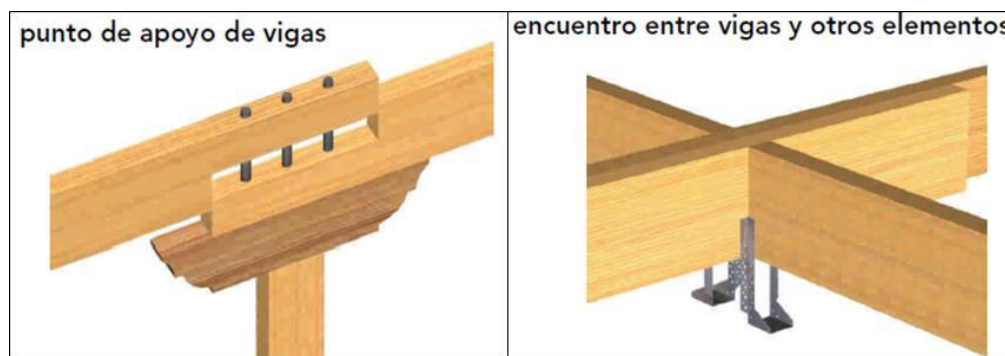


Imagen 2. 13 conexiones mecánicas en elementos de madera
Fuente: (CORMA, 2007: 131)

Las uniones pueden acoplarse ya sea con el mismo material, mediante amachimbrado que permiten que dos piezas se ensamblen o mediante fijaciones mecánicas, en el caso de la construcción con madera, CORMA (2007) define estas fijaciones como elementos metálicos, generalmente cilíndricos y de acero que se hincan, insertan o atornillan en las piezas de madera que constituye la unión. “Las fijaciones deben ser sencillas, obtenerse con la mínima pérdida de material, dar una seguridad suficiente para su uso y ser de rápida ejecución, las más utilizadas son: clavos, tornillos, tirafondos, pasadores, pernos, placas dentadas y conectores.” (CORMA, 2007: 132).

En cuanto a la calidad de las uniones antes mencionadas es importante tomar en cuenta que existen diferentes tipos de uniones, y sus características determinan si un elemento es recuperable o no. Los tipos de uniones son: “1) Irreversibles que

no pueden ser desmontados o separados, 2) Reversibles, posibilitan el desmontaje sin expectativa de reiteración, y 3) Desmontables, permiten reiterar las operaciones de montaje y desmontaje” (Gonella, 2014). Esto en relación a la posibilidad de recuperación de las piezas unidas.

Las uniones de diferentes tipos son por lo general aplicadas tanto en la construcción de madera como en la elaboración de muebles. Existen diferentes formas en que se pueden unir dos o más piezas de madera mediante ensambles con que pueden o no formar parte de la misma pieza. En los siguientes puntos se describen algunos ensambles aplicados a piezas de madera y las aplicaciones que tienen estos tipos de uniones.

Uniones utilizadas en madera

Existen tres tipos de uniones con diferentes funciones cada una: a la primera se le llama junta y es la unión de dos o más maderas por sus caras laterales para esquinas o longitudinalmente, la segunda forma son los ensambles que consisten en “unir dos piezas de madera, cada una con picos cuadrado sobresalientes diferentes (una al contrario de la otra) de forma que coincidan entrelazando sus puntas y haciendo una sola pieza” (Gonella, 2014), y la ultima los empalmes que “Se utiliza para producir una mayor longitud de dos piezas o más” (INATEC, 2012) para este procedimientos lo común es rebajar dos piezas las misma longitud y en sentido opuesto. En el grafico 2.1 se pueden ver los tres tipos de uniones.

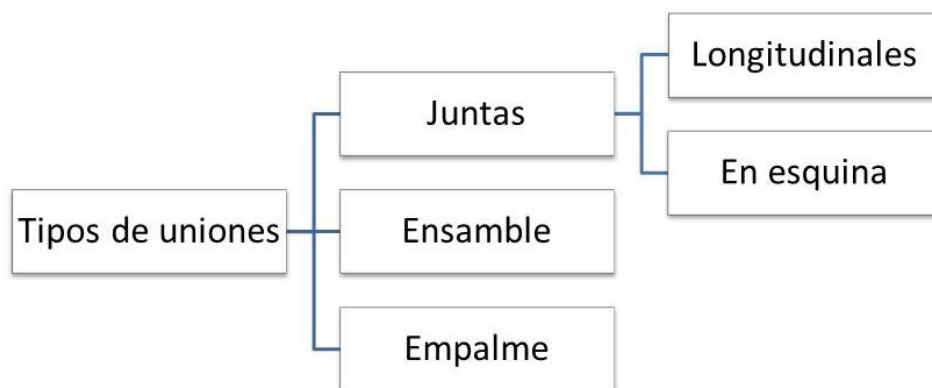


Grafico 2. 1 tipos de uniones en madera.

Fuente: Elaboración propia

Existe una gran variedad de métodos para armar cualquiera de las tres uniones anteriores, en seguida se describen algunas formas de unión comunes con imágenes para su mejor comprensión. La información se obtuvo del INATEC (2012).

- **Uniones longitudinales con lengüeta postiza:** es una junta de dos o más piezas de madera, que tienen en sus cantos ranuras (canales) en la que va incrustada una lengüeta, ya sea de madera al hilo o al través. Esta unión se emplea en revestimientos, cielos, puertas y pisos.

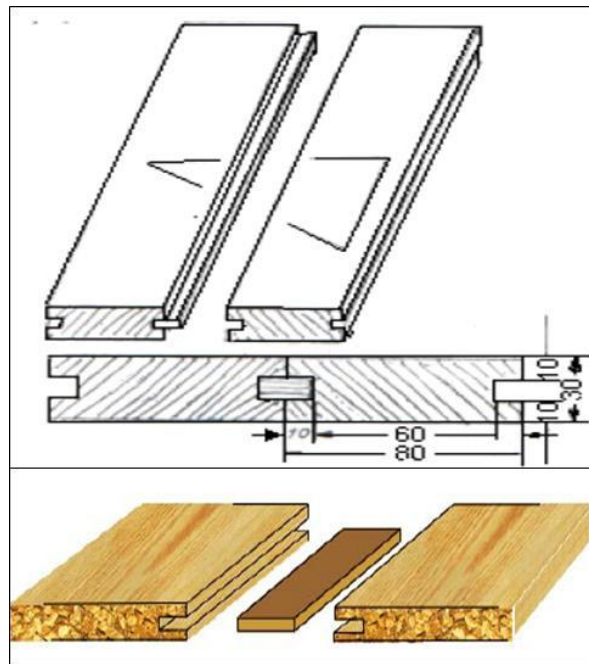


Imagen 2. 14 Unión con lengüeta postiza

Fuente: (INATEC, 2012)

- **Uniones longitudinales con ranura y lengüeta:** (machihembra) se utiliza en pisos, bordes, forros de paredes, puertas y divisiones; consiste en dos piezas que tienen en sus cantos ranura y lengüeta.

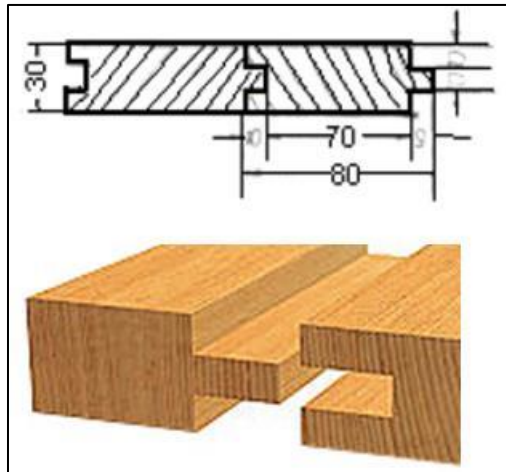


Imagen 2. 15 Unión de lengüeta y ranura

Fuente: (INATEC, 2012)

- **Unión longitudinal con clavija (taquete):** es una junta de dos o más piezas unidas por clavijas, la cual se emplea en trabajos de mucha resistencia, como en tableros macizos de mesas u en construcciones desarmables. Las clavijas aumentarán en proporción considerable la superficie encolada, dando mayor resistencia.
- **Unión a caja y espiga:** Se usa para uniones en ángulo recto. Este tipo de unión es común para la construcción de marcos para puertas y ventanas. Para la construcción de la caja y espiga se divide el grueso de la madera en tres partes iguales, para obtener el tamaño de la caja y de la espiga respectivamente.

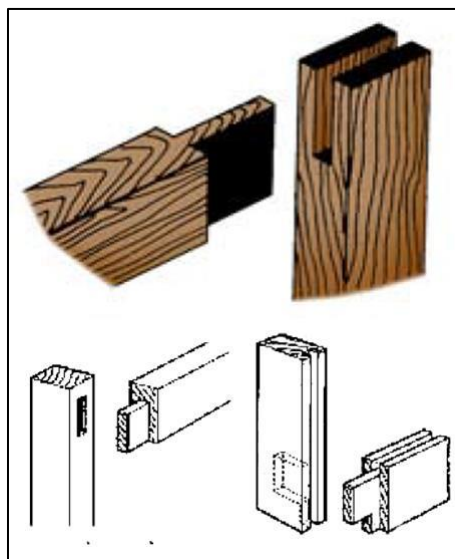


Imagen 2. 16 Unión Espiga ranura (arriba) y Espiga caja (abajo)

Fuente: (INATEC, 2012)

- **Unión de espiga y ranura a 90 grados:** Para la elaboración de las uniones de marcos con espiga y armella, se hace la selección y reparación de la madera. Estas uniones son empleadas en bastidores, divisiones, puertas y trabajos finos de mayor calidad.
- **Unión de espiga y ranura a 90° y 45°:** La unión de espiga y armella a 90 y 45 grados permite perfilar con precisión las esquinas interiores y exteriores de los bastidores. Además este tipo de unión es superior a las anteriores, porque se realizan uniones precisas.
- **Ensamble dentados múltiple recto:** Es la unión de dos piezas en ángulo recto por medio de dientes múltiples rectos, los dientes y contra dientes son de igual profundidad que el espesor de la madera. Esta unión es muy usada en marcos de: gavetas, cajas de diversos usos y en empalmes de construcciones de carpintería.
- **Ensamble a cola de milano:** Esta unión consiste en un dentado múltiple con ajustes y cortes sesgados. La unión de cola de milano visible es muy adecuada para la unión de tableros macizos, que al mismo tiempo permite

la contracción y expansión (hinchado) de la madera, sin perjuicios posteriores, muy utilizada en construcciones de gavetas, cajas, muebles y contramarcos.

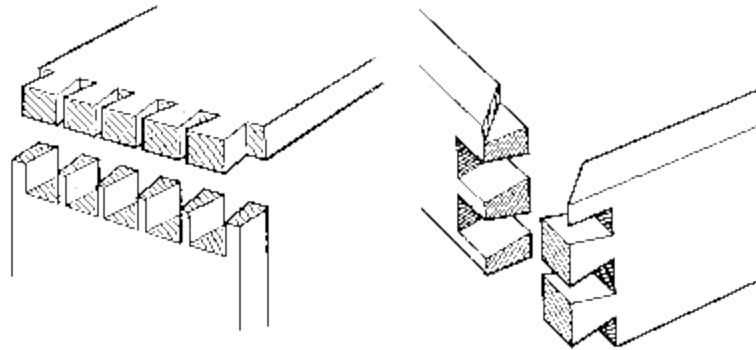


Imagen 2. 17 ensamblaje de cola de milano

Fuente: <http://www.madereros.com/ensambles/ensambles3.html>

Empalme: Se utiliza para producir una mayor longitud de dos piezas o más. Los empalmes se realizan según la necesidad. Adecuándolas para cualquier zona de la viga de madera, debido a que son capaces de devolver el 100% de la capacidad resistente de la madera inicial independientemente de la zona en la que se ubiquen.

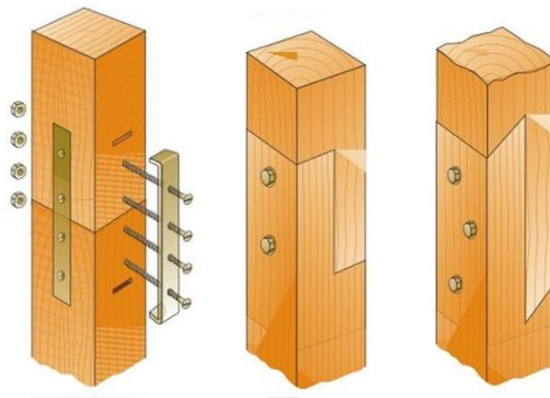


Imagen 2. 18 Diferentes tipos de empalme

Fuente: <http://bricolaje.facilísimo.com/ensambles-caja-espiga/3>

- **Empalme a media madera:** consiste en rebajar el grueso de la madera en las dos piezas, hasta la mitad, que permite superponerlos. El largo del

empalme debe ser 6 veces más que el grueso es decir que si el grueso es de 5cm este debe tener de prolongación 30 cm para la unión en ambas piezas.

- **Empalme de cuña de tope:** Esta unión se utiliza para prolongar distancias y se toma en cuenta el grueso de la pieza y el devaste se hace a una 4 veces más que el grueso. La unión se efectúa de forma rápida.
- **Empalmes de unión simple:** Unión en sentido longitudinal, es apropiada para trabajos pesados. Se realiza haciendo un ángulo de 6 veces más del grueso de la madera en ambas parte de las piezas, esta unión es necesaria reforzarla con pieza de madera o metálicas para garantizar mayor fuerza en la unión esta se aplica en estructura de techo o artesón.

Todas estas uniones se explican de manera particular, sin embargo para conformar componentes constructivo, en el caso de la madera se requieren conexiones complejas que pueden mezclar diferentes tipos de uniones en un elemento constructivo. Y al construir elementos que requieren una alta resistencia son muy necesarios los elementos metálicos, que dan más estabilidad a una estructura. “Las viviendas con estructura en madera se materializan uniendo dos o más elementos independientes que convergen en un punto, conformando la estructura soportante” (CORMA, 2007: 131). Ver imagen 2.19

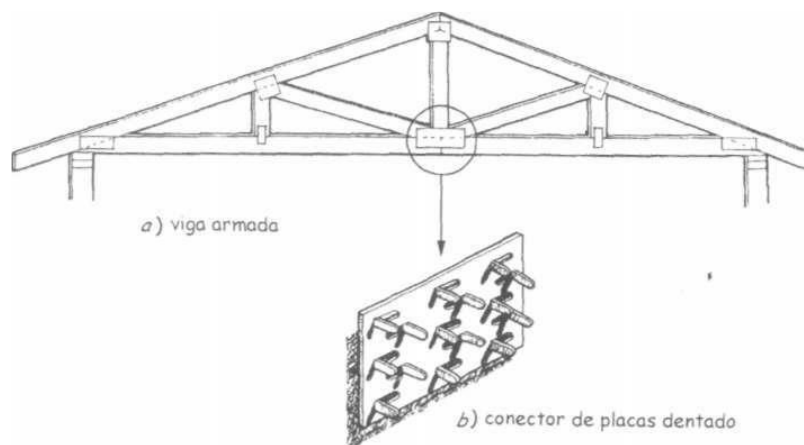


Imagen 2. 19 Armadura de madera con placas dentadas

Fuente: (CORMA, 2007)

En general, todas las piezas estructurales y ensambles deben ser capaces de soportar con adecuada estabilidad y rigidez, la totalidad de las cargas y otras sollicitaciones que pueden ser razonablemente esperadas durante su montaje, construcción y uso (CORMA, 2007: 132), los ensambles y tipos de uniones descritos anteriormente son para aplicaciones en sistemas a base de madera, dado a las características de este material tanto, la trabajabilidad como las propiedades mecánicas. En el caso de otro tipo de materiales como el acero o el concreto, la forma de unión es a base de elementos de apoyo.

Uniones metálicas

Al construir con elementos prefabricados sin importar el material que se utilice, cuando se trata de elementos tanto portantes como auto-portantes, requieren de un mecanismo de unión que asegure su estabilidad. Los elementos conectores por lo regular son metálicos, y existe una gran variedad de éstos mecanismos que responde a diferentes funciones en la unión de elementos.

“Los elementos de acero estructural se conectan mediante remaches, pernos o soldadura” (Moore, 2000: 239), sin embargo no todas estas uniones son reversibles, puesto que la soldadura implica una unión permanente. En la imagen # se pueden ver algunos ejemplos de los mecanismos básicos de unión, sin embargo existe una gran variedad de elementos de conexión más complejos que cumplen diversas funciones cuando se trata de asegurar estructuras o muros en una construcción con elementos modulares prefabricados.



Imagen 2. 20 1) Perno, 2) Espárragos, 3) Tirafondos, 4) Chaveta y lengüeta, y 5) Pasador

Fuente: <http://tecnoindustrialamd.weebly.com/uniones-reversibles.html>

“los pernos resultan poco eficientes como elementos de traspaso de fuerzas y se les utiliza más bien como elementos de ensamblado o de fijación posicional de maderas, en uniones que recurren a conectores especiales para el traspaso de las cargas” (CORMA, 2007: 145).

Los elementos metálicos más complejos que tienen funciones estructurales son los conectores, son elementos muy variados en cuanto a diseño y función, “se pueden encontrar alrededor de 450 tipos distintos de conectores, los cuales van desde las simples placas dentadas hasta aquellos que permiten la unión de elementos de madera en tres dimensiones bajo una gran variedad de ángulos” (CORMA, 2007: 146), esto permite múltiples formas de unir elementos tanto no estructurales como estructurales de diferentes puntos. Para el desplante se utilizan anclas, parte de ellas se cuelan en elementos de concreto para tener una fijación segura.

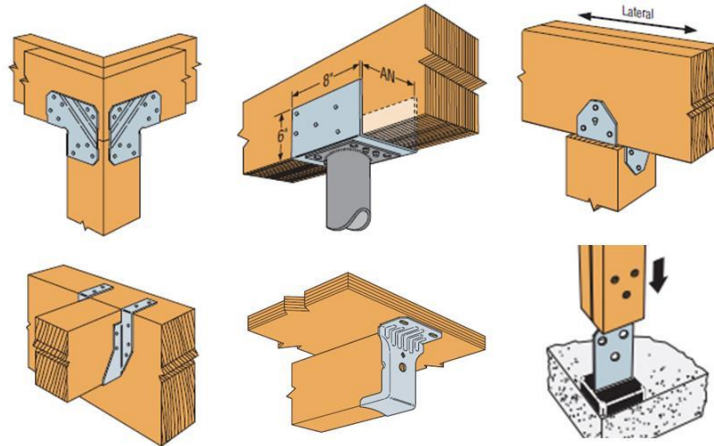


Imagen 2. 21 Algunos tipos de conectores metálicos
 Fuente: (Strong-Tie, 2014)

Otra forma de lograr la flexibilidad en la construcción es mediante uniones articuladas, con lo que se logran elementos móviles que se pueden agrandar o reducir dependiendo el caso y el diseño. Para este caso los elementos que interfieren se denominan articulaciones metálicas y otros sistemas móviles.

Las articulaciones ofrecen la posibilidad de desplazar elementos constructivos tanto de manera vertical como horizontal. Existen varios tipos de articulaciones que son usadas para su aplicación en sistemas constructivos móviles. El Grupo de Investigación Estructuras Adaptables (GEA) ha realizado un profundo trabajo en el tema de las articulaciones aplicadas a sistemas móviles. Su trabajo comprende el desarrollo de diferentes sistemas donde se aplican varias formas de articular elementos, que pueden ser articulaciones intermedias, en un extremo, laminas articuladas, superficies deslizables, entre otras.

2.4. Análisis de sistemas constructivos en seco con uso de elementos modulares

Para una mayor comprensión del funcionamiento y aplicación de los componentes de un sistema constructivo en seco descrito anteriormente, se analizan algunos sistemas que aplican estos conceptos, algunos de ellos incluyen elementos a base de materiales reciclados. En cuanto a la forma que puede adoptar los elementos modulares son de tres tipos: lineales, superficiales y tridimensionales. Las formas

lineales tienen su aplicación principalmente en elementos estructurales, los superficiales cubren la función de relleno de planos que pueden ser divisorios, de entrepiso o de envolventes, mientras que los sistemas tridimensionales son elementos prefabricados terminados, es decir una célula habitacional.

Los sistemas que se analizan se pueden dividir en cuatro grupos de acuerdo sus características formales, de tamaño y de forma de unión. Sistemas tipo Lego, tipo mecano, sistema de placas o paneles; y células tridimensionales.

SISTEMA TIPO LEGO:

Está conformado por piezas pequeñas de la misma forma y medida que se van ensamblando de tal modo que se configuran un muro. Equiparable a construir con block pero con elementos exactos sin necesidad de romper y unidos en seco, para generar el traslape necesario entre elementos se diseñan módulos y medios módulos, que permiten mayor exactitud y a la vez se puede reducir desperdicio.

Para fabricar éste tipo de elementos, el plástico reciclado ha sido una excelente opción. Permite usar como materia prima los desechos de plástico y de esa manera reducir los efectos negativos de éste material en el ambiente. Además el plástico puede proporcionar diversas ventajas constructivas, tanto en el proceso de construcción como en las condiciones de confort dentro de un edificio. Las condiciones que favorecen son el confort térmico y acústico, y la ligereza del material principalmente.

Se analizan dos sistemas constructivos con estas características, el sistema Brickarp y el sistema a base de tabiques de plástico reciclado, ambos sistemas siguen el mismo principio, cada elemento se tiene un hueco y una saliente.

- Sistema Brickarp

Se integra de bloques de plástico compacto fundido en una sola pieza, los módulos son de forma rectangular alargado, de cada elemento sobresale una franja que se inserta en otro elemento igual pero del lado opuesto, para las instalaciones los elementos tiene 4 perforaciones que con la función de coincidir

cuando los elementos estén traslapados. Los elementos estructurales que integran este sistema están fabricados del mismo material, tienen ranuras longitudinales que permite la inserción de los módulos y se unen mediante con conectores metálicos.

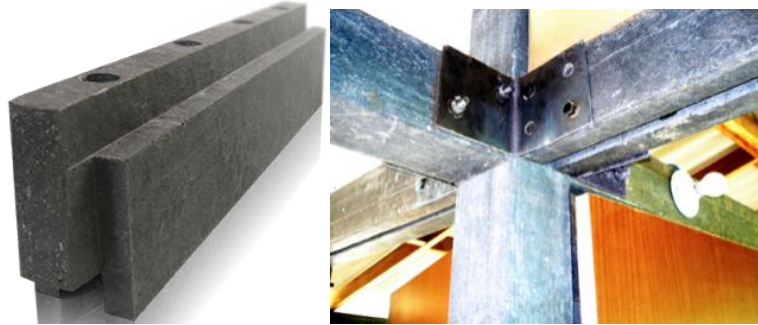


Imagen 2. 22 Elementos de sistema Brickarp

Fuente: <http://www.ficidet.com/brickarp/caracteristicas.htm>

- **Tabiques de plástico reciclado.**

Los elementos que integran este sistema tienen forma muy similar a un tabique de barro, están fabricados de plástico, son hueco, lo que los hace más ligeros y la forma de ensamble en mediante dos saliente cilíndricas huecas por pieza que se ensambla con otras y a la vez permiten la conexión de instalaciones. Los elementos estructurales que utilizan son concreto armado y perfiles de acero a cada determinado número de hiladas del material, para mantener fijos los elementos.

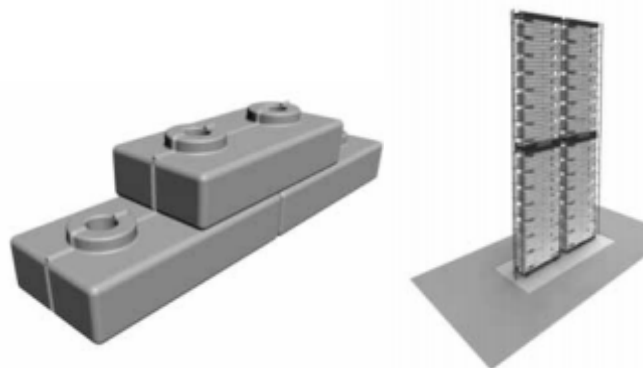


Imagen 2. 23 Tabiques de plástico reciclado

Fuente: (Salcedo, 2014)



Imagen 2. 24 Vivienda construida con sistema constructivo Brickarp

Fuente: <http://www.ficidet.com/brickarp/galeria.htm>

- **Sistemas tipo mecano**

En este tipo de sistemas modulares prefabricados se caracterizan por tener varios tipos de componentes de diferentes tamaños, con usos específicos en la construcción de una cedula habitacional, que pueden ser o no reconfigurables a modo de ser aptos para configurar diferentes formas de la envolvente de un espacio.

La peculiaridad de este tipo de sistemas es que funcionan como si fuera un rompecabezas. Se tienen varias piezas que ocupan un lugar específico para su armado. Este tipo de diseño requiere una ardua labor de desglose de componentes que integrar la construcción. Es una manera menos estandarizada de construir en seco porque comprende un despiece amplio, dependiendo la complejidad del sistema.

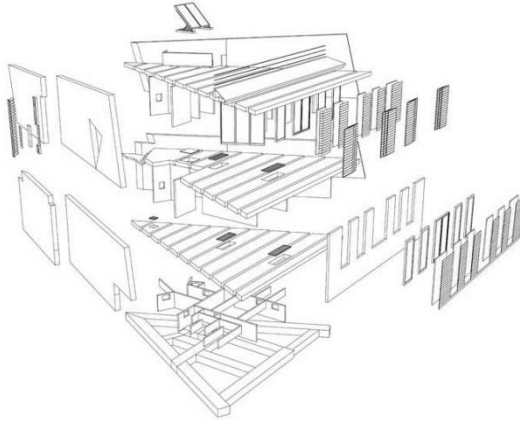


Imagen 2. 25 Despiece de una construcción prefabricada

Fuente: <http://www.esamedistatoarchitetto.com/arquitectura-sostenible-para-la-felicidad/>

- **D- Process**

Los elementos que integran este sistemas tienen la forma que se desee, y se apoya en un sistema de corte a base de router CNC, los elementos se diseñan por computadora y a partir de ahí se cortan las piezas necesarias a la medida. Las piezas son de madera y se forman elementos tipo cajas huecas. Cada pieza tiene al menos un hueco circular, que sirve para inyectar material aislante en el interior del elemento una vez colocado.



Imagen 2. 26 Construcción con sistema D-process

Fuente: <http://blog.arquitecturadecasas.info/2014/06/nueva-tecnica-de-construccion-en-seco.html>

- **Sistema a base de paneles:**

Los paneles son elementos prefabricados con medidas estandarizadas, por lo general de 1.22 x 2.44 m. ofrecen una forma de cubrir una superficie en poco tiempo con medidas exactas. Dependiendo el tipo de panel, puede utilizarse tanto para elementos verticales como horizontales.

Al analizar la composición de los paneles, tanto de construcción en seco como de construcción húmeda algunos de ellos presentan similitudes. Los paneles tienden a ser elementos muy ligeros y están compuestos de un material aislante, por lo que tiene a estructurarse en forma de sándwich, donde el interior suele ser un material ligero y aislador (polietileno, fibra de vidrio). Los paneles más comunes en la construcción son el Durock, panel W y Tablaroca. Sin embargo no todos son sistemas en seco. Los primeros dos Durock tpanel W son a base de concreto y malla de acero y no es posible su recuperación

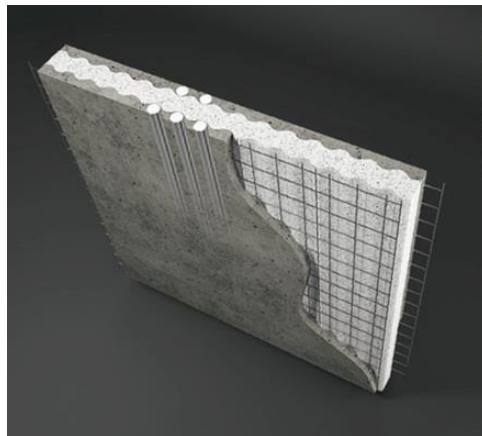


Imagen 2. 27 Panel a base de concreto y poliestireno

Fuente: http://aragua.quebarato.co.ve/santos-michelena/paneles-de-poliestireno-expando-mpanel-eps-anime__81D21D.html

En los siguientes párrafos se describen algunos sistemas a base de paneles o placas fuera de lo convencional, donde los materiales reciclados toman partido, al igual que la construcción en seco con estos elementos. La imagen 2.26 muestra una construcción a base de paneles de 30 cm de espesor que permiten la construcción de una vivienda de un solo nivel en un periodo de dos días.



Imagen 2. 28 Construcción de vivienda a base de paneles

Fuente: http://noticias.arq.com.mx/Detalles/17393.html#.VdN3R_L_Okp

- **ECOPLAK**

Es una pantalla acústica 100% reciclada concebida seleccionando y minimizando el consumo de materiales que la componen. Se suministra en placas autoportantes de 2x1 m que se insertan individualmente en perfiles verticales de soporte hasta alcanzar la altura deseada con ayuda de perfiles rigidizadores horizontales (ZICLA, 2015).

Con referencia a la ficha técnica las placas que conforman el sistema ECOPLAK tiene una dimensión de 1.0 x2.0 m y un espesor de 7 cm, tiene un peso de 80 kg. El material utilizado es totalmente reciclado a base de fibras textiles. Las características de los elementos rigidizadores son perfiles fabricados de plástico reciclado y son de dos tipos: H y U, que se utilizan para conexiones intermedias las de tipo H y para conexiones inferiores y superiores las de perfil U. Su uso es para exteriores. En la imagen 2.27 se puede ver el funcionamiento de estos paneles.

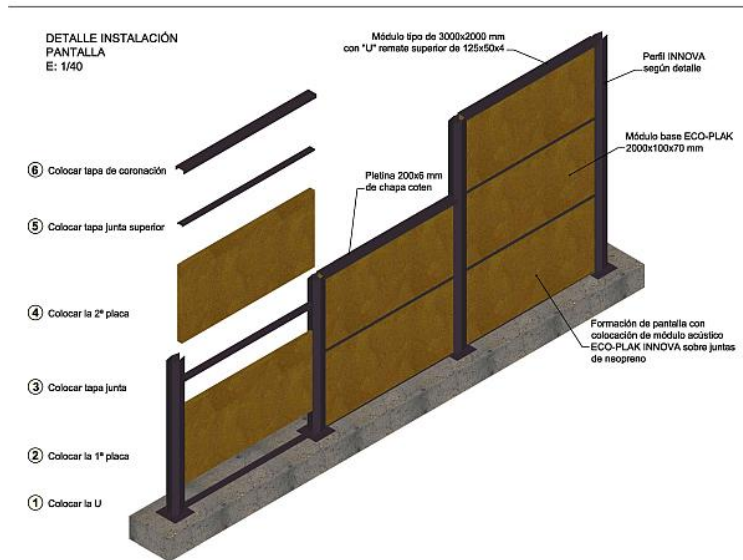


Imagen 2. 29 Sistema constructivo ECOPLAK

Fuente: (ZICLA, 2015)

- **Paneles prefabricados de paja**

Para fabricar estos paneles se utiliza únicamente paja que contiene hasta 15% de humedad. Al prensar la paja, se mantiene un nivel de compresión de 10 hasta 120 kilogramos por metro cúbico. La estructura multidireccional de la paja asegura mejor resistencia térmica.

Los paneles tienen marcos de madera y se unen mediante pernos cruzados y



Imagen 2. 30 paneles en la construcción

Fuente: <http://noticias.arq.com.mx/Detailles/16905.html#>. VVV1sPI_Okp

- **Sistemas células tridimensionales**

Este tipo de sistemas de modulación se constituyen de elementos completos, es decir células habitaciones prefabricadas y la posibilidad de crecimiento o decrecimiento se da agregando o quitando componentes. Dentro de las células tridimensionales están los contenedores marítimos, dado a la enorme cantidad de contenedores existentes, se ha visto una oportunidad de reciclaje de éstos elementos al ser utilizados en la construcción.

- **Sistema Microcompact house**

Es un cubo de aluminio de 2.65, el cual integra sistemas de energía y comunicación y no requiere muebles, está influenciado por arquitectura de la tradicional casa Japonesa del té. Con el espacios divididos en zonas.



- **Sistema contenedores marítimos**

PRO/con (Program/container) es un sistema de construcción que usa objetos estandarizados combinados con elementos tecnológicos, de las bases para un verdadero lenguaje de arquitectura, no solo un estilo. El componente básico es el contenedor marítimo de estándar ISO, que se usan para la forma volumétrica, bajo costo y capacidad de ahorro de tiempo. Este se combina con un sistema de panel estandarizado y dedicado, que es construido con del mismo módulo (Kronenburg, 2007: 96).

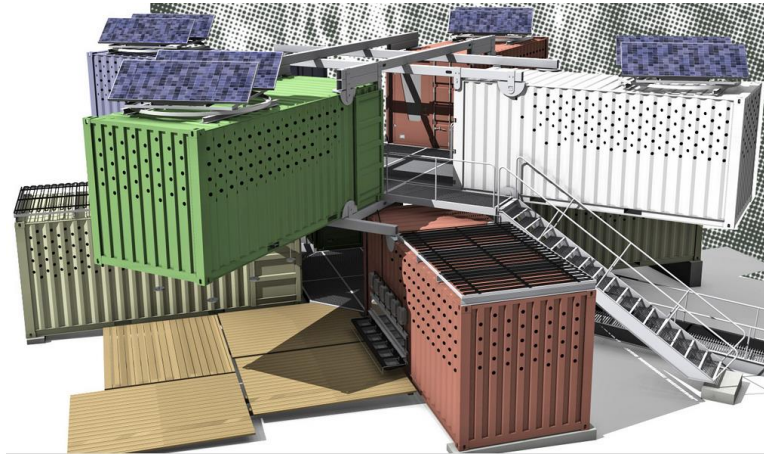


Imagen 2. 31 Proyecto Arrow a base de contenedores marítimos

Fuente: <http://jonespartners.com/index.html>

Cada uno de estos sistemas expresa una forma diferente de construir en seco, la mayoría de los sistemas, permiten la recuperación de sus piezas de los cuales se pueden retomar los mecanismos para su funcionamiento, otros se combinan con sistemas estructurales convencionales, lo que limita su flexibilidad. En los anexos en las páginas #-# se pueden observar a más detalle los componentes de los sistemas constructivos antes descritos.

3. Materiales alternativos con posibilidad de uso en elementos modulares prefabricados

Las técnicas constructivas han tenido diversas transformaciones a lo largo de la historia, entre las más significativas están el reemplazo de los materiales tradicionales obtenido del entorno inmediato, con la mínima transformación y procesamiento (el uso de la tierra en diferentes técnicas constructivas por ejemplo); por materiales de índole industrial, cuyos procesos de transformación de la materia prima implican un derroche energético y altas emisiones contaminantes (cemento para el concreto, tabique recocido, etc.). Lo que ha convertido al concreto y tabique como materiales convencionales en la construcción, principalmente por la asociación con Los términos durabilidad y resistencia.

La industria de la construcción es una de más grandes consumidoras de recursos materiales que se utiliza tanto en pequeños edificios como grandes rascacielos. En las últimas décadas se observa una inclinación al uso de materiales industrializados provenientes principalmente del subsuelo. En el caso de la vivienda predomina el uso de materiales como el block y concreto. Los cuales reemplazaron el uso del adobe que era muy común apenas en el siglo pasado.

Por el otro lado la contaminación a causa de los residuos es muy evidente en las ciudades, como producto de una sociedad consumista y con poca cultura del reciclaje. Lo que provoca rellenar el subsuelo con una gran variedad de elementos de desecho que contaminan los mantos freáticos. Día con día aumentan las montañas de basura compuesta de desechos que alguna vez fueron recursos naturales. Todo esto resultado del sistema económico, donde el consumo de productos sigue un proceso lineal.

Ante esta situación ambiental donde los residuos abundan y los recursos naturales van en decadencia, se buscan alternativas en cuanto al uso de materiales que puedan implementar un equilibrio, al considerar lo que ahora es basura como materia prima para nuevos productos y materiales, lo que Hebel, Wisniewska

y Heisel (2014) denominan como la mina urbana, que plantea una valoración y utilización de los desechos urbanos para diversos fines.

Todo esto denota una preocupación en el ámbito de la arquitectura por buscar alternativas en cuanto al uso de materiales y sobre todo en la forma de construir, esto ha dado pauta al desarrollo de una gran cantidad de proyectos arquitectónicos y sistemas constructivos abiertos, donde la prioridad es recuperar elementos de desecho como material constructivo.

Sin embargo una manera de reducir su empleo y por consiguiente sus efectos negativos en el medio ambiente, podría ser a través de la combinación con materiales alternativos amigables con el medio ambiente mediante técnicas eficientes y compatibles. En este capítulo se estudian algunos materiales alternativos a los convencionales, que son de bajo impacto ambiental y que tienen la posibilidad de uso en elementos modulares prefabricados, es decir, pueden ser utilizados en un sistema constructivo en seco.

3.1. Definición y clasificación de los materiales alternativos

El término materiales alternativos implica una opción de materiales constructivos diferente a la convencional utilizados en la construcción de vivienda, que se observa en el entorno construido, esto son el concreto, acero, block y tabique principalmente. Dentro de los materiales alternativos en este estudio, se consideran que sean de bajo costo, fácil obtención de la materia prima y sobretodo que sean materiales amigables con el medio ambiente; en este sentido podemos encontrar diferentes adjetivos a los materiales de bajo impacto ambiental, entre algunos términos usados están: los materiales bioclimáticos, ecológicos o naturales.

Se opta por el término alternativo porque permite la inclusión de materiales que de diversas procedencias, no solo naturales; como los son los materiales producto del reciclaje que se pueden obtener a partir de desechos urbanos de diversa índole: diferentes tipos de plástico, papel, basura agrícola, envases de tetrapack, entre otros.

King (2000) considera que una de las razones del poco uso de materiales alternativos es la falta de información y experimentación al respecto, que a pesar de ser materiales de uso ancestral, pueden carecer de estudios ingenieriles que limite su uso *“Habiendo aprendido a trabajar casi exclusivamente con los “grandes cuatro” materiales (concreto, piedra, acero y madera) muchos ingeniero son muy cauteloso o renuentes a trabajar con materiales de los que nunca han leído en libros”* (King, 2000: 71), sin embargo hoy en día es posible encontrar diversos estudios acerca de materiales naturales de uso ancestral y sus propiedades térmicas y mecánicas principalmente, de materiales como la tierra, el bambú, la paja, inclusive algunos otros producto del reciclaje.

En este sentido se plantean para este estudio, materiales alternativos de dos tipos: reciclados y naturales, dentro de los reciclados se consideran principalmente polímeros, celulosa de papel y envases de Tetra pack, mientras que en los naturales se proponen materiales de tres tipos: madera tierra y herbáceos. Éstos últimos que tienen otras clasificaciones. En la imagen 3.1 se puede ver un esquema que explica mejor la clasificación.

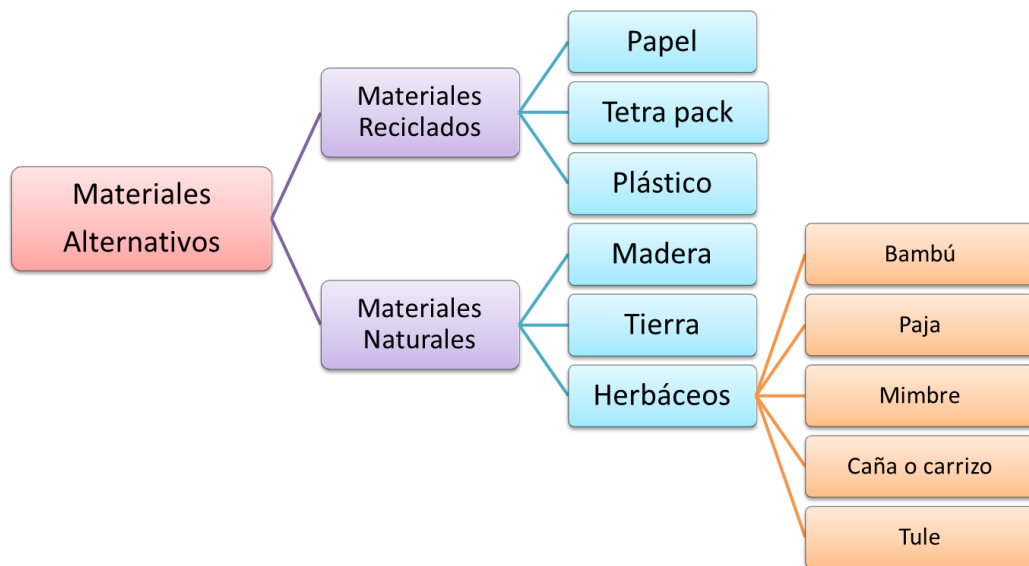


Imagen 3. 1 Clasificación de los materiales alternativos

Fuente: Elaboración propia

La posible aplicación de estos materiales se analiza en función a tres formas que pueden tener los elementos prefabricados en la construcción modular, que como

se describe en el capítulo 1, pueden ser lineales, superficiales o volumétricos, sin embargo solo se consideran los primeros dos, puesto que los elementos volumétricos pueden ser conformados con elementos superficiales que tengan eficientes formas de unión y conexiones.

La propuesta de aplicación de cada uno de los materiales que se analizan está muy relacionada a la forma o estado en que el material se puede obtener, por ejemplo, la madera se puede conseguir en elementos lineales (polín, duela, tabla, etc.), que pueden constituir marcos para un relleno con otro material o bien, puede ser utilizada para cubrir una superficie; mientras que la tierra, la paja, y las fibras, al no tener forma definida es más factible su uso para ser moldeada y cubrir una superficie de un elemento modular prefabricado.

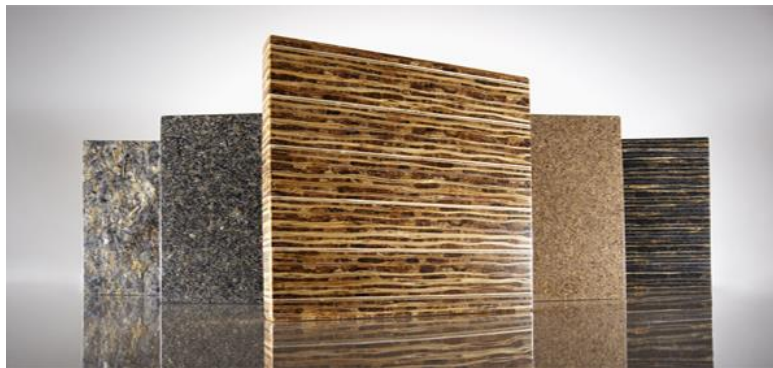


Imagen 3. 2 Materiales ecológicos a base de desechos agrícolas

Fuente: <http://www.arquitecturaverde.es/blog/salud-y-construccion-materiales-libres-de-formaldehido/>

3.2. Materiales producto del reciclaje

En las últimas décadas la gran problemática que se vive en todo el planeta en cuestión de agotamiento de recursos y contaminación ambiental, originada por un lado la gran cantidad de basura y desechos producidos principalmente en la ciudades, y por el otro por la necesidad de cada vez más construcciones que requieren de materiales extraídos de debajo de la corteza terrestre, lo cual implican procesos de alto impacto ambiental; ha dado pauta a diversas investigaciones encaminadas a la búsqueda de alternativas de materiales constructivos utilizando los desechos como materia prima.

Lo cual ha resultado en propuestas muy interesantes de material con diversos usos en la construcción, donde la obtención de los recursos no es necesariamente excavar en la corteza terrestre, sino que se obtiene de la misma ciudad, en relación a esto surge el concepto “urban mining” (mina urbana) que *“describe el potencial para entender nuestras ciudades como almacén de recurso, de los cuales se pueden tomar con el fin de recuperar los materiales para la producción de nuevos bienes, entre ellos la propia ciudad”* (Hebel, Wisniewska and Heisel, 2014).

En su libro “building from waste” (construcción de basura) Hebel, Wisniewska y Heisel (2014) describen diversos materiales constructivos cuya materia prima proviene de los desechos; materiales que en su gran mayoría han sido probados en prototipos de construcciones y presentan diversas ventajas, además de la reducción de la basura en el medio ambiente, han demostrado tener propiedades térmicas, acústicas, ligereza, entre otras, además son alternativas de bajo costo.

La tendencia que siguen estos autores está encaminada en ver la basura como un recurso, *“la ciudad del futuro no hace distinción entre basura y recurso”* (Hebel, Wisniewska and Heisel, 2014: 18). Asimismo en el estudio que realizan hacen una clasificación de algunos materiales obtenidos a partir de basura, clasificados de acuerdo a los tipos de procesos necesarios para su producción y esto son: material de basura densificada, reconfigurada, transformada, diseñada y cultivada. Los primeros tres se refieren al reciclaje y reusó de los recursos. En los siguientes párrafos se describen esos tres tipos de procesos.

- **Material de basura densificada:**

En este proceso lo principal es reducir el volumen de la basura a través de la compactación, éste puede ser mediante la colocación del material de desecho en moldes y comprimirlo; o bien comprimir el material suelto para obtener uniformes pellets altamente densos. En cualquiera de las dos formas el material permanece inmodificable en su composición química, y mientras no sean mezclados con algún otro elemento o sustancia, pueden ser nuevamente reciclados.

Los materiales de basura densificada pueden tener propiedades como aislamiento térmico, acústico, y en la medida del grado de compactación pueden tener buena resistencia al fuego. El papel y la paja por ejemplo muestra alto potencial de resistencia al fuego en forma comprimida, sin embargo este tipo de materiales deben tener buena protección contra la humedad.

- **Material de basura reconfigurada**

Comprende todos los productos donde los componentes de la basura en bruto han sufrido cambios antes de ser procesados en un nuevo elemento constructivo. Cortar en tiras, romper, aserrar o moler son unas de las formas de aplicar la fuerza mecánica para cambiar la original configuración del material de la basura. Los resultantes: pellets, pequeños trozos, tiras, fibras, etc. Después siguen otros procesos, donde usualmente se mezclan con otros componentes como adhesivos orgánicos, inorgánicos o minerales y se presionan en un molde de cualquier forma y tamaño.

En términos estructurales los materiales de basura reconfigurada pueden estar limitados. Por tanto, para su uso se opta por mezclarlos con diferentes materiales (pueden ser de desecho o no) para crear nuevos productos que forman parte de un proceso cíclico, sin embargo este uso se hace teniendo especial cuidado ingenieril de la cantidad de material reciclado permitida.

- **Material de basura transformada**

La transformación implica una alteración del estado material por la incorporación de otros materiales o formas de energía utilizada. Este proceso representa la conversión de la basura en un nuevo estado de existencia en diferente manera, composición, forma y función a través de la pérdida completa de la estructura organizacional del material.

Los materiales que se analizan en esta clasificación pueden ser utilizados en las diferentes formas antes descritas. Así mismo la selección de materiales se analizan en relación a su aplicación en materiales constructivos. Se describen las

diferentes formas de utilización que han tenido lugar los diferentes desechos. De este modo se puede tener definir su forma de utilización en elementos modulares, al tomar en cuenta sus características y propiedades. En este ámbito se consideran tres tipos de materiales: celulosa de papel, polímeros y envases de tetrapack.

3.2.1. Celulosa de papel

El papel y cartón reciclados puede ser utilizado de diferente manera, se ha comprobado su versatilidad al ser utilizado como materia prima de varios elementos y sistemas constructivos. El papel cuando se convierte en desecho tienen una amplia posibilidad de usos para ser reciclado o reusado en material constructivo gracias a la celulosa como componente principal proveniente de la madera. Además implica procesos de bajo consumo energético en la transformación de la materia. Otra de sus ventajas es sus propiedades térmicas. *“La celulosa tiene una buena capacidad de aislamiento por su capacidad calorífica”* (FNR, 2014: 52), lo que puede favorecer al confort térmico en el interior de una construcción que aplique este material.

En cuanto al proceso del material de basura densificada, descrito anteriormente, una aplicación en este sentido es las balas de cartón, que pueden ser equiparables a las balas de paja. *“Las capacidades estructurales, los potenciales de masa térmica y los valores de aislamiento convencieron a los diseñadores a explorar las balas de basura de cartón como potencial para construir elementos convencionales”* (Hebel, Wisniewska and Heisel, 2014: 42), dichas propiedades tanto estructurales como térmicas se logran gracias al espesor y dimensiones de las balas de cartón que son utilizadas. Estos elementos son autoportantes y en las uniones *“se sellan con una mezcla de cemento portland, el suelo y las virutas de cartón”* (Hebel, Wisniewska and Heisel, 2014: 42).



Imagen 3. 3 Construcción con Balas de cartón

Fuente: (Hebel, Wisniewska and Heisel, 2014: 43,45)

Otra forma de utilizar el papel como material constructivo es de manera triturada, donde la materia prima se humedece y se prensa en una forma determinada. *“Cuando el papel y el cartón utilizado se vuelven a convertir en pulpa por adición de agua las fibras y el almidón se disuelven y se convierten en una masa moldeable que puede ser prensada en prácticamente cualquier forma deseada”* (Hebel, Wisniewska and Heisel, 2014: 76). Una aplicación de este material es en los ladrillos de papel comprimido que se observan en la imagen 3.4 en el que se usó *“papel y carton para producir ladrillos añadiendo nada más que agua, presionando y dejando que se sequen”* (BRG, 2014). Las formas pueden ser muy variadas, de acuerdo al molde que se disponga.



Imagen 3. 4 bloques de papel comprimido

Fuente: <http://www.block.arch.ethz.ch/brg/content/research/336>

En relación a la utilización del papel humidificado a manera de masa, un material de desecho muy similar es el lodo de celulosa que se puede obtener de las aguas

servidas que generan las fábricas de papel “*un lodo compuesto básicamente por materiales celulósicos, arcillas, materiales húmicos, productos químicos de la coagulación y microorganismos*” (Quinchia , Valencia and Giraldo , 2007: 10) del cual se han estudiado sus propiedades y resulta una buena opción para su aplicación como material en falsos plafones. Al estudiarlo se concluyó que “*una de las aplicaciones viables es usarlos en la fabricación de elementos no estructurales como paneles prefabricados, los cuales podían armarse a partir de mezclas del residuo con yeso o cemento*” (Quinchia , Valencia and Giraldo , 2007: 10).

Otro ejemplo en cuanto al reciclaje del papel es un uso muy peculiar asemejando un troco de un árbol, en el proceso “*el desperdicio de papel se empapa con pegamento y envoltorio largo de un eje lineal en un movimiento radial. Formando sucesivamente un rollo de capas de papel que recuerda a un árbol de largo. Cuando se corta un tronco las capas recuerdan a los anillos de crecimiento anual del árbol*” (Hebel, Wisniewska and Heisel, 2014: 46), esto da lugar a un material denominado newspaperwood (madera de periódicos), que alcanza gran resistencia y se puede manipular tal como se hace con la madera (cortar, fresar, taladrar, etc.), además si se sella puede ser incluso un material impermeable.



Imagen 3. 5 Madera de periódicos (Newspaperwood)
Fuente: (Hebel, Wisniewska and Heisel, 2014: 47,48)

Entre las múltiples posibilidades que brinda el papel y cartón en la fabricación de materiales de construcción su aplicación también ha sido aprovechada en elementos que a base de concreto, generando lo que se denomina papelcreto.

Para mejorar sus propiedades y lograr una cohesión entre los componentes del papel es necesaria la adición de algún material aglutinante, que pueda mejorar sus propiedades y lograr mejores resultado en su aplicación como elementos constructivo. Para la aplicación de papel triturado en un muro constructivo “Se elaboró una mezcla de agua-baba de choya-sal del orden de 4 litros de agua, uno de baba y 5 gramos de sal de cocina. Esta mezcla se decanta en un recipiente junto con el papel y cartón (fraccionados en partes) para empaparlo” (Cervantes , Valdez and Gonzales , 2010: 33).

Otros elementos utilizados para mejorar la adición del papel es el engrudo, “la adición de una pasta de almidón de trigo orgánico a la pulpa antes de pulsar, aumenta significativamente la resistencia a la compresión del producto” (Hebel, Wisniewska and Heisel, 2014: 76). Otros elementos que también puede servir para mejorar las propiedades de la celulosa es el boro. “El aislamiento de celulosa se hace a partir de residuos de papel desmenuzado con la adición de sales de boro y / u otros aditivos en el proceso de secado” (FNR, 2014: 52)

El papel ofrece muchas posibilidades de uso en diferentes formas, con el refuerzo de algún otro material es posible lograr elementos constructivos interesantes, considerando también que es un material muy abundante entre los desechos.

3.2.2. Polímeros

Los plásticos, por su composición y su origen derivado del petróleo y por tanto de una materia prima agotable, son un residuo de alto valor, relativamente fácil de recuperar y abundante (Arandes et al, 2004), precisamente la abundancia de este material es consecuencia de su bajo costo de producción y su utilización en productos de empaque desechable (envases de refresco, bolsas, etc.).

La aplicación del plástico en la construcción ha sido un alternativa a la que recurren personas de escasos recursos y grupos ecologistas principalmente, pues es un material abundante en el entorno y se han implementado diversas formas de utilización, que van desde el reúso de botellas, mezcladas con elementos aglutinantes como lo es la tierra, hasta procesos de reciclaje que implican la fundición del material plástico.

Actualmente el uso del plástico como elementos modulares de da a través de pequeños blocks tipo lego que pueden ser huecos o macizos, que se les da forma mediante la fundición de la materia prima. Entre las ventajas a resaltar de este material es su alta resistencia así como su ligereza en la construcción. Además de ser un material que dependiente del tipo de plástico, puede ser fundido y permite la fabricación de elementos complejos, incluso elementos estructurales, como se puede observar en la imagen 3.5.



Imagen 3. 6 sistema constructivo Brickarp compuesto de bloques de plástico
Fuente: <http://www.ficidet.com/brickarp/inicio.htm>

3.2.3. Envases de Tetrapack

Hasta hace poco los envases de Tetra pack se consideran residuos difíciles de reciclar, ya que es un material laminado, que se integra por capas de diferentes materiales, “el envase está compuesto de seis capas las cuales se encuentran distribuidas de la siguiente forma del interior al exterior: Dos capas plásticas de polietileno, aluminio, polietileno, cartón, polietileno” (Turrado et al., 2008). Ésta condición dificulta su proceso de reciclaje y recuperación de las diferentes capa que las integran.

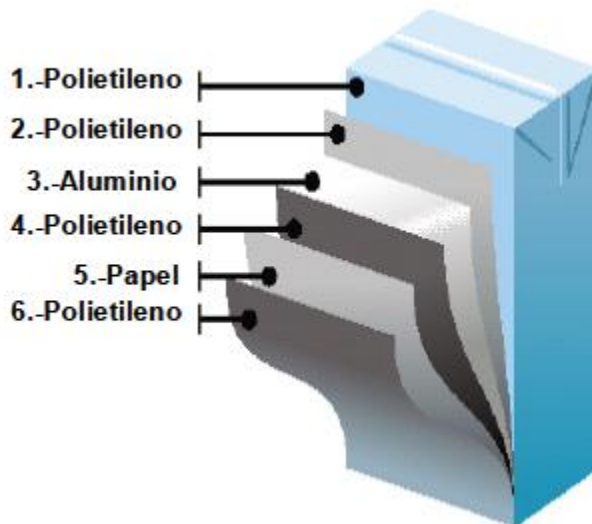


Imagen 3. 7 Capas de Envase Tetra Pack

Fuente: (Turrado et al., 2008)

Actualmente se han encontrado diversas alternativas de procesar estos desechos para ser utilizados como material de construcción. En algunos procesos se ha optado por separar las múltiples capas del material. “Por su alto contenido en fibra celulósica y su impacto ambiental se estudia la separación de los principales componentes del envase con el objetivo de recuperar fibra útil. Para ello se utiliza un molino de bolas” (Turrado et al., 2008), la celulosa obtenida puede ser utilizada como adhesivo que mejoran la cohesión de otros materiales.

Otros procesos más sencillos se basan en el triturado del material y con el material obtenido mediante la compresión y uso de algún aglutinante se pueden obtener placas que pueden ser utilizadas como techumbres, o bien como paneles. Un ejemplo de ello es la empresa Ecoplak que utiliza “como materias primas, residuos de papeles laminados de difícil reciclaje, principalmente envases de Tetra Pak y otros empaques, para fabricar láminas aglomeradas, termocubiertas” (ECOPLAK, 2012). La ventaja de este sistema es que se aprovecha en su totalidad los elementos de desecho. En la imagen 3.7 se puede observar una lámina termoformada a partir de desechos de Tetra pack.



Imagen 3. 8 Lámina termoformada para cubiertas

Fuente: (ECOPLAK, 2012)

No obstante éstos elementos de desecho también se pueden utilizar como pequeñas láminas, es decir sin necesidad de transformar el envase de Tetra pack, simplemente se puede desdoblar y de este modo aplicarlo pieza por pieza para el relleno de una superficie, con elementos de sujeción que asegure su estabilidad. En la imagen 3.8 se puede observar un ejemplo de la aplicación de las pequeñas lámina de cartón multicapa utilizado junto con la madera para rellenar superficies.



Imagen 3. 9 Vivienda de Tetra pack y madera

Fuente: <http://www.taringa.net/posts/imagenes/14203678/Una-casa-de-tetrapak.html>

Sin embargo es importante buscar alternativas seguras, donde el material utilizado ofrezca posibilidades de un uso resistente y duradero. Con el proceso de basura compactada es posible obtener materiales de buena calidad complementados con otros elementos rígidos como puede ser la madera.

3.3. Materiales de origen natural

En la búsqueda por utilizar materiales más amigables con el medio ambiente, en épocas recientes se han desarrollado diversos sistemas constructivos que retoman nuevamente los materiales de origen natural, utilizados en sistemas constructivos ancestrales. En esta nueva visión se ha detectado gran potencial al uso de las fibras naturales o materiales herbáceos, que ofrecen varias ventajas en la construcción, como un buen aislamiento térmico, ligereza y rápido crecimiento.

Los materiales naturales más comunes en el uso de la construcción son la madera y la tierra, sin embargo existen los materiales herbáceos que se obtienen de pastos o hierbas muy abundantes en la naturaleza. “Los materiales de origen vegetal representan una alternativa a los resultantes de métodos de fabricación más complejos” (Paredes, 2014). Estos materiales se utilizan como elementos de refuerzo en técnicas constructivas a base de tierra, como el bajareque o el adobe. Sin embargo también pueden ser utilizados de manera independiente. La forma de utilización de estos materiales en elementos constructivos ofrece diversas posibilidades de uso.

3.3.1. Madera

La madera para su uso en la construcción se puede obtener de una gran variedad de especies un material natural renovable, para su uso responsable es necesario un estricto control forestal en su obtención. El uso de la madera está muy limitada en la construcción, y en sistemas constructivos de concreto armado es utilizada únicamente como obra falsa (cimbra), la cual después de algunos usos es desechada. Entre sus desventajas está el proceso de lento crecimiento que requiere un árbol para ser utilizado en la construcción.

El uso de este material en la construcción puede ser aplicada para casi todo tipo de elementos en la construcción de vivienda, tanto estructurales como decorativos, a excepción de los cimientos. Además “se puede encontrar en gran variedad de formas comerciales” (Arquba , 2015), lo que amplía las posibilidades de su uso en elementos modulares.

- **Tableros macizos:** Pueden estar formados por una o varias piezas rectangulares encoladas por sus cantos.
- **Chapas y láminas:** Formadas por planchas rectangulares de poco espesor.
- **Listones y tableros:** Que son prismas rectos, de sección cuadrado o rectangular, y gran longitud.
- **Molduras o perfiles:** Obtenidos a partir de listones a los que se les da una determinada sección.
- **Redondos:** Que son cilindros de maderas generalmente muy largos.
- **Tableros contrachapados:** Son piezas planas y finas que pueden trabajarse bien con herramientas manuales, como la segueta. Están formados por láminas superpuestas perpendiculares entre sí

La madera es un material muy noble que ofrece varias ventajas: “Requiere de poco procesamiento para convertir esta materia prima en un producto óptimo para la construcción. Su procesamiento es relativamente limpio y de bajo consumo de energía” (Hernández, 2010), es un material muy resistente, “tiene buenas propiedades de resistencia a la tensión, compresión y flexión” (Fournier, 2008: 97), además es un material muy ligero, lo que facilita su manipulación y se puede unir mediante conexiones del mismo material; se caracteriza por ser muy buen aislante térmico, acústico y eléctrico. Es un material muy estético que se usa como acabado final en edificaciones.



Imagen 3. 10 Construcciones de madera con elementos prefabricados

Fuente: <http://modularprojects.es/la-madera> (izquierda); <http://facit-homes.com/> (derecha).

Para el óptimo uso de la madera es importante considerar algunos factores como el nivel de humedad, que no exceda de 20%. “El secado de la madera aporta las siguientes ventajas: estabilidad en forma y dimensiones; mayor resistencia mecánica; mejores propiedades térmicas, acústicas y eléctricas; menor peso, favoreciendo su transporte y manipulación; y mayor resistencia biológica” (Fournier, 2008: 98). También es importante protegerla ante agentes biológicos o físicos que puedan afectar su estabilidad.



Imagen 3. 11 Construcción con madera machihembrada

Fuente: <http://icasasecologicas.com/madera-laminada-o-estructura-de-madera/>

La desventaja de la madera al ser un recurso de tardado crecimiento implica la limitación de su uso, sin embargo puede utilizarse como elementos auxiliares en la estructura, se puede complementar con algún otro material de los que aquí se describen, para que su uso no implique un alto impacto. En la imagen 3.11 se observa un método constructivo que aplica la técnica del ensamble, sin embargo la cantidad de madera que se necesita para una construcción de ese tipo es exuberante.

3.3.2. Tierra

La tierra es de los materiales más arcaicos utilizados en la construcción que ofrece diversas ventajas, sin embargo debido a la industrialización que dio lugar a la introducción de materiales modernos en la construcción en el siglo décadas se había vuelto obsoleta, pero hoy en día se busca la reinserción de esta técnicas en la construcción. “Las tierras para construir se definen como una mezcla de gravas, arenas, sedimentos y arcillas. La arcilla que asegura la cohesión del conjunto,

actúa como aglutinante en aquellas tierras que de manera efectiva pueden utilizarse para construir sin necesidad de estabilizarlas con algún agregado” (Aguilar, 2008).

Diversos estudios han evidenciado las numerosas ventajas de la tierra que la convierten en un material ideal para uso en construcción de vivienda. Entre sus múltiples propiedades, según Corrado (1999), Aguilar (2008) y Cedeño (2010) están:

- Facilidad de obtención, elaboración y aplicación
- Es un material térmico: tiene bajo coeficiente de conductividad térmica de 0.50 a 0.70 lo que favorece a lograr una temperatura confortable en cada época del año.
- Aislamiento acústico: permite obtener niveles de confort acústico como el necesario para dormitorios cuyo límite entra en el rango de 38 a 47 decibeles
- Es un material con alta resistencia al fuego
- Es un material natural por lo que tiene nula toxicidad y se puede recupera completamente
- Es de bajo consumo energético tanto por peso como por volumen, pues consume 0.2 mj/kg y 320 mj/m³.

Entre los inconvenientes que presenta la tierra como material constructivo esta su baja resistencia mecánica, pues de acuerdo a Aguilar (2008) presenta una resistencia a la compresión de entre 10 y 19 kg/cm² y a la tensión es de 2.6 kg/cm², por lo que requiere de muros amplios para resistir las cargas de los niveles posteriores y la cubierta.

La selección de la tierra adecuada es de suma importancia para su buen funcionamiento en elementos constructivos. Esto depende de varios factores: la profundidad de obtención de la tierra, para lo cual es necesario retirar la capa superficial hasta 60 cm para eliminar la materia orgánica que pueda tener; el color y el olor de acuerdo a Van Lengue (2011) las tierra de color rojo, castaño y

amarillo claro son ideales para construir. El olor a moho en la tierra indica que es tierra vegetal, por tanto no es apta para construir.

Para determinar si la composición y el comportamiento en elementos constructivos de la tierra selecta es el adecuado es necesario realizar algunas pruebas con las que se obtendrán las características de la misma. “Cuando se ha llevado a cabo ensayos con la tierra que se pretende utilizar para construir y sus características no resultan apropiadas [...] entonces es posible emprender acciones para su mejoramiento a través de lo que se conoce como procesos de estabilización“ (Guerrero, 2007: 188).

La estabilización de la tierra implica la adición de materiales externos que pueden ayudar significativamente las propiedades de la tierra. En los procesos de estabilización de acuerdo a Guerrero (2007) existen dos tipos: procesos homogéneos y procesos heterogéneos. En el primer tipo se busca mejorar la tierra añadiendo otro tipo de tierra de diferentes proporciones en cuanto a contenido de limos, arcillas y arena, de este modo se logra un equilibrio y por consiguiente mejores propiedades de la tierra.

Los procesos heterogéneos consisten en agregar componentes ajenos a la tierra. “Estos procesos se pueden dividir en tres subgrupos en función a su forma de actuación sobre el suelo: los estabilizantes por consolidación, por fricción y por impermeabilización. Los estabilizantes por consolidación proporcionan ayuda a las arcillas en la acción aglutinante que se ejercen sobre las partículas inertes del suelo” (Guerrero, 2007: 188). La cal es considerada como mejor estabilizante, sin embargo existen otros elementos que también ayudan a una mejor consolidación. Como pueden ser polímeros extraídos de las cactáceas o las proteínas animales provenientes de la leche y el huevo.

“Los estabilizantes por fricción sirven para conformar una especie de “red” a las que se adhieren las partículas del suelo y que controla su desplazamiento, dilatación y retracción durante el fraguado. Asimismo modifican los patrones de agrietamiento” (Guerrero, 2007: 189). Para esta función las fibras son los

elementos adecuados. Existen una gran variedad de fibras vegetales que pueden ser utilizadas para este fin. La paja es una de las fibras más utilizadas en técnicas constructivas a base de tierra.

El tercer tipo se refiere a los hidrofugantes, estabilizantes por impermeabilización “tienen la función de conformar una especie de capa protectora en torno a las partículas de arcilla que regulan su contacto con el agua. Las sustancias que has demostrado mejores resultados como “repelentes” son las grasas tanto de origen animal como vegetal o fósil” (Guerrero, 2007: 190). Entre estos elementos se consideran el cebo de res y la lecho; aceites vegetales (girasol, linaza y oliva) y el asfalto. Otras sustancias que cumplen con esta función son el mucilago y la cal.

Existen varias técnicas constructivas que utilizan la tierra como materia prima, las cuales varían en cuanto a la dimensiones y características de los muros y elementos donde se utiliza. En este estudio se identifican 5 técnicas constructivas que utilizan tierra. Éstas son: Adobe, Bajarque, Tapial, cob y arcilla aligerada. Las cuales se describen de brevemente en los siguientes párrafos.



Imagen 3. 12 Construcción de muro con técnica bajarque

Fuente: (Minke, 2012)

- **Adobe:** ladrillo crudo que consiste en una mezcla de tierra y paja, u otro material vegetal, moldeado en una horma de madera, generalmente

rectangular, que se deja secar al sol entre una y tres semanas (Corrado, 1999: 65).

- **Bajareque:** Pared de cañas, madera y tierra. es un esqueleto armado utilizando carrizos, cañas o varas flexibles que forman una retícula trenzada y amarrada a postes de madera clavados en el suelo, a cuyas superficies se agrega lodo, similar al que se utiliza para fabricar adobe, en capas de 3 a 6 cm e espesor por ambas caras” (Rodríguez Viqueira, 2002: 91) ver imagen 3.12
- **Cob:** la preparación de la mezcla es similar a la del adobe, la diferencia es que en esta técnica los muros se construyen con el material húmedo y se van moldeando, finalmente se seca en conjunto toda la envolvente.
- **Tapial:** tierra batida en la cual se comprime la tierra con un instrumento de madera y un molde de tamaño de la pared que se desea construir capa tras capa. (Corrado, 1999: 65).
- **Arcilla Aligerada:** constituido principalmente de fibra natural, comúnmente paja o trocitos de madera, que ha sido cubierto con arcilla líquida y empacada de manera que forme un muro, block o panel” (Laporte and Andresen, 2000: 195), ver imagen 3.13



Imagen 3. 13 Construcción con técnica arcilla aligerado

Fuente: (Lynne and Cassandra, 2000)

3.3.3. Bambú

El bambú es un tipo de caña que alcanza grandes dimensiones en poco tiempo, lo que lo hace un material muy eficiente y alternativo a la madera, “*después de algunos años se convierte en una estructura tan dura como la madera, pero más*

ligera y flexible” (Minke, 2012), es de crecimiento significativamente más rápido que los árboles para la obtención de madera, *“Este pasto gigante puede alcanzar altura de 60 a 150 pies (18 a 45 metros) en pocos meses y alcanzar su madurez en 3 o 6 años”* (Lynne and Cassandra, 2000: 235). Además al cortar la caña del bambú, ésta vuelve a crecer sin necesidad de plantarla nuevamente.

Existen una gran variedad de especies de bambú en la mayor parte del mundo, con diferentes características en cuanto a altura y diámetro, es una especie muy abundante en la naturaleza que tiene la posibilidad de producirse en la mayor parte del planeta. De acuerdo a Gernot Minke (2012) en México (como parte del continente americano) se dan las condiciones para cultivar tres especies de bambú: *Bambusa Vulgaris* (de altura máxima de 18 m y diámetro de 10 cm), *Chusquea culeou Desvaux* o caña (altura de 4-6 m y diámetro de 2-4 cm), y *Guadua aculeata* (altura de 25 m y 12 cm de diámetro). Ésta última es la más común en la construcción sobre todo para su uso en elementos estructurales.

El bambú es utilizado para diversos fines, desde pequeños elementos artesanales de uso doméstico hasta la fabricación de una casa completa. *“Debido a sus favorables características mecánicas, gran flexibilidad, rápido crecimiento, bajo peso y bajo costo, es un material constructivo con muchas aplicaciones”* (Minke, 2012: 12). En la construcción puede usarse en elementos tales como columnas, muros, cancelería, persianas, barandales, techos y escaleras.

En forma de tablones se pueden lograr incluso formas orgánicas, o tejer un entramado ya sea para muros aparentes o como tejido de soporte para otros sistemas constructivos como es el caso del bajareque. En la imagen 3.n se pueden observar la aplicación del bambú en forma de tablones entramados y marcos para fabricar muros. De acuerdo a la edad y parte de la planta es el uso que se le puede dar (ver tabla 3.1).



Ilustración 1 Paneles prefabricados de Bambú

Fuente: (Minke, 2012)

Tabla 3. 1 Características de uso del bambú de acuerdo a su edad

| | Usos de acuerdo a la sección de la planta | Descripción | Altura | Longitud |
|----------------------------------|--|---|-------------------------------------|---|
| Guía | Regresa a la tierra como materia orgánica | Parte ultima de la planta | 20 m | 1.20-2 m |
| Vara | En estructuras amarradas para techos, y guías para cultivo transitorio | Parte del tallo con la sección más pequeña | 18 m | 3 m |
| copa | En estructuras como techos purlings, scaffolding, columnas estructurales para casas verdes | Por su diámetro está es la parte más vendibles de lo más alto del tallo | 15 m | 4 m |
| Parte baja | Elaboración de tablones, delgadas columnas y vigas | Parte del tallo más usada por su diámetro | 11 m | 8 m |
| Rizoma | Esculturas, muebles y juguetes para niños | Trama profunda del tallo | 2 m | 2 m |
| Usos de acuerdo a la edad | 30 días Como comida | 1 año En trabajos de canastas | 2 años tablones, tiras, listones | 3-4 años Estructura civil, techos, laminados |

Fuente: (Minke, 2012: 12)

Entre sus propiedades de resistencia mecánica, se ha comprobado que “El Bambú es una fibra extremadamente fuerte (dos veces la fuerza de compresión del concreto y aproximadamente la misma proporción de resistencia a la compresión que el acero” (Lynne and Cassandra, 2000)

Hay varios aspectos a considerar al utilizar el bambú como elemento constructivo para prolongar su durabilidad. Es importante eliminar la humedad, así como tratamientos para evitar plagas

3.1.1. Cañas o Carrizo

La caña es familia del Bambú, aunque tiene un diámetro menor también es considerada una de las gramíneas más grandes del mundo, su aplicación se hace principalmente juntando varias cañas para lograr mejores resultados en la aplicación que tenga lugar. La caña a pesar de ser un elemento muy delgado es muy versátil en su utilización.

Se han desarrollado investigaciones y aplicaciones interesantes en relación al uso de la caña para la construcción. En el caso de sistemas constructivos a base de tierra, como lo es el bajareque, la caña se ha utilizado como elementos interiores de entramado que refuerza la arcilla. Entre otros usos interesantes de la caña está la construcción de techumbres orgánicas donde se unen varias cañas para formar elementos de soporte, como se observa en la imagen 3.14.



Imagen 3. 14 Techumbres orgánicas con soportes de caña

Fuente: <http://canyaviva.com/Castellano/Proyectos.html>

Otra aplicación muy reciente de las cañas es para conformar paneles aislantes, los cuales se forman al juntar varias cañas, apoyándose en soportes de madera y sujetas con alambrión. Este panel se puede observar en la imagen 3.15. La aplicación puede ser muy variada y con bases a su uso es el espesor del panel. Las ventajas que ofrece este material, además de ser natural con bajas emisiones contaminantes para su producción, es un buen aislamiento térmico. Lo hueco de las cañas permite crear cámaras de aire que aumentan el aislamiento.



Imagen 3. 15 panel aislante a base de cañas

Fuente: <http://www.hiss-reet.com/>

Una interesante aplicación que dota de mucha vista a una construcción es en el plafón, se usa entramados de cañas para rellenar una superficie, con apoyo estructural de otro material, como el caso de la madera. En la imagen 3.16 se ven dos ejemplos de esta aplicación de las cañas en la construcción. El material de apoyo es madera en ambos casos.



Imagen 3. 16 Techumbres con entramados de cañas

Fuente: <http://www.cana-brava.com/galeria.html>

3.1.2. Paja

“La paja es el tallo seco de ciertas gramíneas que ha sido cortado y desechado una vez separado el grano o la semilla. Su altura varía en función a las especies o variedades cultivadas” (Paredes, 2014) en otras palabras es la hierba seca que queda después de obtener la cosecha de semillas como frijol, trigo, entre otras, actualmente su uso más común es para alimento de animales y se comercializa en pacas o fardos, en la construcción su uso más conocido es como componente del adobe u otros sistemas constructivos con tierra (arcilla aligerada, cob, etc.) ya que ayuda a una mejor cohesión de la arcilla.

Sin embargo las pacas de paja completas se utilizan como aislante en construcciones consideradas sustentables, ya que logra un excelente aislamiento térmico en el interior de las construcciones, estos pueden ser a base de paneles o placas de éste material que pueden constituir un muro o servir de aislamientos para muros ya construidos con otro material.

También es posible encontrar las balas de paja como elementos constructivos independientes, es decir que no necesariamente tenga que ser parte de otro elemento, como el adobe, puesto que las balas pueden usarse en la construcción de muros y posteriormente recubrirse con otro material en pasta o argamasa, que bien puede ser tierra, como se observa en la imagen 3.8. La principal ventaja de este tipo de uso es un buen aislamiento térmico y acústico.



Imagen 3. 17 Construcción de paja

Fuente: (FNR, 2014)

La paja al igual que otros materiales herbáceos considerados basura agrícola tiene aplicación en materiales constructivos, mediante otros procesos, entre ellos está la obtención de paneles mediante el triturado de éstos elementos y la mezcla con algún aglutinante. Retomando los procesos que se utilizan al elaborar aglomerados de madera. Además de las balas de Dentro del proceso de transformación para el reciclaje de los materiales de desecho que describen Hebel, Wisneiwska y Heisel (2014), esta una técnica o proceso denominado “agricultural waste panels” (paneles de basura agrícola)



Imagen 3. 18 Paneles a partir de basura agrícola
 Fuente: (Hebel, Wisniewska and Heisel, 2014)

3.1.3. Mimbres, tule y otras fibras naturales:

En las técnicas tradicionales de construcción las fibras naturales son un componente común, incluso en la composición del adobe se incluyen varias fibras que le dan mayor cohesión a la mezcla de tierra. *“En el estado de México subsisten de manera residual varias técnicas de autoconstrucción que emplea como materia prima los vegetales simples como la vara de arbustos mayores; el otate o carrizo seco, el tule, la penca de agave o maguey del altiplano y la paja de varias gramíneas como el trigo, la cebolla y la avena”* (Morales Sales, 1993: 89), materiales generalmente de zonas rurales, las fibras naturales tienen la ventaja de rápido crecimiento y predominan en la naturaleza.

Además “Las fibras naturales tienen un bajo coste y una baja densidad lo que les confiere una elevada resistencia específica. Son biodegradables y no presentan efectos abrasivos como las fibras de vidrio. Dentro de las fibras naturales se utilizan como refuerzo, con mayor o menor acierto, una gran cantidad de las mismas como yute, cáñamo, sisal, plátano, algodón, lino, kenaf, abacá, coco, bambú entre otras”

Morales Sales (1993) ejemplifica el uso del tule en la construcción, lo cual da pauta a proponer técnicas constructivas alternativas donde se explore su uso, tomando en cuenta que es un material sumamente flexible y, trenzado, tejido o

torcido, adquiere buena resistencia. En la imagen 6 se puede observar esquemáticamente una alternativa de aplicación en mamparas y muros divisorios a base de tule tejido.

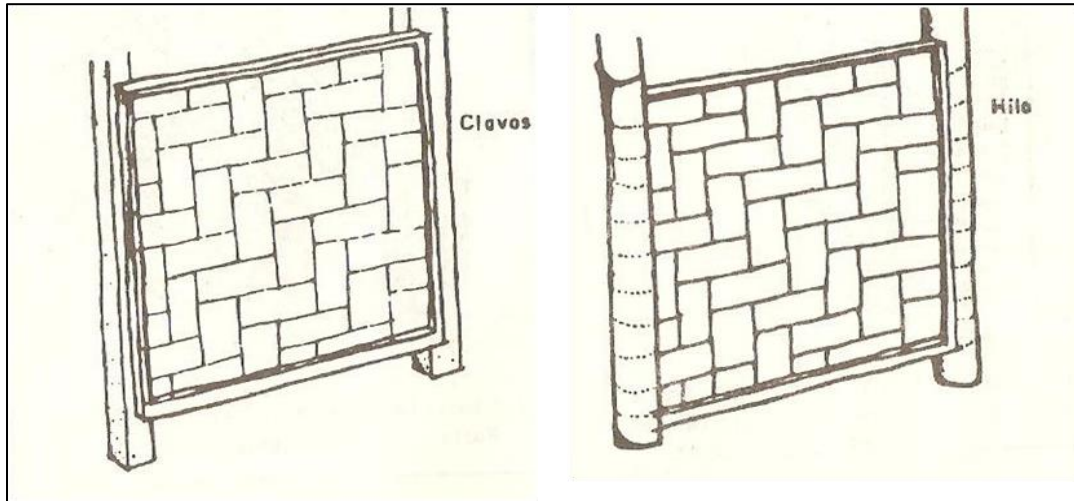


Imagen 3. 19 Mamparas y muros divisorios a base de tule

(Morales Sales, 1993: 128)

“Las fibras naturales están disponibles en abundancia en la naturaleza y pueden ser utilizados para reforzar polímeros para obtener materiales ligeros y fuertes. Las fibras naturales de plantas están empezando a encontrar su camino en las aplicaciones comerciales, como las industrias de automoción, aplicaciones domésticas” (Maleque et al, 2007), Si bien, es posible la utilización del tule en muros divisorios, como mamparas, es importante resaltar que las fibras naturales también poseen propiedades como aislamiento térmico, ligeros además mezclas con otros componentes ayudan a mejorar las propiedades mecánicas en los elementos donde se utilice, en relación a esto Meleque (2007) realiza diversos estudios a un material composite¹ a base de fibra de banano y resina epoxi (ver imagen 3.2), donde comprobó una resistencia mayor a la madera.

¹ Entendido como una mezcla heterogénea de los materiales, es decir, que no se combinan químicamente sus componentes.

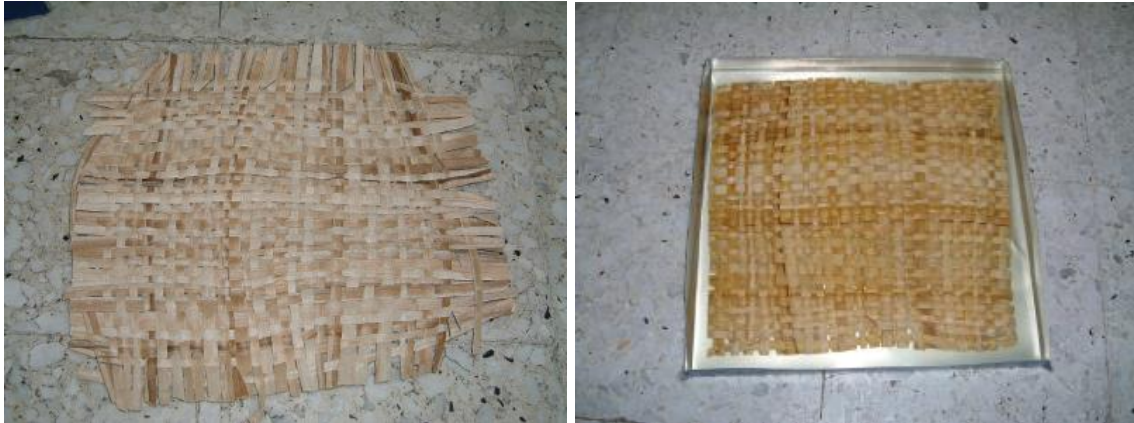


Imagen 3. 20 tejido de fibras de banano reforzado con compuesto epoxi

Fuente: (Maleque et al, 2007)

Si bien los anteriores ejemplos tanto de Meleque (2007) como de Morales (1993) muestran algunas posibilidades de uso de éste tipo de material, aunque en la construcción no se ve muy reflejado el uso de mimbre o tule, “*el potencial de mimbre como material de construcción viene dado por la accesibilidad de las técnicas de trenzado y la presencia de esta planta en muchas partes del mundo*” (Paredes, 2014), de igual forma aplica para el tule, no obstante el uso actual tanto de tule, mimbre y muchos otros materiales que pueden ser trenzados está más enfocado a la elaboración de diversos elementos artesanales que constituyen una forma de empleo para personas que viven en zonas lacustres.

“El uso actual del mimbre en la arquitectura se restringe al mobiliario, sobre todo a los muebles del exterior, pero estas aplicaciones pueden extenderse a otros elementos de la casa, como revestimientos o cubiertas, construcciones temporales o pabellones e instalaciones museísticas (Paredes, 2014).

Los elementos construidos con mimbre son ligeros y resistentes. El mimbre puede formar pantallas o mallas semitransparentes que filtran la luz del sol. Su capacidad de resistencia permite la construcción de superficies auto portante.

3.2. Análisis y valoración de aplicación en elementos modulares

Todos los materiales que se describen anteriormente representan alternativas muy versátiles en la forma de aplicación, y las propiedades que ofrecen es un excelente aislamiento térmico. En algunos casos algunos inconvenientes podrían ser el espesor de los muros que se requieren, por su baja resistencia.

A partir del análisis de los materiales, será necesario determinar las formas de aplicación y los elementos en que pueden ser usados cada uno de ellos en sistemas constructivos en seco, con elementos independientes. Una vez descritos los diferentes materiales alternativos propuestos es necesario hacer una valoración para identificar los materiales más factibles y de qué forma pueden ser aplicados en un elemento modular.

En la siguiente tabla se describe de manera resumida la aplicación y funciones que pudiera tener cada material antes analizado en un elemento constructivo.

| | Material | Forma de obtención | Principales aplicaciones | Forma de aplicación en elementos modulares |
|-------------------|------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|---|
| Reciclados | Celulosa de Papel | Triturado Comprimido en balas | Elementos auto-portantes | Rellenos de superficies, formas comprimidas |
| | Envases de Tetra pack | Triturado | Elementos auto-portantes | Rellenos de superficies, formas comprimidas |
| | Polímeros | Comprimido Fundido Triturado | Elementos portantes y auto-portantes | Rellenos de superficies, formas comprimidas, Elementos lineales |
| Naturales | Madera | Tablones, placas, largueros | Elementos portantes y auto-portantes | Rellenos de superficies, formas comprimidas, Elementos lineales |
| | Tierra | Polvo | Elementos auto-portantes | Rellenos de superficies, formas comprimidas, |
| | Bambú | Cañas, tablones, listones | Elementos auto-portantes | Rellenos de superficies, formas comprimidas, Elementos lineales |
| | Caña/ Carrizo | Cañas Paneles | Elementos auto-portantes | Rellenos de superficies, formas comprimidas, Elementos lineales |
| | Paja | Balas Comprimido Paneles | Elementos auto-portantes | Rellenos de superficies, formas comprimidas, |
| | Otras fibras naturales | Molido | Elementos auto-portantes | Rellenos de superficies, formas comprimidas, |

4. Capítulo IV desarrollo de la propuesta modular

4.1. Metodología para la propuesta

El desarrollo de los elementos del sistema constructivo se realiza a partir del análisis de los capítulos anteriores en relación a la forma, medidas, los elementos constructivos y sus funciones; y los materiales alternativos. Los resultados y conclusiones de los capítulos anteriores darán pauta a la propuesta.

En primer lugar se decide la forma del elemento constructivo y las variantes en cuanto a tamaño, que tendrán diferentes funciones y darán varias alternativas para el entramado de una envolvente. Con base en el análisis de materiales y la valoración de los mismos se deciden los materiales a utilizar en los elementos constructivos. Las dimensiones de los elementos que se propone esta en relación al análisis ergonómico y a las medidas de los materiales a emplear, de manera que se optimicen los recursos y reducir lo más posible el desperdicio de material.

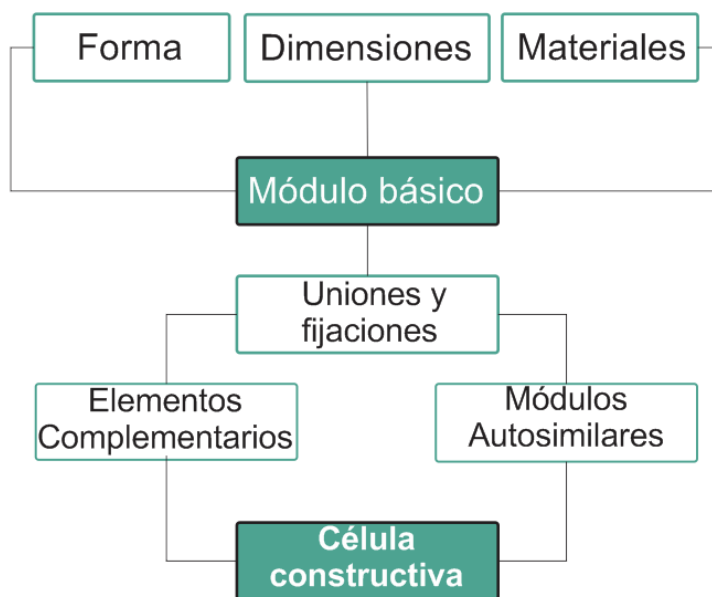


Imagen 4. 1 Esquema de metodología para el desarrollo del módulo constructivo.

Fuente: Elaboración propia

Para determinar la factibilidad constructiva en cuanto a resistencia de los elementos se realizarán las pruebas pertinentes que definirán sus propiedades y

aplicaciones óptimas. Las pruebas a realizar se pueden clasificar de la siguiente manera:

- resistencia mecánica
- Resistencia térmica
- Resistencia al fuego

La norma a tomar en cuenta para determinar el buen comportamiento estructural y la factibilidad de aplicación de los elementos constructivos es la Norma Mexicana NMX-C-405-ONNCCE-2014, de Paneles para uso estructural aplicados en sistemas constructivos. La cual describe las especificaciones y métodos de ensayo. Los ensayos requeridos para cumplir son básicamente resistencia a la flexión, a la compresión, al fuego y al impacto. Las pruebas a realizar y los valores esperados son en relación al tipo de uso del panel y se clasifican en tres tipos:

Tabla 4. 1 Clasificación de los paneles estructurales

| | |
|----------|--------------------------------|
| Tipo I | Para uso en muros |
| Tipo II | Para uso en losas de entrepiso |
| Tipo III | Para uso en losas de techo |

Fuente: NMX-C-405-ONNCCE-2014

Para una mejor clasificación se describen las pruebas a realizar en primer lugar al panel de uso en muros, que es el panel tipo I y posteriormente se describen los ensayos a realizar a los paneles tipo II y III, siendo que ambos de utilizan para elementos horizontales.

Tabla 4. 2 Especificaciones para paneles tipo I

| Ensayo | Parámetro |
|--|---|
| Resistencia a la compresión simple | Resistir un esfuerzo mínimo axial a la compresión de 0,49 (5 kg/cm ²) |
| Resistencia bajo carga lateral en el plano del muro | Resistencia mínima al cortante de 0.098 Mpa (1 kg/cm ²) O Resistir una carga lateral mínima de 1.5 t por cada metro de longitud de muro. |
| Resistencia al fuego | Resistencia al fuego de una hora como mínimo, sin producir flama, gas tóxicos o explosivos a una temperatura de 823 K (550°C) |

| | |
|--|---|
| Resistencia al impacto para muros | Resistir un impacto provocado por una masa de 50 kg liberada en forma de péndulo a una altura de 2.20 m y un Angulo de 45°, conservando su integridad estructural sin separación en ambas caras de la probeta y una deflexión instantánea no mayor a 10 mm al impacto |
|--|---|

Fuente: Elaboración propia con base en NMX-C-405-ONNCCE-2014

Tabla 4. 3 Especificaciones para paneles tipo II y III

| Ensayo | Parámetro |
|--|--|
| Resistencia a la flexión panel tipo II | Debe resistir además de su propio peso, una carga uniformemente repartida mayor de 1668 Pa (170 kg/m ²), multiplicada por un factor de carga de 1.4 equivalente a 2235 Pa (238 kg m ²). Sin rebasar una flecha de L/360 (L = longitud del claro mayor) |
| Resistencia a la flexión panel tipo III | Debe resistir además de su propio peso, una carga uniformemente repartida mayor de 981 Pa (100 kg/m ²), multiplicada por un factor de carga de 1.4 equivalente a 1373 Pa (140 kg m ²). Sin rebasar una flecha de L/360 (L = longitud del claro mayor) |
| Resistencia al impacto | Debe resistir el impacto en caída libre provocado por una masa de 50 kg que se libera desde una altura de 1.50 m sin rebasar un flecha de L/360 (L = longitud del claro mayor) |
| Resistencia al fuego | Resistencia al fuego de una hora como mínimo, sin producir flama, gas tóxicos o explosivos a una temperatura de 823 K (550°C) |

Fuente: Elaboración propia con base en NMX-C-405-ONNCCE-2014

Los parámetros antes descritos aplican para edificaciones consideradas de riesgo menor, que son de hasta 25, m de altura, hasta 250 ocupantes y hasta 3000 m² (NMX-C-405-ONNCCE-2014),

4.2. Descripción de la propuesta desarrollada

Una vez analizados los diversos puntos de los capítulos anteriores, se proyecta la propuesta, en cuanto a la forma se proponen elementos modulares de figura triangular a tres diferentes escalas, retomando el concepto de la fractalidad y la autosimilitud. Con la combinación de tres tamaños se pretende obtener muros y elementos de diferentes medidas para crear una envolvente constructiva. Se elige la figura triangular por ser la figura más estable de todas “el triángulo es el único

polígono que tiene una geometría inherente estable” (Moore, 2000) . Además de que permite varias posibilidades de formas, ya que la mayoría de las figuras geométricas, inclusive las más complejas se pueden descomponer en triángulos.

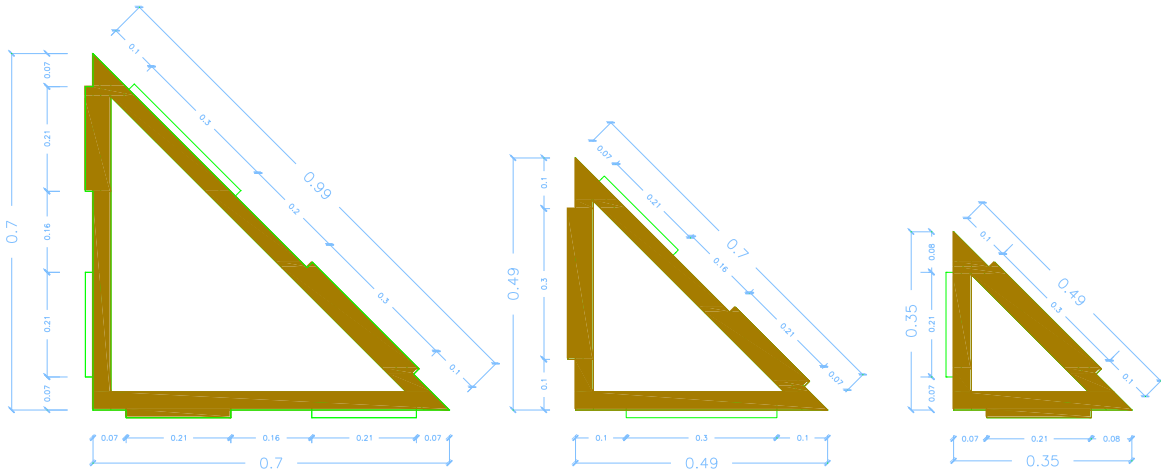


Imagen 4. 2 Propuesta de elementos modulares
Fuente: *Elaboración propia*

Las medidas que se proponen el elemento grande: 70 x 70 x 99 cm, el elemento mediano de 49 x 49 x 70 cm y el pequeño de 35 x 35 x 49. Las medidas del elemento mayor se asignan en función a dos factores: una medida óptima antropométrica y la optimización del material, ya que la fabricación de los elementos se hace partir de una duela con medias 3 pulgadas por 8 pies (2.44 m). Y con las medidas propuestas se requiere una longitud de 2.34 m de material.

Además de los tres elementos en forma de triángulo rectángulo, también se proponen otros elementos de igual modo compatibles con éstos pero en forma de triángulo equilátero con lo cual se pueden tener mayor multiplicidad de opciones al momento de diseñar una Teselación, es decir, se busca mayor versatilidad para generar diferentes formas de superficies para una envolvente.

Las medidas de los dos elementos menores es proporcional al primero de manera que puedan ser compatibles y con la combinación de los tres elementos armar elementos de diferentes medidas y con diferentes funciones. Por ejemplo el elemento más pequeño dependiendo de la resistencia mecánica que tenga, puede ser utilizado para hacer armaduras. Mientras que los elementos de mayores

dimensiones pueden ser utilizados para crear Teselaciones y cerrar superficies, ya sea para muros o para plafones. En la imagen 4.3 se muestra un esquema del posible funcionamiento de los elementos modulares propuestos en conjunto.

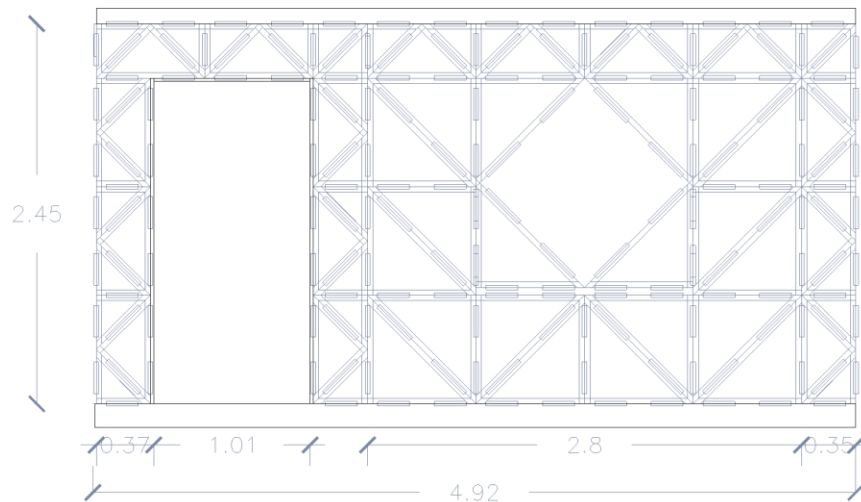


Imagen 4. 3 Muro a partir de elementos modulares

Fuente: Elaboración propia

Dado que de los materiales que se analizan, pocos de ellos tienen altas posibilidades estructurales que permitan constituir un marco estructural, y al analizar técnicas constructivas, como el bajareque y el principio que aplican algunos de los paneles comerciales. Se opta por un diseño del elemento modular constituido por un bastidor de un material resistente que puedan contener otros de menor resistencia. En el caso de la técnica del bajareque, aunque no son elementos prefabricados, el muro está contenido por soportes de madera, además de un entramado de cañas que sirve de refuerzo, y estos elementos contienen a la tierra, cuyas propiedades mecánicas de resistencia a la compresión son mucho menores que la madera. Trabajando en conjunto se optimizan las propiedades de cada material.

Ante esta premisa se propone un elemento triangular en forma de bastidor, que en el interior pueda tener materiales muy variados. Si consideramos los materiales antes analizados, que tienen la maleabilidad para adquirir cualquier forma, el relleno del interior del elemento puede ser cualquiera de los materiales antes

descritos: tierra, paja, papel, fibras. De manera esquemática la imagen 4.4 muestra la manera en que se compondría el elemento modular.

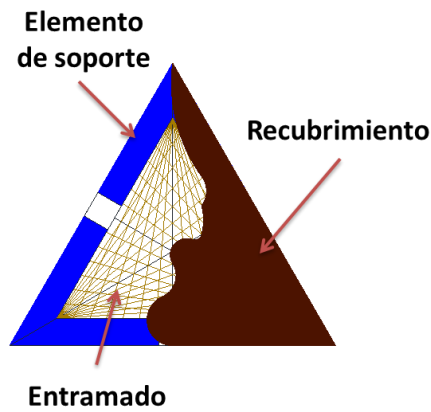


Imagen 4. 4 Esquema de la propuesta del Módulo

Fuente: Elaboración propia

Una vez diseñado el elemento modular es necesario definir los materiales más factibles de ser utilizados en cada parte del elemento. Para ello se realiza una valoración de los materiales clasificados de acuerdo a su posible uso. Dentro de los materiales para elemento de soporte se consideran la madera, el plástico reciclado y el bambú. Que por lo analizado anteriormente ha sido probado su uso en elementos estructurales. Los criterios de elección dependen factores como: disponibilidad del material, complejidad del proceso para su obtención (nivel de utilización de máquinas especializadas) y transformación. La valoración se determina con valores del 1 al 5. Es importante aclarar que la valoración se realiza considerando la elaboración del elemento modular en la ciudad de Toluca, por tanto la disponibilidad de los materiales será considerando dicho contexto.

| Material | Disponibilidad del material | Nivel de utilización de maquinaria especializada | Complejidad del proceso de transformación |
|-----------------|------------------------------------|---|--|
| Plástico | 5 | 4 | 4 |
| Madera | 5 | 2 | 2 |
| Bambú | 2 | 2 | 2 |

Bajo este criterio se decide utilizar madera para la elaboración del bastidor del elemento modular. El plástico se descarta por la falta de disposición de maquinaria para su transformación (triturado y fundido del material). Mientras que el bambú se dificulta su uso por la nula disponibilidad del material en el ámbito. Ambos aspectos pueden repercutir en el costo de los elementos constructivos.

El material de entramado deberá cumplir la función de mantener fijo el material de relleno, para evitar su desprendimiento y separación del elemento modular. Al referenciar nuevamente la técnica de bajareque, el entramado central cumpliría la función de las cañas entramadas. Por tal razón es importante la elección de un material que mantenga integro en piezas lo suficiente largas para cubrir la superficie interior del elemento.

Los materiales que tendrían estas características de acuerdo a su uso son las fibras naturales consideradas dentro de los materiales herbáceos. Que además de ser materiales aislantes, mediante la fricción mejoran el fraguado de algunos materiales maleables, como el caso de la tierra. Algunos tipos de plásticos cortados en tiras probablemente también cumplan con dicha función. En el caso de los materiales de entramado es más factible probar varios materiales para identificar su comportamiento y factibilidad de uso. La ventaja de éstos materiales es que no requieren de maquinaria especializada para su manipulación.

Y por último, para material de recubrimiento es necesario un material que tenga las propiedades de plasticidad y por tanto sea fácilmente maleable. La tierra es una opción ideal para esta función ya que al agregarle agua o algún otro estabilizante como es la cal puede adquirir buenas propiedades de cohesión y endurecimiento. Además de la tierra pueden utilizarse otros materiales que puedan que mediante procesos de molienda o de triturado puedan formar una masa maleables al agregársele agua o algún material aglutinante. Como es el caso del papel, o incluso materiales herbáceos molidos, en los que se incluyen las fibras naturales.

En cuanto a la forma de unión se plantea acoplar los elementos a través de Uniones longitudinales con lengüeta postiza de este modo y si se fijan con otros materiales de soporte pueden formar un panel. En la imagen 4.5 se muestra la manera de ensamble de los módulos.

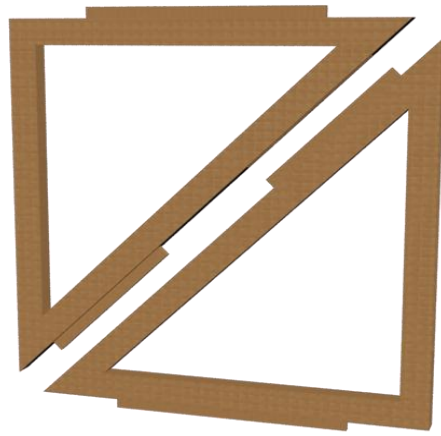


Imagen 4. 5 Forma de ensamble de los elementos individuales

Fuente: elaboración propia.

Con la agregación de elementos básicos se pretende conformar paneles de mayor tamaño con diferentes medidas, con los cuales se puedan integrar elementos constructivos ya sean verticales u horizontales. Para el relleno interno de los elementos de madera se propone utilizar malla hexagonal metálica que sirva de soporte del material de relleno. En la imagen 4.6 se muestra de manera esquemática como se vería un panel con estas características.

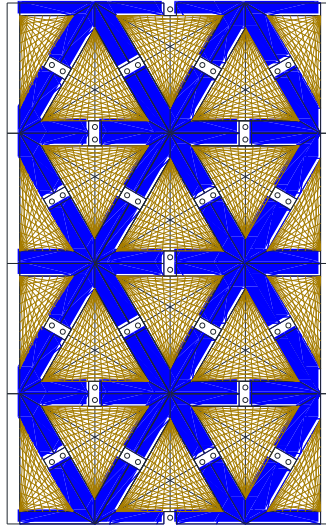


Imagen 4. 6 Panel mediante la conexión de módulos ensamblados
Fuente: Elaboración propia

4.3. Proceso de experimentación

Una vez descrito la metodología y las características de diseño, medidas, y materiales es necesario materializar el modulo constructivo para determinar su factibilidad y comportamiento en la construcción. Como primer ejercicio se elabora el bastidor de madera que será el soporte. Para determinar la factibilidad y características de los módulos propuestos se fabrican algunos elementos, los cuales se someten a diferentes pruebas.

Como material base para la fabricación de los módulos se utiliza duela de madera de segunda, la cual tiene 8'x 1" x 3", dependiendo del tamaño de cada pieza, el material a utilizar varia. Es necesario cortar la duela a la mitad de manera longitudinal, de esta forma se obtiene una tira de 1.5" con la que se fabrican los bastidores de madera que darán lugar a los módulos. En la imagen 4.7 se observan unos módulos terminados de ambas formas: triangulo rectángulo y equilátero.



Imagen 4. 7 Fabricación de bastidores para módulos constructivos
Fuente: Foto propia.

Para la fabricación de estos elementos se siguió el siguiente proceso.

1. Corte de la duela de manera longitudinal – herramienta: Sierra de banco
2. Se marcaron las dimensiones en el para los cortes de las piezas lineales.
3. Se cortan las piezas – Sierra angular
4. Se cortan el machihembrado de las esquinas para armar los marcos – Sierra de banco
5. Se perforan las esquinas para fijar la unión mediante taquetes.
6. Se ranura el hueco para la lengüeta longitudinal – Router de banco.
7. Se cortan los listones que se usaran como lengüetas para unir las diferentes piezas modulares – Sierra de banco

El proceso para la fabricación de los elementos modulares se realiza a base de herramienta básica de carpintería, lo reduce su complejidad al no necesitar maquinaria especializada. Sin embargo es necesario tener alta precisión para que los elementos sean estandarizados y coincidan al unirlos entre sí. En las imágenes 4.8 se muestran algunas fotografías de la secuencia que se siguió para la fabricación de los elementos modulares. la pieza básica que se obtuvo fue un elemento lineal, que mediante una unión en esquina a base de n ensamble de espiga se forma el marco que constituye el elementos modular.

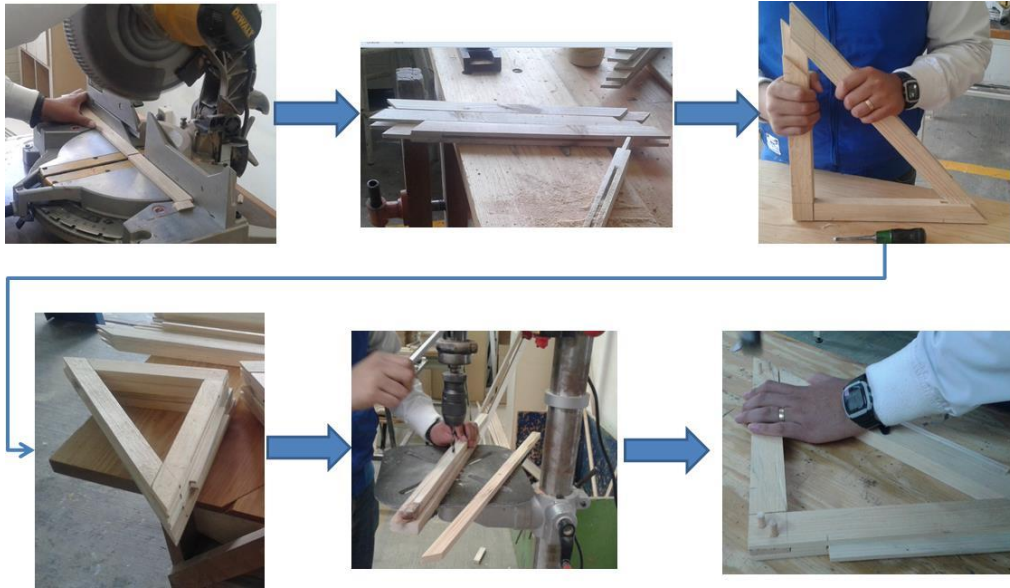


Imagen 4. 8 secuencia de la fabricación de los módulos
Fuente: Elaboración propia

Al módulo terminado se le aplicó una capa de malla hexagonal para que el material que va en el interior pueda soportarse y se mantenga fijo al elemento. La sujeción de la malla se hizo mediante grapa a presión.



Imagen 4. 9 Elemento modular con malla en el interior
Fuente: Foto propia

En cuanto a los materiales de relleno del módulo se analizaron las posibilidades de usar cuatro mezclas diferentes de materiales: papel reciclado-mucilago de

nopal, papel reciclado-resina, mezcla de resina-paja y mezcla de tierra-cal-paja-mucilago de nopal.

Para determinar las propiedades y la factibilidad de uso de las mezclas propuestas fue necesario realizar algunos ensayos con las diferentes mezclas de material, para ello se contó con el apoyo para el uso del laboratorio químico especializado en los posgrados de ciencias de los materiales. Las dimensiones de los ensayos es de 16 x 4 x 4 cm. en la imagen 4.9 se pueden ver algunos de los ensayos resultantes en el proceso de experimentación.



Imagen 4. 10 Probetas de resina con papel reciclado y paja
Fuente: elaboración propia

En el caso de la mezcla resina/paja no fue posible reducir la cantidad de resina, dado que con menores proporciones la resina no lograba humectarse lo suficiente para cohesionar las partículas. Se realizó una prueba con una proporción 60/40 resina/paja donde después del tiempo de endurecimiento, en lugar de consolidarse una pieza completa se desmoronó la resina, por tanto se descartó esa proporción y se vio la necesidad de aumentarla a 70% de resina.



Imagen 4. 11 Mezcla fallida de proporciones 60/40 resina/paja

Fuente: Foto propia

Para la elaboración de las pruebas se siguió el siguiente proceso: se pesó el material en una báscula el material sólido (paja molida) y el material líquido mediante una probeta, posteriormente se mezclan los materiales en una mezcladora mecánica y finalmente se vacía la mezcla en unos moldes metálicos con las medidas estandarizadas. Para el endurecimiento de la resina fue necesario dejar actuar la resina y el catalizador durante 48 horas.



Imagen 4. 12 Proceso de elaboración de pruebas

Fuente: fotos propias

Las muestras resultantes se sometieron a dos tipos de pruebas mecánicas: a compresión y a tensión. La forma del ensayo es de un prisma rectangular por tanto en la prueba mecánica se presionó hasta la ruptura del material, de esta forma de obtuvieron dos piezas en las que se pudo aplicar la prueba a compresión. En la imagen 4.12 se puede apreciar las prensas utilizadas para realizar las pruebas.

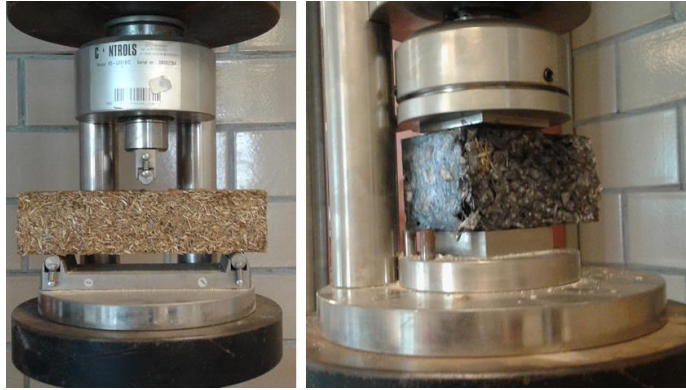


Imagen 4. 13 pruebas a compresión y tensión de ensayos con resina

Fuente: fotos propias

En las pruebas que se realizaron con resina se utilizó paja y papel, uno de los inconvenientes de la resina es que se necesitan tamaños de partícula muy pequeños, en el caso de la paja fue posible molerla en molino para grano y si se logró en acometido, mientras que con papel, la prueba que se realizó fue mediante papel triturado y la dimensión de los componentes fue mucho mayor, lo cual origina poros, considerados defectos en el material. En la imagen 4.13 se puede observar los poros y la comparativa entre ambos materiales.

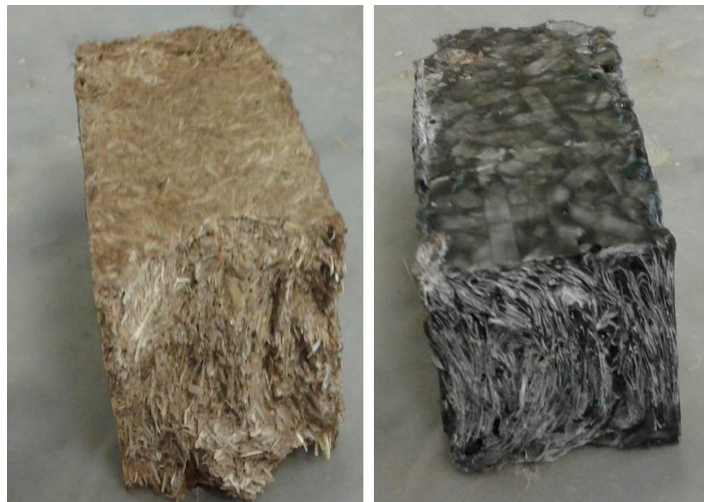
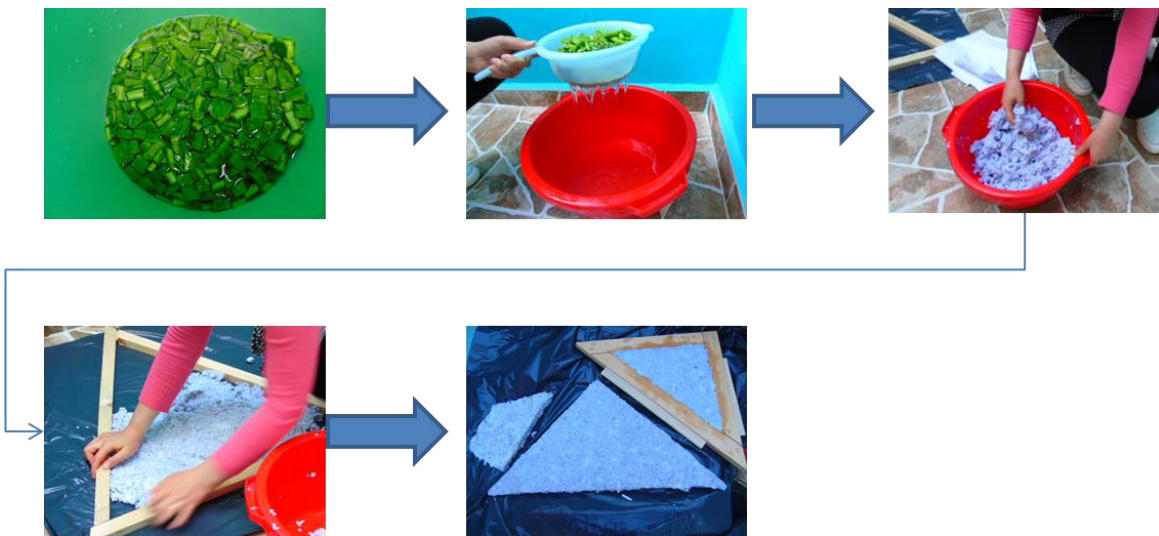


Imagen 4. 14 Secciones del Ensayo con resina/paja (izq.), y resina/papel (der.)

Fuente: fotos propias

| Ensayo | Resistencia a la compresión | | Resistencia a la tensión | Peso Volumétrico | Costo para obtener un módulo de 35 x 35 x 49 cm |
|--------------------------------------|-----------------------------|-----------|--------------------------|------------------------|---|
| Resina/paja 70/30 | 1-1 | 14.89 Mpa | 6.75 Mpa | 976 kg/m ³ | \$34.82 |
| | 1-2 | 13.9 Mpa | | | |
| | 2 | 13.2 Mpa | 7.15 Mpa | 976 kg/m ³ | |
| Resina/papel reciclado 60/40 | 1 | 8.92 Mpa | 4.50 Mpa | 1171 kg/m ³ | \$30.36 |
| | 2 | 8.53 Mpa | | | |
| papel reciclado/ mucilago 2:1 | | | | | |
| Tierra/cal/paja/ mucilago 5:1:3:2 | | | | | |



Conclusiones

Capítulo 1

El término flexibilidad en el ámbito de la arquitectura puede ser utilizada para describir la capacidad de adaptarse de un edificio, que para este estudio es la vivienda, ésta adaptabilidad es en relación a las diferentes necesidades espaciales que una familia necesita, en cuanto a la calidad y tamaño de la vivienda. El concepto de modulación entendido como elemento independiente de forma estandarizada resulta indispensable para proyectar espacios flexibles en términos de optimización de materiales a través de un fácil anclaje y desensamble de elementos.

Se analizan diferentes teorías de la forma y la geometría en términos de modulación de las cuales se identifican diversas posturas con posibilidad de aplicación en elementos modulares, dichas teorías son:

- La sección aurea y su aplicación en la proporción del cuerpo humano.
- Los fractales, de los cuales se retoma los conceptos de autosimilitud y agregación de una forma geométrica a diferentes escalas.
- Las Teselaciones. Mediante la repetición de una o más figuras geométricas se forma un patrón con el que se puede llenar un plano en su totalidad.
- Los sólidos platónicos y arquimedianos los cuales se estudian mejor mediante la papiroflexia. y
- La biomimética en la arquitectura, donde se analizan las formas modulares presentes en la naturaleza para su aplicación en la arquitectura

Además de la forma como tal, se detectan características a contemplar en el diseño de elementos constructivos para lograr espacios habitables. Dado que la modulación va a dar pauta a una retícula constructiva como principal elemento se toma en cuenta la medida en relación a dimensiones antropométricas. Con respecto a las condiciones ergonómicas se detectan factores fisiológicos de dos tipos estructurales y funcionales de las cuales las primeras se refieren a las

dimensiones del cuerpo humano, mientras que parte de las funcionales están relacionadas a los agentes físicos del medio ambiente a los cuales el organismo debe adaptarse, factores que se deben tomar en cuenta al elegir los materiales a utilizar así como la forma y disposición de los elementos constructivos modulares, éstos son:

- Oxígeno: calidad del aire
- Equilibrio térmico: temperatura y humedad ambiental
- Luz solar: Iluminación
- Control de sonido y vibraciones.

Capítulo 2

La aplicación de los conceptos flexibilidad y modulación en el siglo XX surge como resultado de diversas inquietudes en la modernidad: el surgimiento de materiales de nueva tecnología, la intención por la construcción en serie, la urgente necesidad de vivienda a causa del periodo de guerra, una nueva visión de algunos arquitectos para ofrecer multiplicidad de opciones en la distribución interna de la vivienda. A partir de esto se desarrollan nuevos sistemas constructivos que toman como base la prefabricación, materiales industrializados y la producción en serie.

A finales del siglo XX y a inicios del siglo XXI el desarrollo de sistemas constructivos modulares con elementos prefabricados se enfoca a una cultura del reciclaje y de conciencia ambiental, donde se implementan materiales más ecológicos con sistemas constructivos en seco, donde los elementos no se unen de forma permanente, lo cual permite la recuperación de dichos elementos. De acuerdo al tamaño de los componentes de los algunos sistemas constructivos que se analizan se definen tres tipos de sistemas modulares:

- Tipo lego: donde los elementos son módulos y medios módulos con medidas similares a un block de concreto o tabique, que se unen mediante ensambles y pueden llenar superficies de diversos tamaños. El plástico reciclado es el material más utilizado que permite fabricar sistemas tipo lego.

- Sistema tipo mecano: los componentes son de diferentes tamaños y formas; y tienen diversas funciones y aplicaciones. Al unirlos mediante mecanismos conforman una envolvente.
- Placas o paneles: componentes de dimensiones estandarizadas que aceleran el procedimiento constructivo, gracias a su tamaño y mecanismos de unión.
- Células tridimensionales: son elementos constructivos completos, existen empresas que construyen células completas de tamaño muy pequeño que se pueden trasladar y montar en cualquier sitio. Sin embargo en términos de reciclaje los elementos muy utilizados como células habitacionales son los contenedores marítimos. Mediante la agregación de sus componentes se puede incrementar el tamaño de una vivienda.

Un sistema constructivo se integra por un conjunto de elementos con diferentes funciones en la conformación de una envolvente arquitectónica. Se definen cuatro características a considerar en un sistema constructivo: la resistencia (seguridad), funcionalidad, habitabilidad y durabilidad. Las cuales se logran mediante elementos constructivos, que se pueden clasificar en dos tipos: verticales y horizontales. En los verticales se consideran los elementos que transmiten las cargas de forma hacia abajo: muros y columnas; en los horizontales son elementos sometidos a flexión: losas y travesaños.

Capítulo 3

Se identifican diversos materiales que pueden ser utilizados en la elaboración de elementos constructivos. Su aplicación se determina de acuerdo a la forma de obtención y de uso como material constructivo. Para una mejor comprensión los materiales alternativos se dividen en dos grupos: naturales y reciclados. En los materiales reciclados se identifican de tres grupos: Celulosa de papel y cartón, diferentes polímeros y los envases de Tetra pack. En el grupo de los materiales naturales se describen la tierra, la madera y los herbáceos que son materiales como la paja, el bambú, la caña o carrizo, y otras fibras naturales, como el mimbre y el tule.

De los materiales que se analizan de acuerdo a sus aplicaciones actuales en la construcción se define si pueden ser para uso estructural o no estructural. Los materiales con posible uso estructural son: la madera, el bambú y el plástico reciclado. Se identifican tres formas de aplicación de acuerdo a su forma de obtención: elementos lineales, elementos rígidos para relleno de superficie y elementos maleables que permitan moldear una forma de un elemento. De los cuales se podrían utilizar los siguientes materiales:

- Elementos lineales: los materiales de uso estructural que pueden obtenerse en tiras o listones: madera, bambú y plástico.
- Elementos rígidos para rellenos de superficie: caña, madera, bambú, paja.
- Elementos maleables para relleno de superficies: fibras, paja (molid), tierra, celulosa de pape y plástico reciclado.

La elección de los materiales para su aplicación en elementos constructivos se determina a partir de la disponibilidad de los mismos en el entorno inmediato y la disponibilidad de maquinaria para su manipulación. Se propone la combinación de más de un material retomando el sistema constructivo a base de tierra: el bahareque, donde se arma un marco de madera que en el interior es reforzado con cañas y se rellena con tierra. Por lo tanto se requieren elementos lineales y elementos de relleno.

A partir de la analogía anterior y considerando que solo tres materiales pueden servir de soporte, de un inicio se opta por la madera por la disponibilidad y la maquinaria disponible para su manipulación. Pero no se descarta el plástico ni el bambú. Para el interior se propone tierra aligerada con paja, celulosa de papel y paja mezclada con resina.

Capítulo 4

La propuesta de un sistema constructivo se base en elementos triangulares de tres diferentes medidas, se retoma el concepto de la autosimilitud y fractalidad.

Las medidas que se determinan son:

1. 70 x 70 con hipotenusa de 99 cm

2. 49 x 49 con hipotenusa de 70 cm
3. 35 x 35 con hipotenusa de 49

Dichas medidas hacen a los elementos compatibles entre sí y permiten la construcción de elementos de diferentes formas geométricas. Además cada tamaño puede tener diferente función constructiva. Los elementos pequeños se plantean para construir armaduras utilizadas tanto para columnas como para trabes. Mientras que los elementos de mayor dimensión se plantea su uso en para conformar paneles y estos a su vez constituir muros, entrepisos o losas.

Para determinar la factibilidad constructiva en cuanto a resistencia de los elementos se realizaran las pruebas pertinentes que definirán sus propiedades y aplicaciones óptimas. Las pruebas a realizar se pueden clasificar de la siguiente manera:

- resistencia mecánica
- Resistencia térmica
- Resistencia al fuego

La norma a tomar en cuenta para determinar el buen comportamiento estructural y la factibilidad de aplicación de los elementos constructivos es la Norma Mexicana NMX-C-405-ONNCCE-2014, de Paneles para uso estructural aplicados en sistemas constructivos.

El trabajo sigue en proceso y a partir del resultado obtenido al someter los elementos constructivos a las diferentes pruebas se determinara su factibilidad de uso en los diferentes elementos constructivos.

Bibliografía

- Aguilar, B. (2008) *Construir con adobe: fundamentos, reparación de daños y diseño contemporáneo*, México: Trillas.
- Alkmim, H. (2012) *La evolución de los sistemas de módulos tridimensionales aplicados a la construcción de edificios de media y gran altura*, Barcelona: Tesis de Máster Universitario Tecnología en la Arquitectura, de la Universidad Politecnica de Catalunya.
- Álvarez, J., , Batanero, J. and Berrio, S.M. (2012) *Implementación de materiales no convencionales y/o reciclables para la construcción de Viviendas de Interés Social (VIS) en Colombia*, Bogotá.
- Arandes et al (2004) 'Reciclado de residuos plásticos', *Revista Iberoamericana de Polímeros*, pp. 28-45.
- Arquba (2015) *Tipos de Madera*, [Online], Available: <http://www.arquba.com/monografias-de-arquitectura/tipos-de-madera/> [23 Mar 2015].
- Bacherlad, G. (1975) *Tecnología de la construcción industrializada*.
- Barluenga, G. (2012) *Entorno de publicación docente*, [Online], Available: https://portal.uah.es/portal/page/portal/epd2_profesores/prof142013/docencia [9 Jul 2015].
- Bernal, O.J. and De Hoyos, J.E. (2012) 'El mito fundacional de la ciudad. Una visión desde la Geometría Sagrada', *Nova Scientia*, vol. 4, no. 8, mayo-octubre, pp. 90-109.
- Bonell, C. (1994) *La divina proporción, las formas geométricas*, Barcelona: UPC.
- Bovill, C. (1996) *Fractal Geometry in Architecture and Design*, Boston: Springer Science+Business Media.
- BRG (2014) *Compressed paper bricks*, [Online], Available: <http://www.block.arch.ethz.ch/brg/> [20 Mar 2015].
- Bubner, E. (1979) 'Arquitectura adaptable, resumen historico', in Otto, F. *Arquitectura Adaptable*, Barcelona: Gustavo Gili.
- Carrió, M. (2005) 'La evolución de los sistemas constructivos en la edificación, procedimientos para su industrialización', *Informes de la construcción*, vol. 57, no. 499, Septiembre / octubre, pp. 38-54.

Cedeño Valdiviezo, A. (2010) 'Materiales bioclimático', *Revista de Arquitectura*, pp. 100-110.

Cervantes , , , Valdez, E. and Gonzales , (2010) 'Una construcción elaborada con muros de papel y cartón comprimidos más otros residuos valorizables', *Acta Universitaria* , vol. 20, no. 2, Mayo-Agosto, pp. 31-39.

Colmenarez, F. (2009) *Arquitectura adaptable, Flexibilidad de los espacios arquitectónicos*, Merida, Venezuela: Tesis de la Facultad de Arquitectura y Diseño de la Universidad de los Andes.

Coppola Pignatelli, P. (2004) *Analisis y Diseño de los Espacios que Habitamos*, Mexico: PAX Mexico.

CORMA (2007) *Manual de construcción de viviendas en madera*, Chile: Cormpación Chilena de la madera.

Corrado, M. (1999) *La casa ecológica*, Barcelona: de vecchi.

Cruz, J.A. and Garnica, (2010) *Principios de ergonomia*, 4th edition, Bogota.

D.K. Ching, F. (1945) *ARCHITECTURE: Form, Space, & Order*.

De Garrido, L. (2012) *Un nuevo paradigma en la arquitectura*, Barcelona: Monsa.

De Hoyos, J. (2010) *La Casa: origen de la conformación territorial, aportaciones epistemológicas al estudio del territorio*, Toluca de Lerdo: NP.

Doczi, G. (1996) *El poder de los límites, proporciones armónicas en la naturaleza, el arte y la arquitectura* , Troquel: Buenos Aires.

ECOPLAK (2012) *Ecoplak*, [Online], Available: <http://www.ecoplak.com/termocubierta.php> [12 May 2015].

Flagge, I., Visscher, J., Carchola, P. and Schmal, P. (2005) *Kisho Kurokawa, Metabilism and Symbiosis*, Berlin: Jovis.

FNR (2014) 'Marktübersicht, Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen', *Naturbaustoffe*, no. 317, pp. 1-82.

Fonseca, X. (2002) *Las medidas de una casa: antropometria de la vivienda* , México : PAX.

Fournier, R. (2008) 'Construcción sostenible y madera: realidades, mitos y oportunidades', *Tecnología en Marcha*, vol. 21, no. 4, Octubre-Diciembre, pp. 92-101.

Franco, R. (2009) 'Estructuras adaptables', *Revista de arquitectura*, vol. Vol 11, pp. 108-119.

Franco , R. and Torres, L. (2006) *Estructuras Adaptables*, Bogotá: Punto Aparte.

Franco, R., Becerra, P. and Porras, C. (2011) 'La adaptabilidad arquitectónica, una manera diferente de habitar y una constante a través de la historia', *MAS D*, no. 09, pp. 08-39.

Giraldo et al, L.M. (2012) *Costrucción de muros en tapia y bahareque*, [Online], Available:
http://biblioteca.sena.edu.co/exlibris/aleph/u21_1/alephe/www_f_spa/icon/8830/costruccion_muros_tapia_bahareque.html# [05 Jun 2014].

Gonella (2014) *Uniones y Empalmes de Madera*, 18 May, [Online], Available:
<http://es.slideshare.net/Gonella/uniones-y-emplames-de-madera> [21 Jul 2015].

Gracia, R. (2013) *Diseño y comportamiento de uniones estructurales mecánicas y adhesivas. Condiciones superficiales y operacionales*, Madrid: Tesis de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales en Madrid, de Instituto Politecnico de Madrid.

Guerrero, L.F. (2007) 'Arquitectura en Tierra. Hacia la recuperación de una cultura constructiva', *Apuntes*, vol. 20, no. 2, pp. 182-201.

Hebel, D.E., Wisniewska , M.H. and Heisel, F. (2014) *Building From Waste, recovered materials in architecture and construction*, Basel: Birkhäuser.

Hernández, S. (2010) *Diseño y manejo sustentable en edificación*, México: PyV.

INATEC (2012) *Manual para el Participante de Uniones en Madera*, [Online], Available:
<http://www.mific.gob.ni/Portals/0/Documentos%20Fomento/PROYECTOS%20FOMENTO/PRAMECLIN/I-Manual%20de%20uniones%20.pdf> [21 Jul 2015].

King, B. (2000) 'Structural Properties of Alternative Buildings Materials', in Lynne, E. and Cassandra, A. *Alternative construction: contemporary natural building methods*, Canada : Wiley.

Kronenburg, R. (2007) *Flexible: Architecture that responds to change*, London: Laurence King.

Laporte, R. and Andresen, F. (2000) 'Light Clay', in Lynne, E. and Adams, C. *Alternative construction: contemporary natural building methods*, Canada: Wiley.

- Larios, V. (2004) 'Buckiedros, geometría del espacio y origami modular', *Educación Matemática*, vol. 16, no. 1, Abril, pp. 168-194.
- Le corbusier (1980) *El modulator: ensayo sobre una medida armonica a la escala humana aplicable universalmente a la arquitectura y la mecánica*, España: Poseidon.
- Luque, J. (2013) 'Fractales', *Acta*, pp. 1-10.
- Lynne, E. and Cassandra, A. (2000) *Alternative construction: contemporary natural building methods*, Canada: Wiley.
- Maleque et al, M. (2007) 'Mechanical properties study of pseudo-stem banana fiber reinforced epoxy composite', *The Arabian journal for science and engineering*, no. 32 (2B), pp. 359-364.
- Martín, A. (2015) *Tecnología Industrial*, [Online], Available: <http://tecnoindustrialamd.weebly.com/uniones-reversibles.html> [01 Aug 2015].
- Minke, G. (2012) *Building with Bamboo, Design and Technology of a Sustainable Architecture*, Basel: Birkhäuser.
- Moore, F. (2000) *Comprensión de las estructuras en la arquitectura*, México: Mc Graw Hill.
- Morales Sales, E. (1993) *Tecnicas tradicionales para la autoconstrucción de vivienda en el Estado de México*, Toluca de Lerdo: publicidad, arte y Serigrafía.
- Otto, F. (1979) *Arquitectura Adaptable. Seminario organizado por el Instituto de Estructuras Ligeras (IL)*, Barcelona: Gustavo Gili.
- Paredes, C. (2014) *Architecture & Materials*, Barcelona: LOFT.
- Pedoe, D. (1976) *La geometría en el arte*, Barcelona: Gustavo Gili.
- Pfenniger, F. (2011) *Mecano system*, [Online], Available: <http://www.arquitecturaenacero.org/vivienda-social/212-mecano-system> [22 Apr 2014].
- Plazola, A. (2001) *Arquitectura habitacional*, México : Limusa.
- Pottmann, H., Asperl, A., Hofer, M. and Kilian , A. (2007) *Architectural Geometry*, Pennsylvania USA: Bentley Institute Press.

Quinchia , A., Valencia, M. and Giraldo , J. (2007) 'Uso de lodos provenientes de la industria papelera en la elaboración de paneles prefabricados para la construcción', *EIA*, no. 8, Diciembre, pp. 9-19.

Rodríguez Viqueira, M. (2002) *Introducción a la Arquitectura Bioclimática*, México: Limusa.

Rogers, R. (2010) *Ciudades para un pequeño planeta*, Londres: Litosplai.

Rossi, L. (2009) *ARQUITECTURA Y BIOMIMESIS: Caso de estudio: análisis del tejido del cactus para modelos arquitectónicos inspirados en la naturaleza*, Barcelona: Tesis de Master Oficial en Tecnología de la Arquitectura Construcción e Innovación Tecnológica, Universidad Politécnica de Catalunya.

Sahuquillo, Oscar (2015) *Aprovechamiento de residuos de fibras naturales como elementos de refuerzo de materiales poliméricos*, [Online], Available: http://www.upv.es/VALORES/Publicaciones/Ecuador_Fibras%20naturales_Amig%F3.pdf [07 Mar 2015].

Salcedo, O.F. (2014) 'Sistema de construcción de viviendaa base de tabiques de plástico reciclado', *Legado de Arquitectura y Diseño*, no. 15, Enero-Junio, pp. 109-126.

Sánchez, J. (2008) *La vivienda "social" en México, pasado - presente - futuro?*, México: JSa.

Santos, M. (2000) *La naturaleza del espacio. Técnica y tiempo. Razón y emoción* , 2nd edition, Barcelona: Ariel.

Strike, J. (1991) *De la Construcción a los proyectos, la influencia de las nuevas técnicas en el diseño arquitectónico, 1700-2000*, Oxford: Reverté.

Strong-Tie (2014) *Conectores Metálicos Estructurales*, [Online], Available: <http://www.strongtie.com/ftp/catalogs/C-2013SP.pdf> [10 Aug 2015].

Turrado, S., Dávalos , G., Saucedo , C., Delgado , F. and Vargas, R. (2008) *Recuperación de la fibra Celulósica a partir de envases para líquidos* , Guadalajara.

Van Lengen, J. (2011) *Manual del Arquitecto descalzo*, 2nd edition, Mexico: PAX México.

Vicioso, B. (2012) *Anatomía, Antropometría y Ergonomía*, 18 Oct, [Online], Available: <http://es.slideshare.net/Denys1003/anatomiaantropometria-y-ergonomia?related=2> [07 May 2015].

Vicioso , B. (2012) *Anatomía, vAntropometría y Ergonomía*, 18 Oct, [Online], Available: <http://es.slideshare.net/Denys1003/anatomiaantropometria-y-ergonomia?related=2> [07 May 2015].

ZICLA (2015) *Pantalla Acustica ECOPLAK*, [Online], Available: <http://www.zicla.com/public/docs/pantalla-acustica-ecoplak-innova-memoria-tecnica.pdf> [17 Jul 2015].

| | |
|--|----|
| Tabla 1. 1 Clasificación de módulos tridimensionales | 8 |
| Tabla 1. 2 Funciones de recuperación, relación y recreación | 37 |
| Tabla 1. 3 funciones de servicio | 38 |
| Tabla 1. 4 Funciones de servicio | 39 |
| | |
| Imagen 1. 1 Arquitectura de contenedores | 8 |
| Imagen 1. 2 patrones de medida en Partenón | 19 |
| Imagen 1. 3 Geometrías de la sección aurea..... | 22 |
| Imagen 1. 4 Modulor de Le Corbusier | 23 |
| Imagen 1. 5 Copo de nieve de Koch y el triángulo de Sierpinski..... | 25 |
| Imagen 1. 6 Teselaciones regulares a base de triángulos, cuadrados y hexágonos | 27 |
| Imagen 1. 7 Teselaciones planas y Solidos Arquimedianos | 28 |
| Imagen 1. 8 Papiroflexia y modulación..... | 29 |
| Imagen 1. 9 obra de Frei Otto | 30 |
| Imagen 1. 10 Cubo de agua, Estadio nacional de Beijing | 31 |
| Imagen 1. 11 Envoltente bau-bionik | 31 |
| Imagen 1. 12 Percepción del espacio arquitectónico | 33 |
| Imagen 1. 13 Antropometría: métrica del cuerpo humano | 36 |
| Imagen 1. 14 Medidas mínimas en circulaciones verticales..... | 40 |
| Imagen 1. 15 Medidas mínimas para circulaciones..... | 41 |
| | |
| Imagen 2. 1 Modulación en planta de la casa japonesa..... | 44 |
| Imagen 2. 2 Le Corbusier y el concepto de la planta libre..... | 45 |
| Imagen 2. 3 Aluminare House de Albert Frey y L. Kocher..... | 47 |
| Imagen 2. 4 Dymaxion House de Fuller | 49 |
| Imagen 2. 5 Capsule Tower del movimiento metabolista | 50 |
| Imagen 2. 6 Proyecto de contenedores..... | 53 |
| Imagen 2. 7 sistemas móviles es espacios interiores..... | 55 |
| Imagen 2. 8 sistema móvil con articulaciones | 55 |

| | |
|---|----------------|
| Imagen 2. 9 explosivo de Green box de Luis de Garrido | 56 |
| Imagen 2. 10 componentes verticales y horizontales de un sistema constructivo. | 58 |
| Imagen 2. 11 Sistema de marco tridimensional y | 60 |
| Imagen 2. 12 Sistema común de marcos con los elementos que incluye | 61 |
| Imagen 2. 13 conexiones mecánicas en elementos de madera..... | 64 |
| Imagen 2. 14 Unión con lengüeta postiza | 66 |
| Imagen 2. 15 Unión de lengüeta y ranura | 67 |
| Imagen 2. 16 Unión Espiga ranura (arriba) y Espiga caja (abajo) | 68 |
| Imagen 2. 17 ensamble de cola de milano..... | 69 |
| Imagen 2. 18 Diferentes tipos de empalme..... | 69 |
| Imagen 2. 19 Armadura de madera con placas dentadas..... | 70 |
| Imagen 2. 20 1) Perno, 2) Espárragos, 3) Tirafondos, 4) Chaveta y lengüeta, y 5) Pasador..... | 72 |
| Imagen 2. 21 Vivienda construida con sistema constructivo Brickarp | 76 |
| Imagen 2. 22 Sistema constructivo ECOPLAK..... | 80 |
| Imagen 2. 23 paneles en la construcción | 80 |
| Imagen 2. 24 componentes de muro de Tabla Roca ¡Error! Marcador no definido. | |
| | |
| Imagen 3. 1 Clasificación de los materiales alternativos | 85 |
| Imagen 3. 2 Materiales ecológicos a base de desechos agrícolas..... | 86 |
| Imagen 3. 3 Construcción con Balas de cartón | 90 |
| Imagen 3. 4 bloques de papel comprimido..... | 90 |
| Imagen 3. 5 Madera de periódicos (Newspaperwood) | 91 |
| Imagen 3. 5 sistema constructivo Brickarp compuesto de bloques de plástico | 93 |
| Imagen 3. 6 sistema constructivo con botellas recicladas: Polli-bricks..... | ¡Error! |
| Marcador no definido. | |
| Imagen 3. 6 Capas de Envase Tetra Pack..... | 94 |
| Imagen 3. 7 Lámina termoformada para cubiertas..... | 95 |
| Imagen 3. 8 Vivienda de Tetra pack y madera | 95 |
| Imagen 3. 7 Construcciones de madera con elementos prefabricados..... | 97 |
| Imagen 3. 8 Construcción de muro con técnica bajareque | 101 |
| Imagen 3. 9 Construcción con técnica arcilla aligerado | 102 |
| Imagen 3. 10 panel aislante a base de cañas | 106 |
| Imagen 3. 11 Construcción de paja..... | 108 |
| Imagen 3. 12 Paneles a partir de basura agrícola..... | 109 |
| Imagen 3. 13 Mamparas y muros divisorios a base de tule | 110 |
| Imagen 3. 14 tejido de fibras de banano reforzado con compuesto epoxi | 111 |