



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

ÁREA TÉCNICA

TÍTULO DE ARQUITECTO

Geometría, diseño y construcción: Un modelo paramétrico no estándar con madera prefabricada.

Caso de estudio: espacios abiertos de la UTPL.

TRABAJO DE TITULACIÓN

Autores:

Cartuche Valverde, Johanna de los Ángeles
Correa Loyola, Jorge Luis

Director:

Burneo Valdivieso Xavier Eduardo, Arq.

LOJA – ECUADOR
2015

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Arquitecto

Xavier Eduardo Burneo Valdivieso

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

De mi consideración:

El presente trabajo de titulación: **“Geometría, diseño y construcción: Un modelo paramétrico no estándar con madera prefabricada. Caso de estudio: espacios abiertos de la UTP.”**, realizado por los profesionales en formación, Cartuche Valverde Johanna de los Ángeles y Correa Loyola Jorge Luis, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, Abril del 2015

.....
Xavier Burneo Valdivieso, Arq.

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

“Nosotros **Cartuche Valverde Johanna de los Ángeles y Correa Loyola Jorge Luis**, declaramos ser autores del presente trabajo de titulación: **Geometría, diseño y construcción: Un modelo paramétrico no estándar con madera prefabricada. Caso de estudio: espacios abiertos de la UTPL.**, de la Titulación de Arquitectura, siendo Burneo Valdivieso Xavier Eduardo, Arq. director del presente trabajo; y eximimos expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaramos conocer y aceptar la disposición del Art. 88 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”

.....
Cartuche Valverde Johanna de los Ángeles

CI. 1104705304

.....
Correa Loyola Jorge Luis

CI. 1104351265

DEDICATORIA

El presente trabajo de fin de titulación lo dedico a Dios quien hace posible mi existencia; a mis padres José y Jovita por constituir un pilar fundamental en mi vida; a mis hermanos Claudia, Jéssica y José Andrés por ser la fuerza que me motiva día a día; a mis amigos y compañeros quienes hicieron de esta etapa universitaria una experiencia inolvidable.

Johanna

A Dios, Ana María, Luis Eduardo, Ana Salomé, Carlos Enrique, Zoila Isabel, Carlos Raúl, Pablo Iván, Ana Cecilia, Eduardo Fabián, Mirian Piedad, Luis Alberto, María Fernanda, Diego Fabián, Mauricio Daniel, Marco Antonio, Ángel Darío, Diego Hernán y Lauro Patricio.

Jorge Luis

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Técnica Particular de Loja, sobre todo a los docentes de la titulación de arquitectura por habernos formado en la profesión que escogimos para nuestras vidas.

De forma especial a nuestro tutor de tesis, Xavier Burneo; sus conocimientos, orientaciones y apoyo fueron fundamentales para nuestra investigación.

A quienes conforman el Fab Lab UTPL por la dedicación vertida sobre nuestras investigaciones de forma intelectual, material y humana.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA.....	i
CERTIFICACIÓN.....	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vi
RESUMEN EJECUTIVO.....	1
ABSTRACT.....	2
INTRODUCCIÓN.....	3
CAPÍTULO 1: Madera Prefabricada	6
1.1. Generalidades sobre la madera prefabricada.....	7
1.1.1. Antecedentes.....	7
1.1.2. Evolución del tablero prefabricado.....	8
1.2. Los tableros prefabricados.....	9
1.2.1. Definición.....	9
1.2.2. Clasificación y características de los tableros prefabricados.....	10
1.2.2.1. Tableros de partículas.....	10
1.2.2.2. Tableros de láminas.....	12
1.2.2.3. Tableros de fibras.....	13
1.3. El tablero como sistema de prefabricación.....	14
1.4. Tableros de mayor uso en nuestro medio.....	14
1.4.1. Tablero MDF.....	15
1.4.2. Tablero OSB.....	17
1.4.3. Melaminas.....	18
1.5. Sistemas de unión en la construcción.....	19
1.5.1. Juntas.....	19
1.5.2. Ensamblés.....	19
1.5.3. Empalmes.....	20
1.5.4. Uniones mecánicas.....	20
1.5.4.1. Clavijas.....	20
1.5.4.2. Conectores.....	20
1.6. Patologías de los tableros prefabricados.....	21
CAPÍTULO 2: Diseño Paramétrico y Fabricación Digital	22
2.1. Diseño Paramétrico.....	23
2.1.1. Definiciones.....	23
2.1.2. Contexto de empleo del diseño paramétrico.....	26
2.1.2.1. Ejemplos aplicados.....	26
2.1.2.1.1. Diseño arquitectónico.....	26
2.1.2.1.2. Diseño industrial.....	27
2.1.2.1.3. Diseño de interiores.....	27
2.1.2.1.4. Diseño de modas.....	27
2.2. Generalidades sobre el modelado paramétrico.....	28
2.2.1. Antecedentes.....	29
2.2.2. Software de modelado paramétrico.....	30
2.2.3. Proceso de modelado paramétrico.....	30
2.3. Generalidades sobre la fabricación Digital.....	31
2.3.1. Antecedentes.....	31
2.3.2. Descripción y procesos de fabricación digital.....	32

2.3.2.1.	Tipos de maquinarias CNC.....	32
2.3.2.1.1.	Corte Láser.....	32
2.3.2.1.2.	Plotter de Corte CNC.....	33
2.3.2.1.3.	Estereolitografía.....	33
2.3.2.1.4.	Impresora 3D.....	33
2.3.2.1.5.	Corte por chorro de agua.....	33
2.3.2.1.6.	Router CNC.....	34
2.3.2.1.7.	Corte Plasma.....	34
2.3.3.	Técnicas digitales de diseño y construcción.....	35
2.3.3.1.	Seccionamiento, Corte 2D.....	35
2.3.3.2.	Teselado.....	35
2.3.3.3.	Pliegue.....	36
2.3.3.4.	Fresado CNC.....	36
2.3.3.5.	Formación por molde.....	36
2.3.4.	Estudio y análisis de casos análogos.....	37
CAPÍTULO 3: Planteamiento de la Propuesta		40
3.1.	Estudio de caso – espacios abiertos UTPL.....	41
3.1.1.	Análisis del entorno urbano-arquitectónico.....	41
3.1.2.	Análisis funcional del campus.....	42
3.2.	Partido arquitectónico.....	43
3.2.1.	Obtención del concepto.....	43
3.2.1.1.	Primer modelo.....	43
3.2.1.2.	Segundo modelo.....	44
3.2.1.3.	Tercer modelo.....	44
3.2.1.3.1.	Diseño computacional.....	45
CAPÍTULO 4: Experimentación y Construcción		50
4.1.	Generación de la información.....	51
4.2.	Experimentación constructiva de los prototipos.....	53
4.2.1.	Sistema de corte de los prototipos.....	53
4.2.2.	Prototipo en cartón maqueta.....	54
4.2.3.	Prototipo en cartón prensado.....	55
4.3.	Construcción del modelo a escala.....	56
4.3.1.	El prototipo.....	56
4.3.2.	El material.....	56
4.3.3.	Sistema de ensamble.....	57
4.3.3.1.	Alternativas de ensambles y uniones.....	58
4.3.3.1.1.	Ensamble tipo 1.....	59
4.3.3.1.2.	Ensamble tipo 2.....	59
4.3.3.1.3.	Ensamble tipo 3.....	59
4.4.	Experiencia conclusiva.....	60
4.4.1.	Problemas de análisis.....	60
4.4.1.1.	El problema de la disponibilidad de los recursos.....	60
4.4.1.2.	El problema del modelado.....	61
4.4.1.3.	El problema de la estructura.....	61
4.4.1.4.	El problema del material.....	62
4.4.1.5.	El problema de la escala y del ensamble.....	62
CONCLUSIONES.....		65
RECOMENDACIONES.....		67
COMPROBACION DE HIPOTESIS.....		69
BIBLIOGRAFÍA.....		70

RESUMEN EJECUTIVO

El surgimiento del diseño paramétrico y fabricación digital se encuentra trastocando el método tradicional de diseño en sus diferentes escalas. Este proyecto de fin de titulación surge como un aporte en los campos académico y de investigación en relación a estos procesos. Nuestro estudio consistió en la utilización de recursos informáticos con modeladores avanzados como el plug-in grasshopper 3D como el modelador así como la utilización de tableros MDF (aglomerado elaborado con fibras de madera) y la utilización de cortés láser para la etapa de fabricación digital, las mismas que se desarrollaron y elaboraron en el laboratorio de prototipado de la UTPL y como resultado se obtuvo un producto que se enmarca dentro de los parámetros estéticos funcionales y de eficiencia de material, así como el manejo de ensambles para su construcción.

PALABRAS CLAVE: Arquitectura paramétrica, fabricación digital, algoritmo generativo, madera prefabricada, corte láser.

ABSTRACT

The emergence of parametric design and digital fabrication is disrupting the traditional method of design at different scales. This final project emerges to share a contribution to the academic and research fields related to these processes. Our study involved the use of computing resources with advanced modelers as the grasshopper plug-in 3D modeler as well as the use of MDF (chipboard made from wood fibers) and the use of laser cut for the digital manufacturing stage, these were developed and produced in the prototyping laboratory of UTPL and the result was a product that is part of the functional aesthetic parameters and material efficiency, as well as handling assemblies for construction was obtained.

KEYWORDS: parametric architecture, digital fabrication, generative algorithm, prefabricated wood, laser cutting.

INTRODUCCIÓN

El avance vertiginoso que ha tenido la informática, en cuanto a softwares de modelado paramétrico, nos permite no sólo conjugar formas complejas, sino también experimentar con variedad de materiales, que permiten al arquitecto solucionar necesidades arquitectónicas, tanto estética como estructuralmente; aspectos primordiales que se requieren en el recubrimiento de espacios abiertos, donde la estética y funcionalidad son de vital importancia. Esta fusión de tecnología y arquitectura es una respuesta a los requerimientos actuales de la sociedad, no sólo desde su aspecto formal sino también constructivo, ya que establece una vinculación entre las actividades de diseño y materialización de la obra, con costos más bajos y menor tiempo de producción.

Por las consideraciones anteriores la presente investigación está estructurada en cuatro capítulos: el primero, hace referencia al estudio y análisis de las diferentes clases de tableros, lo que permite conocer características como: composición, propiedades, dimensiones y su aplicación en la construcción. El segundo consiste en exponer sobre el diseño paramétrico y la fabricación digital, en el que se trata de informar acerca de los procesos de diseño, herramientas digitales y las diferentes técnicas digitales de diseño y construcción, que se pueden utilizar durante el proceso de experimentación. Por otro lado en el tercer capítulo se aborda el análisis del sitio “caso de estudio” y comprende la etapa del planteamiento y desarrollo de la propuesta, que abarca tanto la definición del concepto como del algoritmo computacional. Finalmente en el cuarto capítulo, se explica el proceso de experimentación y construcción del prototipo, en el que se detalla los problemas que se presentaron durante el desarrollo de esta etapa.

Por tal razón, la presente investigación es de gran importancia tanto para los estudiantes de nuestra titulación, como para los profesionales que buscan innovar a través de la creatividad y diseño, he ahí que la creación de modelos paramétricos es de crucial valor en la búsqueda actual de nuevas posibilidades de expresión arquitectónica; y es con la fabricación digital que se reduce esa brecha existente entre el diseño concebido y su materialización, eliminando prácticamente esa idealización del diseñador que usualmente no se ve expresada en su realización. Por tanto la ejecución de estos nuevos procesos de diseño trae consigo la necesidad de buscar el material apropiado para su realización; esto, sumado a la creciente presión de reducir la huella de impacto ambiental creada por los edificios obliga a los arquitectos diseñadores a optar por alternativas más amigables con el medio ambiente, es por ello que la madera prefabricada es un material propicio de elección, además de ofrecer mayores posibilidades en términos de belleza, versatilidad y rendimiento.

Todos estos cambios actualmente lo están experimentando países como Brasil y Chile, en donde se están realizando proyectos con tableros prefabricados para cubrir espacios abiertos; ejemplo de ello es el llamado “muro pixel”, sistema que permite versatilidad de formas y que puede ser utilizado tanto en interiores como exteriores. No obstante en nuestro medio esta ineficiencia en cuanto a nuevas alternativas de diseño aún es notoria, donde aún se continúan usando carpas para cubrir espacios en donde se lleve a cabo determinado evento. Estos métodos lejos de ser obsoletos, estéticamente no son aplicables donde prima la arquitectura paisajística; tal es el caso de la Universidad Técnica Particular de Loja, en la que existen lugares específicos en los espacios abiertos del campus universitario donde se realizan determinados acontecimientos que precisan de una cubierta o pabellón para poder llevar a cabo sus actividades.

Es por ello que con esta investigación contribuiremos a la moderna experimentación que en Latinoamérica se está realizando en las áreas de modelado paramétrico y fabricación digital, dando paso a experimentaciones con prototipos realizados con madera prefabricada para así proporcionar una solución a los problemas que actualmente existen en los espacios abiertos del campus. Por todo esto, nos hemos planteado como objetivo general: *“Desarrollar un modelo no estándar con madera prefabricada a través de modelación paramétrica y fabricación digital para los espacios abiertos de la UTPL”*, dentro del cual se da alcance a los siguientes objetivos específicos:

- Identificar los tipos de madera prefabricada, propiedades, características, que pueden ser utilizadas como materia prima en la elaboración de modelos paramétricos de producción masiva.
- Exponer el estudio del parametricismo y su aplicación en espacios temporales y/o arquitectura no habitable.
- Establecer un modelo paramétrico como herramienta en el diseño arquitectónico a través de experimentación de prototipos para crear nuevas posibilidades expresivas y mejorar su desempeño constructivo.
- Construir un prototipo a escala del pabellón, con madera prefabricada, realizada con modelación paramétrica y fabricación digital; aplicado a un espacio abierto de la UTPL.

Todo lo mencionado anteriormente nos exhortó a contrastar la siguiente hipótesis: “El conocimiento, manejo y aplicación de modelación paramétrica y fabricación digital con

madera prefabricada, permite a los arquitectos diseñadores obtener nuevas posibilidades no solo expresivas en las soluciones arquitectónicas de espacios abiertos”. Cabe mencionar que durante el desarrollo de esta investigación, se presentaron algunas limitantes, tales como el desconocimiento en el manejo del software, por lo que mediante la auto instrucción a través de tutoriales online, logramos desarrollar la propuesta, aunque ello empleó más tiempo del planificado. Otra de las dificultades fue, el no poder disponer en primera instancia con la maquinaria CNC correspondiente, por lo que hicimos uso del corte láser que se oferta como servicio en la ciudad. Finalmente la metodología utilizada es la investigación científica, encaminada al análisis, exploración, descripción y sobre todo experimentación; lo que nos permite ordenar cada etapa de la investigación, facilitándonos la elaboración y desarrollo del estudio que nos permite llegar al resultado final y así lograr comprobar la hipótesis antes planteada.

CAPÍTULO I

MADERA PREFABRICADA



Imagen 1-1. Cabaña de los pigmeos bambutis.

Fuente:<http://www.zoochat.com/548/habitat-africa-forest-mbuti-ways-knowing-157659/>

Formada por pequeños arbolillos hincados firmemente en el suelo, se cubre trenzando el extremo superior, para posteriormente revestir la estructura con grandes hojas engarzadas mediante cortes en la base del tallo.

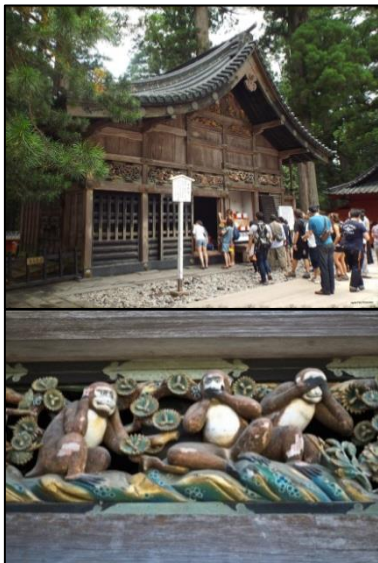


Imagen 1-2. Establo Sagrado del Templo de Nikko.

Fuente:<http://siemprehaciael oeste.com/2012/09/24/los-antiguos-templos-de-nikko/>

Las paredes del establo son de madera y los dinteles están decorados con figuras de monos en relieve.

1.1. Generalidades sobre la madera prefabricada.

1.1.1. Antecedentes.

El uso de la madera se remonta a la aparición del hombre, siendo el primer material utilizado en la historia de la construcción; desde entonces es conocida y usada por el ser humano como elemento esencial en su vida, ya sea para la elaboración de herramientas y utensilios o para utilizarla como combustible; prueba de ello son los vestigios encontrados de las primeras viviendas construidas con objetos de madera tallada.

Con el tiempo, la madera se convirtió en uno de los materiales predilectos; pues, a más de ser un material natural de fácil manipulación, se asocia con los ciclos de las estaciones, y por ende es percibido como un material vivo; esto como complemento a su extraordinario desempeño estructural, transformándolo en el elemento principal en la construcción de templos, palacios y casas durante los siglos XX a.C. hasta el siglo XIV d.C.; ejemplo de ello es el Establo Sagrado del Templo de Nikko.

La herencia de estos conocimientos se mantuvo, siglos tras siglo hasta la época de la era industrial, donde el nacimiento de un nuevo lenguaje arquitectónico, fue relegando paulatinamente toda una tradición de la arquitectura de madera hasta desplazarla al mero campo del revestimiento, no obstante, con el “proceso de industrialización de la construcción, que históricamente viene a tomar real vigencia después de la II Guerra Mundial y que dejó en Europa un déficit considerables de viviendas, hospitales, escuelas, etc., a la par de escasez de mano de obra y materiales”¹; y asociado a la interacción entre experimentación estructural y

¹ Acosta, N. (1986). *Módulos prefabricados en madera para vivienda de emergencia*. Trabajo de Grado para optar al Título de Arquitecto. Universidad de la Salle, Bogotá, Colombia. Disponible en: <http://repository.lasalle.edu.co/handle/10185/10699>. Consultado el 13/11/13.



Imagen 1-3. Sandalias de Tutankamón.

Fuente: http://www.ecohomescr.com/index.php?option=com_content&view=article&id=102&catid=18http://www.infomadera.net/uploads/articulos/archivo_4693_15630.pdf

Estas sandalias están hechas de madera y recubiertas con una chapa de marquetería de corteza, de cuero verde, y hoja de oro sobre una base de estuco. La suela está cubierta con estuco blanco. Las correas en el empeine son de corteza ornamentada con un patrón de lámina de oro y color. Medidas: 28,3 cm de largo.



Imagen 1-4. Antigua mesa victoriana.

Fuente: <http://naon2.com/hist/1517/mu/17530-029.html>

Mesa ejecutada en madera enchapada en nogal. El antiguo uso de la técnica de enchapado requería de un vasto conocimiento de la madera, lo que repercutía en elevados costos de comercialización.

modernidad; trajo consigo la necesidad de cubrir amplios espacios, tanto horizontales como verticales; y es ello lo que conforma las principales causas para la creación de los tableros prefabricados de calidad, que se han venido utilizando desde los años 30 hasta la actualidad.

1.1.2. Evolución del tablero prefabricado.

Los primeros vestigios de los tableros se pueden encontrar en la cultura egipcia, hace unos 3000 años, sin embargo su aparición de forma generalizada fue hace apenas un siglo; esto se debe a que cada vez resultaba más difícil encontrar superficies anchas en la madera maciza, y por ende buscar una mayor homogeneidad del producto; pese a ello se ha sostenido falsamente que la técnica de laminación de la madera fue conocida por los egipcios, cuando en realidad sólo emplearon el chapado con materiales nobles, como uso decorativo aplicando técnicas de enchapado y marquetería.

Desde entonces hasta el siglo XIX, la técnica del enchapado permaneció como de uso artesanal, debido a que demandaba de un profundo conocimiento de la madera y un minucioso trabajo de corte y encolado. Posteriormente, con la aparición de nuevas colas y adhesivos como el encolado con colas de caseína, surgió el primer producto: el tablero contrachapado, y como una derivación de éste el tablero alistonado. Sin embargo el impulso más fuerte a los tableros fue hace 5 décadas, con la aparición del tablero de partículas, cuya aglomeración se realizaba con una cola sintética, ocasionando que las características de resistencia superen la de la propia madera.

Simultáneamente, surgieron los tableros de fibras, pero es apenas hace 25 años que los tableros de densidad media logran su apogeo; así mismo se han desarrollado otros tableros, que se adecuan a usos muy concretos, tales como: el OSB, tableros de virutas anchas, tableros madera-



Imagen 1-5. Tableros derivados de la madera.

Fuente: <http://www.masisa.com/>

Variedad de tableros que se fabrican e importan a nuestro medio, los más comunes: MDF, MDP, Melamina, Hidroresistente, OSB, entre otros.



Imagen 1-6. Casa Lago Rupanco/ Beals Arquitectos.

Fuente: <http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-9175/casa-lago-rupanco-beals-arquitectos>

Desarrollos en madera prefabricada han permitido superar las limitaciones estructurales de la madera. En esta obra se destaca el uso de Terciado Estructural, un tablero de pino radiata usado en envigados, tabiquerías y estructuras.

cemento, laminados; todo ello se debe a agentes protectores, adhesivos y pinturas que brotaron con el desarrollo industrial, lo que ha hecho del tablero un elemento duradero, fuerte y versátil.

Actualmente gracias a las nuevas aplicaciones de la madera, la arquitectura moderna y la estructura de producción industrial, las limitaciones estructurales de la madera finalmente han sido superadas, “la madera no sólo se ha hecho más fuerte físicamente, sino que también se ha convertido más fuerte culturalmente: un nuevo puente entre el origen primordial de la arquitectura y su siguiente fase de desarrollo”².

Por tanto, el uso de la madera es de vital importancia, ya que además se utiliza relativamente poca energía para producirla, lo que contribuye a la conservación del medio ambiente; no obstante para poder proporcionarle un buen y correcto uso es necesario conocer sus características y propiedades.

1.2. Los tableros prefabricados.

1.2.1. Definición.

Son paneles elaborados a base de las virutas, cortezas o restos de la madera, empleando adhesivos especiales para su unión; esto desarrollado bajo condiciones de presión y temperaturas controladas, permite fabricar tableros de diversos tamaños para ser utilizados en diversas aplicaciones en la construcción. Estos paneles presentan la supremacía de la longitud y la anchura sobre el espesor, además contribuyen a la protección del medio ambiente.

² ECO HOMES. La madera en la Arquitectura. Disponible en: http://www.ecohomescr.com/index.php?option=com_content&view=article&id=102&catid=18. Consultado el 01/12/13.



Imagen 1-7. Apilamiento de paneles de MDF.

Fuente:<http://foindar.com.ar/productos/mdf.html>

Presentación de paneles de madera MDF, generalmente disponibles en medidas estándar: 2,44m x 1,22 m y con espesores que van desde 3mm a 30mm.



Imagen 1-8. Mix de diseños, MDF.

Fuente:<http://www.masisa.com/ecu/productos/tableros/mdf/muestrario/>

Variación de tableros MDF recubiertos que dispone Masisa en el mercado local.



Imagen 1-9. Tableros de partículas.

Fuente:<http://www.masisa.com/ecu/productos/tableros/mdf/muestrario/>

Los tableros de partículas pueden ser fácilmente reconocidos al visualizar en su sección la presencia de virutas de madera.

Se distinguen tres clases de tableros: los de partículas, los de láminas y los de fibras; sin embargo de estos tres tipos solamente los dos primeros pueden tener aplicaciones estructurales, debido a que los tableros de fibra no poseen las propiedades requeridas para poder utilizarlos en la construcción, y aunque cada uno de ellos se distingue por sus características particulares, en general presentan ventajas con respecto al uso de la madera aserrada, entre las cuales tenemos:

- Reducen los efectos de debilitamiento que se tienen en la madera, causados por desviación de la fibra.
- Permiten cubrir con facilidad grandes superficies.
- Tienen una mejor estabilidad dimensional.
- Reducen el desperdicio en su procesamiento, ya que se producen con los restos de la madera.
- Pueden diseñarse para satisfacer necesidades específicas, especialmente en aplicaciones estructurales.
- Posibilita la utilización de especies de rápido crecimiento y de ciertas especies blandas y marginadas.

1.2.2. Clasificación y características de los tableros prefabricados.

1.2.2.1. Tableros de partículas.

Se los conoce también con el nombre de aglomerados; se elaboran con virutas de madera encoladas entre sí y sometidas a presión, además para mejorar su resistencia y aspecto, se recubren con una chapa de madera natural o plástico. Existen diferentes tipos de aglomerado, estos son:



Imagen 1-10. Tableros de partículas orientadas.

Fuente:

<http://www.timberclick.com/index.php/midlands/osb-board.html>

Los tableros de partículas orientadas pueden ser reconocidos visiblemente, pues tienen la peculiaridad de estar compuestos por virutas con tamaños de 80 hasta 150 milímetros y no poseen enchapado.

- **Aglomerados de fibras orientadas:** se desarrolla tres capas, fabricado a base en virutas de gran tamaño, colocadas en direcciones transversales.
- **Aglomerado decorativo:** se fabrica con caras de madera seleccionada, laminados plásticos o melamínicos.
- **Aglomerado de tres capas:** desarrollada en base a una placa núcleo formada por partículas grandes que van dispuestas entre dos capas de partículas más finas de alta densidad.
- **Aglomerado de una capa:** se forma a partir de partículas de tamaño semejante distribuidas de manera uniforme.

Tabla 1. Características de los tableros de partículas.

TABLEROS DE PARTICULAS



Imagen 1-11. Tableros aglomerados de tres capas.

Fuente:<http://www.sierolam.com/Producto.asp?Emp=SL&IdP=15>

Los tableros aglomerados de tres capas muestran en su sección las diferentes densidades que lo componen sus tres capas. Su uso principal se da en interiores para aislamiento acústico y térmico.

Composición	<ul style="list-style-type: none"> • Partículas de madera (50% virutas) • Resinas sintéticas (melanina) • Adhesivos (50% aditivo)
Propiedades	<ul style="list-style-type: none"> • Densidad >650 kg/m³ • Resistencia a la humedad • Aislamiento acústico
Clasificación	<ul style="list-style-type: none"> • Por geometría y tamaño de las partículas • Por el tamaño de las partículas en las superficies y el centro • Por la densidad del tablero • Por el tipo de adhesivo • Por el método de fabricación
Dimensiones	<ul style="list-style-type: none"> • Largo : 1.25 x2.25 • Espesor: 2.5 – 3.8
Aplicación	<ul style="list-style-type: none"> • Estructural

Fuente: Placacentro MASISA.

Elaboración: Cartuche J. & Correa J., 2014.

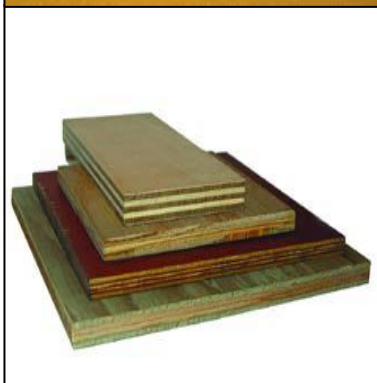


Imagen 1-12. Tableros de láminas.

Fuente: <http://www.masisa.com/>



Imagen 1-13. Tablero contrachapado laminado.

Fuente: <http://www.masisa.com/>

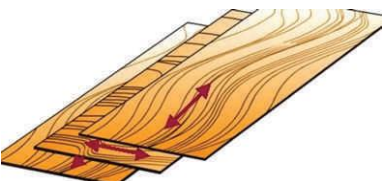


Imagen 1-14. Número impar de chapas.

Fuente: <http://www.kimerius.es/app/download/5797723742/La+construcci%C3%B3n+de+viviendas+en+madera.pdf>

Los tableros contrachapados están constituidos por un número impar de chapas, en que las exteriores tienen la fibra orientada en sentido longitudinal del tablero.

1.2.2.2. Tableros de láminas.

Llamados también tableros contrachapados, formados por tres o más capas de láminas finas de madera encoladas de forma que las chapas adyacentes tienen las fibras en direcciones perpendiculares, para aumentar su resistencia al esfuerzo de flexión. Se distinguen las siguientes clases, y dependiendo del material utilizado son:

- **Tablero contrachapado multicapa:** está formado por más de tres chapas, encolados a contrafibra.
- **Tablero contrachapado con alma:** se desarrolla a partir de un alma que no es una chapa de madera.
- **Tablero contrachapado laminado:** su alma está formada por tablillas de chapa con un espesor inferior a 7 mm, encoladas en su mayor parte y dispuestas en canto.

Tabla 2. Características de los tableros de láminas.

TABLEROS DE LAMINAS

<i>Composición</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Chapas de madera, de 7mm de espesor • Alma (listones, tablas tablillas) • Adhesivos • Recubrimientos • Aditivos
<i>Propiedades</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Estabilidad dimensional • Resistencia a la humedad • Conductividad térmica • Aislamiento acústico • Reacción al fuego • Comportamiento frente a los agentes biológicos
<i>Clasificación</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Por la composición • Por el estado de su superficie • Por el ambiente donde van a ser utilizados. • Por el material
<i>Dimensiones</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Largo: 1.22 x 2.44 cm • Espesor: varía entre 4 y 3cm • Número de chapas: 3 a 24 (impar)
<i>Aplicación</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Decorativa • Estructural

Fuente: Placacentro MASISA.

Elaboración: Cartuche J. & Correa J., 2014.

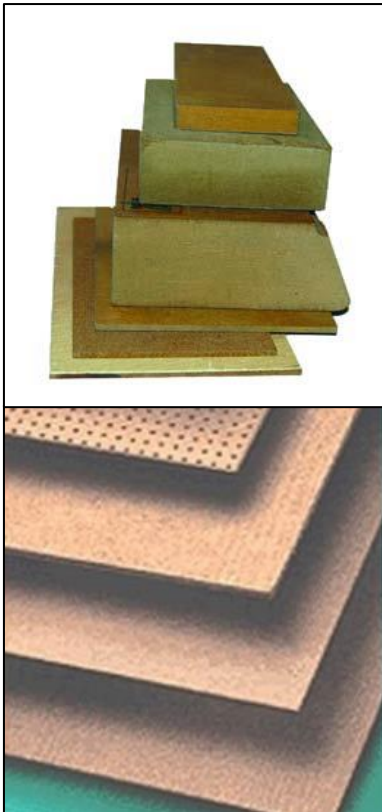


Imagen 1-15. Tableros de fibras.

Fuente: Manual de la construcción de las viviendas en madera.

Los tableros de fibra poseen la característica de ser fácilmente moldeables, fresables y cortables.

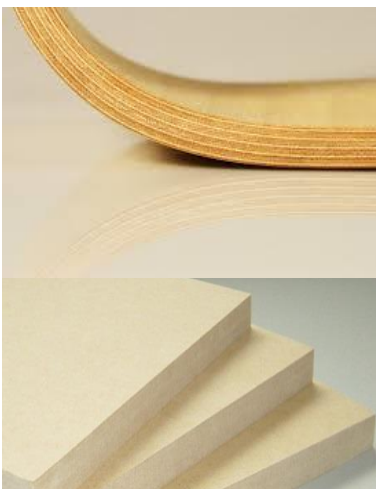


Imagen 1-16. Tableros de fibras.

Fuente: Manual de la construcción de las viviendas en madera.

1.2.2.3. Tableros de fibras.

Se forman a partir de maderas que han sido reducidas a sus elementos fibrosos básicos y posteriormente reconstituidas, para formar un material estable y homogéneo; además se fabrican de diferente densidad en función de la presión aplicada y el aglutinante empleado en su fabricación. Se puede identificar dos tipos:

- **Tableros semiduros:** se clasifican en dos tipos: los de baja densidad que oscilan entre 6mm y 12mm, que se utilizan como recubrimientos y para paneles de control; y los de alta densidad, usados para revestimientos de interiores.
- **Tableros de Densidad Media:** es un tablero de caras lisas que se fabrica mediante un proceso seco; en donde las fibras se encolan gracias a un adhesivo de resina sintética; dichos tableros pueden trabajarse como si se tratara de madera maciza; además constituyen una base excelente para enchapados, se fabrican en grosores entre 3mm y 32mm

Tabla 3. Características de los tableros de fibras.

TABLEROS DE FIBRAS

<i>Composición</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Fibras de madera • Adhesivos • Recubrimientos • Aditivos
<i>Propiedades</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Densidad $\geq 450\text{kg/m}^3$ • Humedad 4 – 10% • Estabilidad dimensional • Resistencia a la humedad • Conductividad térmica.
<i>Clasificación</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Tableros no prensados (Baja Densidad) DB • Tableros prensados (Media Densidad DM, y Alta Densidad DA).
<i>Dimensiones</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Largo: 2 – 4 m • Ancho: 1.20 – 2.50m • Espesor: 2.5 cm – 5 cm
<i>Aplicación</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Decorativa • Estructural

Fuente: Placacentro MASISA.

Elaboración: Cartuche J. & Correa J., 2014.



Imagen 1-17. Casa de madera con sistema constructivo americano.

Fuente: <http://www.arquitectos.com/2011/01/casa-de-madera-sistema-constructivo.html>

Cada país ha formulado normas y especificaciones para estos tableros, que pueden diferir considerablemente entre sí

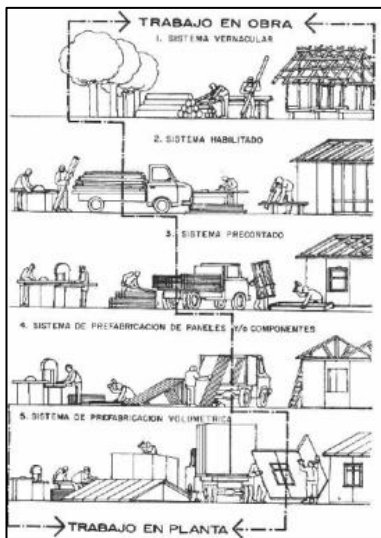


Imagen 1-18. Tipos de sistemas constructivos con madera.

Fuente: PADT-REFORT, 1984.

1.3. El tablero como sistema de prefabricación.

La madera es considerada como el material más versátil a la hora de construir, ya que a través de ella se puede desarrollar estructuras, revestimientos, mobiliario, puertas, ventanas, etc.; esto puede llevarse a cabo con distintos sistemas de fabricación, los cuales se diferencian entre sí, por la cantidad de trabajo realizado, ya sea en la fábrica o en la obra, para lo cual necesitan del equipo necesario y suficiente de acuerdo a la cantidad de construcciones que estén previstas a efectuar.

Los tableros prefabricados pertenecen al sistema constructivo industrializado de prefabricación parcial, es por ello que los elementos de construcción de una vivienda, como muros, pisos, techos, etc., son elaborados como un sistema modular de paneles, y por ende están previstos para ser fabricados, manipulados y montados por dos hombres sin la necesidad del uso de grúas, esto con la finalidad de facilitar tanto el transporte como el trabajo de los constructores.

Este desarrollo que han adquirido los tableros como sistema de prefabricación ha permitido a los profesionales de la construcción llevar las piezas que necesitan pre cortadas y ensamblarlas in situ; además resultan muy útil a la hora de diseñar gran variedad de casas con distribución distinta, debido a que se puede utilizar los mismos paneles modulares; sin embargo en nuestro medio este sistema aun no es aceptado del todo.

1.4. Tableros de mayor uso en nuestro medio.

En nuestra ciudad, la demanda de nuevos materiales para la construcción es notorio, sin embargo, en las fábricas proveedoras no se cuenta con toda la variedad de alternativas en cuanto a esta madera; tanto MASISA,

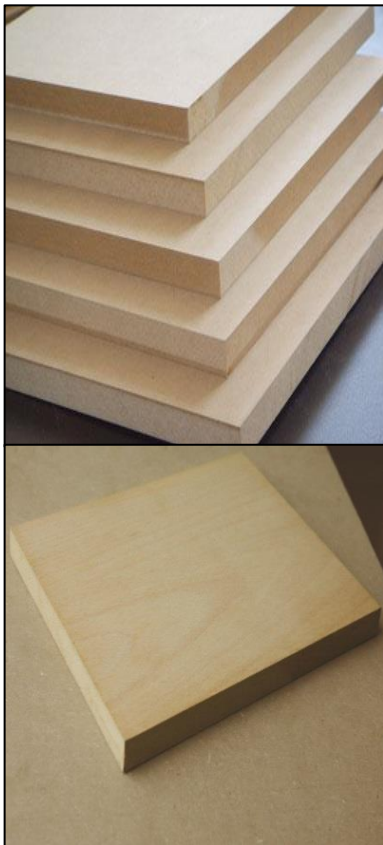


Imagen 1-19. Tableros MDF.
Fuente: <http://www.masisa.com/>

Para el fresado del tablero se debe utilizar herramientas con filos de Widia y altas velocidades de trabajo, ya que de lo contrario, se produce el desgaste acelerado de las herramientas.



Imagen 1.20. Uso de Tableros MDF.
Fuente: <http://www.masisa.com/>

EDIMCA Y SAGO, en su mayoría distribuyen tableros como: OSB, MDF y MELAMINAS, debido a la gran demanda que existe hacia dichos productos, ya sea por su versatilidad en la construcción o para la fabricación de muebles.

1.4.1. Tablero MDF.

“Es un tablero de fibras de madera de pino radiata unidas por adhesivos urea-formaldehído. Las fibras de madera son obtenidas mediante un proceso termo-mecánico y unidas con adhesivo que polimeriza mediante altas presiones y temperaturas.”³

Tabla 4. Características de los tableros MDF

TABLEROS MDF

<i>Composición</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Fibras de madera de pino caribe venezolano. • Resinas sintéticas • Aditivos para mejorar las propiedades del producto
<i>Propiedades</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Densidad • Conductividad térmica • Flexión • Hinchamiento • Propiedades estructurales
<i>Clasificación</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Liviano: densidad media (630 kg/m³). • Ultraliviano: densidad menor al tipo liviano (550kg/m³). Uso donde se requiere agarre de tornillo. • Estándar: mayor densidad (700kg/m³), para uso estructural.
<i>Dimensiones</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Longitud y ancho: 1.22 x 2.44 - 1.52 x 2.44 - 1.83 x 2.44 • Espesor: 3 – 5.5 – 9 – 12 - 16
<i>Aplicación</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Decorativos: mobiliario • Estructurales: tabiques, entrepisos y cielos rasos.

Fuente: Placacentro MASISA.

Elaboración: Cartuche J. & Correa J., 2014.

³ Masisa MDF. Placacentro MASISA. Disponible en: <http://www.masisa.com/ecu/productos/tableros/mdf>. Consultado el 15/11/13.

Tabla 5, 6 y 7. Características Físico - Mecánicas.

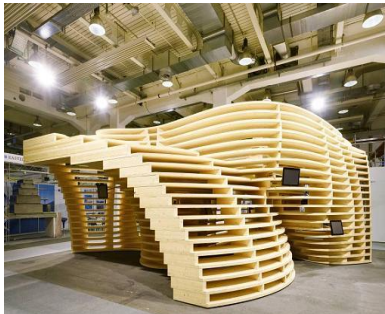


Imagen 1-21. Usos de tableros MDF estándar.

Fuente: <http://remodelandoespacios.com/gallery/test-melamina-mdf/>

CARACTERISTICAS FISICO - MECANICAS

Propiedades	MDF Estándar		Espesor (mm)	
	Unidad	Tolerancia	15	18
Densidad	Kg / m ³	± 20	740	730
Flexión	N / mm ²	± 5	30	30
Tracción	N / mm ²	± 0.10	0.80	0.80
Extracción tornillo canto	N		Min 1000	Min 1000
Hinchamiento 24h	%		Max 12	Max 12

CARACTERISTICAS FISICO - MECANICAS



Imagen 1.21.- Uso de tableros MDF livianos.

Fuente: <http://www.lignumvaud.ch/fr/Accueil01/agenda02>

Propiedades	MDF Liviano		Espesor (mm)				
	Unidad	Tolerancia	9	12	15	25	30
Densidad	Kg / m ³	± 25	620	620	620	620	620
Flexión	N / mm ²	± 5	29	28	28	27	23
Tracción	N / mm ²	± 0.15	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7
Extracción tornillo canto	N		N/A	N/A	Min 700	Min 700	Min 700
Hinchamiento o 24h.	%		Max .17	Max .15	Max 12	Max 10	Max 8

CARACTERISTICAS FISICO - MECANICAS



Imagen 1-23. Uso de tableros MDF ultralivianos.

Fuente: <http://www.plataformaarquitectura.cl/catalog/cl/products/270/panel-mdf-masisa>

Propiedades	MDF Ultraliviano		Espesor (mm)				
	Unidad	Tolerancia	15	18	20	25	30
Densidad	Kg / m ³	± 25	520	500	500	500	500
Flexión	N / mm ²	± 4	22	20	20	18	18
Tracción	N / mm ²	± 0.15	0.6	0.60	0.6	0.6	0.6
Extracción tornillo canto	N		Min 550	Min 550	Min 550	Min 550	Min 550
Hinchamiento 24h.	%		Max .12	Max .14	Max 10	Max 10	Max 10
Humedad	%	± 3	8	8	8	8	8

Fuente: Placacento MASISA.

Elaboración: Cartuche J. & Correa J., 2014.

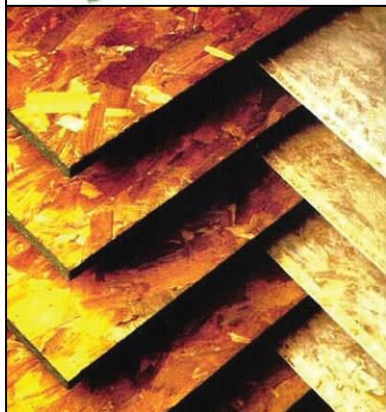


Imagen 1-24. Tableros OSB.

Fuente: Manual de la construcción de las viviendas en madera.



Imagen 1.25.- Uso de Tableros OSB.

Fuente: <http://icasasecologicas.com/oriented-strand-board-osb/>

El tablero OSB se puede cortar con sierra manual o eléctrica y, al igual que el fresado, torneado, lijado o perforado, es perfectamente válida la herramienta comúnmente utilizada para trabajar la madera maciza.

1.4.2. Tablero OSB.

“Los tableros de hebras orientadas son fabricados en base a hebras de madera rectangulares, adheridas con ceras y adhesivos fenólicos. Dispuestas en tres capas orientadas perpendicularmente entre sí, prensadas a alta temperatura y presión, cortadas, selladas en los cantos y embaladas. El uso de resinas fenol formaldehído les confiere elevadas características de resistencia física y mecánica.”⁴

Tabla 8. Características de los tableros OSB

TABLEROS OSB	
<i>Composición</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Virutas: longitud aprox. 80mm y grosor inferior a 1mm. • Adhesivos: urea-formol, urea - melamina, fenol-fomaldeido. • Aditivos: mejorar las propiedades del producto.
<i>Propiedades</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Densidad • Conductividad térmica • Reacción al fuego • Comportamiento frente a los agentes biológicos • Propiedades estructurales
<i>Clasificación</i>	<ul style="list-style-type: none"> • OSB/1: uso general, ambientes secos. • OSB/2: uso estructural, ambientes secos. • OSB/3: uso estructural, ambiente húmedo. • OSB/4: uso estructural, ambiente húmedo.
<i>Dimensiones</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Longitud y ancho: 2.40 x 1.20 • Espesor: varían de 6 hasta 28 mm
<i>Aplicación</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Decorativos: como revestimientos. • Estructurales soporte de cubiertas, cerramientos, fachadas, tabiques divisorios, elementos de carpintería.

Fuente: Placacentro MASISA.

Elaboración: Cartuche J. & Correa J., 2014.

⁴ Manual de la Construcción de Viviendas en Madera. Disponible en: <http://www.kimerius.es/app/download/5797723742/La+construcci%C3%B3n+de+viviendas+en+madera.pdf>. Consultado el 15/11/13.

Tabla 9. Características Físico - Mecánicas

CARACTERISTICAS FISICO - MECANICAS

Propiedad	Unidad	Tolerancia	OSB Home			
Espeor	mm		9.5	11.1	15.1	18
Densidad	Kg/m ³	± 40	640	640	640	640
Resistencia a la tracción	N/mm ²		0.34	0.32	0.32	0.32
Resistencia a la flexión	Eje mayor	N/mm ²	22	20	20	20
	Eje menor	N/mm ²	11	10	10	10
Módulo de elasticidad	Eje mayor	N/mm ²	3500	3500	3500	3500
	Eje menor	N/mm ²	1440	1440	1440	1440
Hinchamiento espeor 24 h	%		20	20	20	20

Formatos 1.22 x 2.44 m

Fuente: Placacentro MASISA.

Elaboración: Cartuche J. & Correa J., 2014.



1.4.3. Melaminas.

“Es un tablero aglomerado de partículas, recubierto por ambas caras con láminas impregnadas con resinas melamínicas, lo que le otorga una superficie totalmente cerrada, libre de poros, dura y resistente al desgaste superficial. Los tableros además cuentan con una protección antimicrobiana exclusiva, que disminuye hasta en un 99,9% la presencia de bacterias y moho en la superficie de los muebles, haciéndolos más seguros e higiénicos.”⁵

Tabla 10. Características Físico - Mecánicas

CARACTERISTICAS FISICO - MECANICAS

MELAMINA			Espesor (mm)			
Propiedades	Unidad	Tolerancia	9	15	28	24
Densidad	Kg /m ³	± 20	700	640	630	600
Flexión	N /mm ²	± 1.5	16	16	15	15
Tracción	N /mm ²	± 0.15	0.5	0.5	0.5	0.45
Extracción tornillo canto	N	-	-	Min 800	Min 800	Min 800
Hinchamiento 24 h.	%	-	Max.25	Max.25	Max 25	Max 25

Formatos 1.22 x 2.44 m

Fuente: Placacentro MASISA.

Elaboración: Cartuche J. & Correa J., 2014.

⁵ Masisa MELAMINA. Placacentro MASISA. Disponible en: <http://www.masisa.com/ecu/productos/tableros/melamina/>. Consultado el 15/11/13.

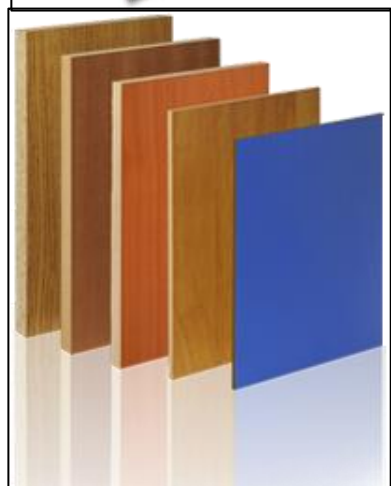


Imagen 1-26. Tableros de Melamina.

Fuente: <http://www.masisa.com/>

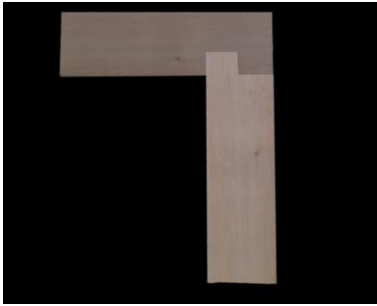


Imagen 1-27. Junta de ranura y lengüeta.

Fuente: <http://es.slideshare.net/dobleADuran/sistemas-fijacion>



Imagen 1-28. Junta cola de milano.

Fuente: <http://forum.wordreference.com/showthread.php?t=2021371>

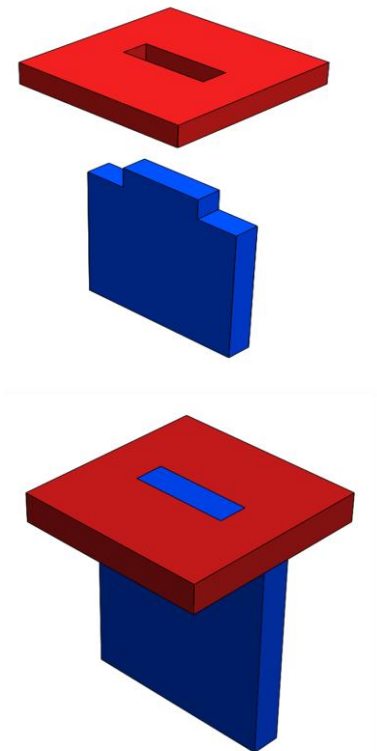


Imagen 1-29. Junta canal-espiga. **Imagen 1-30.** Junta canal-canal.

Fuente: Cortesía Red Latinoamericana de Fab Labs.

1.5. Sistemas de unión en la construcción.

Se definen como elementos de unión a los dispositivos diseñados para la unión de dos o más piezas, estos sistemas de unión dependiendo de cuál sea el objetivo de la unión pueden ser: permanentes, semipermanentes y desmontables.

1.5.1. Juntas.

Es la unión de dos o más maderas, ya sea por sus caras o cantos y tienen por finalidad ensanchar la madera; generalmente se encolan para lograr una mayor fijación.

- **Junta de ranura y lengüeta**

Combina la unión de ranura en un elemento y de rebaje en el otro.

- **Juntas a cola de milano**

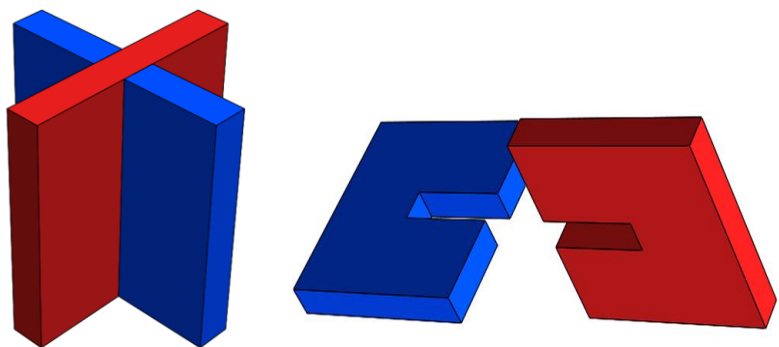
Es la más resistente, se caracteriza por presentar una forma trapezoidal que asegura la unión.

1.5.2. Ensamblés.

Son los sistemas utilizados para unir entre si los elementos de un conjunto de carpintería y se caracterizan por unir dos piezas de madera, cada una con picos cuadrados sobresalientes diferentes.

- **Ensamblés oblicuos**

Constituyen uniones perpendiculares ya sean en ángulo o transversales. Estos ensamblés pueden ser: canal-espiga, canal-canal, etc.



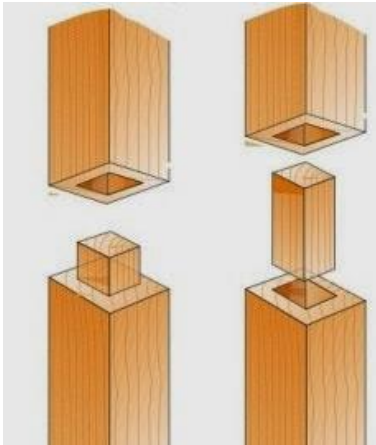


Imagen 1-31. Ensamble espiga sencilla.

Fuente: <http://construyetu.blogspot.com/2013/11/tipos-de-empalmes-para-madera.html>

- **Ensamblajes superficiales**

Son piezas superficiales y se usan para unir piezas de sección muy esbeltas a partir de maderas macizas; entre los cuales encontramos: espiga sencilla, a pico de flauta, de horquilla, etc.

1.5.3. Empalmes.

Son uniones realizadas para prolongar el sentido longitudinal de la madera, son generalmente usadas en la carpintería de armar o en piezas colocadas horizontalmente. Entre estos se encuentran: empalme a tope con brida, empalme zunchado, a media madera, etc.

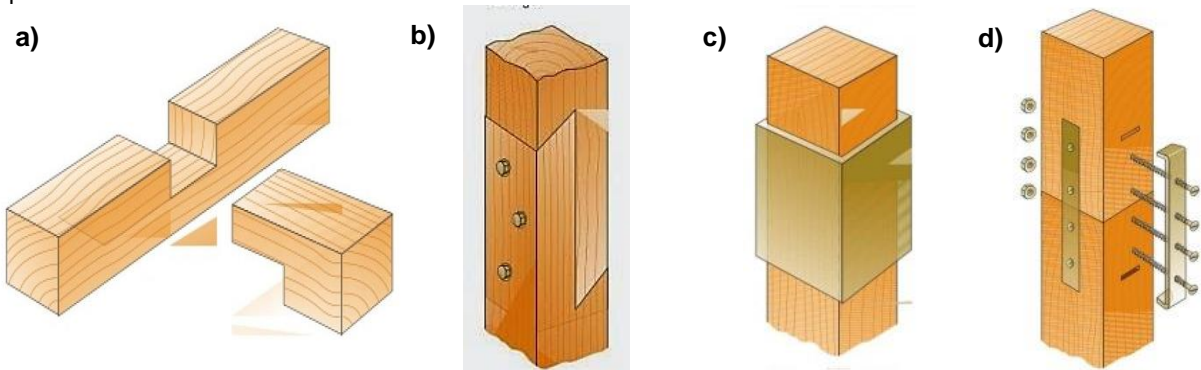


Imagen 1-32. a) Empalme a media madera, b) Empalme a media madera con testo en sesgo, c) Empalme zunchado y d) Empalme a tope con brida

Fuente: <http://construyetu.blogspot.com/2013/11/tipos-de-empalmes-para-madera.html>

1.5.4. Uniones mecánicas.

1.5.4.1. Clavijas.

Este tipo de uniones se utilizan para unir de forma no permanente elementos, que posteriormente se pretenda separar de forma manual. Dentro de este grupo podemos encontrar: las grapas, clavos, tirafondos, pernos y pasadores.

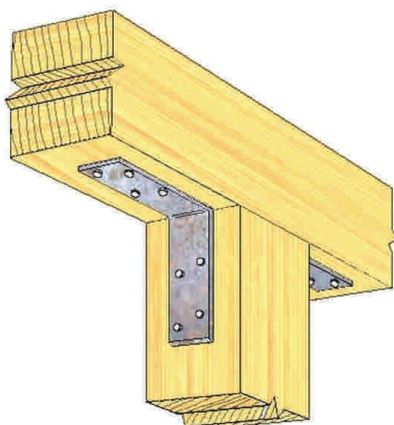


Imagen 1-33. Conector metálico con clavos.

Fuente: http://www.juacida.cl/wp-content/uploads/2011/11/unidad_7-fijaciones_y_union.es.pdf

1.5.4.2. Conectores.

Los conectores tienen mayor capacidad de transmisión de carga que los pernos y pasadores; por tanto se recurre a ellos cuando la capacidad de los pernos por sí mismos no es suficiente. Entre estos se encuentran: conectores de anillo, conectores de placa, conectores dentados y placas clavo.

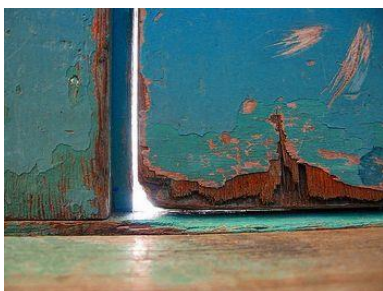


Imagen 1-34. Tableros de MDF atacados por polillas

Fuente: http://www.construmatica.com/construpedia/Patolog%C3%ADa_de_la_Madera

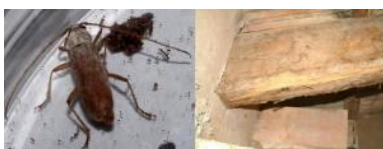


Imagen 1-35. Tableros de MDF atacados por polillas

Fuente: <http://blog.simbolocalidad.com/patologias-madera-tratamiento>

1.6. Patologías de los tableros prefabricados.

Al igual que la madera, los tableros son susceptibles de ser atacados por insectos y hongos xilófagos. Además, presenta como particularidad el efecto degradativo que experimenta frente a la humedad, debido a que el agua ejerce una acción de hidrólisis sobre las colas que suelen utilizar para recomponer la madera. Esto hace que en ambientes húmedos o con agua líquida, los tableros se deterioren, hasta convertirse en inutilizables. Solos los tableros contrachapados, encolados con colas fenólicas son resistentes a la humedad.

De acuerdo con estas características de durabilidad, la norma EN 339-3 establece las siguientes clases de riesgo y recomendaciones de uso de los tableros.

Tabla 11. Clases de riesgo y recomendaciones del uso del tablero.

Clases de riesgo	Condición Ambiental	AGENTES DEGRADATIVOS					TIPO DE TABLERO			
		Hongos xilófagos		H. Cromóg	Insectos		Recomendación de uno			
		Basidio micetos	Mohos	Azulado	Coleópt	Terme s	Teredos	Lám	Part.	Fibras
1	20°C y 65% Hr	-	-	-	U	L	-	Sí	Sí	Sí
2	20°C y 90% Hr	U	-	U	U	L	-	Sí	Sí	Sí
3	Frecuente Ht >20%	U	-	U	U	L	-	Sí	No	No
4	Permanente Ht >20%	U	U	U	U	L	-	Sí	No	No
5	Permanente Ht >20%	U	U	U	U	L	U	Sí	No	No

CLAVE:

- Sin riesgo
- U Riesgo Universal
- L Riesgo Local

Fuente: Vignote S., Martínez I. Tecnología de la Madera. 3ra Edición.

Elaboración: Cartuche J. & Correa J., 2014.

CAPÍTULO II
DISEÑO PARAMÉTRICO Y FABRICACIÓN DIGITAL

2.1. Diseño paramétrico.

2.1.1. Definiciones.

Definir al diseño paramétrico es una labor simple y compleja a la vez, porque aunque pueda caber su descripción precisa en pocas palabras, no deja de ser una tarea compleja el entender dicho proceso con una simple descripción teórica. Es por esto que vemos necesario iniciar recurriendo a varias definiciones para luego proseguir con ejemplos aplicados y así poder indagar en esta incipiente corriente que con seguridad tendrá un carácter hegemónico en el mundo del diseño.

Carlos Cárdenas, Arquitecto:

El diseño paramétrico es el proceso que define las relaciones entre las entidades geométricas de un objeto, y de los parámetros que gobiernan su forma y comportamiento. Estos últimos incluyen elementos no geométricos que entran a formar parte de la representación digital del objeto modelado (Ej. Material, propiedades físicas, costos, rótulos, etc.) y complementan la descripción puramente geométrica con propiedades que permiten múltiples aplicaciones (ej. Diferentes tipos de análisis, simulación, administración de procesos, etc.) (Chiarella, 2011)

Alexandra Molinare, redactora Plataforma Arquitectura:

“El diseño paramétrico es la abstracción de una idea o concepto, relacionado con los procesos geométricos y matemáticos, que nos permiten manipular con mayor precisión nuestro diseño para llegar a resultados óptimos.” (Molinare, 2011)

Daniel Ramírez, integrante del Colectivo Mexicano de Diseño:

...un proceso de diseño... en el que como inicio se saben las necesidades y el tipo de proyecto, a la par de este se recolectan valores propios del lugar y del cliente como pueden ser los "parámetros" de orientación, flujos,



Imagen 2-1. Mobile Performance Venue.

Fuente:

<https://www.behance.net/gallery/Mobile-Performance-Venue/111758>

Mobile Performance Venue es una estructura de peso ligero y fácilmente transportable con una estructura de estética icónica. Fue modelada en Grasshopper 3D y su función principal es de proporcionar un espacio para las artes escénicas.



Imagen 2-2. Proyecto de estudio/galería.

Fuente: http://www.ohiseered.com/2010_11_01_archive.html

Proyecto de fin de carrera donde la estudiante, Hong Yi (Malasia) ha diseñado una instalación paramétrica para ser usada como galería de arte dentro de un edificio existente. Las paredes, los vanos y el techo pueden reajustarse en caso de reposicionar la instalación.

densidades, características climatológicas, contaminación auditiva, etc. que al mezclarlos todos nos da como resultado una solución de diseño formal, funcional y de confort, al final solamente se pulirá ese resultado de una manera coherente con el tipo de proyecto. (Ramírez, 2010)

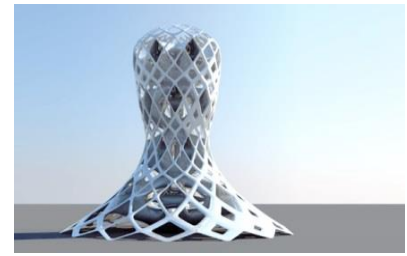


Imagen 2-3. Experimentación formal – diseño paramétrico.

Fuente:<http://archanddesign.weebly.com/rhino.html>

Nosotros definimos al diseño paramétrico como el **cúmulo de herramientas y métodos que posibilitan concebir modelos digitales en base a relaciones matemáticas y parámetros determinados por el diseñador.** Por otro lado creemos igualmente necesario exponer el significado del término parámetro, que es la fuente de donde se deriva la definición de parametricismo.

En el área de la informática, “En informática, un parámetro es un tipo de variable que es recibida por una función, procedimiento o subrutina.”¹. En el área de la estadística se considera a un parámetro como “una función definida sobre valores numéricos que caracteriza una población o un modelo.”²

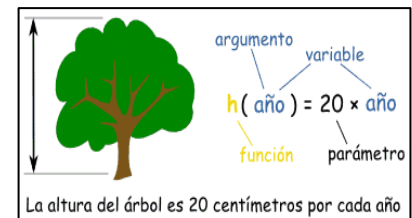


Imagen 2-4. Definición gráfica de parámetro matemático

Fuente:<http://www.disfrutalasmaticas.com/definiciones/parametro.html>

En el ámbito matemático, encontramos una definición de parámetro que más se acerca al modo en que lo utilizamos en el diseño paramétrico, en el que se define como “una constante o una variable que aparece en una expresión matemática y cuyos distintos valores dan lugar a distintos casos en un problema.”³

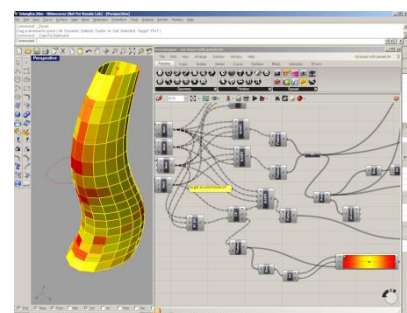


Imagen 2-5. Manejo de parámetros con su respectivo resultado tridimensional.

Fuente:<http://lemondim.pl/grasshopper/>

¹ <http://www.alegsa.com.ar/Dic/parametro.php>. Revisado: 2013 – 12 -08

² http://es.wikipedia.org/wiki/Par%C3%A1metro_estad%C3%ADstico. Revisado: 2013 – 12 - 08

³ <http://es.wikipedia.org/wiki/Par%C3%A1metro>. Revisado: 2013 – 12 - 08

familiarizados con alguno de ellos estamos en mejores posibilidades de entender que a menudo necesitamos insertar parámetros a un nivel muy básico, por ejemplo, para dibujar una línea recta es necesario que introduzcamos en el ordenador la información de punto de origen, dirección y dimensión.

Este escenario nos sirve también para recordar que al momento de tener un conjunto de líneas que delimitan un proyecto nos encontramos imposibilitados de realizar modificaciones de forma dinámica. Es así que con el paso del tiempo se introdujeron lo que conocemos como bloques, que de alguna manera mejoraron esta situación pero que de todos modos sigue siendo una introducción muy limitada al momento de querer acoplar los cambios de un bloque con el resto del proyecto.

Ejemplificando con un bloque de una puerta de noventa centímetros en un proyecto en el que deseamos modificar por puertas de un metro, fácilmente podremos reajustar las dimensiones del bloque, obteniendo como resultado que todas las puertas cambiarán a la vez solucionando la parte que corresponde a los vanos pero nos vemos nuevamente imposibilitados de hacer algo al respecto con los llenos, a los cuales debemos reajustar uno a uno hasta finalizar con todas las modificaciones del proyecto. Es así que nacen nuevas herramientas de diseño que se basan en la instrucción del diseñador.

La instrucción, o parámetro, es la relación de datos que limita el comportamiento de una geometría que da origen a un modelo. Un ejemplo de esto es un conjunto de columnas cuya sección debe ser un múltiplo de la magnitud que las separa o una cubierta cuya pendiente debe ajustarse a las dimensiones de sus luces para que su limateza permanezca siempre a una altura constante.



Imagen 2-6. Proyecto realizado en Autocad 3D.

Fuente:<http://www.hop.uk.com/services-structural/building-information-models.html>

Proyecto de alta complejidad realizado en AutoCad. La modificación formal del proyecto se realizaría con gran dificultad por no haber sido un proyecto concebido con el uso del diseño paramétrico.

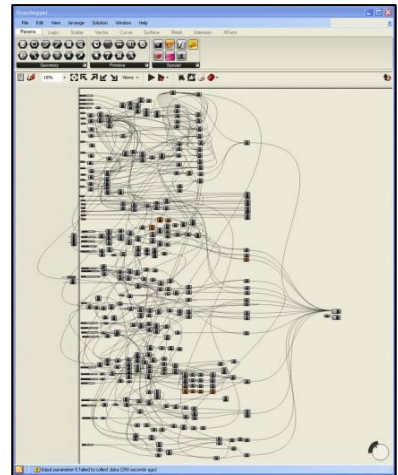


Imagen 2-7. Manejo de parámetros en Grasshoper 3D.

Fuente:<http://www.laciudadviva.org/blogs/?p=7659>

El avance tecnológico en procesadores de computadora permite manejar grandes grupos de parámetros y componentes; con lo cual se obtienen resultados imposibles de alcanzar por medio de otros tipos software que no sean de diseño paramétrico.

Hoy en día es posible que un computador maneje una gran cantidad de procesos, permitiendo que el proyectista integre al diseño abundantes parámetros, y por ende, generar proyectos de elevada complejidad geométrica que en tiempos pasados solo podían residir en el pensamiento utópico. Se convierte así el computador en un instrumento que genera formas y abandona su función de ser una simple herramienta de representación. El uso de este nuevo método ha abierto las posibilidades a las ramas del diseño, como lo examinaremos inmediatamente.

2.1.2. Contexto de empleo del diseño paramétrico.

Fiel a su naturaleza, el diseño paramétrico se ha adaptado a un abanico de aplicaciones que abarca diversas actividades que van desde la arquitectura hasta el diseño de joyería, pasando por el diseño de modas, diseño de interiores y el diseño industrial, claro está, sin tomar en cuenta las innumerables experimentaciones puramente formales que diseñadores a nivel mundial están desarrollando.

2.1.2.1. Ejemplos aplicados.

2.1.2.1.1. Diseño arquitectónico.

Donde indudablemente prevalece la presencia del parametricismo es en el diseño arquitectónico, siendo éste el ámbito donde más se ha extendido su uso. Podemos ver innumerables ejemplos de parametricismo aplicado a la arquitectura en obras que corresponden a oficinas mundialmente reconocidas como Zaha Hadid Architects, Gehry Partners, MVRDV, Ateliers Jean Nouvel, Foster + Partners, Herzog & de Meuron, Morphosis, y muchas más.

Uno de los proyectos más destacados se ubica en la ciudad de Londres, Inglaterra, que es el Centro acuático de Londres, que fue uno de los principales lugares de



Imagen 2-8. Plaza de Europa en Kiev.

Fuente:<http://www.evolo.us/architecture/european-square-in-kiev-for-euro-2012/>

Proyecto paramétrico de muy alta complejidad que cuenta con un aproximado de 180 parámetros y 900 componentes



Imagen 2-9. Aplicación de diseño paramétrico en joyería.

Fuente:<https://www.behance.net/gallery/275741/Alienology-3d-printed-Jewelry-Dualnexus>



Imagen 2-10. Centro Acuático de Londres, Zaha Hadid.

Fuente:<http://www.zahahadid.com/archive>

celebración de los juegos olímpicos 2012, diseñado por la arquitecta Zaha Hadid. Su concepto se inspira en la fluidez de la geometría del agua en movimiento, creando espacios y ambientes envolventes que se conjugan con el paisaje fluvial del parque olímpico. Su cubierta ondulante se precipita desde el suelo como una ola, confinando las piscinas del centro en un gesto de conjugación.

2.1.2.1.2. *Diseño industrial.*

Siendo el diseño industrial un “apéndice” de la arquitectura, no podría hablarse del uso del diseño paramétrico sin encontrarse con el abundante empleo que se le ha dado en este ámbito, donde ampliamente se ha optimizado el uso del diseño paramétrico. Un formidable ejemplo lo encontramos en la banca urbana “urban adapter” creada por la firma de arquitectos Rocker Lange para la bienal de Hong Kong. Basada en un modelo paramétrico que usando información de su emplazamiento reacciona a su medio brindando piezas únicas.



Imagen 2-11. Urban Adapter.

Fuente:

<http://rockerlange.com/index.php?/workproductdesign/urban-adapter/>

Diferentes emplazamientos que toma el mobiliario, adaptándose siempre al suelo donde es ubicado.

2.1.2.1.3. *Diseño de interiores.*

De igual manera, el diseño de interiores se ha visto marcado por esta nueva corriente de diseño. V’amos Restaurant, ubicado en Pireas, Grecia contiene en su interior una propuesta de diseño paramétrico que lo convierte en un lugar con identidad única, donde se tomó como punto de partida la concha que alberga al restaurante, construido sobre el agua. Las olas del mar conceptualmente se introducen en el diseño en forma de un techo que ópticamente se percibe como móvil. Este elemento domina el interior del lugar y le otorga sensaciones inimitables.



Imagen 2-12. Interiores de V’amos Restaurant.

Fuente:<http://www.plataformaarquitectura.cl/2012/12/12/vamos-restaurant-lm-architects/>

La onda del mar que existía en el lugar se introduce en el diseño del espacio en la forma de un techo óptico móvil. Este elemento, que es el resultado del diseño paramétrico, domina el ambiente y da identidad al restaurante.

2.1.2.1.4. *Diseño de modas.*

El diseño paramétrico se encuentra en una increíble expansión llegando a ser parte esencial también en experimentaciones de diseño urbano, esculturas artísticas,

arquitectura efímera, joyería, diseño gráfico y hasta en tipografía. Nos parece importante exponer un ejemplo de diseño de modas para con éste introducimos luego en el proceso de modelado paramétrico y así continuar luego con la fabricación digital, que es como fue elaborado este producto de Victoria's Secret.

La prenda (FIG.2.13) está compuesta por muchas piezas en forma de copos de nieve obtenidas de una impresora 3D que se entrelazan entre ellas para formar una prenda rígida que se ajusta exclusivamente al cuerpo de la modelo. Para esto fue necesario escanear en las tres dimensiones la figura de la modelo para así en el ordenador elaborar virtualmente la prenda y una vez impresa se realiza el ensamblado sobre su cuerpo.

Aunque el diseño de modas no nos concierne, este caso también cabe en nuestro estudio para exponer la similitud que existe entre todas las ramas del diseño en lo que a modelación paramétrica y fabricación digital se refiere. Comparando este ejemplo con nuestro estudio de prototipos de cubierta, vemos que de igual manera una vez estudiadas las condicionantes y determinantes procederemos con el modelado paramétrico, continuaremos con la fabricación digital y el ensamble que será realizado en el sitio, ajustando el modelo, durante todo el proceso, exclusivamente a uno de los espacios abiertos de la UTP.

2.2. Generalidades sobre el modelado paramétrico.

Los tiempos actuales muestran un estado evolutivo del diseño arquitectónico debido, sobre todo, al surgimiento de técnicas de diseño digital que admiten la generación de geometrías provenientes de parámetros iniciales y la sistematización de las relaciones formales que se concatenan entre dichas geometrías. Estas técnicas de

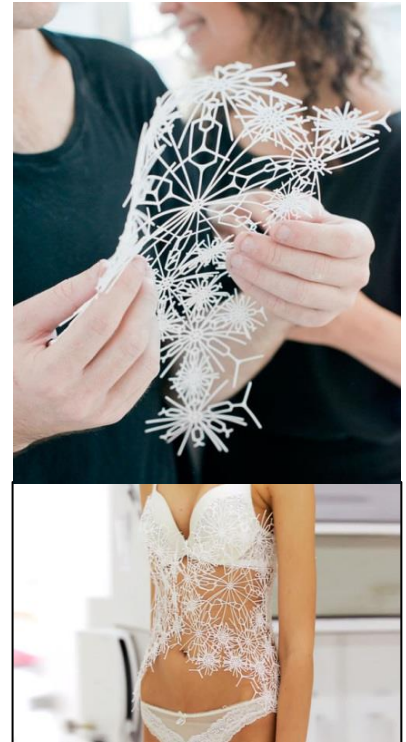


Imagen 2-13. Prenda de Victoria's Secret obtenida por impresión 3D.

Fuente:<http://idesignme.eu/2013/12/lingerie-stampata-in-3d-per-victorias-secret/>

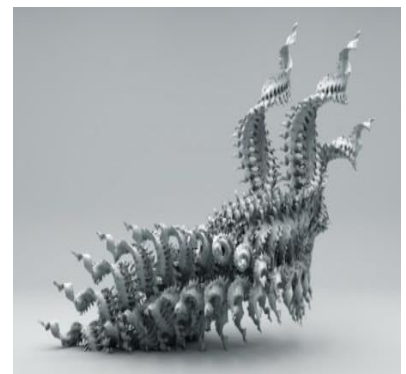


Imagen 2-14. Estudio de geometrías complejas. realizadas en Grasshopper.

Fuente:<https://theartstack.com/sightart?page=1414867033>

diseño permiten explorar una gran diversidad de formas variables y adaptables a distintos requerimientos así como a específicos criterios de evaluación.

El entendimiento del modelado paramétrico se facilita al contrastarlo con el modelado geométrico (relacionado con paquetes de software tales como AutoCAD, Bricscad). Los paquetes de modelado paramétrico (Grasshopper, CATIA, SolidWorks) tienen la peculiaridad de ofrecer al usuario la posibilidad de modelar objetos tridimensionales a partir de la necesidad numérica del modelo a diseñar.

El usuario de este software orienta y sistematiza cada componente (un plano, una curva, un módulo) acorde a su relación con otros componentes o en términos de dependencia de variables numéricas que delimitan sus necesidades. Vemos aquí la radical diferencia con el modelado geométrico donde el usuario cuenta con componentes independientes que no llegan a crear un sistema de relaciones como ocurre con el modelado paramétrico.

2.2.1. Antecedentes.

Las tecnologías de materialización y modelación digital se desplazan en una empinada curva de desarrollo de diseño digital y de herramientas de modelado. En los últimos treinta años las herramientas de dibujo de arquitectura se han desarrollado de manera significativa a través de aplicaciones de software cada vez más complejos. El avance del software para fabricación en el sector automotriz, aeronáutico y aeroespacial ha permitido el surgimiento de un nuevo entorno colaborativo digitalmente apoyado, así como nuevas concepciones de diseño y fabricación.

La primera generación de software de dibujo de arquitectura e ingeniería fueron en su mayoría una interpretación digital

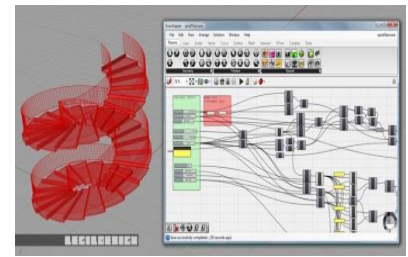


Imagen 2-15. Obtención de escaleras de caracol a través de Grasshopper 3D + Rhinoceros.

Fuente: <http://www.legildesign.com/archives/522>

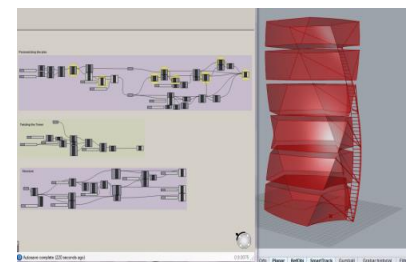
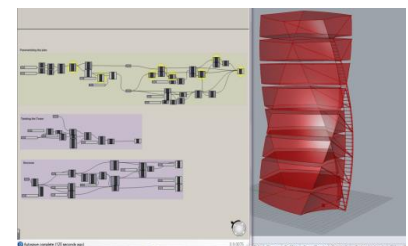
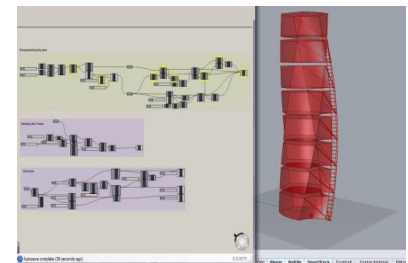


Imagen 2.16.- Secuencia de imágenes de un ejemplo de modelado tridimensional con sus respectivas variaciones paramétricas.

Fuente: Cartuche J. & Correa J., 2014.

Diferentes parámetros resultan en diferentes volumetrías. En este caso se ha realizado tres variaciones al edificio Turning Torso del arquitecto Santiago Calatrava.

de las herramientas de dibujo trasladadas al ratón y la pantalla que remplazaban al lápiz y al papel. Este incipiente software de arquitectura e ingeniería se basó en el concepto de una descripción geométrica de los objetos dibujados. De este modo, todos los cambios de un objeto repetido requería el redibujo de toda la geometría. (Norbert Palz 2013)

2.2.2. Software de modelado paramétrico.

Si el software de dibujo cabe en la metáfora de la mesa de dibujo, papel y lápiz; podríamos presentar al software de modelado paramétrico como la metáfora de un taller de mecánica. La invención clave en los paquetes actuales de software es el soporte para geometría dirigida paraméricamente. En un modelo paramétrico los distintos parámetros que definen una geometría repetitiva están interconectados a través de relaciones numéricas y de programación.

Así, un cambio de relación de un componente inicial lleva a una actualización simultánea de la totalidad de la geometría. A medida que estos paquetes de software han sido cada vez más apropiados para arquitectos, el nuevo enfoque en las relaciones geométricas están empezando a influir en el diseño arquitectónico y el proceso de materialización como un todo. La creciente atención en la formación de procesos en lugar del diseño mismo puede ser vista como un ejemplo de este pensamiento. (Alfredo del Caño, 2007).

2.2.3. Proceso de modelado paramétrico.

La particularidad del modelado paramétrico frente a otros procesos convencionales de diseño arquitectónico se caracteriza por la permisividad siempre disponible de alterar determinadas propiedades del modelo en cualquier instancia de su desarrollo sin tener que recalcular otras

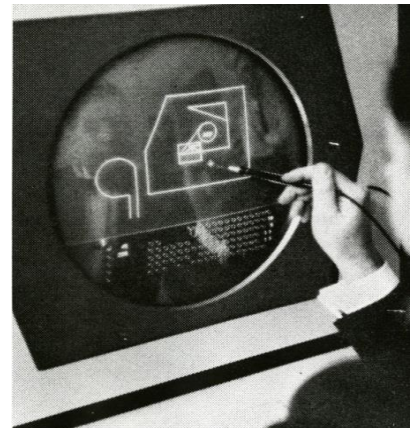


Imagen 2-17. Sketchpad, de Ivan Sutherland, el primer hardware y software destinados específicamente para arquitectos. 1965

Fuente:
<http://www.computerhistory.org/fellowards/hall/bios/Ivan,Sutherland/>

Sketchpad fue el primer software de dibujo por computadora. Éste fue desarrollado por Ivan Sutherland para su tesis doctoral en el Massachusetts Institute of Technology. Además de posibilitar la manipulación de gráficos permitía a los usuarios dibujar directamente sobre la pantalla mediante un lápiz de luz.



Imagen 2-18. Pantalla de bienvenida de Grasshopper 3D.
Fuente: Cartuche J. & Correa J., 2014.

Grasshopper es un editor de algoritmos gráficos estrechamente integrado con herramientas de modelado 3D de Rhino. No requiere conocimientos de programación o secuencias de comandos, pero permite a los diseñadores construir generadores de forma que van de lo simple a lo imponente.

características que debido al cambio efectuado se verían alteradas.

2.3. Generalidades sobre la fabricación Digital.

2.3.1. Antecedentes.

La historia reciente de la arquitectura data al proyecto de Frank Gehry, el museo Guggenheim de Bilbao (1997), como el salto que el ordenador dio hacia el inicio de la fabricación digital en la arquitectura. La oficina al verse financieramente limitada llevó a su personal a buscar un software de diseño digital que permitiese a la compleja geometría del proyecto hacerla descriptible y producible con el fin de asegurar la precisión de su fabricación y ensamble.

Es así que se produjo el encuentro con un software hecho para el diseño y fabricación de aviones denominado CATIA y que fue utilizado para detallar y construir la complicada estructura arquitectónica. En el perceptible desorden de la envolvente reposa una norma que gobierna en la volumetría, que consiste en el empleo de la curvatura máxima soportadas por las placas de aleación (zinc + titanio), dando a cada pieza una forma única correspondiente a su lugar de ensamble. Estas curvas fueron obtenidas y determinadas al ser modeladas a partir de superficies de doble curvatura (superficies NURBS) desde el paquete de software CATIA. (Mauro Chiarella, 2011)

Si algo debemos a Frank Gehry es esta herencia de resultados obtenidos en su búsqueda e inclusión del ordenador dentro de lo que ha sido un tradicional trabajo artesanal.

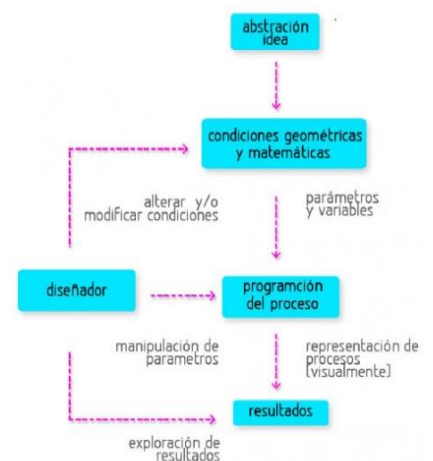


Imagen 2-19. Proceso de diseño paramétrico.

Fuente: <http://escalatotal.com/ques-el-diseno-parametrico-arquitectura-rhinoceros-grasshopper/>

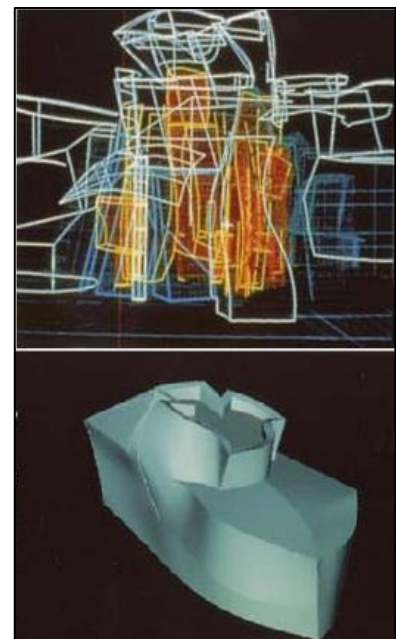


Imagen 2-20. Estudio estructural del Guggenheim de Bilbao desde Catia.

Fuente: <http://www.danieldavis.com/a-history-of-parametric/>

2.3.2. Descripción y procesos de fabricación digital.

La fabricación digital dentro del ámbito arquitectónico se refiere básicamente a métodos de trabajo físico (corte, fundición, fresado, impresión) que provienen de entornos digitales. La automatización del Control Numérico por Computadora (CNC) le otorga al artefacto la destreza necesaria para materializar la producción física de un modelo virtual partiendo de un conjunto de órdenes de movimiento, potencia y velocidad.

2.3.2.1. Tipos de maquinarias CNC.

En el mercado de maquinarias CNC existe un abanico de productos muy variados, de los que concisamente revisaremos para nuestra tesis los que confieren un aporte al área constructiva de la arquitectura.

De este grupo se desprenden dos categorías de maquinarias: las que a través de la eliminación de material crean objetos por sustracción y las que usando la añadidura de capa sobrepuesta crean objetos mediante adición.

2.3.2.1.1. Corte Láser.

La palabra laser proviene del homónimo vocablo inglés y éste a su vez procede de las iniciales de "Light Amplification by Simulated Emission of Radiation" (Amplificación de luz por emisión simulada de radiación). Un láser es un terminal que crea e incrementa un intenso y condensado rayo de luz.

La cortadora láser es una máquina de alta precisión que nos permite cortar piezas de varios materiales a una elevada velocidad con un desperdicio de material despreciable (menor a un milímetro). En el proceso de corte se usa por lo habitual un gas inerte utilizado para cortar, que expulsa el material escoria y crea la ranura. Las piezas se vaporizan al ser expuestas a la altísima intensidad del láser.



Imagen 2-21. Centro de convenciones de Basilea, Herzog & de Meuron.

Fuente:<http://archrecord.construction.com/projects/portfolio/2013/05/1305-basel-convention-center-new-hall-herzog-and-de-meuron.asp>

La información digital de su fabricación permitió la rapidez de las revisiones durante la fase del diseño, permitiéndose ser construido en solo 22 meses.



Imagen 2-22. Proyecto Pentagon Memorial y su proceso de fabricación digital producido en tecnologías CNC.

Fuente:<http://www.archdaily.com/6152/pentagon-memorial-kbas-studio/>



Imagen 2-23. Cortadora láser.
Fuente:<http://www.lasercutter.es/2-acrylic-laser-cutter-2.html>

2.3.2.1.2. *Plotter de Corte CNC.*

Esta máquina es capaz de cortar solamente materiales que no sobrepasen el milímetro de espesor y cuya densidad ronde la del papel, cartón o acetato. Cuenta con un carro móvil que se desplaza en un eje y un cabezal que dirige al carro en sentido perpendicular a su desplazamiento, permitiéndose así desplazarse por toda el área del material.



Imagen 2-24. Plotter de corte.
Fuente:<http://spanish.alibaba.com/product-gs/sw1080-vinyl-cutting-plotter-212353984.html>

2.3.2.1.3. *Estereolitografía.*

La máquina estereolitográfica basa su técnica en solidificar resinas que se encuentran originalmente en estado líquido usando un haz de láser con potencias y frecuencias muy específicas. El proceso consiste en el movimiento de un elevador que se sitúa a una distancia concreta de la superficie de la resina determinada por el grosor de la sección que se imprimirá.



Imagen 2-25. Máquina estereolitográfica.
Fuente:<http://designaholic.mx/2012/10/form-1-una-accesible-impresora-3d-profesional.html>

El láser se moviliza por la superficie y contorno de la sección emitiendo radiación ultra-violeta, emisión necesaria para solidificar el líquido. Una vez endurecida la primera sección, el elevador se sitúa a nivel de la siguiente lámina para volver realizar el mismo procedimiento hasta conseguir el modelo virtual.

2.3.2.1.4. *Impresora 3D.*

El proceso de impresión radica elementalmente en ir fabricando el modelo capa a capa en sentido ascendente. La impresora coloca una fina capa de plástico pulverizado y por fusión compacta las zonas prescritas, repitiéndose el proceso ubicando las capas una sobre otra hasta completar el modelo. Una vez transcurrida la impresión, se retira el polvo sobrante y se lo reutiliza para futuras impresiones.

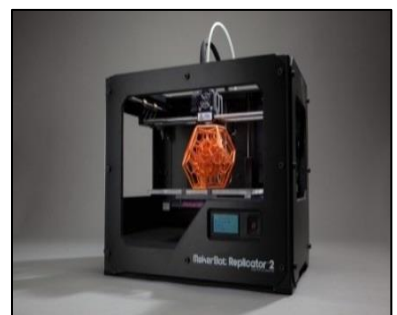


Imagen 2-26. Impresora 3D.
Fuente:<http://www.20minutos.es/noticia/2031562/0/photoshop-cc/anade-soporte/impresoras-3d/>

2.3.2.1.5. *Corte por chorro de agua.*

El método utilizado por estas máquinas se basa en la proyección de un chorro de agua a una presión superior a

los 4000 bares cuyo diámetro es de 1 milímetro y se mezcla con arena abrasiva. Los costos del corte por lo general son muy elevados, pero su eficiencia es favorable al proporcionar la posibilidad de cortar materiales de elevado espesor y volumen.

2.3.2.1.6. Router CNC.

Esta herramienta permite cortar materiales duros, tales como: madera, materiales compuestos, aluminio, acero, plásticos, y espumas; por medio de una fresa, cuya trayectoria y velocidad es controlada por un software de CAM en una computadora. Las coordenadas se cargan en el controlador de la máquina a partir de un programa de CAD separada. Generalmente los propietarios de router CNC suelen tener dos aplicaciones: un software programa para hacer diseños (CAD) y otro para traducir esos diseños en el programa de instrucciones para la máquina (CAM).

2.3.2.1.7. Corte Plasma

Esta herramienta se basa en elevar la temperatura del material a cortar de una forma localizada y por encima de los 30.000° C, llevando el gas hasta el cuarto estado de la materia, el plasma; estado en el que los electrones se disocian del átomo y el gas ioniza.

Es por ello que el corte por plasma se basa en la acción térmica y mecánica de un chorro de gas calentado por un arco eléctrico de corriente continua establecido entre un electrodo ubicado en la antorcha y la pieza a mecanizar, esto es lo que permite penetrar el espesor a cortar, a la vez que funde y expulsa el material.



Imagen 2-27. Máquina de corte por chorro de agua.

Fuente:<http://www.directindustry.es/prod/flow-waterjet-europe/maquinas-corte-chorro-agua-abrasivo-alta-precision-7051-779187.html>



Imagen 2-27. Router CNC de 3 ejes.

Fuente:<http://www.12lab.net/fabricacion-digital-y-diseno-parametrico-por-martin-veizaga-luciana-gronda/>

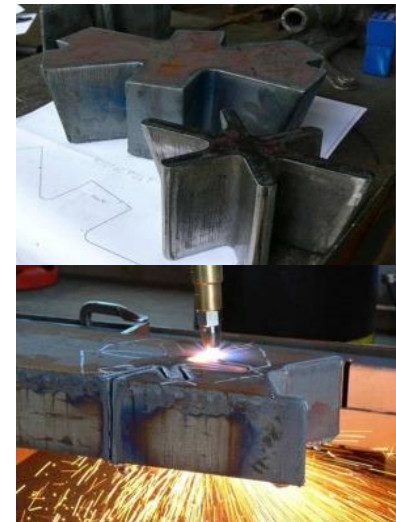


Imagen 2-28. Máquina de corte plasma.

Fuente:<http://www.12lab.net/fabricacion-digital-y-diseno-parametrico-por-martin-veizaga-luciana-gronda/>

2.3.3. Técnicas digitales de diseño y construcción.

2.3.3.1. Seccionamiento, Corte 2D.

Con el modelado digital 3D, obtener secciones del modelo ya no es simplemente un ejercicio de dibujo necesariamente en dos dimensiones, debido a que se puede obtener cortes a través de un objeto tridimensional; esto es indispensable cuando se diseñan formas complejas, pues el utilizar el seccionamiento como método para generar cortes transversales nos permite lograr una mayor visualización a detalle especialmente de los ensambles del proyecto. Dentro de esta técnica de construcción podemos encontrar además tres lógicas de trabajo posibles, tales como: las secciones paralelas, que permiten controlar la geometría de un objeto en intervalos muy pequeños.

Por otro lado el apilado en paralelo, constituye un potencial del diseño en tanto que combina y eleva perceptualmente la relación de la forma como la tectónica de los materiales. Finalmente la construcción reticular en dos direcciones, más conocido como parrilla o waffle, se caracteriza por ser una técnica flexible debido a su inherente capacidad de apartarse y modular una multiplicidad de formas; además como sistema de construcción, permite trabajar a diferentes escalas y con una amplia gama de materiales.

2.3.3.2. Teselado.

Es una técnica que comprende un conjunto de componentes que se conecten entre sí, basado simplemente en la geometría, para formar una superficie. A través de dicho proceso, la superficie compleja es modulada a partir de un patrón generativo geométrico que puede experimentar un proceso de complejización de sus componentes; es así que el teselado tiene la capacidad de proporcionar un grano más fino que visualmente homogeneiza la superficie al tiempo



Imagen 2-29. Sistema waffle.
Fuente: <https://www.behance.net/gallery/8498831/WAFFLE-CHAIR>

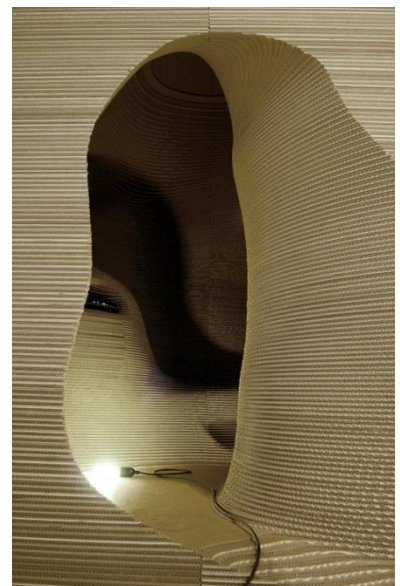


Imagen 2-30. Ailamiento en paralelo.

Fuente: <http://www.20minutos.es/noticia/2031562/0/photoshop-cc/anade-soporte/impresoras-3d/>



Imagen 2-31. The BMW WELT ARCHITECTURE (aplicación de la técnica por teselado).

Fuente: <http://www.bmw-welt.com/en/location/welt/architecture.html>

que añade complejidad a través de la definición creada por los cambios sutiles en la reflexión, la sombra y la luz.

2.3.3.3. Pliegue.

Se trata de una técnica que permite convertir una superficie plana en una de tres dimensiones, así como la creación de la estructura en relación a la geometría; es por ello, que cuando se introducen pliegues a una forma plana, los materiales obtienen mayor rigidez y con frecuencia pueden ser autosuficientes; por otro lado esta técnica es materialmente económica además de ser visualmente atractiva y efectiva a múltiples escalas.

2.3.3.4. Fresado CNC

El fresado CNC permite una transmisión más fluida entre el modelo y la construcción física, abriendo de esta manera la puerta del diseño. En esta fase interviene necesariamente el proceso de contorno, dentro del cual se encuentra la fabricación sustractiva, en la que el fresado CNC elimina el material de los bloques para obtener las piezas, sin embargo esta técnica genera inevitablemente un desperdicio de material, debido a lo cual se han generado otras formas de maximizar el potencial de las curvas de nivel, tal es el caso de la confección de moldes para dar forma a los materiales planos.

2.3.3.5. Formación por molde.

Esta técnica es muy utilizada dentro de la construcción, debido a que permite la producción masiva de elementos, en las que las unidades de diseño son necesariamente idénticas y repetitivas, es por ello que el encofrado o molde se realiza por fresado digital y así moldear las piezas repetitivas.



Imagen 2-32. Aplicación de la técnica por pliegue.

Fuente:<http://lagaleriademagdalen a.com/category/consumo-agosto/>



Imagen 2-33. Arch2o-Robotically Milled Wall-Carnegie Mellon University (fresado CNC).

Fuente:<https://www.pinterest.com/rchitects/installations/>

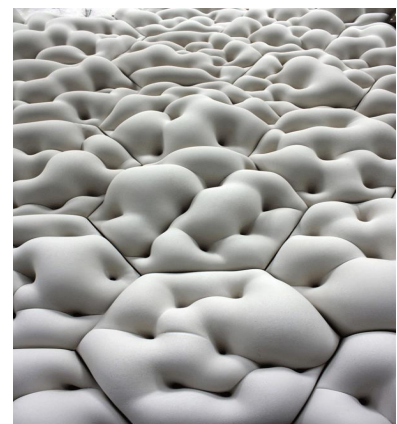


Imagen 2-34. P. Wall (formación por molde).

Fuente:http://www.designfolio.co.nz/_blog/Design_Folio_NZ/post/P_Wall_by_Matsys/#_

2.3.4. Estudio y análisis de casos análogos

DESCRIPCIÓN

IMÁGENES

MURO PÍXEL

Autores: Rodrigo García Alvarado y Underléam Miotto Bruscato.

Año: 2010. (Chile y Brasil).

Basa su concepto en la subdivisión de placas industriales de MDF que pasan a ser ensambladas, las cuales crean un original sistema constructivo flexible, pues “permite ejecutar paneles divisorios, paramentos decorativos, estanterías, fachadas ventiladas, cielos acústicos, techumbres o envolventes completas, con una variedad de diseños, grados de transparencia, ventilación y capacidad estructural, logrando flexibilidad, rapidez de montaje y bajos costos de ejecución. Los elementos básicos del muro-pixel se pueden ensamblar utilizando sus propias ranuras digitalmente elaboradas, siendo estas siempre verticales y su ensamble perpendicular para así ofrecer un mayor apoyo entre piezas.

La longitud de las ranuras establece el distanciamiento entre placas y crea diferentes espacios de ventilación entre las piezas. En cuanto a las posibilidades de diseño, la manipulación al momento del ensamble permitió comprender mejor las configuraciones y se logró conocer su conformación detallada al experimentar con disposiciones en diferentes sentidos de los previstos. Al realizar las correspondientes mediciones de los modelos ensamblados encontraron variaciones dimensionales con respecto a los diseños digitales, encontrando que las piezas tenían una inclinación mayor a la prevista, proveyendo radios de curvatura de mayor estrechez que lo previsto.



Imagen 2-35. Variedad de propuestas con Muro Pixel.

Fuente:<http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-40987/el-sistema-constructivo-%E2%80%9Cmuro->

TWISTING EKKO

Autor: Thilo Frank

Año: 2012 (Dinamarca).

Ekko es una instalación de arte; su construcción utilizó 119 puntales que fueron usados en su montaje. Cada ángulo fue curvado ligeramente, dando la impresión de que la estructura está sintonizando en ella misma.

A medida que los usuarios se mueven y avanzan a través de la estructura, sus pisadas y voces son intencionalmente usadas como parte de la instalación para conformar una resonancia emitida por los puntales de madera. Debido a este nivel de interacción entre la estructura y el usuario, se manifiesta una totalmente nueva experiencia personal para aquellos que dan uso a la instalación.



Imagen 2-36. Vistas del proyecto.

Fuente:<http://www.arch2o.com/twisting-ekko-thilo-frank/>

DUNESCAPE

Autor: SHoP Architects

Año: 2000 (New York).

Dunescape es un ejemplo de elevamiento y apilación perceptual. Es un proyecto de paisaje arquitectónico concebido en su totalidad en madera como un conjunto de series paralelas apiladas compuesta por más de seis mil piezas de estacas de cedro, teniendo la particularidad que su superficie puede ser doblada para así obtener una multitud de configuraciones espaciales. Aunque su trabajo de ensamble fue completamente manual, pues se requirió de personal que corte, ensamble y sujete las piezas en la construcción real, su concepción y metodología de ensamble fue realizado completamente por medios digitales.

El modelo digital se seccionó en medidas iguales al espesor de cada varilla de cedro para con las secciones resultantes trazar a escala real las plantillas en las que se diseñaron las posiciones de cada pieza de madera.



Imagen 2-37. Vistas del proyecto.

Fuente:<http://www.shoparc.com/proyecto/Dunescape-at-MoMA-PS1>

PABELLÓN RICCHEZZE

Autor: Barrios Escudero

Año: 2014 (Córdoba, Argentina).

Pabellón para exposición y venta de mobiliario.

Está conformado por placas de MDF cuyo corte se realiza transversalmente de modo que se produce cero desperdicio puesto que ambas piezas que resultan del corte son utilizadas secuencialmente a manera de paredes. El software utilizado para este proyecto es Rhino con la ayuda del plug Grasshopper.

Se exalta el sentido escultural y visual del pabellón para así diferenciarse de su contexto. Su permeabilidad hacia y desde el exterior crea un entorno de división marcados para la exposición de mobiliario donde el usuario puede acceder al pabellón bajo cierto nivel de privacidad como requisito para la atención al público sin que esto suponga evadir o desatender el resto de exposiciones.

Su sistema constructivo responde a la construcción en seco y su efectiva rapidez, para esto se utilizó un sistema de encastre donde el piso contiene salientes a manera de vigas que son los elementos base para el ensamblaje de las láminas.



Imagen 2-38. Vistas pabellón.

Fuente:<http://www.arthitectural.com/barriosescudero-pabellon-ricchezza/>

PABELLÓN TEMPORAL DE INVESTIGACIÓN BIÓNICA

Autores: ICD/ITKE

Año: 2011 (Stuttgart, Alemania).

El proyecto se enfoca en explorar la transferencia arquitectónica que la morfología y principios biológicos de un esqueleto de erizo de mar pueden aportar por medio de métodos de diseño y simulación y métodos de fabricación controlados por computadora para su concepción y posterior construcción. Uno de los éxitos de este proyecto fue el transferir los principios estructurales del esqueleto hacia el pabellón, lo que es demostrado en el uso exclusivo de placas de madera contrachapada de apenas 6,5 mm de espesor.

Debido a su liviandad fue necesario anclar el pabellón al suelo para resistir las cargas de viento. El tamaño de cada celda es diferente al resto y se adapta a la curva y discontinuidad local. El sistema de ensamble del pabellón se rige por dos niveles. Un primer nivel se articula para formar las células con un ensamble de tipo corte cola de milano, una técnica muy utilizada en la elaboración de cajones de madera. El segundo nivel une las células entre sí con una conexión de tornillo, permitiendo la facilidad de montaje y desmontaje del pabellón.

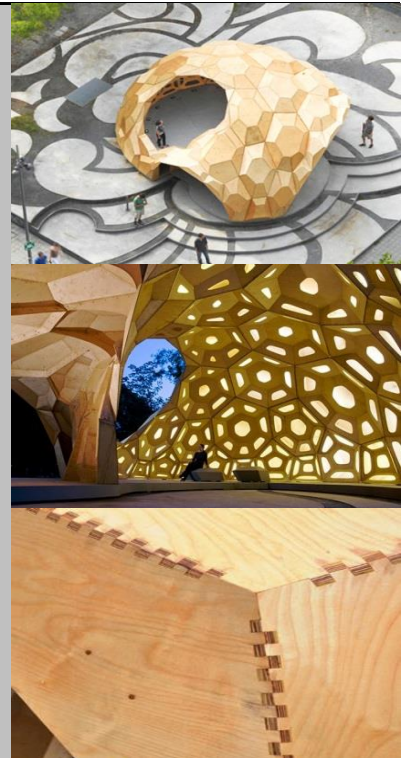


Imagen 2-39. Vistas pabellón.

Fuente: <http://www.quadraturaarquitectos.com/blog/index.php/2011/11/icd-itke-pabellon-de-investigacion-de-la-universidad-de-stuttgart/>

PABELLÓN HEXIGLOO

Tutores: Tudor Cosmatu, Irina Bogdan, Andrei Raducanu

Año: 2012 (Bucarest, Romania).

Es un pabellón diseñado paramétricamente en su totalidad como resultado de un taller llevado a cabo en siete días, en el cual el tema abordado fue sobre los principios básicos del diseño paramétrico y software, donde 55 estudiantes fueron partícipes del diseño del pabellón. El proyecto se basa en una estructura de panal de abeja, cuyo proceso de elaboración fue el siguiente: mapeo de una rejilla hexagonal sobre una superficie ya modelada, extrusión de los hexágonos con la finalidad de que cada célula posea una superficie de unión con las otras células y adicionar rigidez a la estructura total.

El interés principal del pabellón se basó en su interior donde éste se articula por embudos a manera de conos que al filtrar la luz hacia el interior crea un contraste con el exterior que revela un instante de sorpresa al entrar en la estructura. Para su montaje se dividieron las tareas de ensamblar las piezas en su forma tridimensional para conformar la estructura final; el proceso tomó aproximadamente 80 horas.

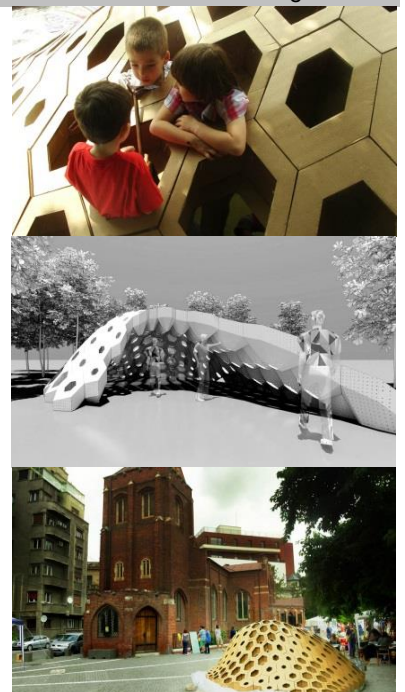


Imagen 2-40. Vistas pabellón.

Fuente: <http://www.archdaily.com/146764/hexigloo-pavilion-tudor-cosmatu-irina-bogdan-andrei-raducanu/>

CAPÍTULO III
PLANTEAMIENTO DE LA PROPUESTA

3.1. Estudio de caso – espacios abiertos UTPL.

3.1.1. Análisis del entorno urbano-arquitectónico.

El campus de la Universidad Técnica Particular de Loja se encuentra ubicado en una zona urbana de la ciudad. A éste consideraremos como una célula urbana con tráfico peatonal, densidad urbana, paisaje, usos y actividades propias que están escasamente influenciadas por los elementos urbanos que circundan el campus. Es por esto que el análisis se inclinará exclusivamente a examinar los componentes que estructuran al campus.

El campus se encuentra seccionado por la calle París, que lo atraviesa en el sentido norte-sur, dando como resultado dos espacios urbanos ubicados al este y oeste de la vía con entornos diferentes. La implantación del módulo se ha realizado en la sección oeste del campus, el cual tiene un área aproximada de 44mil metros cuadrados, de los cuales 9533,42 metros cuadrados corresponden a área construida y 3745,77 se han destinado para uso exclusivo de uso peatonal.

En la sección analizada del campus se han encontrado como elementos arquitectónicos representativos a la cubierta del edificio de Bar/Cafetería y a los ventanales en zigzag de los corredores del nuevo edificio de laboratorios. La cubierta del Bar/Cafetería se caracteriza por ser una superficie elipsoide curvada que da cabida al área exterior de mesas mientras que los ventanales resaltan frente a su entorno por ser el único elemento zigzagueante del lugar.

En cuanto al resto de edificaciones vemos como factor común el uso de las estructuras (sobre todo columnas) como elementos de composición en fachadas. Éste y los

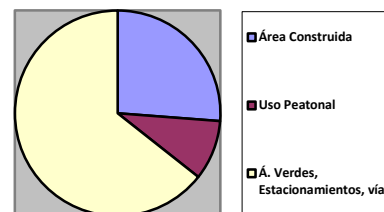


Imagen 3-1. Gráfica que muestra el porcentaje del área destinada a las diferentes actividades en la UTPL.

Fuente: Cartuche J. & Correa J., 2014.



Imagen 3-2. Cafetería UTPL. Se ha resaltado su superficie elipsoide curvada.

Fuente: Cartuche J. & Correa J., 2014.

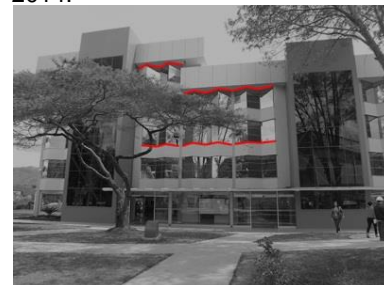


Imagen 3-3. Edificio de laboratorios. Se ha resaltado su fachada zigzagueante.

Fuente: Cartuche J. & Correa J., 2014.



Imagen 3-4. Edificio UPSI. Se ha resaltado el uso de columnas como elementos que conforman las fachadas.

Fuente: Cartuche J. & Correa J., 2014.

elementos anteriores los hemos resaltado en las imágenes 3.2., 3.3., y 3.4.

3.1.2. Análisis funcional del campus.

En el campus existe un eje principal de norte a sur, anteriormente mencionado, por el que los usuarios de la universidad circulan con el fin de movilizarse hacia los sitios que este eje conecta; es en este eje donde se produce además, la mayor cantidad de simples actividades sociales como: saludar, conversar, agruparse, mirar, sentarse.

Haciendo un análisis visual en situ sobre este eje, hemos estudiado cuán fácil es para los peatones circular en esta área. Para esto es necesario aclarar que el caminar por estos espacios lleva inevitablemente a una valoración obtenida por factores subjetivos y objetivos. Por ello, encontramos entonces: la presencia de amplias veredas a ambos lados de la vía, accesibilidad existente para personas con capacidades diferentes y tráfico vehicular prácticamente nulo, lo que hace innecesario la medición de factores como disponibilidad de cruces, seguridad al cruzar, comportamiento de conductores, etc.

Esto se traduce en elementos positivos para el peatón, los cuales se deben conservar. Pero el punto donde la circulación peatonal decae es en el de seguridad debido a la ausencia de protección contra incidencia climática, y en la falta de mobiliario y servicios peatonales como son los basureros, banquetas, o el mal uso de instalaciones itinerantes, además de ello cabe resaltar que esta zona tanto por la ubicación como por ser una de las más amplias en todo el campus, es usada temporalmente para exhibiciones de los trabajos de los estudiantes, para lo cual hacen uso de toldos o carpas, tanto para protegerse del clima como para delimitar el área de exposición. Estas soluciones no son pertinentes y por ende influyen de manera

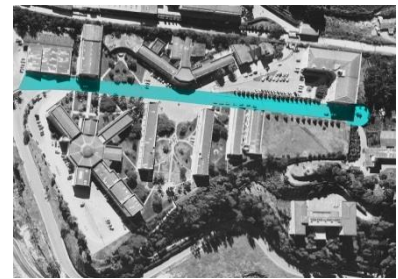


Imagen 3-5. Imagen Satelital del campus UTPL. Se ha resaltado el eje transversal que lo atraviesa.

Fuente: Cartuche J. & Correa J., 2014.



Imagen 3-6. Toma fotográfica del área a intervenir.

Fuente: Cartuche J. & Correa J., 2014.



Imagen 3-7. Uso de toldos en el eje central del campus UTPL con el fin de acoger exhibiciones de la carrera de Inglés.

Fuente: Cartuche J. & Correa J., 2014.

no adecuada en las visuales que mantiene el campus en estos espacios, por lo que es necesario y primordial dar una solución a este tipo de inconvenientes que se presentan muy a menudo en la universidad.

3.2. Partido arquitectónico.

La UTPL carece de un elemento paisajístico que pueda ser observado a lo largo de todo el campus. Proponemos, a través del uso del diseño paramétrico y del MDF, un elemento que repetidamente se sitúe a lo largo del eje central del campus, eliminando así las carencias de circulación peatonal que tiene la principal vía, tomando como referencia de diseño los elementos más representativos de los edificios del campus (superficie elipsoide curvada, ventanales zigzagueantes y columnas como elementos de composición en fachadas) y que sea en sí un mobiliario en el que se pueda desarrollar exposiciones itinerantes a los alumnos de la universidad.

3.2.1. Obtención del concepto.

El resultado final que obtuvimos, se dio en base a la evolución de las ideas y del manejo del software y gracias también al desglose y selección de elementos que fueron llevados desde los intentos fallidos hasta el modelo terminado. Debido a estos hechos presentamos a continuación el desarrollo y la propuesta de la alternativa de pasarela-pabellón desde el primer hasta el último modelo, con la finalidad de exhibir así la obtención de elementos y sistemas que fueron llevados hasta el proyecto final.

3.2.1.1. Primer modelo.

Nuestros primeros intentos se centraron en familiarizarnos con el software base, Rhinoceros y en modelar el “caparazón” de una pasarela cubierta. Luego de varios intentos como el mostrado en la imagen concluimos que era una impropiedad realizar una instalación demasiado



Imagen 3-8. Vista elevada del campus UTPL.

Fuente: Cartuche J. & Correa J., 2014.

Se observa en el campus UTPL la presencia de adecuada señalización peatonal y uso correcto de dimensiones, así como ausencia de protección ante incidencias climáticas.



Imagen 3-9. Uso de toldos en campus UTPL.

Fuente: Cartuche J. & Correa J., 2014.

Usados como instalaciones provisionales para la exposición de eventos académicos, cancelando el uso que a la acera le corresponde.

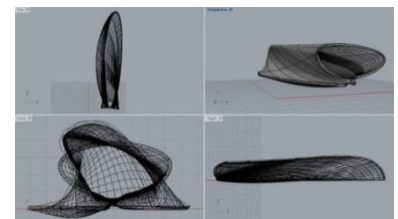


Imagen 3-10. Familiarización con el software Rhino y muestra de la primera modelación del módulo.

Fuente: Cartuche J. & Correa J., 2014.

grande, costosa y no flexible para los requerimientos actuales pues afectaría el entorno y peor aún sería el resultado al momento de situarla a lo largo del eje central. De todos modos la realización de este primer modelo nos dio pautas iniciales sobre el uso de envolventes, que podría aplicarse al modelo final.

3.2.1.2. Segundo modelo.

Nuestro siguiente objetivo fue rodear con nuestra instalación el redondel situado en la mitad del eje central, aquí empezamos ya a emplear el plug-in de Rhino: Grasshopper. El resultado evidente era que la transitabilidad del peatón no sería fluida ni natural. Y aunque el diseño en sí fue descartado, el sistema constructivo fue empleado en el modelo final. Este sistema constructivo se conoce como "waffle" y consiste en el seccionamiento dimensional paralelo o radial de un sólido con el fin del situar en cada tramo de sección un "waffle" que cumple la función de estructurar el modelo.

3.2.1.3. Tercer modelo.

Una vez que pudimos asimilar el manejo de Grasshopper, el siguiente paso fue dar un mayor acercamiento a los requerimientos del partido arquitectónico. En este tercer modelo se estableció ya la base formal, estructural y funcional del módulo. En lo que se refiere al aspecto formal nos basamos en una fusión de uso de elementos estructurales como parte de la estética, que zigzaguean ondulantemente para así formar estructura y aspecto capaces de destacar por su tono atractivo dentro del campus sin llegar a agredir en el entorno arquitectónico.

Por otro lado, en cuanto al tema estructural, el módulo es un sistema autosuficiente que no necesita elementos estructurales perdidos si no sencillas uniones de perno y tuerca como indicaremos detalladamente más adelante. El

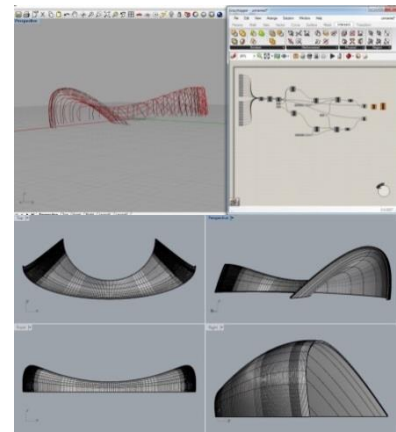


Imagen 3-11. Primeras experimentaciones con el plug-in Grasshopper 3D y aprehensión del sistema constructivo "waffle"

Fuente: Cartuche J. & Correa J., 2014.

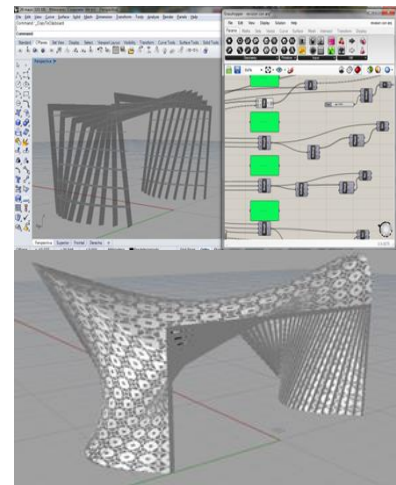


Imagen 3-12. Primeros bocetos del modelo final.

Fuente: Cartuche J. & Correa J., 2014.

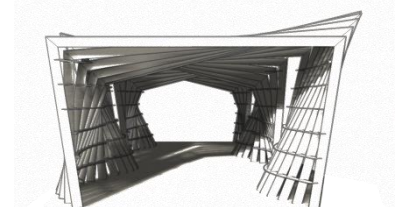


Imagen 3-13. Resultado obtenido en Rhino de las experimentaciones del manejo de Grasshopper 3D.

Fuente: Cartuche J. & Correa J., 2014.

ya mencionado sistema de “waffle” fue adoptado debido a su sencillez de montaje y su aporte estético como un componente participante en el entorno arquitectónico al conjugar sus formas con la tendencia predominante en el campus de exteriorizar el sistema estructural de los edificios.

En lo concerniente a la funcionalidad del módulo nos ceñimos a las pautas iniciales del partido para proteger de la incidencia climática a los peatones y a la vez crear un espacio de exposiciones itinerantes dirigido sobre todo a la exhibición de la diversidad de labores ejecutadas por los alumnos de las titulaciones de Arte y Diseño y Arquitectura.

3.2.1.3.1. *Diseño computacional.*

Para que la comprensión del proceso de diseño computacional sea más simple empezaremos explotando al módulo en partes menores para nombrarlas a estas partes, y mencionarlas con mayor facilidad de ahora en adelante; estas partes son observables en la imagen 3-14.

Cabe mencionar que el algoritmo inicial, que constituye el punto de partida para el desarrollo de nuestra propuesta, es un sistema realizado por el Arq. Santiago Calatrava para una estación de trenes en España; dicho algoritmo nos permitió manejar ciertas variables que hacen posible modificar el diseño a través de la manipulación de dimensiones. Asimismo, debido a la complejidad del algoritmo obtenido y con la finalidad de instruir a través de esta tesis a quien atañe, desplegaremos la totalidad de dicho algoritmo y para que la comprensión sea más simple empezaremos mencionando que el algoritmo se ha dividido en las siguientes siete etapas, en cada una de las cuales se va explicando paso a paso el procedimiento a seguir, ilustrándolas además con las imágenes de los resultados generadas en cada fase.

Las formas producidas son resultado del análisis anteriormente mencionado y de la integración de los requerimientos y criterios propios del diseño; esto nos ha permitido explorar libremente con diversas formas, que aunque no se lograron materializar, influyeron enormemente en la concepción del modelo final.

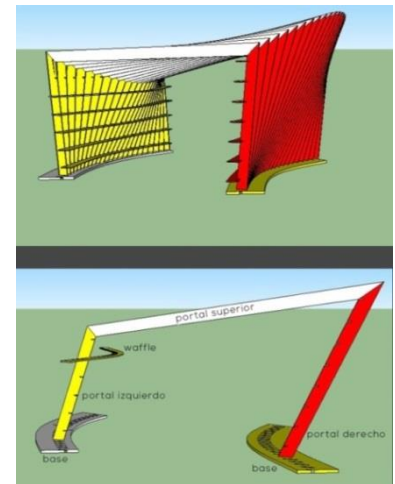


Imagen 3-14. Esquema de la totalidad del modelo obtenido (arriba) y desarticulación de sus partes (abajo).

Fuente: Cartuche J. & Correa J., 2014.

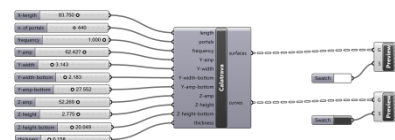


Imagen 3-15. Algoritmo base.

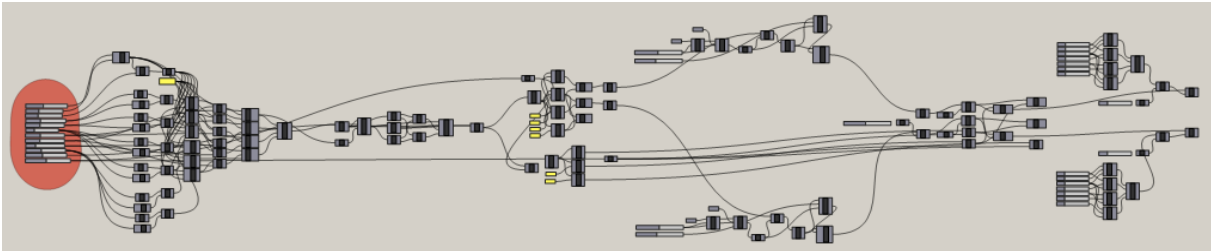
Fuente: Cartuche J. & Correa J., 2014.



Imagen 3-16. Inicios en la parametrización del modelo.

Fuente: Cartuche J. & Correa J., 2014.

1. Conjunto inicial de parámetros



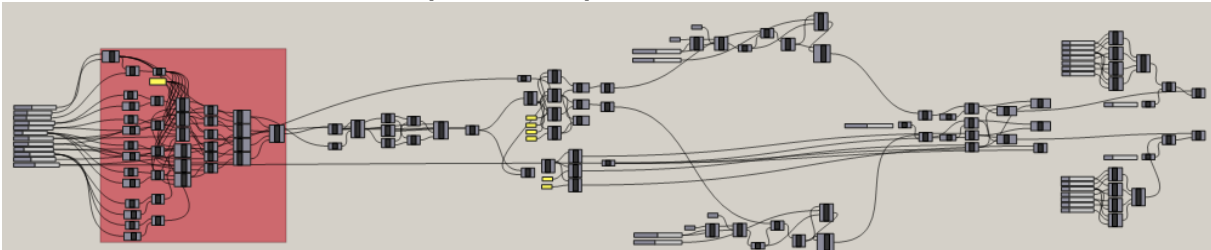
El algoritmo nace con la disposición de los parámetros más básicos que son requeridos para fijar los valores iniciales del módulo, estos parámetros definirán en metros las medias del módulo en los ejes X, Y y Z. Así mismo definirán el número de portales seriados, su ancho y el espesor de su material.

Además, al basarse el ondulado de los portales en una curva senoide, sabemos que esta curva será teóricamente un suceso periódico, por lo que también debemos manejar parámetros que determinen el número de repeticiones de curva dependientes del largo de la caminería (frecuencia) y valores de factor de amplitud para cada curva.

Cada uno de estos parámetros no pueden cumplir función alguna si no se enlazan a un componente o grupo de componentes, por lo que su relevancia se encontrará en cada uno de estos componentes a partir de **la segunda parte del algoritmo**.

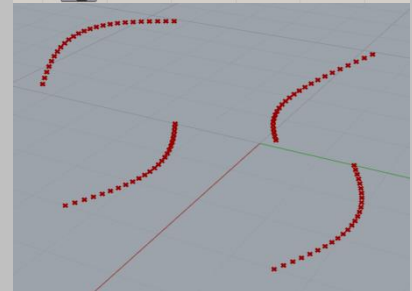
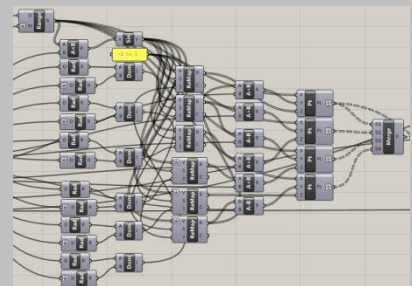
largo caminería	3.000
n° portales	25
frecuencia	1.010
y amp arriba	30
y amp abajo	30
z amp	13
ancho arriba	1.5000
ancho abajo	1.5000
altura z	2.1500
altura z abajo	0.0000
ancho portales	0.3000
espesor mdf líneas	0.0120

2. Disposición de puntos en curva senoide

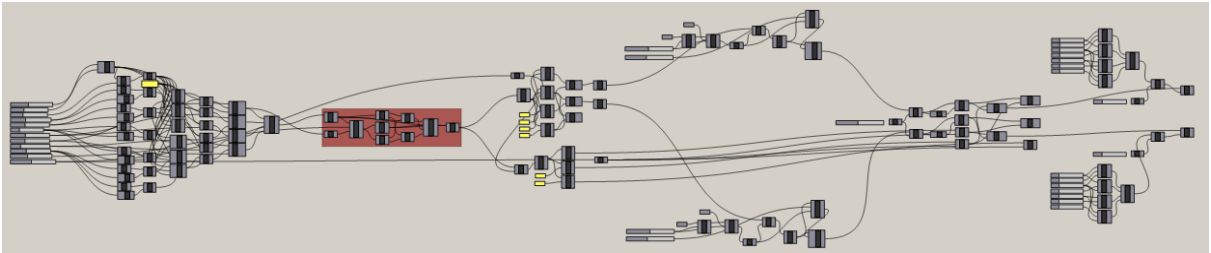


Este conjunto de componentes dan la pauta inicial de las dobles curvaturas. Funcionan al tomar cada uno de los parámetros iniciales y usarlos para que, a través de dominios numéricos y el uso de la función seno, se marquen en el espacio 25 puntos (obtenidos a partir del parámetro "número de portales") en cada uno de los tres planos del módulo.

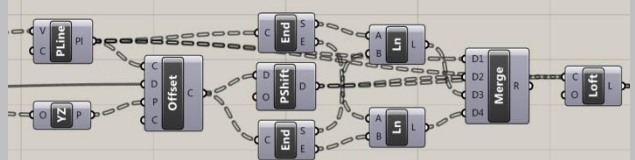
Estos puntos son el resultado de una fracción de la gráfica de la función seno. En cuanto a su delimitación, los puntos se auto limitan por los parámetros "largo caminería", "ancho arriba", "ancho abajo", "altura z" y "altura z abajo". Y en cuanto al trazo de la curva, los puntos se guían en base a los parámetros "frecuencia", "y amp arriba", "y amp abajo" y "z amp".



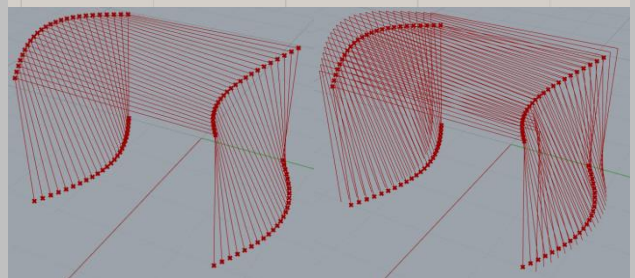
3. Unión de puntos a través de líneas



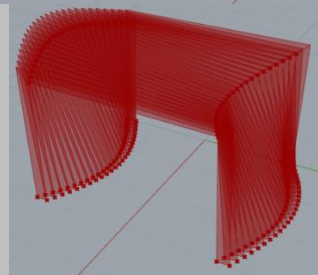
Este segundo conjunto de componentes inicia con la orden de unir los puntos para formar los portales. Para esto se basa en unirse solo entre aquellos que coinciden dentro de cada uno de los 25 planos cartesianos YZ.



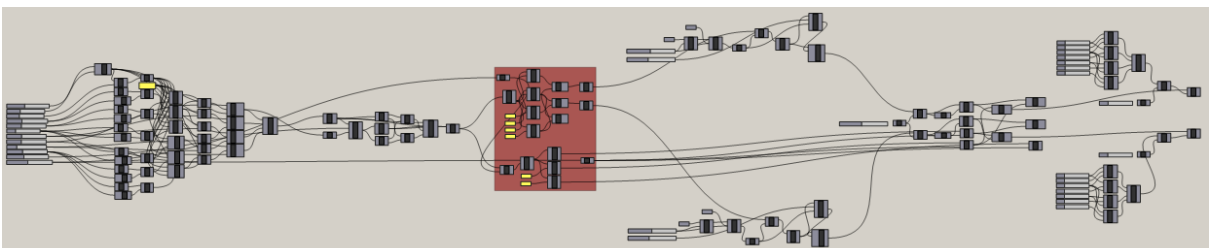
A continuación cumple la orden de crear un contorno (offset) alrededor de cada una de las líneas obtenidas. La distancia de este contorno es controlada bajo el parámetro “ancho portales” ubicada en el primer conjunto de parámetros.



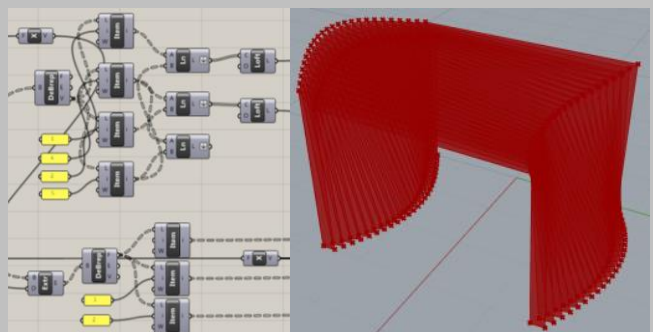
Finalmente, este conjunto finaliza cerrando las líneas iniciales con sus respectivos contornos y creando dentro de ellos un área (loft) obteniendo así planos seriados con ausencia de grosor.



4. Grosor de portales y desarticulación

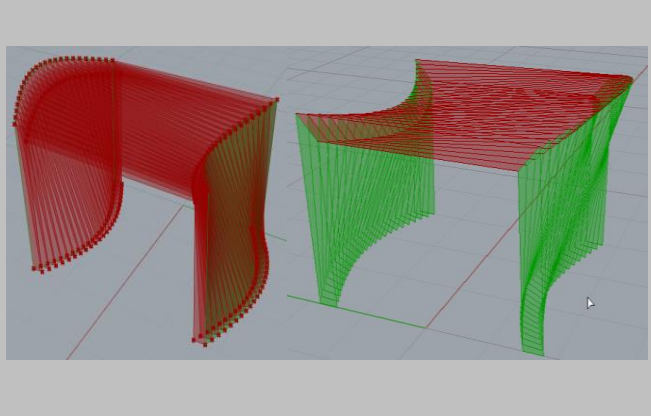


El grosor del MDF es aquí donde es obtenido al extrudir cada una de las áreas obtenidas y éste se somete al valor introducido en el parámetro “espesor mdf líneas” del primer conjunto de parámetros. La consolidación y estabilidad del modelo se logra con el uso del sistema constructivo denominado waffle, y es aquí donde se inicia este proceso. Para que cada waffle pueda ser ubicado es imprescindible empezar por desarticular el modulo que a estas alturas es un todo que dentro de sí contiene 25 planos seriados.

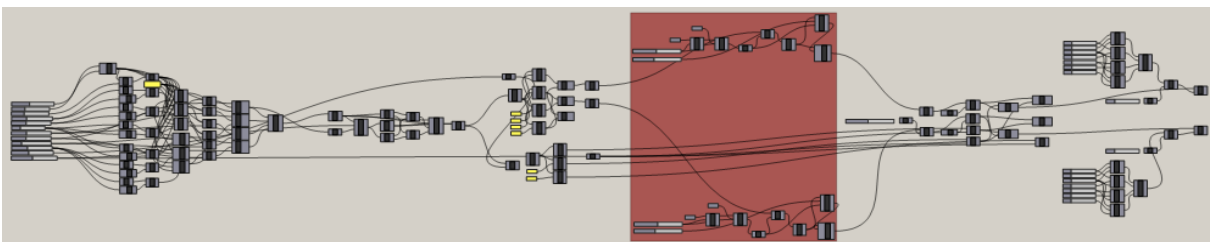


Entonces, para que los waffles se ubiquen solamente en los portales y no tomen a todo el modelo como un sólido, usamos el componente Deconstruct brep (DeBrep) que nos reduce a puntos en el espacio al objeto que habíamos obtenido. Cada uno de estos puntos es ahora independiente de los demás.

La siguiente orden consiste en volver a unir con líneas los puntos y en base a estas líneas obtener 3 superficies independientes usando el componente Loft. Como resultado obtenemos 3 superficies de doble curvatura.



5. Generación del sistema constructivo 'waffle'

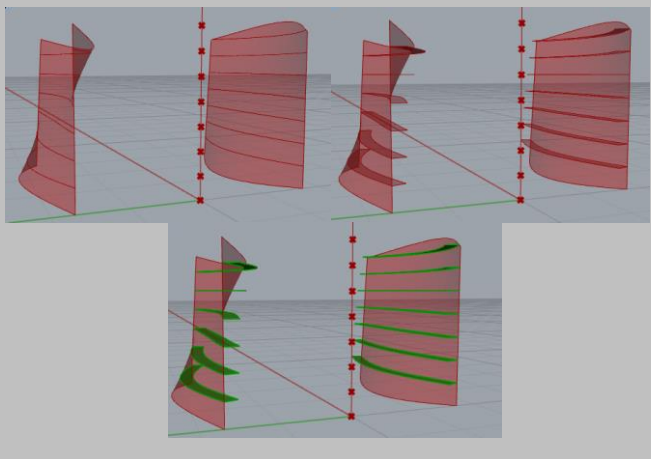
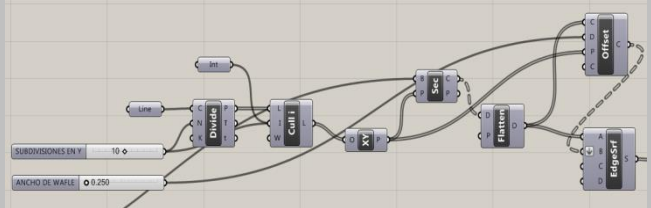


La generación de sistema constructivo conocido como *waffle* se obtiene con el uso de dos nuevos parámetros: "subdivisiones en y" y "ancho waffle" además de sus propios componentes.

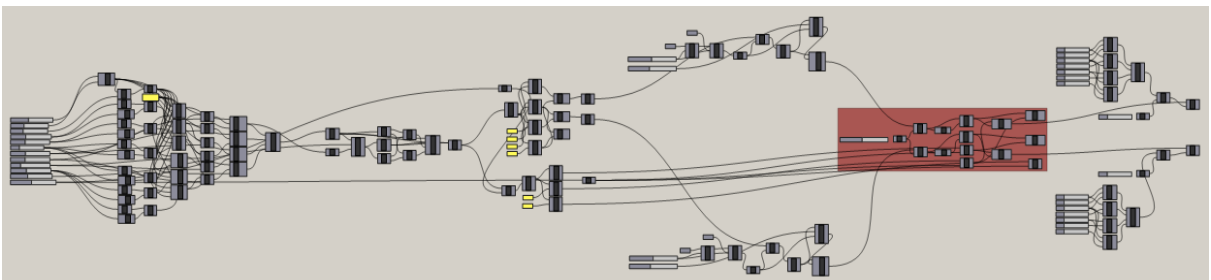
Consiste en dividir la altura interna del módulo en el número de *waffles* que deseemos (correspondientes a "subdivisiones en y") y trazar planos paralelos a XY en cada una de las divisiones.

Una vez hecho esto intersecamos cada plano trazado con las superficies de doble curvatura anteriormente obtenidas, cuyo resultado consiste en una línea curva.

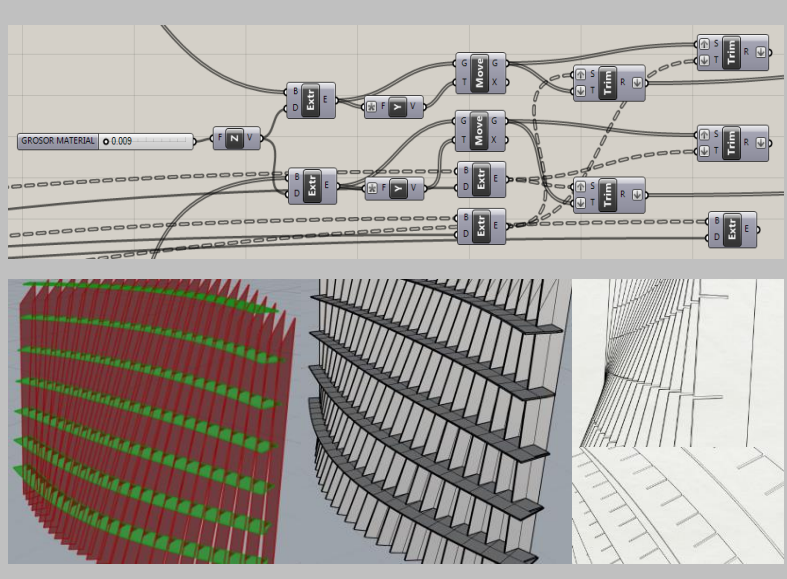
A esta línea le creamos un contorno que se guía por el parámetro "ancho waffle", creamos una superficie (Loft) en base a estas dos líneas y asignándoles el mismo espesor del grupo inicial de parámetros "espesor mdf líneas" se obtiene finalmente los waffles.



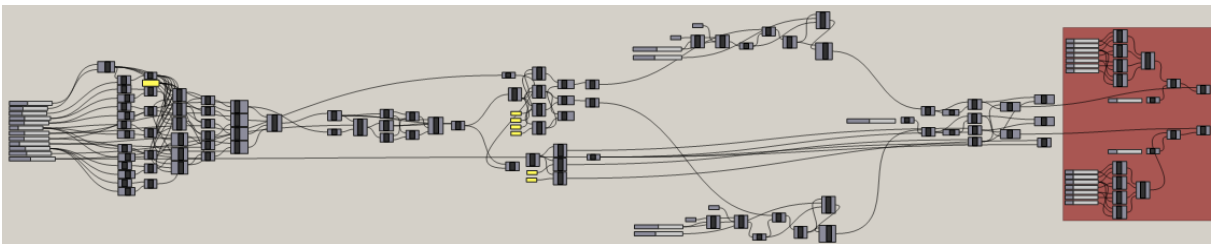
6. Acoplamiento y recorte de waffles y portales



Luego de obtener los waffles es imprescindible acoplarlos dentro del conjunto de portales para que cumplan su función estructural, este acoplamiento es necesario sobre todo para que la intersección de waffles con portales nos permita crear, a través del corte laser, cavidades serradas que permitirán encajar ambos elementos al momento de la construcción. El recorte (Trim) de los waffles obtenemos usando a éstos como objetos a recortar y empleamos a los portales como sólidos cortantes. Al proceder en orden inverso conseguimos realizar la sustracción en los portales.



7. Razado de portales



Un procedimiento similar realizamos para rasar el inferior de los portales puesto que al momento de haber creado los giros, cada uno de estos presentan diferentes ángulos en sus bases. Este recurso nos servirá para que todas las bases sean paralelas al suelo.

Para esto ubicamos cuatro puntos que encierren a los portales, con estos puntos creamos una superficie y a ésta la extrudimos.

Finalmente utilizamos los portales como objeto a recortar y a la caja como objeto de corte. Debido a que pasos atrás desarticulamos al módulo es necesario realizar este procedimiento para ambas bases de los portales.

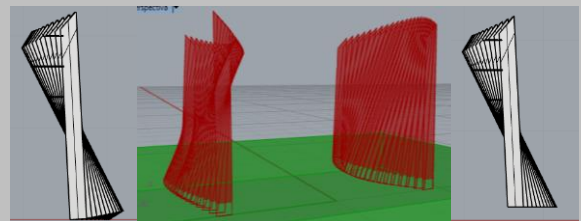
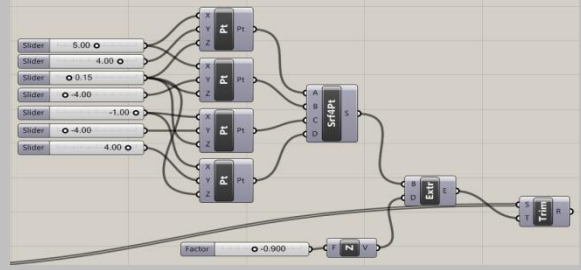


Imagen 3-7. Secuencia de imágenes del procedimiento de la obtención del algoritmo generador del modelo tridimensional en Grasshopper 3D.

Fuente: Cartuche J. & Correa J., 2014.

CAPÍTULO IV
EXPERIMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN

4.1. Generación de la información.

Una vez concluido con el proceso de diseño en Grasshopper, se procede al despiece de cada uno de los pórticos que conforman el pabellón, y así continuar con la fabricación de los prototipos de maquetas borrador, así como del modelo a escala. Cabe resaltar que la generación de las plantillas de corte de los componentes a cortar, se deben preparar previamente en Autocad o Rhinoceros y luego guardarlos en formato dxf o Ai.

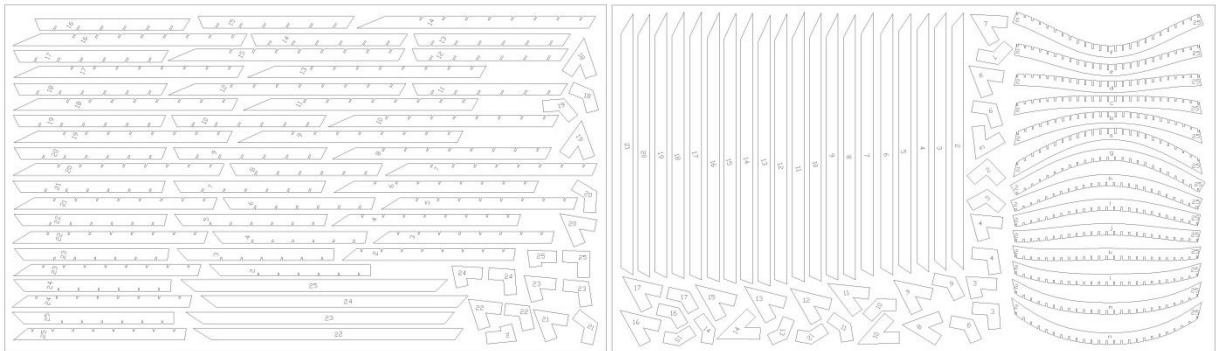


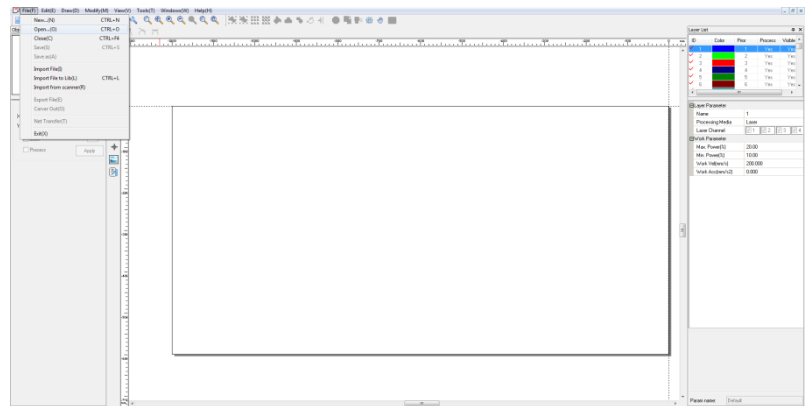
Imagen 4-1. Plantillas de corte de componentes de MDF.

Fuente: Cartuche J. & Correa J., 2014.

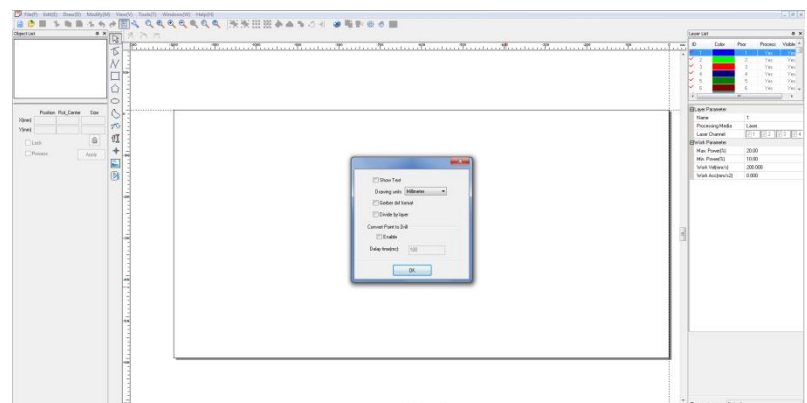
Con las plantillas listas para el proceso de corte láser, continuamos con la materialización de los prototipo.

El programa que nos permite imprimir en la Cortadora Laser CAMFive es el Smart Carve 43; una vez instalado dicho software procedemos a hacer lo siguiente:

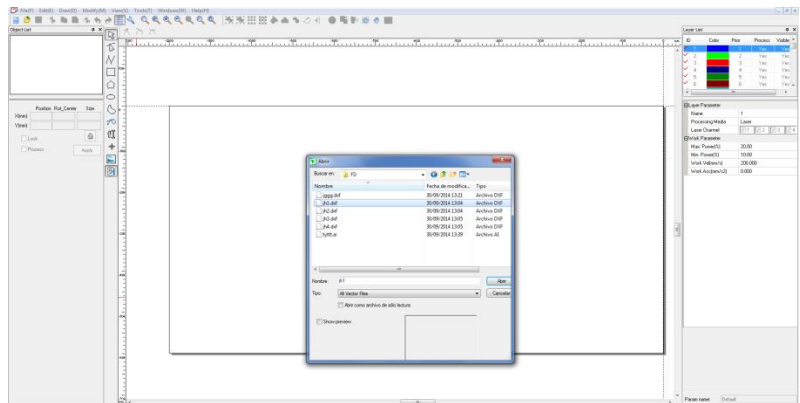
1. Hacemos clic en **File**, luego en **Open** para ubicar el archivo que se desea cortar.



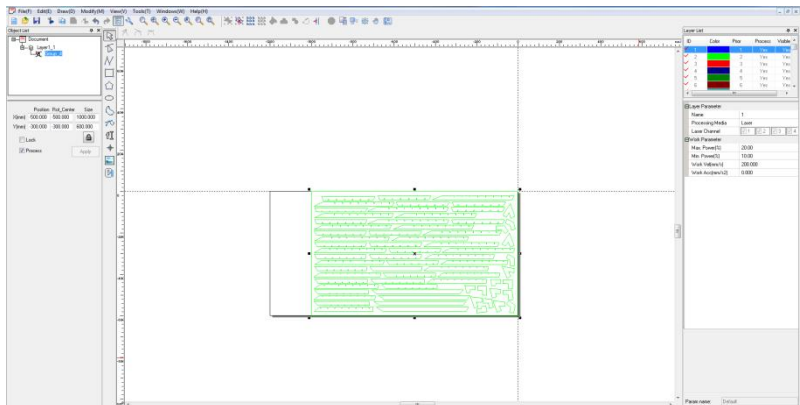
2. Luego se despliega un cuadro de diálogo con algunas variables que se encuentran previamente configuradas, clic en **Ok**



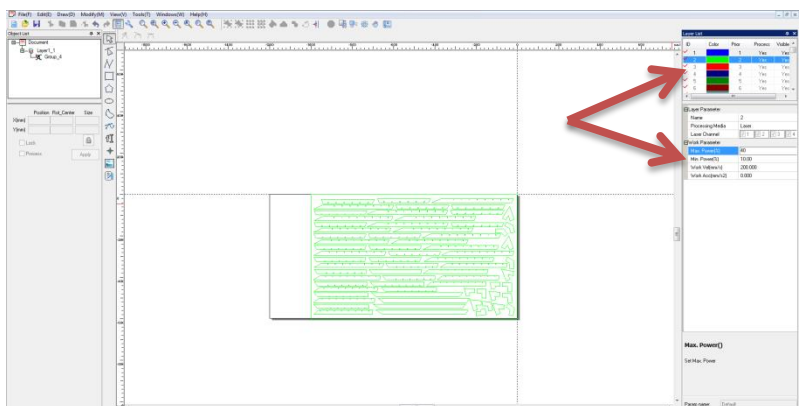
3. A continuación se despliega un cuadro de diálogo y elegimos el archivo correspondiente, clic en **Abrir**.



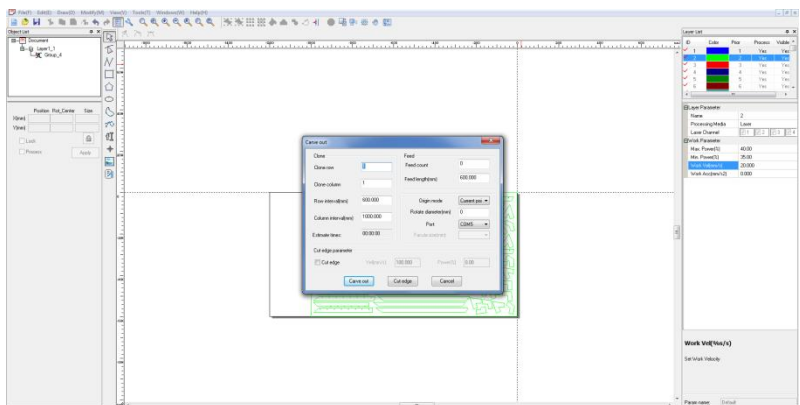
Luego automáticamente se carga el archivo preparado con el despiece correspondiente del modelo. Cuando se carga el modelo suele aparecer un recuadro punteado, el cual nos permite desplazarlo hasta ubicarlo en el origen del área de corte de la máquina.



4. Posteriormente en el cuadro **Layer List** que se encuentra a la derecha, se configura los colores y el orden numérico en el que se va a realizar el corte.



5. En el cuadro **Work Parameter** se configura los parámetros de trabajo de la máquina (potencia, fuerza y velocidad), esto depende del material a utilizar.



6. Luego clic en **Carve out** y se desplazara un cuadro de dialogo con opciones preestablecidas.
7. Finalmente para enviar la información de corte a la máquina clic en **Carve out** antes de lo cual la cortadora láser debe estar encendida.

Imagen 4-2. Secuencia de imágenes del procedimiento para enviar los archivos a la cortadora láser.

Fuente: Cartuche J. & Correa J.. 2014.



Imagen 4-3. Cortadora Láser CAMFive.

Fuente: Cartuche J. & Correa J., 2014.



Imagen 4-4. Antes del proceso de corte.

Fuente: Cartuche J. & Correa J., 2014.



Imagen 4-5 y 4-6. Inicio y proceso de corte.

Fuente: Cartuche J. & Correa J., 2014.

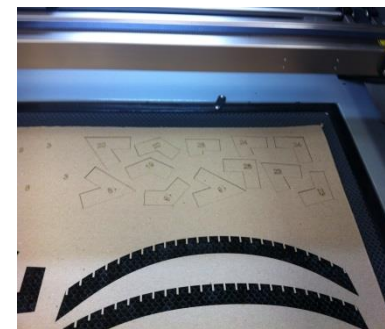


Imagen 4-7. Final del proceso de corte.

4.2. Experimentación constructiva de los prototipos.

Concluido con el diseño y construcción digital del pabellón, se procede a la respectiva experimentación en diversos materiales, esto con el fin de verificar el ensamblaje y su estabilidad estructural. Para la obtención del modelo procedemos a la producción de los prototipos de maquetas borrador, así como del modelo a escala; para lo cual hacemos uso de la Cortadora Láser CAMFive (Imagen 5-3), que se encuentra en el Laboratorio de Fabricación Digital de la U.T.P.L, la misma que a través del software Smart Carve 43 nos permite obtener las respectivas piezas.

4.2.1. Sistema de corte de los prototipos.

El pabellón por la cantidad de piezas que lo conforman y por la forma curva que algunas de estas presentan, requiere de un corte óptimo y perfecto; por ello la única manera de lograrlo es a través de la tecnología de corte CNC (control numérico de corte); estos recursos tecnológicos permiten además un aprovechamiento máximo del material y así evitar desperdicios, así como la optimización de tiempo en cuanto a la producción de las piezas.

Es importante aclarar que el tiempo de corte depende del material y del espesor en el que se va a trabajar, esto determina la potencia, fuerza y velocidad con que trabajará la máquina en el proceso. Es así que durante el proceso de experimentación de nuestros prototipos obtuvimos los siguientes resultados:

Tabla 1. Tiempos de corte según material.

Prototipo	Material	Espesor	Tiempo de corte
1	Cartón maqueta	1 mm	60 min
2	Cartón prensado	18mm	120 min
3	MDF	6mm	720 min

Fuente: Cartuche J. & Correa J., 2015.



Imagen 4-8. Imagen de los pórticos.

Fuente: Cartuche J. & Correa J., 2014.

4.2.2. Prototipo en cartón maqueta.

El primer prototipo se realizó en cartón maqueta a escala 1/25, esto con la finalidad de tener un modelo manejable al momento del ensamble. Este primer patrón debido a su tamaño no necesita de uniones en las esquinas de los pórticos, por tanto se cortó en una sola pieza, así como las costillas laterales (Imagen 5-8 y 5-9).

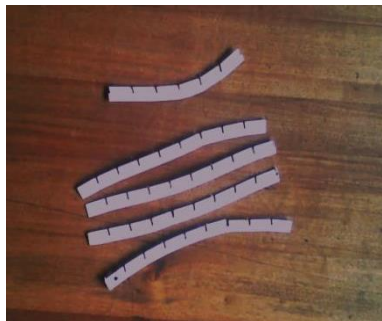


Imagen 4-9. Imagen de las costillas horizontales.

Fuente: Cartuche J. & Correa J., 2014.

Para empezar a experimentar se cortaron inicialmente un total de 9 pórticos y 10 costillas horizontales, las cuales se ensamblaron hacia el exterior del pabellón (Imagen 5-10). Una vez armado el patrón se comprobó el equilibrio de la estructura, sin embargo por estética se estableció aumentar el número de pórticos, para así reducir la total visibilidad hacia el interior y viceversa; además de garantizar aún más su estabilidad estructural. El tiempo de armado del prototipo fue de 120 minutos.

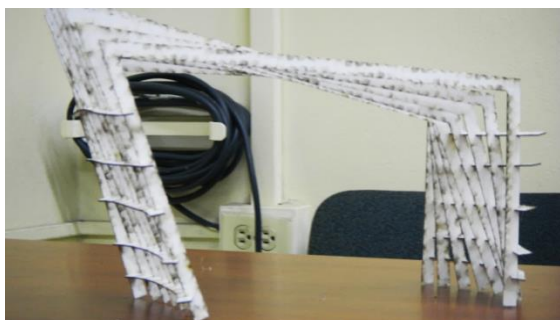


Imagen 4-10. Vistas de la maqueta del prototipo ensamblado.

Fuente: Cartuche J. & Correa J., 2014.



Imagen 4-11. Pórticos y placas de unión.

Fuente: Cartuche J. & Correa J., 2014.



Imagen 4-12. Costillas horizontales.

Fuente: Cartuche J. & Correa J., 2014.

4.2.3. Prototipo en cartón prensado.

Este prototipo se realizó a escala 1/10, y es por esto que debido a su tamaño, y con la finalidad de optimizar el material, se hizo necesario dividir los pórticos estructurales en tres partes (Imagen 5-11), las mismas que se ensamblaron mediante placas del mismo material utilizadas como fijaciones en las esquinas de los pórticos (Imagen 5-13 y 5-14).

En relación al prototipo anterior se aumentó el número de pórticos a 24 respectivamente, mientras que el número de costillas horizontales aumentó tan solo a 2 adicionales de los ya existentes (Imagen 5-12). Para este modelo se cambió la dirección de las costillas horizontales hacia el interior del pabellón, esto con finalidad tanto estética y estructural (Imagen 5-15).



Imagen 4-13. Armado de pórticos mediante placas hechas del mismo material.

Fuente: Cartuche J. & Correa J., 2014.

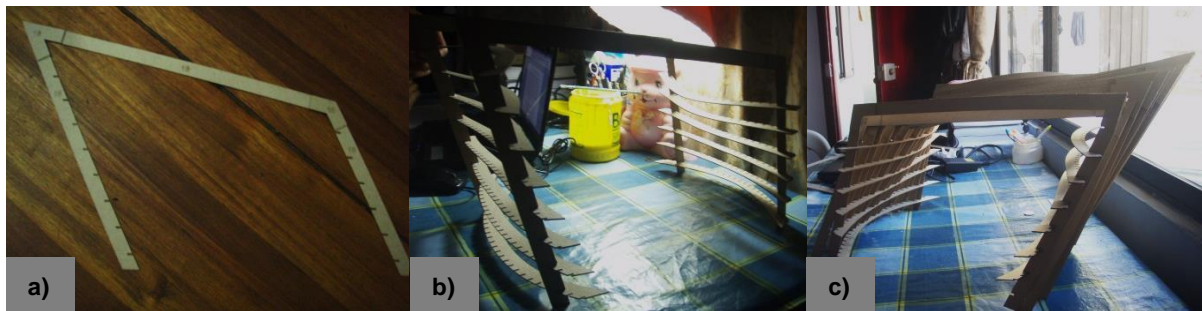


Imagen 4-14. Pórtico armado.

Imagen 4-15. Proceso del ensamble y armado de la maqueta.

Fuente: Cartuche J. & Correa J., 2014.

Debido a la cantidad de pórticos, el proceso de ensamble necesitó más tiempo que el prototipo anterior, a la vez que presentó ciertas dificultades al momento del armado; por lo

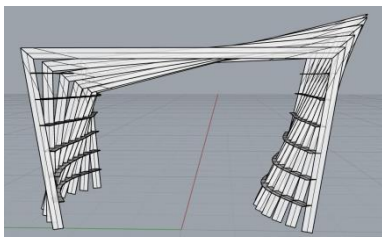


Imagen 4-16. Prototipo-módulo.

Fuente: Cartuche J. & Correa J., 2014.

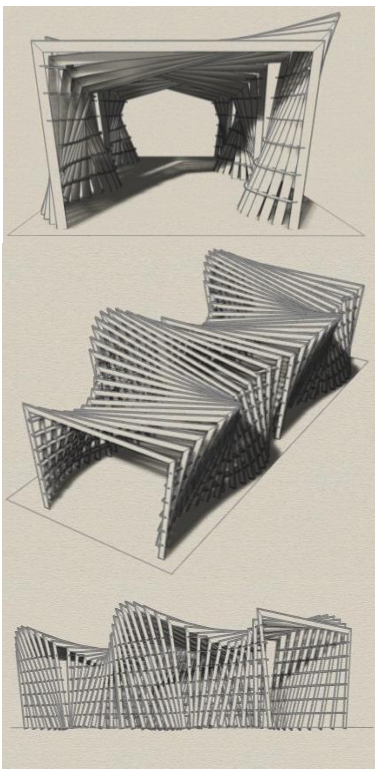


Imagen 4-17. Prototipo-uni3n de varios m3dulos.

Fuente: Cartuche J. & Correa J., 2014.



Imagen 4-18. MDF

Fuente: Masisa.

que para el pr3ximo modelo fue necesario la utilizaci3n de una base gu3a, que nos permita colocar correctamente los p3rticos para la intersecci3n con las costillas horizontales o waffles. El tiempo que se emple3 en el ensamble del modelo fue de aproximadamente 270 minutos.

4.3. Construcci3n del modelo a escala.

Uno de los objetivos propuestos al inicio de este trabajo de fin de titulaci3n hace referencia a la construcci3n de un prototipo de cubierta-pasarela de madera prefabricada realizada con modelaci3n param3trica y fabricaci3n digital; por ello en esta fase final se realizar3 la construcci3n del prototipo a escala; con ello se pretende mostrar el resultado final de la experimentaci3n.

4.3.1. El prototipo.

Las medidas del pabell3n propuesto para cubrir los espacios abiertos del campus de la U.T.P.L., son de: 4m de longitud, 3m de ancho y 2,60m de altura; 3sta 3ltima es en funci3n de la medida de longitud del tablero a utilizar. Adem3s el prototipo est3 considerado como m3dulo (Imagen 5-16), es decir, que la uni3n de varios de ellos puede generar un pabell3n de mayor longitud (Imagen 5-17); o en su lugar permite usarlo de manera aislada en varios puntos a lo largo del eje principal del campus de la universidad.

Con el modelo a escala se trata de replicar lo que ser3a la propuesta real; para ello nuestra maqueta del prototipo hecho a escala 1/3 tendr3a las siguientes dimensiones: 1,33m de longitud, 1m de ancho y 0,87m de altura.

4.3.2. El material.

La propuesta de pabell3n en si est3 dise3ado en madera prefabricada, espec3ficamente en MDF de 1,8 mm; de entre todos los tableros existentes en nuestro medio, se escogi3

este material debido a que no posee vetas, así que se puede cortar en cualquier dirección; así mismo no tiene nudos, es por ello que se pueden hacer hoyos y colocar uniones en cualquier parte de la misma. Por otro lado el material a utilizar en el prototipo a escala 1/3 es MDF de 6mm, esto con el objetivo de mantener la proporción con el modelo original.

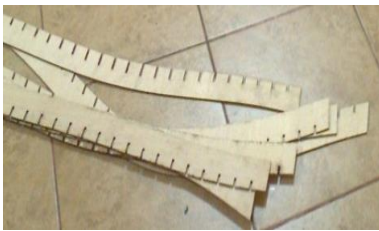


Imagen 4-19. Costillas laterales o waffles.

Fuente: Cartuche J. & Correa J., 2014.

4.3.3. Sistema de ensamble.

En el desarrollo digital del modelo se utiliza el sistema de la parrilla o waffle, el mismo que al ser una armadura de láminas estándar, permite modular la forma compleja del pabellón. Este sistema tiene la peculiaridad de presentar ranuras de intersección, que facilitan el ensamble y unión de las piezas, además de otorgar rigidez y estabilidad a la estructura. Las costillas o waffles (Imagen 5-19) se enlazan a los pórticos a través de las ranuras de intersección que presentan, lo que permite una articulación estructural entrelazada y segura; este tipo de ensamble es conocido como **canal-canal**.

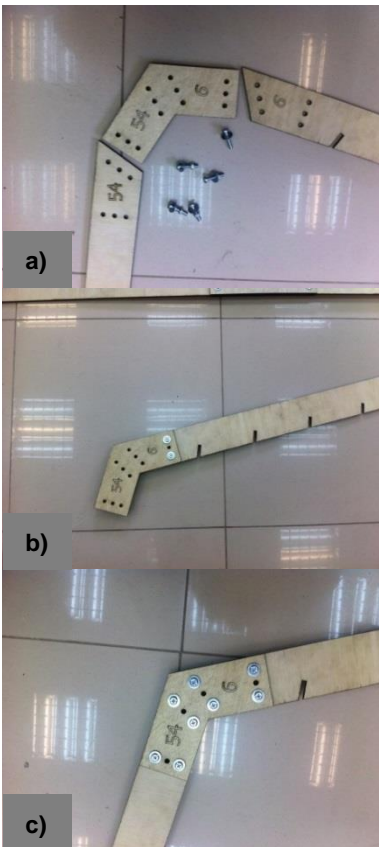


Imagen 4-20. Proceso del empalme de las uniones de las esquinas de los pórticos.

Fuente: Cartuche J. & Correa J., 2014.

La propuesta en sí, consta de 24 pórticos y 10 costillas laterales a cada lado, por lo que para el armado y montaje del pabellón a escala, primero procedemos al ensamble de cada pórtico. Cada uno se encuentra dividido en cuatro piezas longitudinales, por lo que fue necesario utilizar uniones (Imagen 5-20) para el empalme de dichas piezas; las mismas que unen tanto las esquinas de los pórticos, como los elementos horizontales que conforman el techo del pabellón; estas placas son hechas del mismo material y fijadas a través de tornillos para evitar su desplazamiento.

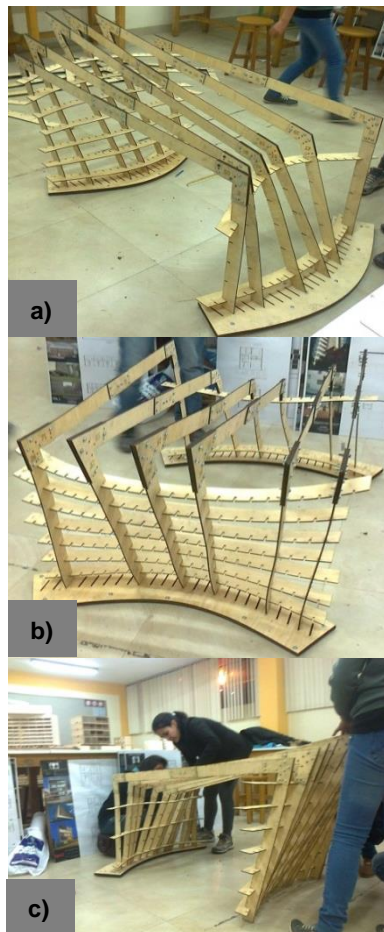
Por lo tanto se procede a unir cada esquina, de manera que se obtiene dos articulaciones en forma de L deformada, para luego enlazarlas a través de una placa central (Imagen 5-21), con lo cual se forma el pórtico antes mencionado; este

procedimiento se realiza con cada elemento estructural hasta lograr armar los 24 pórticos que conforman el pabellón.



Imagen 4-21. Unión de las articulaciones para obtener el pórtico.

Fuente: Cartuche J. & Correa J., 2014.



Luego de armar todos los pórticos, lo siguiente que se realizó es el montaje del modelo a escala; para lo cual se hizo necesario establecer una base guía que nos permitiera ir ubicando cada estructura a la distancia correcta y así facilitar el ensamble de las costillas horizontales con los elementos mencionados.

Las primeras piezas en colocarse fueron los pórticos de los extremos y uno del centro, con estas estructuras entrelazadas a través de los waffles, se hizo más fácil el empalme de las secciones restantes. Este montaje se lo realizó entre 6 personas y el tiempo de duración de todo el proceso de armado fue de 480 minutos.



Imagen 4-22. Montaje del modelo a escala.

Fuente: Cartuche J. & Correa J., 2014.

4.3.3.1. Alternativas de ensambles y uniones.

Terminado el proceso de montaje del prototipo a escala, se pudo verificar que estructuralmente funcionaba, sin embargo las uniones atornilladas requerían de muchos pernos en

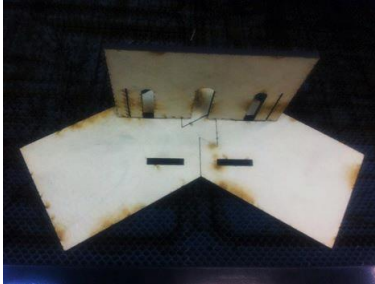
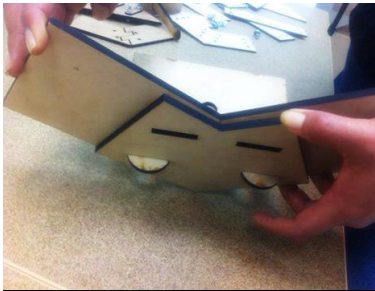


Imagen 4-23. Ensamble tipo 1.
Fuente: Cartuche J. & Correa J., 2015.



Imagen 4-24. Ensamble tipo 2.
Fuente: Cartuche J. & Correa J., 2015.

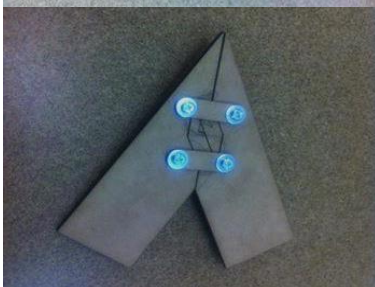
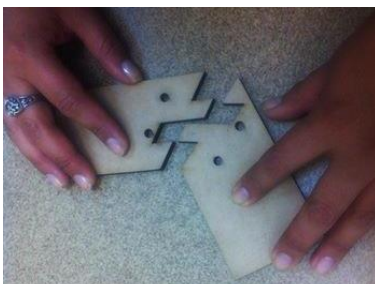


Imagen 4-25. Ensamble tipo 3.
Fuente: Cartuche J. & Correa J., 2015.

cada unión y por tanto se empleaba mucho tiempo en la fijación de las placas, por ello se optó por proponer nuevos ensambles que aligeren aún más el peso de la estructura, a la vez que permitan el armado de los empalmes en menos tiempo.

4.3.3.1.1. *Ensamble tipo 1(Imagen 5-23).*

Este tipo de ensamble es una combinación entre el encaje cola de milano y snap-lock, con ello se pretendía prescindir del uso de pernos, sin embargo el problema que se suscitó al momento de la experimentación fue que dicha unión no era desarmable, en sí funcionó perfectamente al no permitir la separación de los elementos al aplicarle una fuerza externa, sin embargo para nuestro pabellón su uso no era óptimo, por cuanto no permitía su desmontaje.

4.3.3.1.2. *Ensamble tipo 2(Imagen 5-24).*

Esta unión se propuso realizarla con abrazaderas de plástico en lugar de pernos para lograr una estructura más ligera, sin embargo presentó el mismo problema que el anterior, al no permitir el desmontaje. Así mismo existía cierto tipo de inestabilidad al aplicar una fuerza ocasionando un punto de ruptura.

4.3.3.1.3. *Ensamble tipo 3(Imagen 5-25).*

Éste ensamble es similar a las primeras uniones propuestas con el modelo, con la diferencia que ésta presenta el empalme de cola de milano, lo que impide cualquier movimiento; adquiriendo mayor rigidez con las pequeñas placas hechas del mismo material y los pernos que se utilizan, los cuales al usarse en menos número no representan mayor peso en la estructura.

Con este tipo de unión se logró obtener mayor facilidad y rapidez en el trabajo de montaje y desmontaje del modelo; este empalme incluso se puede funcionar con abrazaderas

de plástico, pues es el acoplamiento de las piezas lo que impide el quiebre en el centro de la unión.

“En el pasado, existieron muchas capas entre mis croquis y la edificación final y el espíritu del diseño podía perderse antes de que llegara a las manos del artesano. Me siento como si hubiera estado hablando en un idioma extranjero y, de pronto, el artesano me comprende. En este caso el ordenador no deshumaniza sino que interpreta”.

Frank O. Gehry

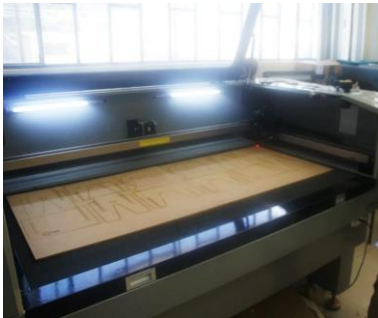


Imagen 4-26. Cortadora láser UTPL.

Fuente: Cortesía Armijos, Yuliana.



Imagen 4-27. Fresadora Yachay.

Fuente: Cortesía Valdiviezo, Marlon.

4.4. Experiencia conclusiva.

Para finalizar todo este proceso de experimentación y construcción, presentamos a continuación esta fase conclusiva de carácter abierto y flexible al juicio de los lectores, esto con el fin de permitir la generación de enfoques distintos pero no desvinculados de lo planteado en este trabajo de fin de titulación, con ello se puede lograr la continuidad de estos temas innovadores tanto en nuestra escuela como en la sociedad.

Los problemas que se detallan a continuación son algunas de las deficiencias que se presentaron al momento del modelado, fabricación y montaje del prototipo; cabe resaltar la importancia de tenerlos muy presente en el desarrollo de futuras propuestas de ésta índole, pues esto determina la eficacia y funcionalidad de un proyecto.

4.4.1. Problemas de análisis.

4.4.1.1. El problema de la disponibilidad de los recursos.

La disponibilidad de recursos tecnológicos, humanos y de conocimiento, a menudo constituye una determinante fundamental en la producción arquitectónica; por ello es necesario establecer una estrategia de acción a partir de los recursos disponibles; esto simultáneamente habilita y marca las pautas para la acción del arquitecto-diseñador frente a la problemática planteada; en nuestro caso la mesa de corte de la máquina CNC que se encuentra en el laboratorio (Imagen 5-26), tiene como dimensiones 1,20m x 0,60m; esto limita tanto el grosor del material a utilizar, así como la escala a trabajar, por ello el no poder disponer de una fresadora de corte (Imagen 5-27) para obtener los pórticos en una sola pieza, nos llevó a la utilización de



Imagen 4-28. Taller de corte particular en Loja.

Fuente: Cartuche J. & Correa J., 2014.

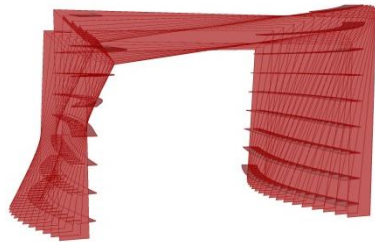
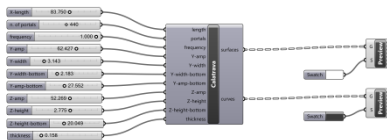


Imagen 4-29. Algoritmo base y Modelo final del Pabellón.

Fuente: Cartuche J. & Correa J., 2014.

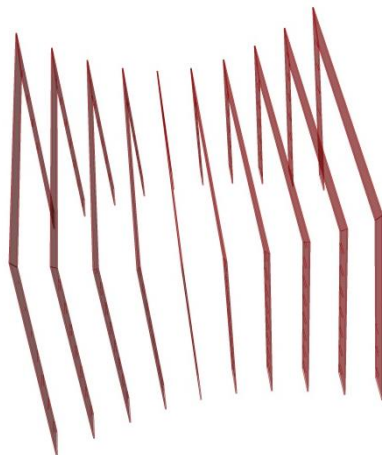


Imagen 4-30. Estructura inicial del prototipo.

Fuente: Cartuche J. & Correa J., 2014.

ensambles, que permitan la unión de los cuatro segmentos en que se dividió cada pórtico para su construcción.

Así mismo el no poder contar con la persona indicada para el manejo de la maquinaria CNC dentro del laboratorio, en primera instancia al inicio de la experimentación tuvimos que acudir a un taller particular (Imagen 5-28) que brinda servicios de corte CNC, el mismo, que aunque nos facilitó el trabajo de corte nos limitaba el uso de la maquinaria por el tiempo empleado.

4.4.1.2. El problema del modelado.

El disponer del recurso de un conocimiento básico en diseño paramétrico y fabricación digital, nos limitó en cuanto a la fase del modelado, pues se hace necesario para este tipo de proyectos tener conocimientos avanzados en este tipo de softwares así como en programación básica. Debido a ello para la elaboración virtual del modelo tomamos como sistema base un algoritmo ya creado; al cual le adicionamos ciertos parámetros de diseño y a través de tutoriales virtuales logramos obtener nuestro modelo final; por todo esto es necesario incluir en nuestra formación una especialización que permita la integración de las herramientas digitales CAD-CAM.

4.4.1.3. El problema de la estructura.

Estos nuevos procesos de diseño permite al arquitecto experimentar con formas complejas, sin embargo el problema surge al momento de solucionarlo estructuralmente, no es lo mismo que pre dimensionar la estructura de una vivienda; pues en el momento del modelado se deben ir tomando en cuenta todos los factores que pueden implicar una deformación en la estructura ya sea por agentes externos o peso propio de la estructura. Hoy en día existen ciertos softwares o plugins de Grasshopper que permiten evaluar los puntos débiles de

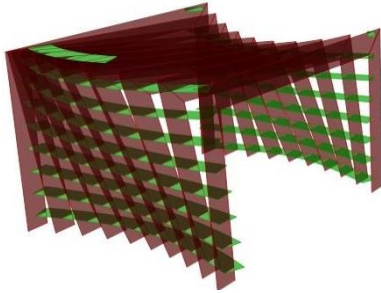


Imagen 4-31. Costillas horizontales como estructura secundaria.

Fuente: Cartuche J. & Correa J., 2014.

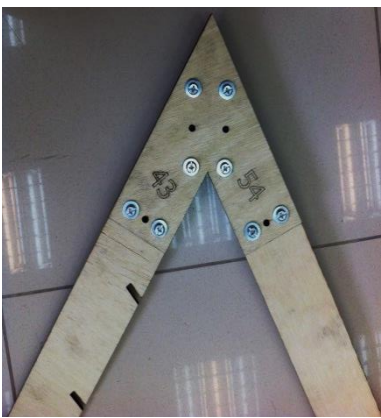


Imagen 4-32. Uniones empernadas en las esquinas de los pórticos.

Fuente: Cartuche J. & Correa J., 2014.

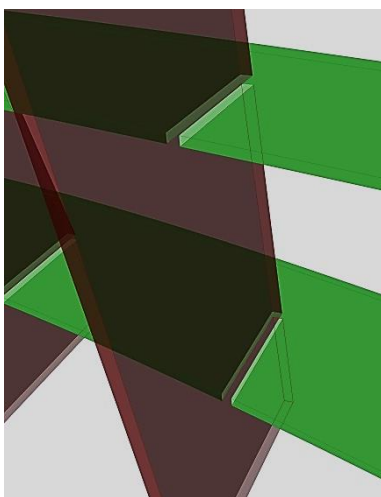


Imagen 4-33. Ranuras de encastre entre pórticos y costillas horizontales.

Fuente: Cartuche J. & Correa J., 2014.

una estructura y así corregirlos antes de la ejecución de la obra; sin embargo este desconocimiento en cuanto a las herramientas digitales, nos llevó a experimentar manualmente con varios prototipos en donde pudimos ir observando las carencias y deficiencias al momento del montaje de la estructura; y así resolver el desempeño estructural por pura experiencia empírica con el material.

4.4.1.4. El problema del material.

El recurso material no se ha presentado como un problema, en cuanto a la adquisición, sino más bien a su eficacia como elementos estructurales, por cuanto el MDF por su rigidez y composición con fibra corta no era apto para soportar grandes ángulos de flexión; es por ello que optamos por utilizar uniones empernadas que impidan la flexión de las esquinas, así como el uso de costillas horizontales que eviten el desplazamiento horizontal; dichas costillas se realizaron en el mismo material debido a dos razones: a que el encastre entre piezas del mismo material es más fácil y por ende se evita el desgaste del material; y por estética, puesto que al inicio de este trabajo de investigación se planteó la necesidad de crear un pabellón con funciones estético-estructurales.

4.4.1.5. El problema de la escala y del ensamble.

Estos problemas surgen cuando se trata de materializar el modelo computacional; pues si bien los patrones virtuales pueden ser producidos en cualquier tamaño, son las propiedades del material, el rendimiento estructural y los límites dimensionales de la maquinaria CNC, los que provocan que cada prototipo presenten diferentes defectos. Es así que en los prototipos de cartón la mayor dificultad que se presentó fue en cuanto al ensamble, donde las ranuras de encastre (Imagen 5-33) a pesar de que fueron cortadas en base al grosor del material, la flexibilidad de material provocó que éste ceda y por tanto el ajuste entre

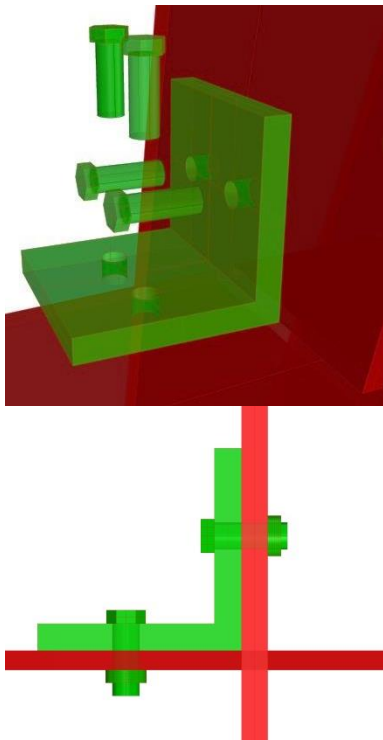


Imagen 4-34. Unión entre los pórticos y las costillas horizontales.

Fuente: Cartuche J. & Correa J., 2015.

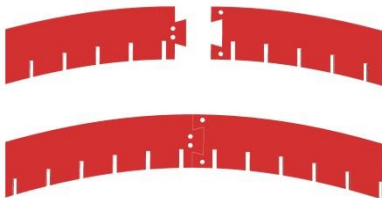


Imagen 4-35. Encastre de sistema puzzle entre tramos de costillas horizontales.

Fuente: Cartuche J. & Correa J., 2015.

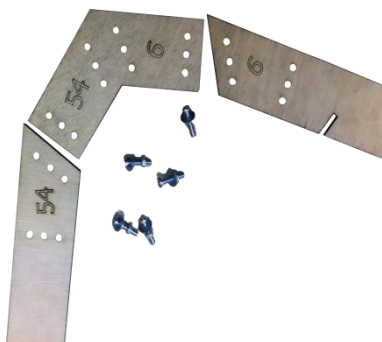


Imagen 4-36. Grabado del texto en piezas para ensamble.

Fuente: Cartuche J. & Correa J., 2014.

placas no resultó apretado, por ello fue prescindible usar aditivos para encolar las intersecciones y así evitar su inestabilidad.

En cuanto al modelo a escala 1/3, a pesar que el apretado ajuste entre placas no presentaba desgaste del material, en cambio creaba una tensión que conducía a la falla del material en zonas localizadas, especialmente donde la curvatura de las costillas horizontales era más prominente; por tal razón la solución más eficiente consistió en uniones apernadas mediante placas metálicas en forma de L (Imagen 5-34), situadas a un solo lado de las piezas verticales, éstas uniones no necesariamente se deben repetir en las intersecciones de cada pórtico con las costillas, suficiente colocarlas en los pórticos de los extremos y en dos del centro del pabellón, con eso se mantendría los perfiles en su posición correcta y se evitaría el desprendimiento de los waffles en ciertas zonas.

Así mismo al momento de fabricar los prototipos a escala 1/25 y 1/10, no hubo necesidad de dividir las costillas en varios elementos, puesto que las dimensiones de la máquina CNC permitieron obtener cada pórtico en una sola pieza; lo que no ocurrió en el modelo de mayor escala, para lo cual se tuvo que seccionar cada costilla en dos tramos y luego a través del diseño en sus extremos con un sistema tipo puzzle (Imagen 5-35), vincularlas proporcionando la continuidad.

Durante este proceso la interpretación de la información es clave para el armado y ensamble de los prototipos; el que las máquinas CNC permitan realizar un grabado de texto (Imagen 5-36) en las piezas, facilita entender la secuencia con que debe ser armado el prototipo. Sin embargo durante el proceso de construcción, tomó mucho tiempo ordenar las 252 piezas que conforman el pabellón. Posteriormente en

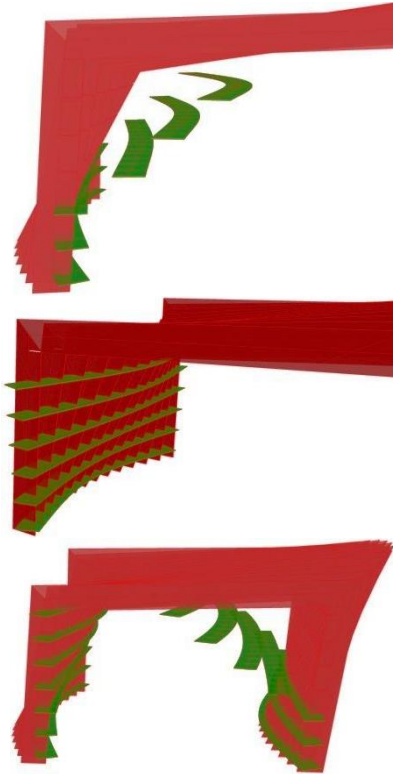


Imagen 4-37. Esquemas de secuencia del montaje de las costillas horizontales.

Fuente: Cartuche J. & Correa J., 2015.

el montaje de las piezas se tuvo dificultad al tratar de colocar simultáneamente las costillas horizontales (Imagen 5-37) a ambos lados de los pórticos, por lo que fue necesario realizarlo primero en uno de los lados y a continuación el otro, de esa manera se evita también forzar la estructura y prevenir daños en las uniones de la parte superior del modelo.

Cada prototipo presentó cierto grado de dificultad en el proceso de ensamble, por lo que se hizo prescindible la colaboración de compañeros durante el armado. El primer prototipo se armó entre tres personas, el segundo entre cuatro y el tercero entre seis personas respectivamente. La experiencia de lograr un trabajo en equipo, en general fue exitosa, sin embargo el hecho de que la mayoría, por ser únicamente ayudantes en el proceso de construcción no tenía conocimiento del procedimiento a seguir; he ahí la importancia de participar en estos proyectos desde la etapa de diseño hasta el montaje en obra.



Imagen 4-38. Trabajo en equipo en el proceso de montaje del modelo a escala.

Fuente: Cartuche J. & Correa J., 2014.

CONCLUSIONES

- La madera es considerada uno de los materiales del futuro; aporta ligereza y flexibilidad; permite la industrialización y por tanto la mejora de la calidad y la precisión; además permite desarrollar soluciones constructivas donde la madera se emplea tanto como estructura, como subestructura o acabado.
- La madera ha evolucionado extraordinariamente en cuanto a los productos derivados de la prefabricación; el abanico de materiales y su calidad están actualmente en la punta de la tecnología de la construcción.
- Los paneles prefabricados de madera han pasado a tener una nueva expresividad estética al ser conjugados con el diseño paramétrico, pues se ha logrado obtener formas de alta complejidad que no hubiesen sido posibles sin el uso del computador.
- El diseño paramétrico se ha adaptado a un abanico de aplicaciones que abarca diversas actividades que van desde la arquitectura hasta el diseño de joyería, sin tomar en cuenta las innumerables experimentaciones puramente formales que diseñadores a nivel mundial están desarrollando, tal es el caso del Muro Pixel.
- El parametricismo trae consigo un nuevo método de diseño que explota las posibilidades productivas de los ordenadores, beneficiando técnica y expresivamente a los diseñadores que dominan el manejo del software de modelado paramétrico.
- El parametricismo se extiende día a día por diversas ramas del diseño dirigiéndose a ser un estilo hegemónico. Siendo la arquitectura la más importante de estas ramas, nos sitúa a los arquitectos en la necesidad de indagar en todo el ambiente que le concierne a esta corriente.

- La propuesta va dirigida a la creación de un Pabellón-Pasarela, con características de: montaje y desmontaje, rápida y fácil ejecución; para lo cual el modelado paramétrico frente a otros procesos convencionales de diseño arquitectónico nos permite alterar determinadas propiedades del modelo en cualquier instancia de su desarrollo sin tener que modificar otras características.
- Una de las ventajas más significativas del diseño paramétrico consiste en permitir ajustes en los que el diseñador tiene un control total sobre la geometría.
- La fabricación digital dentro del ámbito arquitectónico se refiere básicamente a métodos de trabajo físico, como: corte, fundición, fresado, impresión; que provienen de entornos digitales. La cortadora láser es una máquina de alta precisión que nos permite cortar piezas de varios materiales a una elevada velocidad con un desperdicio de material despreciable.
- Los pabellones temporales tienen la característica de permitir al diseñador experimentar con nuevos materiales y procedimientos constructivos.
- El prototipado como parte de la experimentación es indispensable, pues nos permite visualizar en tiempo real nuestras ideas, además de permitirnos verificar su eficacia estructural.

RECOMENDACIONES

- Ningún avance tecnológico ha logrado trasladar -hasta el día de hoy- al boceto como la herramienta más poderosa del arquitecto, por lo que su importancia al momento de conceptualizar una obra arquitectónica continua siendo imperante.
- Incluir en la Titulación de Arquitectura al diseño paramétrico como uno de los contenidos elementales para la formación del estudiante debido sobre todo a que éste es un método de diseño distinto a los tradicionales, lo que beneficiaría al alumno en el desarrollo de su pensamiento creativo, inventivo y sistémico.
- Es fundamental para quien quiere llevar a cabo una labor de fabricación digital informarse sobre la disponibilidad de maquinarias CNC en el contexto de su localidad, pues la presencia o ausencia de éstas determinará los materiales a usar, dimensiones y formas.
- La manipulación y experimentación de algoritmos preestablecidos traerá consigo un entendimiento más profundo de las funciones específicas de los componentes con los que cuenta Grasshopper.
- La auto enseñanza es significativa para el manejo de software de diseño paramétrico y en internet encontramos una muy extensa oferta didáctica en forma de tutoriales, foros, videos, imágenes, que nos permiten aprender y aplicar sistemas según nuestros requerimientos; recomendamos como la mejor de las opciones a los foros donde se pueden realizar consultas a expertos en el modelado paramétrico y puntualmente el foro grasshopper3d.com/forum donde se puede consultar directamente al creador de Grasshopper 3D –David Rutten- nuestras interrogantes.
- De la gama de paneles prefabricados de madera recomendamos evitar el uso de tableros de láminas y tableros de partículas (plywood, OSB) debido a la

dificultad que presentan al momento del corte, empero el uso de tableros de fibras (MDF) permite un corte rápido y con mejor acabado.

- Para potencializar una idea se debe realizar la mayor cantidad de prototipos, pues ello permite ir modificando las falencias que presente el diseño en sí.
- En caso de requerir encajes entre las piezas resultantes del corte láser de un tablero prefabricado de madera, es fundamental añadir en el algoritmo un 8% a la medida del grosor del tablero seleccionado, así permitiremos la trabajabilidad entre las piezas sin que éstas pierdan rigidez al momento de encajarlas.

COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS

La experiencia lograda con la realización de esta tesis ha desvelado para nosotros un procedimiento innovador para desarrollar un nuevo método de diseño basado en el potencial tecnológico que encontramos a nuestro alcance. La fabricación digital ha respondido de forma satisfactoria al modelado paramétrico, evidenciándose en la precisión y minuciosidad del corte con maquinarias CNC, garantizando así la expresividad manifestada por nosotros en nuestro diseño. Es por esto que podemos afirmar que la hipótesis propuesta en esta tesis es positiva.

BIBLIOGRAFÍA

Libros:

- Fernández, S, Córdova, A & Cordero, J. Estadística Descriptiva (2da edición). ESIC Editorial. Madrid, España. 2002.
- Palz, N. y Thomsen, M. Architecture and stages of the experiences city. Hans Kiib Editorial. Copenhague, Dinamarca.
- Dollens, Dennis. De lo digital a lo analógico. Ed. Gustavo Gili. Barcelona, España. 2002.
- Fraile Mag. Arq. Marcelo. El nuevo paradigma contemporáneo. Del diseño Paramétrico a la morfogénesis digital. Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo – Universidad de Buenos Aires. Proyecto UBACyT (056) 2011-2014.

Páginas web:

- Molinare, A. 2011. ¿Qué es el diseño paramétrico? Obtenido de: <http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-118243/%C2%BFque-es-el-diseno-parametrico>
- Ramírez, D. 2010. Arquitectura paramétrica... el futuro del diseño arquitectónico? Obtenido de: <http://coomodo.blogspot.com/2010/11/arquitectura-parametricael-futuro-del.html>
- Alegsa, L. (s.f.). ¿Cuál es la definición de parámetro (programación)? Obtenido de: <http://www.alegsa.com.ar/Dic/parametro.php>
- Parámetro, (s.f). En Wikipedia. Recuperado el 4 de julio de 2014 de <http://es.wikipedia.org/wiki/Par%C3%A1metro>
- Vignote S., Martínez I. Tecnología de la Madera 3ra Edición. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 2006. Pág. 275. Disponible en: <http://books.google.es/books?id=JnsFcOqCzwC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- Muñoz, P. (2012). Morfología y Fabricación Digital: Termoformado y corte láser. Disponible en: <http://morfologiadigital.blogspot.com/2012/08/termoformado-y-corte-laser.html>

Artículos científicos:

- Cardoso, D. y Capdevila, R. (2008) Arquitectura, diseño y computación. *Anthropos, huellas del conocimiento*, No. 214. 137-141.

- Palz, Norbert (2013). Architecture and Stages of the Experience City: Computational Material, Rapid Prototyping of Knitted Structures. Royal Danish Academy of Fine Arts, School of Architecture, Copenhagen, Dinamarca.
- Pacheco, Luis Antonio. Arquitectura paramétrica aplicada en envolventes complejas en base a modelos de experimentación en el diseño arquitectónico. Revista de Arquitectura e Ingeniería, vol. 16, núm. 3, diciembre, 2012, pp. 1-1. Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería. Matanzas, Cuba.
- Ojeda, Juan Eduardo y Labarca Claudio. (2012). Arquitectura para armar. Publicación en ARQ (Santiago). Ej. 82, págs. 24-29.
- Cardoso Llach, Daniel y Caddevila Werning, Remei. (2009). Arquitectura, diseño y computación. Publicación DEARQ: Revista de Arquitectura de la Universidad de los Andes. Ej. 4, págs. 136-139.
- Bueno, Ernesto. (2008). Consideraciones y recursos para la concepción de la forma en la arquitectura de la era digital. Publicación en Pesquisa em Arquitetura e Construção. Vol. 1, ej. 3.
- Miotto bruscato, Underlea y GARCÍA Alvarado, Rodrigo. Muro-pixel: exploración digital de un sistema constructivo de placas entrelazadas. SIGRADI 2010 / Disrupción, modelación y construcción: Diálogos cambiantes
- García Alvarado, Rodrigo y Lyon Gottlieb, Arturo. De la Optimización Estructural Evolutiva al Diseño Paramétrico basado en desempeño; experiencias en plataformas integradas para estrategias de diseño multidisciplinares. XV Congreso de la Sociedad Iberoamericana de gráfica digital. SIGRADI 2011.
- Chiarella, Mauro. (2004). Superficies paramétricas y Arquitectura: conceptos, ideación y desarrollo. Congreso de la Sociedad Iberoamericana de gráfica digital. Vol. 8, págs. 393-395.

Revistas:

- García, R. y Lyon, A. (2012). Diseño Paramétrico en Arquitectura: método, técnicas y aplicaciones. Arquisur Revista, año 3, No. 3. Santiago, Chile.
- Madera/Revestimientos (1995). Monografías de arquitectura, tecnología y construcción. *Revista Tectónica 11*. Págs. 14-27.
- Arquitectura y Madera. Revista digital. Publicaciones Digitales Técnicas. Págs. 18-22. Disponible en : <http://www.arquitectura-madera.com/revistas/digital/04/#/1/>
- Briones L. Carolina. Diseño digital y manufactura artesanal, ejemplos de diseño paramétrico en Chile. Escuela de Arquitectura, Facultad de Arquitectura, Arte y

Diseño, Universidad Diego Pórtales, Chile. SIGRADI 2011. XV Congreso de la Sociedad Iberoamericana de gráfica digital.

- Del caño, Alfredo; DE LA CRUZ María Pilar y SOLANO Luis. Diseño, ingeniería, fabricación y ejecución asistidos por ordenador en la construcción: evolución y desafíos a futuro. Informes de la Construcción Vol. 59, 505, 53-71, enero-marzo 2007. ISSN: 0020-0883
- Erebitis Gallardo, Carlos y GARCÍA Alvarado, Rodrigo. Construcciones Digitales Revista del Centro de Investigación. Universidad La Salle, vol. 8(sup), núm. 29, enero-junio, 2008, pp. 13-18, Universidad La Salle México.

Tesis:

- Bruscato Portella. De lo digital en arquitectura. Tesis doctoral. ETSAB-UPC. 2006
- Gronda, María Luciana & Veizaga, Martin Walter. (2011). Fabricación Digital y Diseño Paramétrico. Potencialidad creativa con tecnologías mixtas para una producción arquitectónica ampliada. Tesis de grado para la obtención del título de Arquitecto. Facultad de Arquitectura, diseño y urbanismo. Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina.