

Una hipótesis: dos alternativas para configurar espacios como paralelepípedos rectos

A hypothesis: two alternatives for spaces configured as straight parallelepipeds

Arq. Antonio Conti B.

<https://orcid.org/0009-0000-1187-4676>

Correo-e: acontib@gmail.com

Recibido: 16-01-2024 | Aceptado: 21-10-2024

Resumen

Diseñar y construir espacios configurados por paralelepípedos rectos, con planos perpendiculares en direcciones cartesianas, son –aún hoy– dificultades muy comunes para la fabricación y el ensamblaje de sus componentes. La hipótesis de solución aquí descrita es un estudio preliminar teórico para solventar aspectos importantes como uniones y continuidad de miembros estructurales en las tres direcciones X, Y, Z que conforman el conjunto de espacios de una edificación con capacidad sismorresistente. Además de la hipótesis, para sustentar el supuesto teórico se plantean dos alternativas constructivas como ejemplos demostrativos. La primera consiste en el diseño de un nodo y miembros tubulares de acero para producir estructuras tridimensionales sobre terrenos planos y en pendiente. La segunda plantea la posibilidad de edificaciones con madera de hasta cuatro niveles con juntas secas, permitiendo un proceso de construcción progresiva, así como la deconstrucción y reutilización de materiales, el reciclaje de los componentes, aumento de la vida útil de la construcción, al igual que ‘cero desperdicios’ y ahorro energético en la fabricación.

Descriptores

Ortogonalidad en arquitectura; uniones y continuidad estructural; macroestructuras de acero; entablados de madera.

Abstract

Designing and constructing spaces configured by straight parallelepipeds, with perpendicular planes in Cartesian directions, are –even today– very common difficulties in the manufacturing and assembly of their components. The solution hypothesis described here is a preliminary theoretical study to address important aspects such as joints and continuity of structural members in the three directions X, Y, and Z that make up the set of spaces in a building with earthquake-resistant capacity. In addition to the hypothesis, to support the theoretical assumption, two construction alternatives are proposed as demonstrative examples. The first consists of the design of a node and tubular steel members to produce three-dimensional structures on flat and sloping terrain. The second raises the possibility of timber buildings of up to four levels with dry joints, allowing for a progressive construction process, as well as the deconstruction and reuse of materials, the recycling of components, an increase in the useful life of the building, as well as “zero waste” and energy savings in manufacturing.

Descriptors

Orthogonality in architecture; structural joints and continuity; steel macrostructures; wooden decking.

Este trabajo describe etapas iniciales de una investigación en curso que forma parte de la cartera de proyectos del Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción-IDEC, de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Central de Venezuela (FAU-UCV). Resume el resultado de observaciones e hipótesis de solución para solventar aspectos recurrentes en el diseño y la construcción de edificaciones, configuradas con espacios en forma de paralelepípedos rectos, donde predomina la perpendicularidad de los componentes resistentes en las tres direcciones cartesianas X, Y, Z.

Tanto el ángulo recto como la geometría y morfología que de allí se derivan han sido por mucho tiempo motivo de interés, aplicación y desarrollo tecno-científico en la producción de edificaciones.

Con fines meramente ilustrativos y sin pretensión de rigurosidad académica se mencionan algunos aportes como los geométricos-ma-

temáticos de Euclides (Andrés, 2017) –desde el siglo II a. C.– reseñados en el quinto de *Los seis libros primeros de la geometría de Euclides* (Sainz, 2016); el sistema de coordenadas creado por René Descartes (Alberti, 2017), y la racionalidad del movimiento moderno y sus maestros Walter Gropius, Ludwig Mies van der Rohe y Le Corbusier, seudónimo del arquitecto franco-suiizo Charles-Édouard Jeanneret, quien en 1947 escribió *El poema del ángulo recto* (publicado en una edición limitada en 1955) que combina escritura, artes plásticas y reflexión arquitectónica, poniendo de relieve la importancia de la geometría y su papel en los procesos creativos y del pensamiento (Le Corbusier, 1947).

También es oportuno mencionar la racionalidad del ángulo recto reflejada no solo en las propuestas constructivas de la Bauhaus, sino en el diseño de mobiliario industrializado (imagen 1) como parte de su propuesta básica integradora de arte, diseño, materiales, funcionalidad y tecnología.

Imagen 1. Propuestas de mobiliario de la Bauhaus. Ejemplos: silla Roja y azul y silla Steltman de G. Rietveld.



Fuente: https://www.disenoyarquitectura.net/2010/03/las-sillas-de-gerrit-rietveld.html#google_vignette

En la actividad investigativa, en la docencia así como en la práctica profesional de la arquitectura, es usual diseñar edificaciones configuradas con paralelepípedos rectos donde, entre otros, se observan dos problemas recurrentes y no siempre fáciles de resolver: las uniones entre sí y la continuidad de los componentes arquitectónicos y miembros estructurales.

Esos dos aspectos aquí contemplados, uniones y continuidad, adquieren relevancia para el diseño y la construcción de edificaciones sostenibles –premisa fundamental para la producción de conocimiento del IDEC (Cilento, 1999; Acosta, 2005)– que permitan modificaciones, deconstrucción, reutilización y reciclaje, parámetros vitales para no generar desperdicios ni residuos y prolongar la vida útil del conjunto construido.

Hipótesis

La hipótesis de diseño consiste en que, para conformar espacios con formas de paralelepípedos rectos, se interrumpan alternativamente los planos en las tres direcciones cartesianas –en la producción de edificaciones plano horizontal, vertical y lateral–, permitiendo el paso del plano perpendicular a él. Es así como se

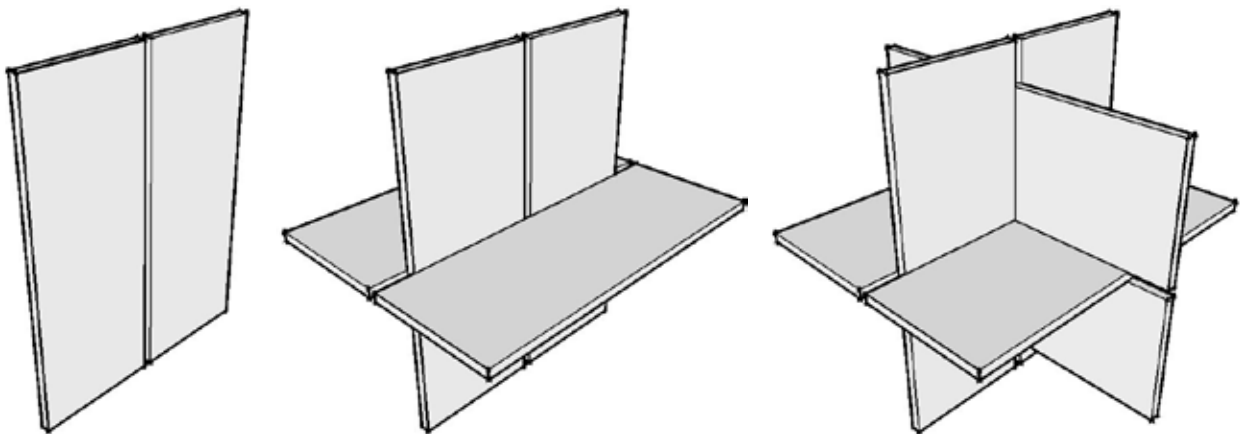
ilustra en los dibujos siguientes donde el plano horizontal permite el paso al vertical y este al lateral (dibujo 1).

La separación se ubica en el encuentro de las tres direcciones, es del tamaño del espesor del componente ortogonal respectivo y, según el caso, su longitud puede llegar a ser hasta de la altura, el ancho o la profundidad de una edificación, permitiendo uniones eficientes y continuidad de los elementos.

En las líneas que siguen, esta hipótesis se acompaña con dos alternativas constructivas como ejemplos demostrativos –no exhaustivos– de posibles líneas de investigación y desarrollo tecnológico para la producción de edificaciones.

Para la investigación en curso, en un sistema triedro o espacio tridimensional, asumimos los tres planos ortogonales –horizontal, vertical y lateral– como *lugares geométricos*, y sus tres intersecciones como *lugares geométricos comunes* correspondientes a las tres direcciones cartesianas X,Y,Z donde coinciden los planos de dos en dos, que se interrumpen, permitiendo la continuidad de uno de ellos, alternándose de acuerdo a las direcciones X,Y,Z (dibujo 2).

Dibujo 1. Interrupción de los lugares comunes

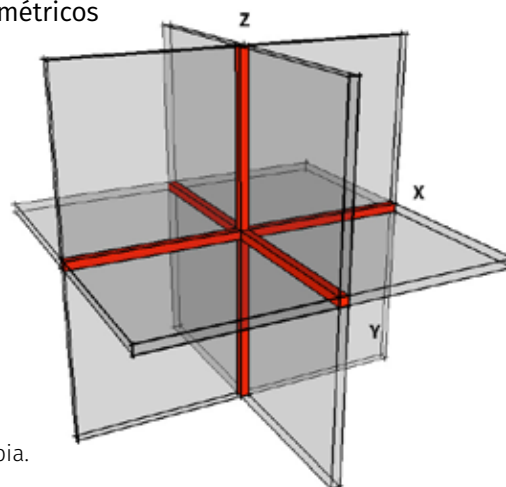


Fuente: Elaboración propia.

Si bien para fines ilustrativos en los dibujos 1 y 2 los lugares geométricos están representados por planos, la validez del supuesto teórico puede ser también válida para otras situaciones, como los ejemplos que se muestran en el dibujo 3, casos 3a y 3b.

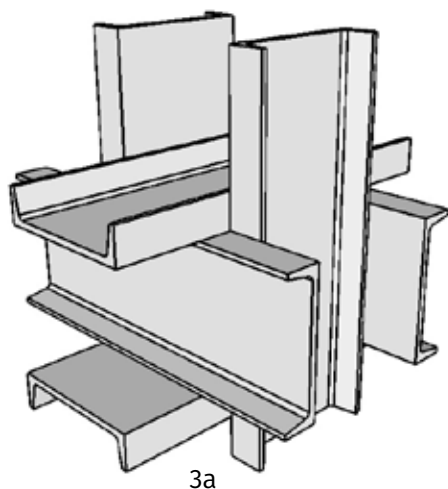
Igualmente, los lugares geométricos pueden ser representados con superficies giradas respecto a las indicadas en el dibujo 2, obteniéndose lugares geométricos comunes con elementos paralelos, diferentes y más anchos que los representados hasta ahora (dibujo 4).

Dibujo 2. Lugares geométricos

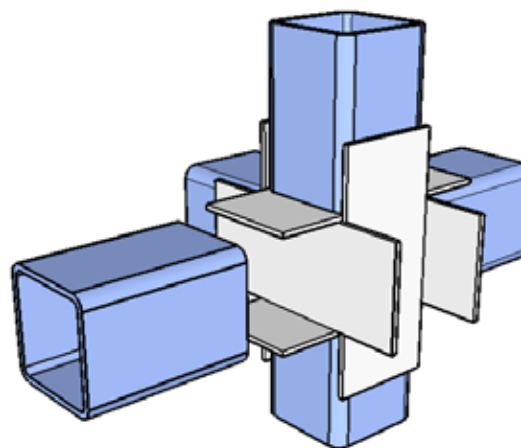


Fuente: Elaboración propia.

Dibujo 3. Ejemplos: nodo con perfiles U y unión con tubos



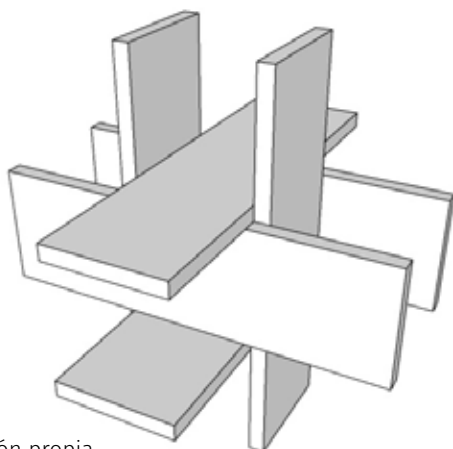
3a
Nodo con perfiles U



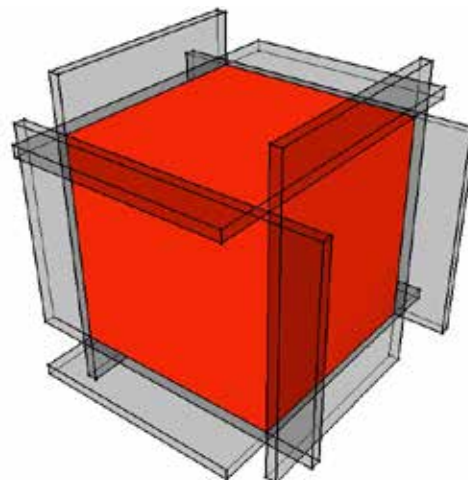
3b
Unión tubos

Fuente: Elaboración propia.

Dibujo 4. Lugar geométrico común con elementos paralelos



Fuente: Elaboración propia.



Alternativa 1

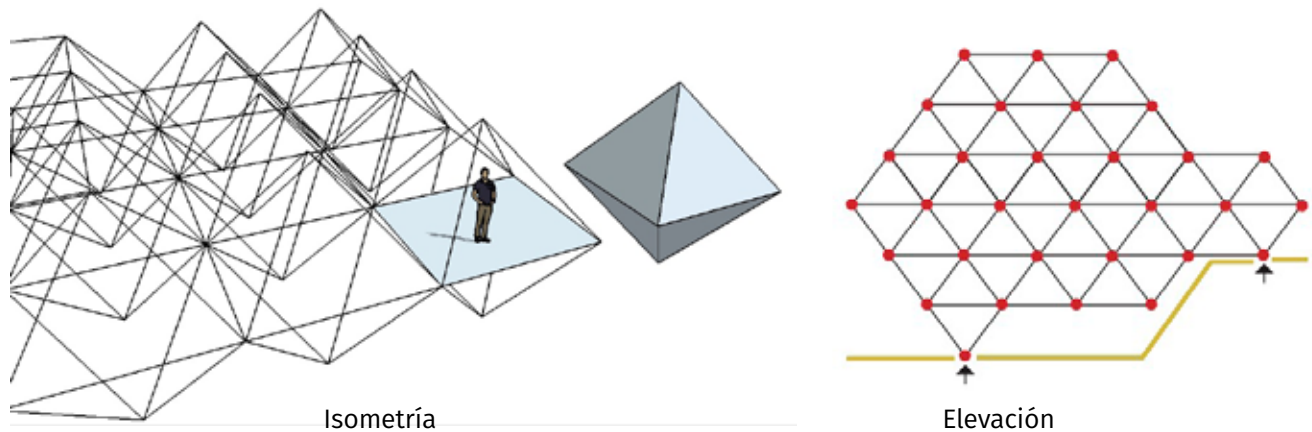
En concordancia con los lugares comunes perpendiculares reseñados en los dibujos 1 y 2, la primera propuesta consiste en una macro-malla estructural, tridimensional, habitable en su interior, de tubulares de acero unidos por nodos articulados. A similitud del sistema de Tridilosa (Castillo, 2020), el módulo estructural de la malla son las aristas de un octaedro que en nuestro ejemplo se suma horizontal y verticalmente hasta cinco niveles (dibujo 5),

con luces de los apoyos sobre el terreno entre 15m y 20m.

Configuradas así, las mallas resultan estables siendo las aristas de las ocho caras triangulares de los octaedros unidas con nodos articulados.

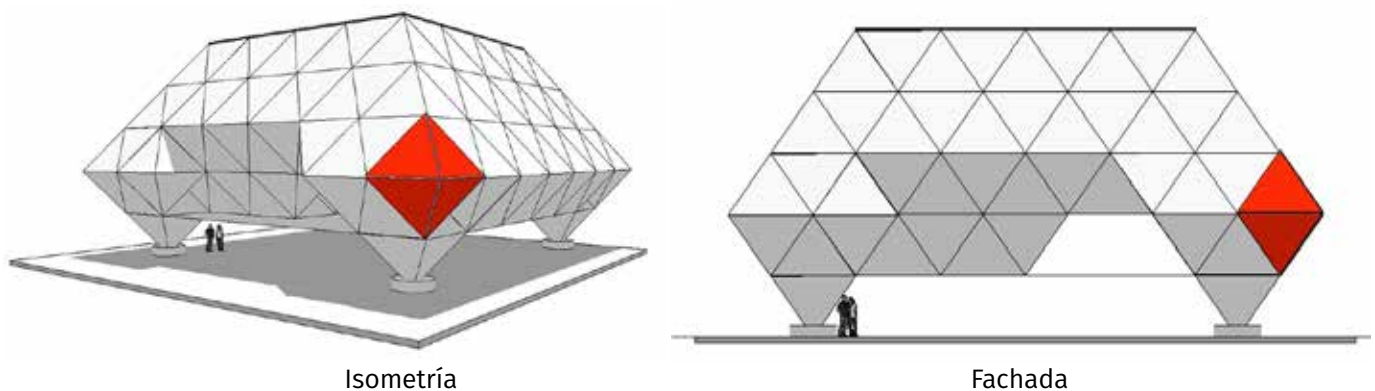
Para cada edificación específica el dimensionamiento de los miembros y demás especificaciones estructurales dependerá de las luces a cubrir, de las variables del diseño arquitectónico y estructural, además de la ubicación de la edificación (dibujo 6).

Dibujo 5. Macro-malla y módulo estructural junto con esquema de elevación



Fuente: Elaboración propia.

Dibujo 6. Edificación



Fuente: Elaboración propia.

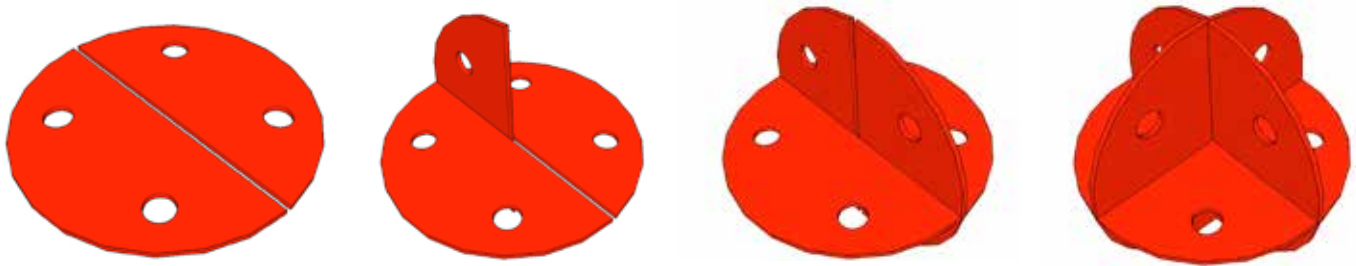
En cuanto a los nodos, han sido diseñados de acuerdo a la primera versión de la hipótesis descrita y representada en los dibujos 1 y 2, que identifican los lugares geométricos comunes ortogonales.

Dichos nodos se proponen fabricados con seis planchas iguales, en forma de semicírculo, que soldadas entre sí configuran un nodo compacto de tres planos ortogonales con apariencia de una 'esfera virtual' (dibujos 7 y 8), con doce

orificios para doce direcciones de los tubulares de acero: cuatro horizontales, cuatro oblicuas hacia arriba y cuatro oblicuas hacia abajo.

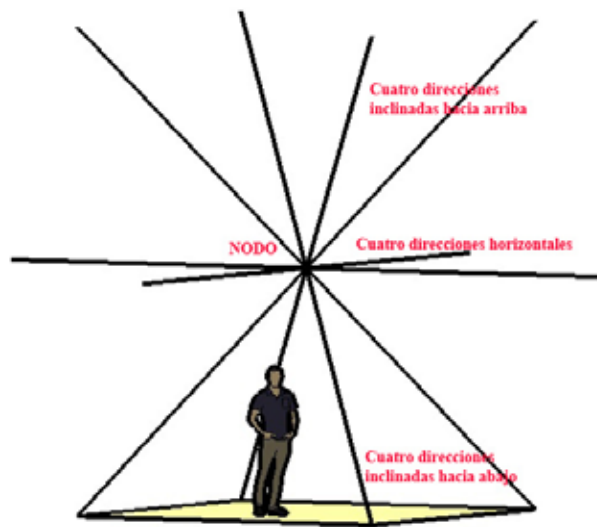
Obviamente, para preservar la continuidad estructural, las barras diagonales influyen en el diseño arquitectónico e interfieren integraciones y comunicaciones espaciales. A manera de ejemplo acotamos dos sugerencias orientadoras. La primera, considerar que las diagonales de los octaedros coincidan con las diagonales

Dibujo 7. 'Esfera virtual': nodo compacto de tres planos

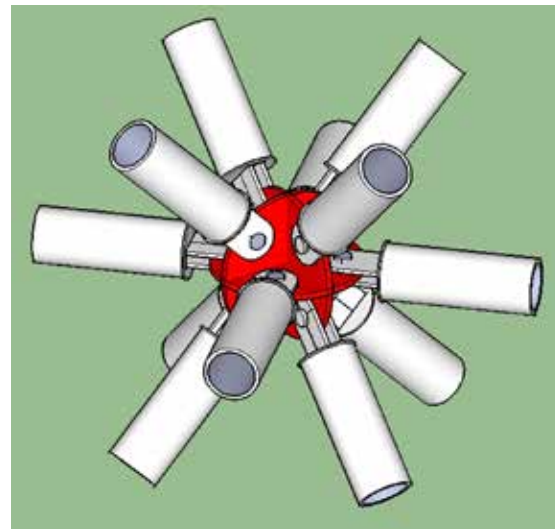


Fuente: Elaboración propia

Dibujo 8. Doce direcciones. Nodo para 12 tubulares de acero



Doce direcciones



Nodo

Fuente: Elaboración propia.

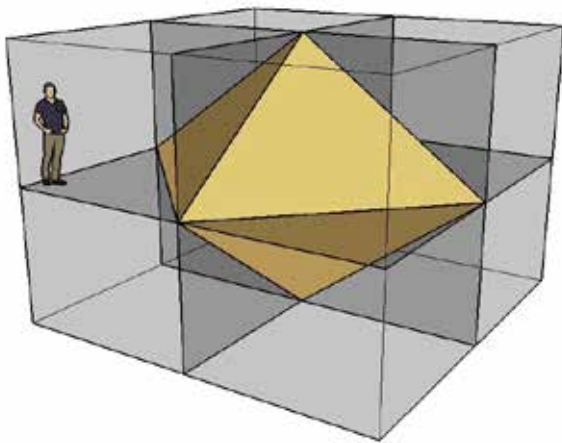
de un paralelepípedo recto que en nuestro caso equivaldría, por ejemplo, a la diagonal embutida de una de las paredes del espacio (dibujo 9).

La segunda sugerencia teórica es la de crear grandes zonas y espacios vacíos dentro de la macro-malla, donde se alojarían estructuras distintas y compatibles, que no afectarían la continuidad ni la estabilidad y el comportamiento estructural del conjunto (dibujo 10), quedando el resto de la estructura tridimensional como envoltorio y responsable de la resistencia y estabilidad de la edificación.

Alternativa 2

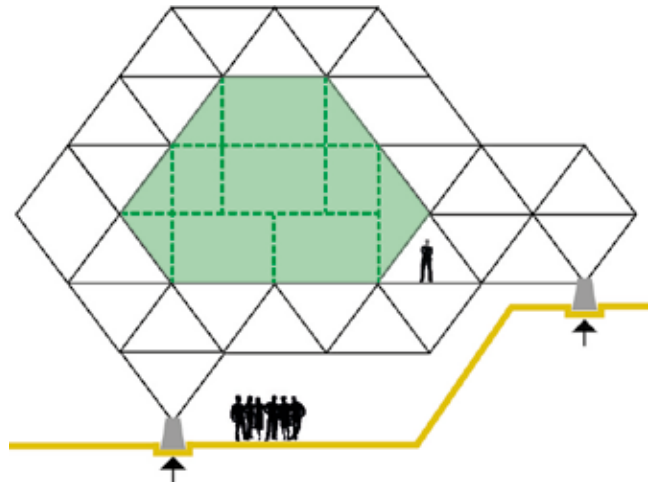
La segunda versión de la hipótesis se remite a la imagen de lugar geométrico común con elementos paralelos (ya representados en el dibujo 4) y propone construir edificaciones de hasta cuatro pisos, con paneles de madera de Pino Caribe venezolano (*Pinus Caribaea* var. *Hondurensis*) (Reyes et al., 2012), entablados, fabricados mediante el sistema laminado y contralaminado, también conocido como CLT, siglas en inglés de *Cross Laminated Timber* (imagen 2).

Dibujo 9. Aristas de un octaedro embutido en las paredes del paralelepípedo en un espacio



Fuente: Elaboración propia.

Dibujo 10. Zonas vacías dentro de la macro-malla



Fuente: Elaboración propia.

Imagen 2. Laminado y contralaminado. Detalle secciones y componente



Fuente: <https://www.forestmaderero.com/articulos/item/tendencias-de-la-arquitectura-en-madera-para-el-2020.html>

Consideramos esta técnica una alternativa muy adecuada para las propiedades mecánicas y dimensiones de la madera aserrada de Pino Caribe, con prestaciones, densidad y secciones muy inferiores a las maderas duras y semiduras de los bosques naturales.

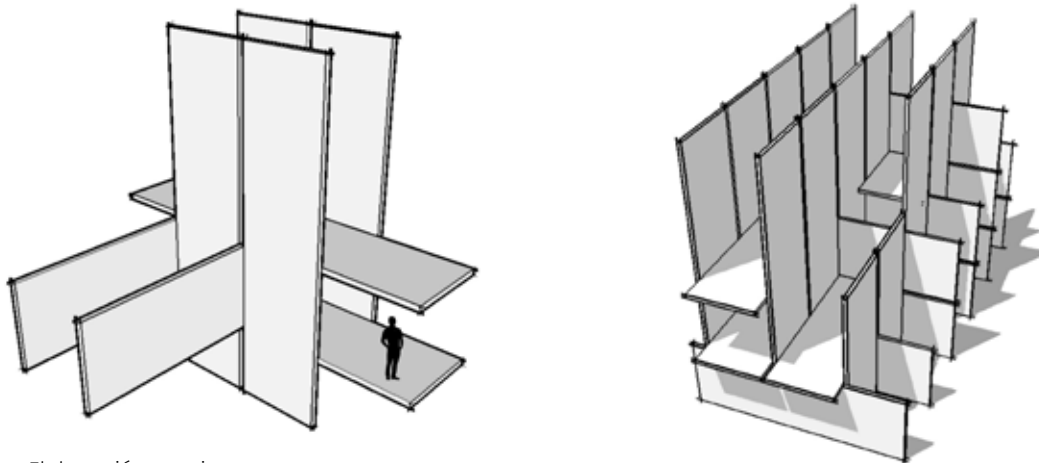
El posible pre-dimensionamiento de los componentes estructurales podría ser de hasta 12 metros de largo, anchos modulados a 1,20m, con 5 capas de tablas o tablones, de entre 3cm y 5cm de espesor para configurar las secciones transversales (15 a 25 cm). Como ejemplos de estas posibilidades (imagen 3), en los dibujos 11 y 12 se grafican criterios de diseño y varias soluciones posibles.

Imagen 3. Construcciones con tecnología CLT: paneles de madera contralaminada



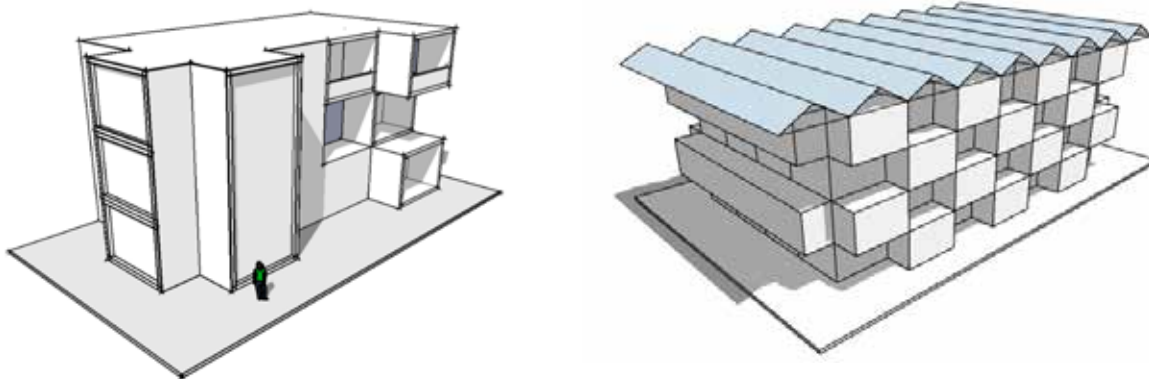
Fuente: https://maderame.com/construcciones-madera/#google_vignette

Dibujo 11. Ensamblaje de paneles CLT en las tres direcciones



Fuente: Elaboración propia.

Dibujo 12. Esquemas de posibilidades



Fuente: Elaboración propia.

La madera en sí es un material extraordinario para diseñar espacios con gran calidad estética y de confort, y altamente eficientes gracias a su relación peso/capacidad resistente. Con respecto a otros materiales, su bajo peso por unidad de volumen y sus características físico-mecánicas, son cualidades insuperables para edificaciones eficientes a solicitudes sísmicas (López y Rattia, 2016).

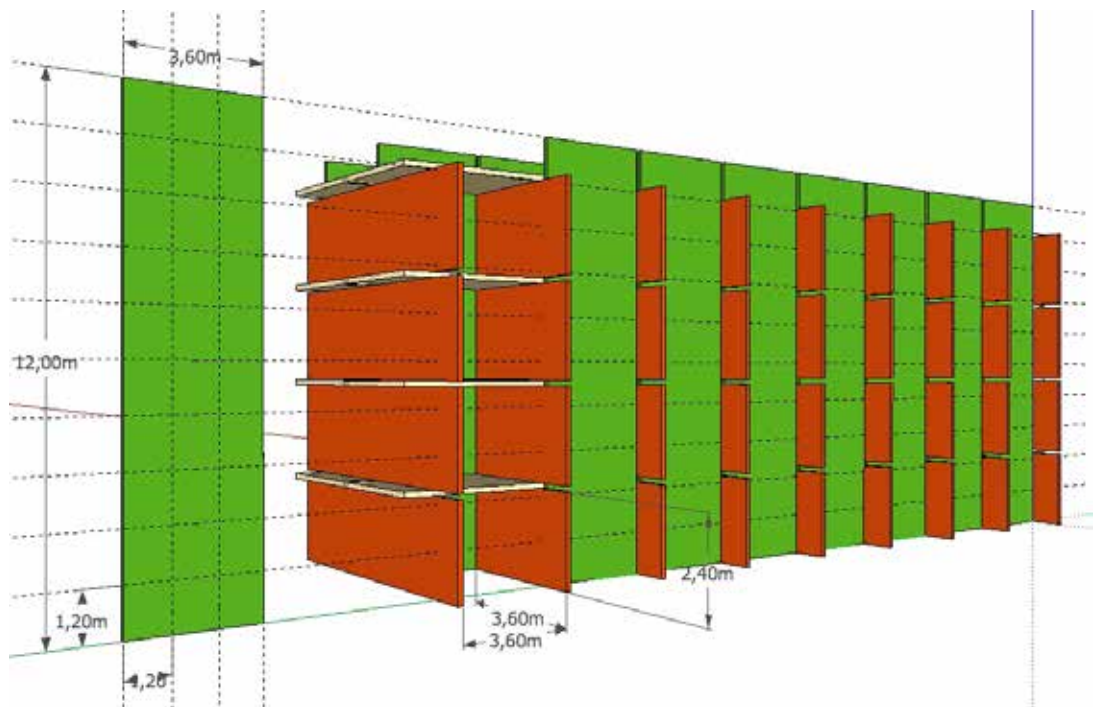
Se trata de un material natural, renovable, con muy poco impacto ambiental, características casi únicas como insumo cuando se piensa en la necesidad de un proyecto de construcción sostenible. Adicionalmente, su procesamiento es de baja exigencia energética aunado al hecho de que, para su transformación en componentes constructivos, solo requiere maquinaria sencilla y herramientas no sofisticadas.

En cuanto a la producción, los paneles con tecnología CLT pueden ser fabricados en car-

pinterías medianas, con maquinaria para laminados. Para el ensamble y montaje, las uniones de los componentes se hacen por junta seca, lo que permite construcciones progresivas, deconstrucción, modificaciones y ampliaciones por cambios de uso, reutilización y reciclaje, así como mayor vida útil de la edificación puesto que al modificar siempre se preserva lo construido (Conti, 2018).

Esta propuesta incorpora la coordinación dimensional con el módulo espacial de 1,20m x 1,20m x 1,20m (1M x 1M x 1M) y las unidades espaciales de 3,60m x 3,60m x h = 2,40m libres (3M x 3M x 2M). Muros y losas son múltiplos o submúltiplos de 12m x 3,60m (dibujo 13) y espesores de 15cm a 25cm, equivalentes a cinco laminados de 3cm y 5cm cada uno, respectivamente. Los paneles CLT son algunos sin aberturas, otros con vanos y vacíos para integración de ambientes, pasillos, colocación de puertas y

Dibujo 13. Coordinación dimensional



Fuente: Elaboración propia.

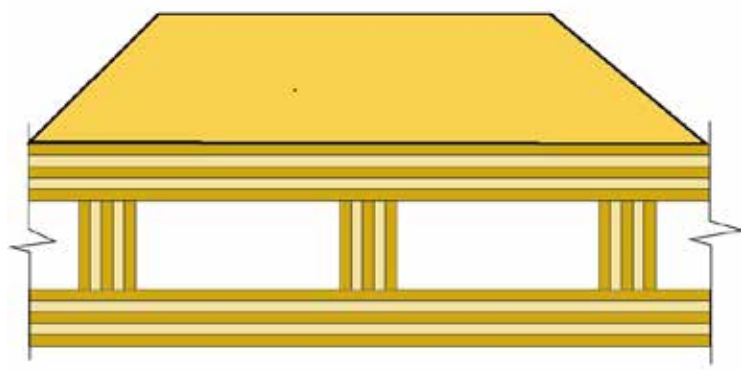
ventanas. No se descarta la utilización de componentes de secciones compuestas para solicitudes y luces mayores (dibujo 14).

En general, los dibujos insertos en este texto reflejan espacios cerrados, sin vanos para puertas, ventanas y pasillo. Sin embargo, el sistema CLT permite aberturas en muros y losas para integrar ambientes, así como vanos para alojar ventanas y puertas. Su diseño se desarrollará en investigaciones posteriores y proyectos concretos ya que –como señalamos al inicio– este estudio se limita a plantear la hipótesis de diseño y señalamientos para pro-

yectar y construir conjuntos con componentes continuos, unidos por sus aristas, dando lugar a edificaciones estables, competitivas, sostenibles y adecuadas para responder a solicitudes sismorresistentes.

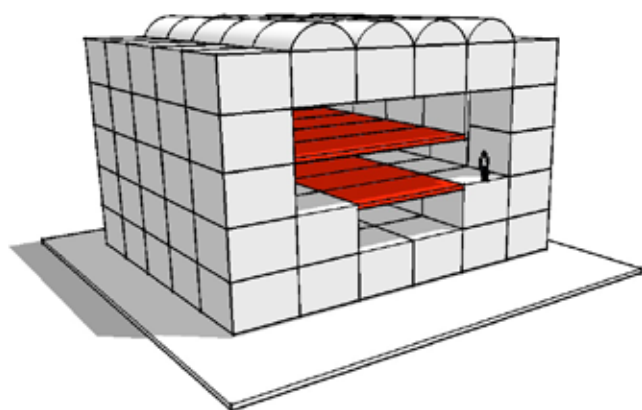
Al igual que para la primera alternativa, esta alternativa 2 permite dejar vacíos considerables dentro de la trama originada por los paneles. Esto facilita, por ejemplo, losas-puentes internas y sub-estructuras compatibles con la estructura, sin atentar contra la estabilidad del conjunto (dibujo 15).

Dibujo 14. Losa compuesta. Sección transversal. Detalle

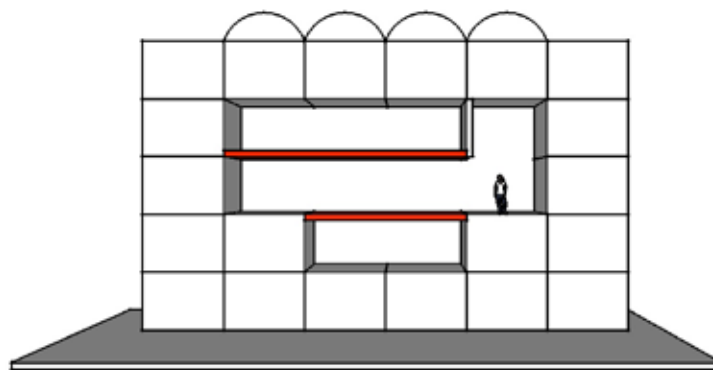


Fuente: Elaboración propia.

Dibujo 15. Losas-puentes internas y sub-estructuras



Isometría



Fachada

Fuente: Elaboración propia.

A manera de conclusión

La hipótesis de los *lugares comunes* sin interrupciones de componentes y miembros estructurales, y las aplicaciones posibles como en los ejemplos descritos, indican la factibilidad de resolver dos problemas recurrentes cuando se trata de construcciones que integran espacios en forma de paralelepípedos rectos: el de la continuidad y el de las uniones eficientes. Adicionalmente, consideramos que aplicando la hipótesis planteada como criterio de diseño, los conjuntos estructurales que de ella derivan originan unidades tridimensionales muy estables a pesar de estar conformadas por conjuntos de planos individuales donde sollicitaciones y fuerzas corren sin interrupción a lo largo de componentes verticales, horizontales y laterales.

En cuanto a la factibilidad constructiva, el diseño estructural la definirá en cada proyecto al considerar normas y especificaciones como, por ejemplo, la COVENIN 1756, que contempla requerimientos como factores de irregularidad, entre otros, las estructuras Tipo IV y una variación del III-b o III-c, así como el número

de pisos de las edificaciones o las conexiones preclasificadas para la madera.

La hipótesis planteada también permite edificaciones sostenibles al incorporar en el diseño la fabricación de elementos y componentes en talleres de herrería y carpintería existentes, la madera como recurso renovable, paneles prefabricados y construcción con juntas secas que garantizan mínimos desperdicios y residuos, y que resulten en edificaciones modificables y desarmables posteriormente sin traumas para lo ya construido.

Finalmente, la fabricación y el montaje de elementos y componentes descritos en las alternativas constructivas aquí presentadas pueden ser fácilmente ejecutadas por técnicos de mediana experiencia, en talleres medianos y semi-industriales, con recursos no sofisticados en cuanto a herramientas y equipos, que trabajen bajo la adecuada dirección y supervisión de profesionales y expertos.

Por último, confiamos en que la potencialidad del supuesto teórico aquí descrito permitirá, en futuras investigaciones experimentales, desarrollar alternativas atractivas, eficientes y competitivas.

Referencias bibliográficas

- Acosta, D. y Cilento, A. (2005) Edificaciones sostenibles: estrategias de investigación y desarrollo. *Tecnología y Construcción*, n°21-I, pp. 15-30, IDEC-FAU-UCV. Caracas, Venezuela.
- Alberti, Miguel (2017) *Descartes: el desarrollo de la geometría analítica*. Ed. RBA. Ciudad de México.
- Andrés, F. (2017) *Euclides*. Consulta el 30 de marzo, 2019: <https://historia-biografia.com/euclides/>.
- Castillo, H. (2020) Sistema estructural Tridilosa. <https://www.uic.mx/heberto-castillo-y-la-estructura-tridimensional/>
- Cilento, A. (1999) *Cambio de paradigma del Hábitat*. Ediciones CDCH/IDEC/UCV. Caracas. Colección Estudios.
- Conti, A. (2018) "Viviendas con madera y tableros ViMaT", en: *Memorias XXXVI Jornadas del IDEC 2018*, pp.: 58-70). Caracas. IDEC-FAU-UCV.

- Le Corbusier (1997) Selección de poemas e ilustraciones de *Le poème de l'angle droit*, traducción: Ricardo Ibarlucía y Valeria Joubert, "El poema del ángulo recto", primera edición en español, en *Diario de Poesía*, año 10, nº41, marzo de 1997, pp.: 17-22.
- Navarro, R. (2014). René Descartes. Consulta en Google eBook, marzo 2019: <https://books.google.co.ve/books?i-d=jwKPAGAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=ren%C3%A9+descarte+sistema+cartesiano&hl=es&sa=X&ved=0ahUKewin25Pjy4zhAhXoQ98KHWKgDn04ChDrAQg8MAQ#v=onepage&q&f=false>
- Reyes, E.C.; Molina Caldera, M.; Valero, S.; Molina, Y.; Betancourt M., J.R. (2012). "Propiedades físicas de la madera de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, resinado y no resinado de las plantaciones de Uverito (Monagas, Venezuela)", *Revista Forestal Venezolana*, Vol. 56 (1), 2012, pp.: 21-28. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Universidad de los Andes-ULA, Mérida. Venezuela.
- Sainz, C. (2016). *Los seis libros primeros de la geometría de Euclides*. Traducción del profesor C. Sainz, Ediciones de la Junta de Andalucía. Biblioteca virtual de Andalucía. Granada, España.
- Sánchez, E.; Bellomo, F. J.; Nallim, Liz; Oller, S. (2018) Simulación numérica del comportamiento no lineal de madera laminada cruzada a flexión. XXXVIII Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural, National University of Salta.