

SISTEMA DE CUBIERTAS PARA ESPACIO PÚBLICO.

UN ACERCAMIENTO A PROCESOS Y HERRAMIENTAS DE DISEÑO PARAMETRICO.

Proyecto de Grado
Escuela de Arquitectura
Facultad de Artes Integradas
Universidad del Valle – Sede Cali

Cali, Colombia
Septiembre 2022

Autores
Avril Alejandra Figueroa Galindo
Diego Camilo Serna Cortes

Director
Rodrigo Vargas Peña



Agradecemos a nuestras familias y amigos quienes nos acompañaron y apoyaron durante todos estos años de carrera. También agradecemos especialmente a los profesores que guiaron y asesoraron nuestro proceso formativo, gracias por su entrega y dedicación a la educación y a la arquitectura.

CONTENIDO

RESUMEN	12
INTRODUCCIÓN	14
DISEÑO PARAMÉTRICO EN LA ARQUITECTURA.....	15
¿Qué es?	16
Surgimiento y desarrollo.	18
PRINCIPIOS DE DISEÑO PARAMÉTRICO	27
Geometría	29
Material.....	33
Desempeño	38
PENSAMIENTO PARAMÉTRICO Y ALGORÍTMICO	42
Herramientas digitales.....	47
Herramientas de fabricación digital.	49
CASO DE ESTUDIO	53
Planteamiento del problema.	54
Objetivos	54
Metodología de trabajo.....	55
EXPLORACIÓN INSTRUMENTAL	58
Banca.....	60
Generación de entramado estructural.	60

Subdivisión con LunchBox.	61
Exploración Tween y Blend - Pufferfish.....	62
Subdivisión Voronoi.	62
Ejercicio clase 1	63
Ejercicio clase 2	63
Ejercicio clase 3	63
Ejercicio clase 4	63
Ejercicio clase 5	64
Series + Rangos	65
Flor Mamóni.....	66
Sistema reticular espacial	67
Sistema porticado en Bambú	69
Wind Pavilion, CAUP, Tongji University.....	71
Pabellón rampa en espiral.....	72
Torre	73
Parametrización e Iteración de superficies bajo simulaciones de radiación solar	74
SISTEMA DE CUBIERTAS PARA ESPACIO PÚBLICO.....	77
Base conceptual.....	78
Proceso previo	79
La rejilla y el módulo base.	79

Modulaciones y variaciones	80
El panel.....	81
Zonificación del tipo de panel.....	87
Estructura.....	89
Los apoyos.....	90
Algoritmo de adaptabilidad	91
Análisis solar	91
Algoritmo Final	93
El sitio.....	100
Intenciones de diseño	102
Variables para el diseño de la cubierta	104
Visualización 3D - Galería La Nave.....	109
Visualización 3D – Cancha Canasteros.....	111
CONCLUSIONES.....	112
BIBLIOGRAFIA.....	115
ANEXOS.....	117

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-Reproducción facsímil de la maqueta poli funicular de la Colonia Güell. Fuente: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sagrada_Fam%C3%A9lia_Museu_(maqueta_Col%C3%B2nia_G%C3%BCell).jpg	19
Ilustración 2 - Buckminster Fuller en su clase del Black Mountain College, verano de 1948. Hazel Larsen Archer. Fuente: https://espacio.fundaciontelefonica.com/evento/curiosidad- radical-en-la-orbita-de-buckminster-fuller/	20
Ilustración 3 - Pabellón Montreal, modelo de medición. Fuente: Frei Otto: a life of research, construction and inspiration	21
Ilustración 4 - Disney Concert Hall. Fuente: https://arquitecturaviva.com/obras/auditorio-walt-disney-los- angeles#lg=1&slide=0	22
Ilustración 5 - Terminal Internacional de Waterloo.....	23
Ilustración 6 – Modelo paramétrico por Lars Hesselgren. Modelo paramétrico original de la Terminal Internacional, Estación de Waterloo, London, UK, 1980s por Lars Hesselgren mientras trabaja en YRM Anthony Hunt Associates para Grimshaw usando I/EMS software de modelado mecánico. Fuente: INSIDE SMARTGEOMETRY.	23
Ilustración 7 -City Hall. Londres, UK, 2002. Foster. Fuente: https://www.fosterandpartners.com/projects/city-hall/#gallery	24

Ilustración 8 - Foster + Partners, City Hall, Londres, UK, 2002. Plano de la solución del acristalamiento de la envolvente. Fuente: INSIDE SMARTGEOMETRY.....	24
Ilustración 9 - Línea de tiempo historia del diseño computacional. Traducción propia. Tomada de: https://parametricmonkey.com/2018/06/08/a-brief-history-of- comtation/	26
Ilustración 10 -Diseño de exploraciones por SG 2004, Universidad de Waterloo, Ontario, Canadá. Fuente: INSIDE SMARTGEOMETRY – pág. 26.....	27
Ilustración 11 - Subdivisión fractal. Fuente: https://2.bp.blogspot.com/- iOxZQ6EvynM/WhfjplXDYjI/AAAAAAAAABIE/Inx03geea24GPdhT pGWZS90TTPkHtgBgCLcBGAs/s1600/triangulo%2Bsierpinski .gif	30
Ilustración 12 - Diagrama Voronoi. Fuente: https://setienymarincursos.com/wp- content/uploads/2021/03/construccion_voronoi-min.png	30
Ilustración 13 - Estructura natural burbujas de jabón. Fuente: https://samjshah.files.wordpress.com/2008/08/rd_love_bubble s.jpg	31
Ilustración 14 - Estructura metálica The Water Cube. Fuente: https://arquidocs.files.wordpress.com/2008/08/378473.jpg .	31
Ilustración 15 - Vista exterior The Water Cube. Fuente: https://w.litour.cn/img/beijing/water-cube/water-cube-1.jpg .	31
Ilustración 16 - Estructura Main Station Stuttgart. Fuente: https://www.wernersobek.com/wp-	

content/uploads/resized/2020/05/S21-in-Stuttgart-Kelchstutzen-1-1920x0-c-default.jpg	32
Ilustración 17 - Experimentos de Frei Otto con películas de jabón. Fuente: https://www.researchgate.net/publication/318103333/figure/fig2/AS:511842612191232@1499044196112/Frei-Otto-Experimenting-with-Soap-Bubbles.png	32
Ilustración 18 - Experimentación con modelos físicos de estructuras a tracción. Fuente: https://www.architecturalrecord.com/ext/resources/Issues/2021/08-August/Main-Station-Stuttgart-08.jpg	32
Ilustración 19 - Pabellones de investigación ICD/ITKE. Fuente: Experimental Buildings - ITKE University of Stuttgart (min 0:26)	33
Ilustración 20 - Pabellón de Investigación ICD/TKE 2010. Fuente: http://www.achimmenges.net/?p=4443	35
Ilustración 21 - Pruebas de sometimiento a tensión de lámina de madera contrachapada. Pabellón de Investigación ICD/ITKE 2010. Fuente: http://www.achimmenges.net/?p=4443	35
Ilustración 22 - Visualización comportamiento del sistema a esfuerzos de tensión y compresión. Pabellón de Investigación ICD/TKE 2010. Fuente: http://www.achimmenges.net/?p=4443	35
Ilustración 23 - Modelo digital 1: los motores de simulación de física de partículas de resorte se utilizan como herramienta de búsqueda de forma de geometría de equilibrio. Fuente: (Crolla, 2017). pág. 5	36

Ilustración 24 - Pabellón de Bambú ZCB / Escuela de Arquitectura de la Universidad China de Hong Kong. Fuente: https://images.adsttc.com/media/images/5837/dbfe/e58e/ce93/1c00/0094/slideshow/ZCBBambooPavilion_04.jpg?1480055801	36
Ilustración 25 - Relación de las herramientas digitales con el proceso de fabricación de biomateriales. Diseño estructural de biopolímero derivado de crustáceos. Diseño del Pabellón del Océano. Fuente: (Mogas-Soldevila et al., 2015). Pág. 7	37
Ilustración 26 - Ejercicio de aplicación de algoritmo dedicado al mejoramiento de las condiciones del espacio comparando diferentes configuraciones de planta y proyectos de diferentes magnitudes. Grupo de investigación ZH AI (Analytics and Insights). Zaha Hadid Archit	40
Ilustración 27 - Análisis de dinámica de fluidos computacional por ARUP. Flujos de aire y presión positiva y negativa. Al Raha Development. Abu Dabi. Foster + Partners. Fuente: (J. Burry & Burry, 2010). pag. 151	40
Ilustración 28 - vista sur oeste de la propuesta de proyecto. Al Raha Development. Abu Dabi. Foster + Partners. Fuente: http://1.bp.blogspot.com/_Odu7eqW6gAY/Sb-PjSC2zVI/AAAAAAAAGK4/XwYHQdXZK0w/s1600-h/Al+Raha+Beach+Development+by+Foster+%2B+Partners.jpg	40
Ilustración 29 - Variación simple de una cúpula. Fuente: (Pottman, 2007). Pág. 135	45

Ilustración 30 - Esquema proceso paramétrico base. Fuente: ilustración propia.	46
Ilustración 31 - Manual Payne a Grasshopper. Tomada de https://modelab.gitbooks.io/grasshopper-primer/content/1-foundations/1-2/images/1-2/1-2_001-anatomy-of-definition.png	47
Ilustración 32 - Ejemplo manual Payne a Grasshopper vs programación tradicional de cómo hacer una curva. Tomada de https://modelab.gitbooks.io/grasshopper-primer/content/0-about/images/python-and-gh-sine.png	48
Ilustración 33 - Resultados de desempeño climático lady bug https://i0.wp.com/parametricmonkey.com/wp-content/uploads/2016/03/ladybug_diagram_1600x1150.jpg?resize=1170%2C841&ssl=1	48
Ilustración 34 - Estrategia de triangulación. DG Bank Building, Berlin, Holanda. Fuente: https://www.dreamstime.com/photos-images/dz-bank.html	50
Ilustración 35 - Estrategia de superficie reglada. Water Pavilion, Neeltje Jans, Países Bajos. Fuente: https://arquitecturaviva.com/obras/pabellon-h2o-neeltje-jans	50
Ilustración 36 - Proceso de fabricación sustractivo. Remoción de material mediante el fresado. Fuente: https://tresde.pe/manufactura-fabricacion-aditiva-vs-fabricacion-sustractiva/	50
Ilustración 37 - Catedral de San Juan el Divino, Nueva York, Estados Unidos. Fuente:	

https://elpoderdelarte1.blogspot.com/2017/01/la-catedral-san-juan-el-divino-de-nueva.html	51
Ilustración 38 - Columnas Iglesia Sagrada Familia, Barcelona, España. Fuente: https://sagradafamilia-tickets.com/es/blog-sagrada-familia/las-columnas-de-la-sagrada-familia/	51
Ilustración 39 - Fabricación aditiva. Adición de diversas capas de hormigón para la formación de paredes. Fuente: https://www.cdt.cl/micob-y-su-tecnologia-de-impresion-3d-de-hormigon-aplicada-al-ambito-civil-y-militar/	51
Ilustración 40 - Pabellón de exhibición de la BMW, diseñado por ABB Architekten. Fuente: https://vitruvius.com.br/media/images/magazines/grid_9/eaac1943293a_digital00.jpg	52
Ilustración 41 - Diagrama ruta exploración instrumental. Fuente: ilustración propia.....	58
Ilustración 42 – Paso a paso. Ejercicio banca. Fuente: ilustración propia.....	60
Ilustración 43 - Ejercicio entramado estructural. Fuente: Ilustración propia.	60
Ilustración 44 – Tres variaciones del entramado estructural. Fuente: Ilustración propia.....	60
Ilustración 45 - Subdivisión de una superficie con LunchBox. Fuente: Ilustración propia.....	61
Ilustración 46 - Geometría referenciada + Malla tridimensional - Resultado final. Fuente: ilustración propia.....	61
Ilustración 47 - Tres tipos de generación de elementos intermedios. Fuente: ilustración propia.	62

Ilustración 48 - Elementos intermedios con superficies. Fuente: ilustración propia.	62
Ilustración 49 - Subdivisión de superficie + dos variaciones del ejercicio. Fuente: ilustración propia.	62
Ilustración 50 - Subdivisión Voronoi.	62
Ilustración 51 - Ejercicio generación de esferas sobre malla de puntos + dos variaciones.	63
Ilustración 52 - Paso a paso ejercicio clase 2. Fuente: ilustración propia.	63
Ilustración 53 – Ejercicio generación de círculos de radio variable. Fuente: Ilustración propia.	63
Ilustración 54 - Generación de superficies regladas. Fuente: ilustración propia.	63
Ilustración 55 – Superficie + Subdivisión + Clasificación. Fuente: ilustración propia.	64
Ilustración 56 - Subdivisión + Escalado + Resultado final. Fuente: Ilustración propia.	64
Ilustración 57 - Caja de morfología + Referenciación de geometría + Resultado final.	64
Ilustración 58 Fuente: ilustración propia.	65
Ilustración 59 – Fuente: ilustración propia.	65
Ilustración 60 - Fuente: ilustración propia.	65
Ilustración 61 - Construcción de torre en espiral + una variación de los parámetros.	65
Ilustración 62 – Construcción conceptual en Rhino. Flor Mamoni. Fuente: ilustración propia.	66

Ilustración 63 - Paso a paso en Grasshopper. Flor Mamoni. Fuente: Ilustración propia.	66
Ilustración 64 – Variaciones finales. Flor Mamoni. Fuente: ilustración propia.	66
Ilustración 65 - Practica constructiva. Sistema reticular espacial. Fuente: Ilustración propia.	67
Ilustración 66 - Construcción líneas y puntos + Dos variaciones de amplitud de la cubierta. Fuente: Ilustración propia.	67
Ilustración 67 – Tres variaciones del polígono base. Fuente: ilustración propia.	67
Ilustración 68 - Análisis solar + Interfaz de Galápagos. Fuente: ilustración propia.	68
Ilustración 69 - Tres resultados arrojados por el componente Galápagos. Fuente: Ilustración propia.	68
Ilustración 70 -Practica constructiva curso CD - Pórtico en bambú. Fuente: Ilustración propia.	69
Ilustración 71 - Paso a paso construcción de columna compuesta. Fuente: ilustración propia.	69
Ilustración 72 - Paso a paso construcción pórtico simple. Fuente: Ilustración propia.	70
Ilustración 73 - Variación de conexión intermedia + variación de la altura de la cercha. Fuente: ilustración propia.	70
Ilustración 74 - Variaciones sistema porticado en bambú. Fuente: Ilustración propia.	70
Ilustración 75 - Imagen exterior Wind Pavilion. Fuente: Archdaily	71

Ilustración 76 - Paso a paso construcción digital - Wind Pavilion.	71
Ilustración 77 - Variaciones del proyecto Wind Pavilion. Fuente: Ilustración propia.	71
Ilustración 78. Construcción de rampa + modelo base. Fuente: ilustración propia.	72
Ilustración 79 – Resultado final Pabellón rampa en espiral. Fuente: ilustración propia.....	72
Ilustración 80 - Elementos de la torre: pilares + losas + envolvente.....	73
Ilustración 81 - Panel referenciado para la envolvente. Fuente: ilustración propia.	73
Ilustración 82 - Resultado final: i) estructura ii) envolvente. Fuente: ilustración propia.....	73
Ilustración 83 - Simulación de radiación solar + teselado piramidal de superficies. Herramienta Grasshopper + LB Incident Radiation + WBStellate. Archivo anexo: SimulacionSolar.gh - SimulacionSolar.3dm	74
Ilustración 84 - Simulación de radiación solar + perforación de superficies. Herramienta Grasshopper + LB Incident Radiation. Archivo anexo: SimulacionSolar.gh - SimulacionSolar.3dm.....	75
Ilustración 85 - Simulación físicas sobre una curva. Fuente: ilustración propia.	75
Ilustración 86 - Simulación físicas sobre una superficie. Fuente: ilustración propia.	76
Ilustración 87 - Ejercicio mallas. Fuente: ilustración propia.	76

Ilustración 88 - Esquema conceptual modulación. Fuente: ilustración propia.....	78
Ilustración 89 - Esquema conceptual. Fuente: Ilustración propia.	78
Ilustración 90 - Esquema conceptual adaptabilidad.	78
Ilustración 91 - – La rejilla y el módulo base – Opción 1. Fuente: ilustración propia.....	79
Ilustración 92 – La rejilla y el módulo base – Opción 2. Fuente: ilustración propia.....	80
Ilustración 93 – La rejilla y el módulo base – Opción 3. Fuente: Ilustración propia.	80
Ilustración 94 – El panel – Opción 1.1	82
Ilustración 95 – Modulaciones y variaciones.....	82
Ilustración 96 -El panel – Opción 1.2.....	83
Ilustración 97 – El panel – Opción 2.1	83
Ilustración 98 – El panel – Opción 2.1	84
Ilustración 99 – Exploración 3. Panel referenciado + iteración con patrón de selección. Fuente: ilustración propia.	85
Ilustración 100 - Zoom – Exploración panel 1 y panel 2.. Fuente: ilustración propia.....	85
Ilustración 101 – Exploración 4. Paso a paso maqueta física del panel. Fuente: ilustración propia.	86
Ilustración 102 - Exploración 4. Cuatro variaciones del panel. Fuente: ilustración propia.....	86
Ilustración 103 - Exploración 4. Pliegues del panel. Fuente: ilustración propia.....	87

Ilustración 104 - Exploración 4. Variaciones referenciadas sobre la superficie.	87
Ilustración 105 - Algoritmo para la zonificación los módulos..	88
Ilustración 106 – Exploración de vigas con Karamba. Fuente: ilustración propia.	89
Ilustración 107 – Exploración de vigas en celosía con LunchBox. Fuente: ilustración propia.....	89
Ilustración 108 - Exploración vigas desde Grasshopper. Fuente: ilustración propia.	90
Ilustración 109 - Exploración apoyos compuestos + adaptabilidad. Fuente: ilustración propia.	90
Ilustración 110 - Exploración de apoyos simples + adaptabilidad. Fuente: ilustración propia.	90
Ilustración 111 - Esquema proceso previo. Fuente: ilustración propia.....	92
Ilustración 112 - Esquema subdivisión de superficie. Fuente: ilustración propia.	93
Ilustración 113- Perfil área a definir sobre rejilla. Fuente: ilustración propia.	93
Ilustración 114 - Zonificación de paneles. Fuente: ilustración propia.....	94
Ilustración 115 - Panel base. Fuente: ilustración propia.....	94
Ilustración 116 - Iteración del panel sobre la superficie. Fuente: ilustración propia.	95
Ilustración 117 - Estructura principal. Fuente: ilustración propia.	95

Ilustración 118 - Detalle unión columna-vigas. Fuente: ilustración propia.....	96
Ilustración 119 - Explosionada exploración final. Fuente: ilustración propia.....	96
Ilustración 120 - Despiece panel. Lamina perforada. Fuente: ilustración propia.....	97
Ilustración 121 - Despiece estructura principal - Perfil metálico. Fuente: ilustración propia.....	97
Ilustración 122 - Despiece soporte panel - Perfil metálico. Fuente: ilustración propia.....	97
Ilustración 123 - Lista de cantidades. Fuente: ilustración propia.	98
Ilustración 124 -Esquema Sistema de cubiertas. Fuente: ilustración propia.....	99
Ilustración 125 - Santiago de Cali. Fuente: Ilustración propia.	100
Ilustración 126 -Comuna 20 – Siloé. Fuente: Ilustración propia.	100
Ilustración 127 - Lotes de intervención.....	100
Ilustración 128 – Galería La Nave. Fuente: ilustración propia.	101
Ilustración 129 - Cancha Canasteros. Fuente: ilustración propia.	101
Ilustración 130 - Visibilizar y conectar. Fuente: ilustración propia.	102
Ilustración 131 - Conectar. Fuente: ilustración propia.	102
Ilustración 132 - Conservar. Fuente: ilustración propia.	103

Ilustración 133 - Adaptar.....	103
Ilustración 134 - Renovar. Fuente: ilustración propia.....	103
Ilustración 135 - Paramentar y liberar. Fuente: ilustración propia.....	104
Ilustración 136 - Contener.	104
Ilustración 137 - Perímetro cubierta - La Nave. Fuente: ilustración propia.	104
Ilustración 138 -Perímetro cubierta - Canasteros. Fuente: ilustración propia.	104
Ilustración 139 - Zonificación La Nave.	104
Ilustración 140 - Zonificación Canasteros. Fuente: ilustración propia.....	104
Ilustración 141 - Plano base Canasteros. Fuente: ilustración propia.....	104
Ilustración 142 - Plano base La Nave.....	104
Ilustración 143 -Planta Galería La Nave. Fuente: ilustración propia.....	105
Ilustración 144 - Ilustración 99 -Planta de cubiertas Galería La Nave. Fuente: ilustración propia.....	106
Ilustración 145 - Planta Cancha Canasteros. Fuente: ilustración propia.....	107
Ilustración 146 - Planta de cubierta Cancha Canasteros. Fuente: ilustración propia.	108
Ilustración 147 - Render 1 - Galería La Nave. Fuente: ilustración propia.....	109
Ilustración 148 - Render 2 - Galería La Nave. Fuente: ilustración propia.....	110

Ilustración 149 - Render 3 - Galería La Nave. Fuente: ilustración propia.	110
Ilustración 150 – Render 1 - Cancha Canasteros. Fuente: ilustración propia.....	111
Ilustración 151 - Render 2 - Cancha Canasteros. Fuente: ilustración propia.....	112
Ilustración 152 - Render 3 - Cancha Canasteros. Fuente: ilustración propia.....	112
Ilustración 153 - QR 360. Fuente: Contenido propio.....	112

RESUMEN

El uso de herramientas digitales ha generado diversos beneficios tecnológicos que han contribuido al diario vivir. Desde aplicaciones a la salud, logrando aumentos en la esperanza de vida, hasta el amplio uso de diversas aplicaciones en teléfonos inteligentes que han facilitado considerablemente la realización de diversas tareas. Estas herramientas digitales han aportado al desarrollo del diseño por medio de la implementación de softwares que han ampliado el campo de investigación de la forma y han optimizado los procesos de diseño arquitectónico, como es el caso de los softwares para el diseño paramétrico y algorítmico. En este contexto, el proyecto a continuación, actúa como un espacio para el acercamiento y la exploración de procesos y herramientas digitales paramétricas. Para esto, se abarca desde lo teórico (la historia y los conceptos) hasta lo práctico (exploraciones instrumentales). Y se sintetiza la experimentación en el desarrollo de un sistema de cubiertas para espacio público, con el objetivo de comprender las implicaciones de los procesos y herramientas paramétricas dentro del proceso de diseño arquitectónico.

Palabras clave: Arquitectura, diseño paramétrico, diseño algorítmico, proceso paramétrico, herramientas digitales, sistema de cubiertas.

INTRODUCCIÓN

En las últimas tres décadas, el avance tecnológico ha impulsado con rapidez el desarrollo de herramientas digitales que han ampliado la manera de pensar, diseñar, proyectar y construir la arquitectura. Si bien los primeros desarrollos tecnológicos dieron como resultado herramientas de dibujo y modelado digital 2D y 3D con procesos similares al dibujo analógico, con el tiempo se ha llegado a desarrollos más complejos como las herramientas de diseño paramétrico, algorítmico y la fabricación digital, que implican una participación más activa de los medios digitales en los procesos de diseño así como procesos y modelos más colaborativos e interdisciplinarios que amplían el campo de investigación arquitectónica (Vargas, n.d.; Wintour, 2018).

El diseño paramétrico apoyado en herramientas digitales parte del diseño de un sistema coordinado de partes e instrucciones que permite el procesamiento de datos para la generación de una geometría, este proceso paramétrico se caracteriza por posibilitar la generación y visualización de un mayor número de exploraciones en tiempo real del objeto construido permitiendo transformar, adaptar y optimizar una geometría a condiciones específicas de diseño (Woodbury, 2010). Estos procesos y herramientas toman como base aquellas propiedades que afectan o modelan la forma final del proyecto como el material, la geometría, el contexto y el programa (Fitch, 1980).

Bajo este contexto, se abordará este proyecto de grado como una oportunidad para aprender más sobre el desarrollo e implicaciones que tienen los medios digitales, especialmente aquellos enfocados en el diseño paramétrico, dentro de un proceso de diseño arquitectónico. Abarcando el aspecto teórico (los conceptos y la historia) que acompaña el proceso paramétrico digital, así como el aspecto práctico para comprender, a partir de la exploración, la lógica de pensamiento y las posibilidades formales que permiten estas herramientas de diseño. Asimismo, dentro del proceso de exploración, se plantea como laboratorio de experimentación, el desarrollo de un sistema de cubiertas para espacio público. Proyecto que actúa como medio de exploración de los elementos, conceptos y herramientas del diseño paramétrico digital.

DISEÑO PARAMÉTRICO EN LA ARQUITECTURA.

¿Qué es?

El diseño computacional consiste en una serie de procesos basados en la creación de modelos y sistemas dinámicos asistidos por medios digitales que permiten la generación, el análisis y la visualización de formas arquitectónicas e incluso la fabricación y ejecución en obra del proyecto (A. Menges, 2016). Según Llópiz, el diseño computacional posee tres categorías principales que derivan del nivel de participación que poseen los medios digitales dentro del proceso de diseño; así encontramos: el modelado 3D, el modelado paramétrico y el diseño algorítmico (Llópiz, 2018).

El modelado 3D hace referencia a la construcción de una maqueta digital del proyecto mediante un proceso convencional de modelado en el cual el modelo final es un objeto único y estático que conlleva a procesos de edición extensos en casos de requerir una variación de la forma. En este caso, el proceso de diseño es llevado a cabo por el arquitecto y los medios digitales actúan únicamente como un medio de visualización y representación del objeto (Vargas, n.d.).

Por otro lado, el modelado paramétrico es una metodología basada en un sistema de relaciones algorítmicas que parte de la creación de un modelo dinámico y mutable basado en la formulación de una serie de condiciones y restricciones que actúan como parámetros de relación entre las partes y permiten la variabilidad del sistema, así, la modificación de estos

parámetros permite generar una mayor cantidad de exploraciones en tiempo real del modelo y le permite al diseñador observar y analizar cada una de las variables antes de llegar a definir una forma final (Llópiz, 2018).

El diseño algorítmico, corresponde a un proceso netamente generativo, al igual que en el modelado paramétrico se formulan unos parámetros que actúan como base para la generación de la forma, pero en este caso el sistema produce de manera sistemática todas las iteraciones deseadas, luego cada variable es sometida de nuevo a un proceso de evaluación digital que acota los resultados obtenidos y selecciona las iteraciones que mejor respondan a las reglas y parámetros introducidos. Este proceso de diseño se asimila a un proceso de selección natural, donde el objeto final, producido por la máquina, es el que mejor se adapta a los parámetros y deja en segundo plano todas las demás iteraciones generadas. Se puede decir entonces que en esta categoría las herramientas digitales asumen una mayor participación en la definición de la geometría final al acotar de manera autónoma las geometrías de acuerdo a los parámetros introducidos por el diseñador (Llópiz, 2018).

Es posible evidenciar cómo dentro de un proceso de diseño computacional los medios digitales dejan poco a poco su carácter único como herramientas de dibujo y representación (CAD) y pasan a tener una participación más activa en los procesos de diseño y generación de geometrías ya que si bien

en un inicio los medios digitales actuaban como herramientas de transcripción del dibujo físico al dibujo digital similar a un proceso de diseño analógico, ahora el software tiene mayor participación en el proceso de diseño a partir de la variación formal de proyecto mediante procesos algorítmicos y generativos (A. Menges, 2011), es decir que la parametrización de la forma arquitectónica que entiende el proyecto como un sistema de partes bajo conceptos geométricos, espaciales y materiales permite diseñador explorar una mayor cantidad de variaciones generadas dentro de un entorno digital.

La evolución de la tecnología y los medios digitales como herramientas de diseño apoyados en lenguajes de programación cumple un papel importante en el desarrollo de estas metodologías y en el avance de la experimentación e investigación del objeto arquitectónico. Estos procesos experimentales están apoyados en la utilización de algoritmos y bases de datos que simulan desarrollos geométricos, comportamientos físicos, mecánicos y de desempeño lo que permite ir más allá de la búsqueda de una forma desde un punto de vista estético y profundiza en la geometría, el material y el desempeño relacionados a temas de eficiencia y adaptabilidad del proyecto arquitectónico.

En este sentido la aplicación de un proceso paramétrico digital en un proceso de diseño arquitectónico permite expandir las posibilidades de experimentación de la forma desde el

desarrollo de una idea generatriz hasta la construcción del objeto mediante una lógica de condiciones y restricciones, este proceso permite tener mayor control de las partes que componen el sistema, permite ir y volver sobre los parámetros establecidos modificando constantemente los elementos del sistema sin necesidad de reconstruir en cada exploración la totalidad del proyecto, además, el manejo de bases de datos de información facilita la experimentación y transformación de la forma bajo conceptos relacionados a la geometría, el material y el desempeño físico, climático y programático en pro de lograr una relación más sólida de estos factores con la geometría propuesta.

Se puede decir entonces que el diseño computacional busca lograr la optimización de la forma a partir de un proceso que entiende el proyecto como un objeto dinámico, un sistema de partes en el cual la variación coordinada de sus elementos acerca al diseñador a encontrar la mejor solución a un problema planteado (geométrico, espacial, material...) y facilita y agiliza por medio de las herramientas digitales, el proceso de exploración y visualización del proyecto.

Surgimiento y desarrollo.

Los modelos paramétricos como metodología de diseño se han desarrollado como medios de investigación de eficiencia energética formal y material, es decir, la búsqueda de nuevas formas y estructuras arquitectónicas que impliquen la menor cantidad posible de material y tiempo en su construcción y la reducción en el uso de instalaciones para el mejoramiento climático del espacio. Estos modelos paramétricos se desarrollaron principalmente a partir de la imitación de estructuras y formas naturales, las cuales eran analizadas desde un punto de vista geométrico y físico-matemático antes de poder traducirlo a modelos aplicables a la arquitectura. La observación de lo natural es desde entonces un tema clave pues se considera que es en estas dinámicas donde se encuentra la mayor eficiencia energética formal como parte del resultado de un proceso evolutivo natural.

Los primeros procesos de diseño basados en una metodología paramétrica se desarrollaron a partir del diseño de maquetas físicas construidas a diferentes escalas, estas maquetas funcionaban como modelos dinámicos donde la modificación manual de una de sus partes generaba un cambio en todo el sistema proporcionando una variabilidad de resultados de manera inmediata. Estos procesos de transformación directa del modelo facilitaban la observación de los comportamientos de las geometrías y los materiales permitiendo su posterior

análisis a través de conceptos físicos, mecánicos y matemáticos (J. Burry & Burry, 2010).

Gaudí fue uno de los primeros arquitectos en desarrollar propuestas basadas en modelos paramétricos. Su técnica de investigación se basó en la experimentación de un sistema material para el cálculo de la forma (Makert & Alves, 2016) con los cuales exploró principalmente la construcción de curvas catenarias paramétricas y paraboloides hiperbólicos paramétricos de manera que mediante variaciones de cargas en las maquetas se pudieran generar varias versiones de un mismo sistema, las cuales podían ser observadas y comparadas antes de llegar a definir una forma final. La maqueta realizada para la iglesia de la Colonia Güell Ilustración 1 es uno de los ejercicios de modelado paramétrico con el cual Gaudí buscaba encontrar el estado de compresión pura para la construcción en piedra a partir de la experimentación sobre un modelo invertido de cables que simulaba la forma real del proyecto, esto le permitía generar diferentes esfuerzos a tensión sobre el sistema para analizar las deformaciones de los cables y posteriormente traducir la geometría generada al diseño de las columnas del proyecto (Makert & Alves, 2016) dando como resultado una estructura eficiente desde la composición geométrica de sus elementos que permiten una distribución adecuada de cargas como también del material que aprovecha al máximo su resistencia a esfuerzos de compresión.



Ilustración 1-Reproducción facsímil de la maqueta poli funicular de la Colonia Güell. Fuente: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sagrada_Fam%C3%ADlia._Museu_\(maqueta_Col%C3%B2nia_G%C3%BCell\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sagrada_Fam%C3%ADlia._Museu_(maqueta_Col%C3%B2nia_G%C3%BCell).jpg)

Por otro lado, Buckminster Fuller (Fraile et al., n.d.) condensa un extenso trabajo basado en la arquitectura sostenible (optimización y reducción del uso de materiales en la construcción de proyectos) a través del concepto de efemeralización que se traduce en encontrar la mayor eficiencia de un producto o la mejor respuesta a un problema utilizando el menor esfuerzo requerido para solucionarlo, para esto comenzó a realizar una investigación sobre la eficiencia energética en las geometrías y los materiales de manera que se logre reducir la cantidad de recursos empleado en las estructuras; como metodología de trabajo utilizó la construcción de modelos

físicos que le permitían analizar la transmisión de fuerzas y la resistencia máxima a esfuerzos del material respecto a su geometría, estos modelos actuaban como un sistema coordinado de partes donde el trabajo conjunto de sus elementos permitía el funcionamiento y la eficiencia de las estructuras. Como resultado de sus exploraciones, a finales de la década de 1940 Fuller desarrolla la cúpula geodésica, una estructura que consigue cubrir la mayor superficie posible utilizando la menor cantidad de material, este proyecto se logró a partir de la realización de modelos físicos, como se observa en la Ilustración 2 con los cuales analizó la generación de cúpulas partiendo de la construcción de líneas geodésicas (línea de longitud mínima que une dos puntos sobre la superficie de una esfera) entendiendo las líneas no solo como la distancia mínima entre dos puntos sino también como la relación más eficiente entre elementos estructurales para optimizar su resistencia a los esfuerzos.



Ilustración 2 - Buckminster Fuller en su clase del Black Mountain College, verano de 1948. Hazel Larsen Archer. Fuente: <https://espacio.fundaciontelefonica.com/evento/curiosidad-radical-en-la-orbita-de-buckminster-fuller/>

Tiempo después, Frei Otto (Sabaté, 2005) basándose en la observación, comprensión y experimentación de las dinámicas de la naturaleza realizó una búsqueda de formas y geometrías eficientes que pudieran incorporarse en el diseño arquitectónico bajo conceptos de construcción sostenible y adaptable. El desarrollo de su investigación principalmente en membranas y estructuras a tensión lo alcanzó mediante un proceso de exploración similar al de Gaudí el cual se denominó *método sistemático de invención* (Colón, 2018) para ello utilizó como herramienta de observación y diseño la elaboración de maquetas sobre las cuales experimentaba la respuesta geométrica de los materiales (membranas y cables) a diferentes fenómenos físicos. Esto fue aplicado en el diseño del Pabellón Montreal, el cual se presenta en la Ilustración 3. La experimentación la realizaba de manera repetitiva y algunas veces bajo condiciones aleatorias lo cual le permitía observar y analizar las diferentes reacciones del modelo y descubrir así nuevas formas arquitectónicas.

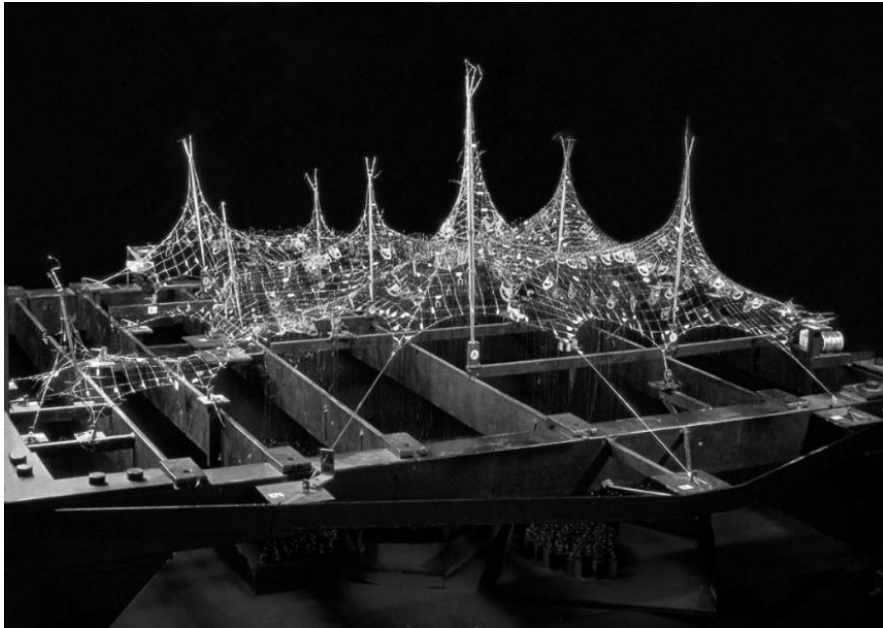


Ilustración 3 - Pabellón Montreal, modelo de medición. Fuente: Frei Otto: a life of research, construction and inspiration

Simultáneo a estos procesos creativos el mundo digital tuvo su propio proceso evolutivo, los avances tecnológicos dieron paso al desarrollo de las herramientas digitales que han aportado al dibujo, modelado y diseño arquitectónico desde mediados del siglo XX. Los primeros acercamientos surgen en 1963 con la invención del Sketchpad por Ivan Sutherland. El Sketchpad era un prototipo tecnológico que permitía el trazo y la manipulación de geometrías de forma paramétrica con el uso de un lápiz óptico sobre una pantalla (Dunn, 2012). Este invento abrió

camino en la ingeniería y derivó en los primeros softwares de dibujo digital, los cuales permiten actualmente la representación 2D de un proyecto mediante un proceso similar al dibujo analógico; tiempo después, en la década de 1990 con la creación de software de modelado digital se dio inicio al manejo del 3D como una herramienta de visualización arquitectónica. Estos softwares al igual que los de dibujo 2D parten de conceptos de geometría descriptiva para llegar a la construcción de una forma digital, es decir que hasta este momento las herramientas digitales tienen una participación solo en el ámbito de la representación arquitectónica aportando a la optimización del tiempo dedicado a esta fase del proyecto. Más adelante, a inicios del 2000 se integraría al modelado 3D la posibilidad de manejar y coordinar información constructiva de un proyecto arquitectónico, estos softwares de sistematización digital conocidos actualmente como BIM (Building Information Modeling, por sus siglas en inglés) crean una nueva etapa en la arquitectura que se acerca un poco más a la participación activa de los medios digitales en los procesos de diseño primero al permitir el procesamiento de datos y la parametrización de elementos respondiendo de manera más eficiente a las complejidades técnico-constructivas y segundo al dar paso al diseño y manejo de modelos de manera colaborativa e interdisciplinar (Vargas, n.d.; Wintour, 2018)

Antes de la difusión de la tecnología BIM, las herramientas de diseño computacional ya estaban en el proceso de integrar los

principios paramétricos a los sistemas informáticos de modelación y visualización 3D, que si bien en un inicio estaban dedicados a otras áreas de trabajo como lo es el diseño aeroespacial (Dunn, 2012), con el tiempo su aplicación se extendió al ámbito de la arquitectura como respuesta al interés por buscar otros caminos que facilitaran la exploración del objeto.

Así, los principios paramétricos determinan un nuevo rumbo en el desarrollo de procesos de diseño arquitectónico a través del uso de herramientas digitales que van más allá de la imitación de procesos analógicos de representación y se enfocan en el diseño de parámetros, relaciones y datos sobre los cuales va a variar el proyecto, de esta manera el programa le permite interactuar de manera directa con la base de datos de información que define al elemento dentro del entorno digital, posibilitando la repetición de procesos bajo una lógica de relaciones (parámetros) establecidas permitiendo al diseñador avanzar, retroceder y variar los elementos del modelo reduciendo el tiempo que utiliza en la modificación y visualización del mismo (M. Burry, 2011; Dunn, 2012). En este sentido, y en relación con los procesos paramétricos analógicos, las herramientas digitales se convierten en un medio facilitador de la experimentación arquitectónica a partir de modelos dinámicos que actúan bajo datos de información, y que permiten a su vez profundizar en temas relacionados a la exploración y

optimización de la forma, el material, el espacio y la construcción del proyecto.

Entre los primeros proyectos que exploraron estos procesos de diseño paramétrico digital encontramos el Disney Concert Hall (1989-2003) Ilustración 4 de Frank Gehry y La terminal internacional de Waterloo en Londres (1993) Ilustración 5 de Nicolas Grimshaw. Para el primer caso, Gehry se apoyó en el software CATIA (software interactivo tridimensional de diseño, ingeniería y fabricación asistido por computador) y un digitalizador tridimensional para lograr el intercambio de información entre las maquetas físicas y digitales de manera que a partir de ese diálogo se lograra coordinar el diseño, la fabricación y la construcción de la envolvente del edificio. (Dunn, 2012).



Ilustración 4 - Disney Concert Hall. Fuente: <https://arquitecturaviva.com/obras/auditorio-walt-disney-los-angeles#lg=1&slide=0>

En la terminal internacional de Waterloo, Grimshaw se enfrenta al desarrollo de una cubierta en un emplazamiento con una configuración sinuosa que reduce gradualmente la sección del proyecto de 50 a 35 metros. Ilustración 5. Para facilitar el diseño de la cubierta, que le implicaba una variación constante tanto la estructura, como de la envolvente, creó un modelo que le permitió parametrizar la configuración de cada arco de la cubierta de manera que el desarrollo de cada elemento se pudiera estandarizar respondiendo al mismo tiempo a la sección del tramo donde se ubicaba, adicional a esto, el sistema de relaciones entre la estructura y la envolvente le permitió realizar modificaciones durante la etapa del diseño y obtener con precisión la panelización total de la envolvente. Así mismo, este proceso paramétrico digital le permitió coordinar de manera eficiente la fabricación de los elementos en la etapa de construcción.(Peters & Peters, 2013)



Ilustración 5 - Terminal Internacional de Waterloo.
Fuente:
https://grimshaw.global/projects/gallery/?i=227&p=93001_N422_banrimgland

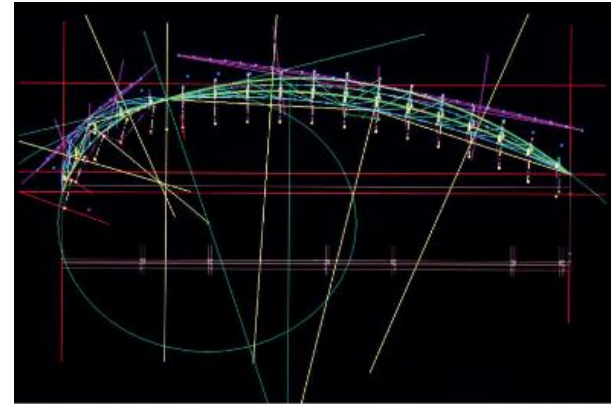


Ilustración 6 – Modelo paramétrico por Lars Hesselgren. Modelo paramétrico original de la Terminal Internacional, Estación de Waterloo, London, UK, 1980s por Lars Hesselgren mientras trabaja en YRM Anthony Hunt Associates para Grimshaw usando I/EMS software de modelado mecánico.
Fuente: INSIDE SMARTGEOMETRY.

Mas adelante, la oficina de Norman Foster creó un equipo a cargo de Hugh Whitehead dedicado a la creación de modelos paramétricos para acompañar el desarrollo de proyectos e incluyó el desarrollo de softwares paramétricos que simplificaran el dialogo entre el diseño y la construcción de proyectos con geometrías más complejas. El City Hall de Londres. Ilustración 7. fue uno de los proyectos desarrollados con estas herramientas. En este caso, el equipo utilizó el modelado paramétrico para realizar exploraciones que les permitieran definir la disposición geométrica optima del edificio para reducir la luz solar directa del sur sobre la fachada partiendo de la apilación de conos cizallados, además de usar el software para realizar el despiece en planta de todos los paneles que conformaron la envolvente. Ilustración 8 (Peters & Peters, 2013)



Ilustración 7 -City Hall. Londres, UK, 2002. Foster. Fuente: <https://www.fosterandpartners.com/projects/city-hall/#gallery>

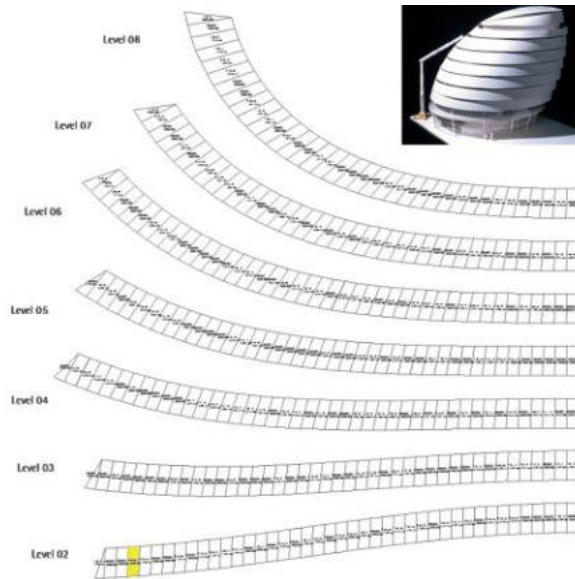
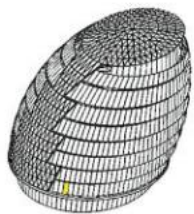


Ilustración 8 - Foster + Partners, City Hall, Londres, UK, 2002. Plano de la solución del acristalamiento de la envolvente. Fuente: INSIDE SMARTGEOMETRY

Así como estos proyectos dieron los primeros pasos en la implementación de herramientas digitales para la parametrización del proceso de diseño, el interés en estos procesos por más oficinas de diseño y construcción, ha exigido el desarrollo de estos softwares, para lograr abarcar diversos ámbitos de exploración e investigación en la arquitectura. Para esto, en los programas paramétricos se ha desarrollado cada vez más el componente de programación y manejo de datos que permitan abordar con mayor profundidad temas relacionados a la eficiencia del proyecto desde su diseño hasta su construcción.

Lo paramétrico, como una metodología de diseño basada en la creación de un sistema que depende de las relaciones entre sus partes para su funcionamiento es entonces un concepto muy anterior a la existencia de los medios digitales. Su implementación en la arquitectura ha entendido esta metodología desde varios aspectos, primero, como una manera de facilitar el proceso de exploración del objeto mediante la construcción de un modelo dinámico (físico o digital) que puede generar múltiples resultados en poco tiempo; segundo, como una manera de profundizar en la investigación de la geometría, el material y el espacio con una mirada hacia la optimización y eficiencia de objeto arquitectónico; tercero, como una manera de mediar entre la etapa de diseño y la etapa de construcción al permitir la coordinación de procesos y la simplificación en la lectura de la información que arroja el modelo. El aporte de lo

digital en este sentido, ha permitido resaltar las características que acompañan un proceso de diseño paramétrico ya que permite un mayor dominio de las partes que componen el sistema, facilita la generación de parámetros y simulaciones de aspectos que de manera analógica resultan más difíciles de explorar (desarrollos geométricos, simulaciones climáticas, simulaciones de flujos, fabricación) y activa a su vez la participación de otras disciplinas en el proceso de diseño arquitectónico.

A manera de resumen, la Ilustración 9 condensa lo que ha sido el desarrollo del diseño computacional desde la década de los 80's hasta el presente. Este rápido progreso, se ha dado con el objetivo de optimizar los diseños y construcciones arquitectónicas por medio del diseño paramétrico y algorítmico, logrando así, la máxima eficiencia energética desde los criterios diversos criterios arquitectónicos.

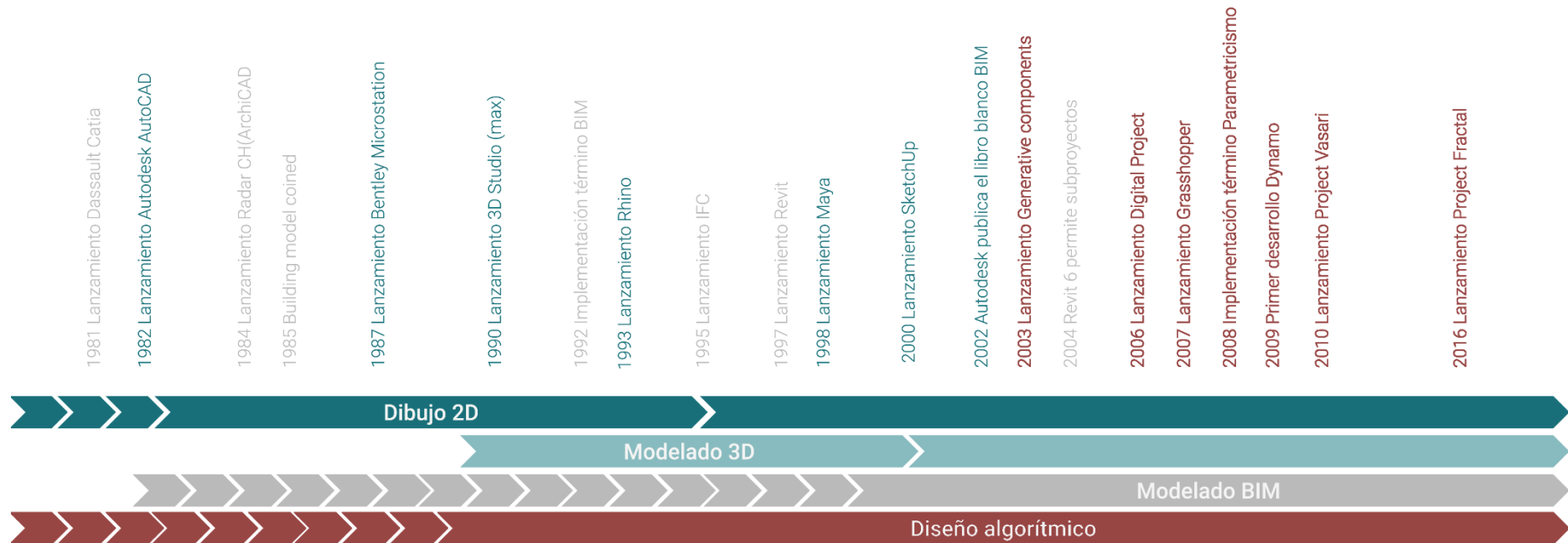


Ilustración 9 - Línea de tiempo historia del diseño computacional. Traducción propia. Tomada de: <https://parametricmonkey.com/2018/06/08/a-brief-history-of-computation/>

PRINCIPIOS DE DISEÑO PARAMÉTRICO

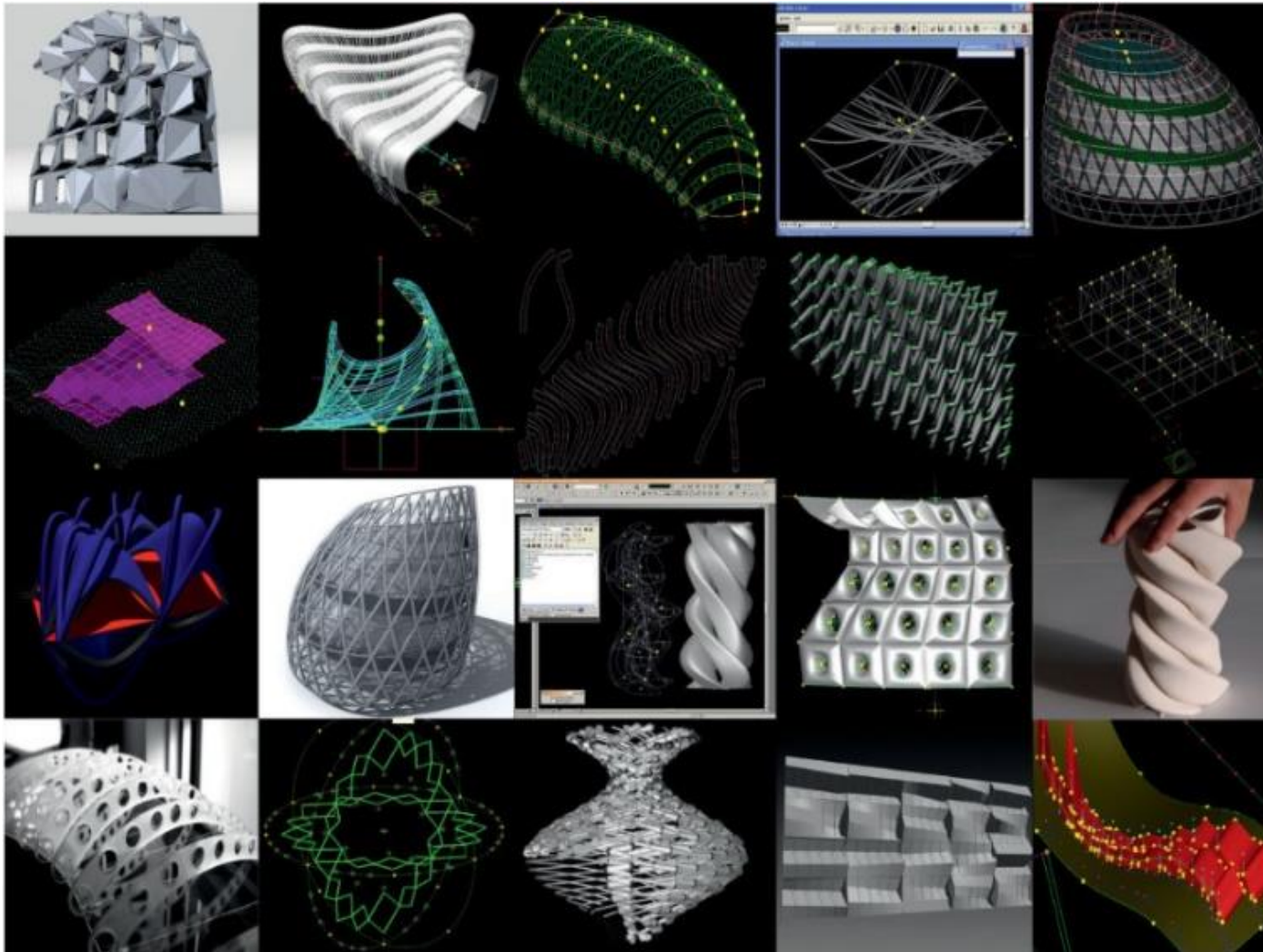


Ilustración 10 -
Diseño de
exploraciones por
SG 2004,
Universidad de
Waterloo, Ontario,
Canadá. Fuente:
INSIDE
SMARTGEOMETR
Y – pág. 26

El principio de diseño dentro de un proyecto arquitectónico hace referencia a un tema o concepto que actúa como punto de partida para la experimentación arquitectónica y se desarrolla en simultáneo con los problemas típicos de un proyecto. Este puede variar de acuerdo a los intereses e intenciones del arquitecto y a las posibilidades físicas y tecnológicas que permita la época.

La implementación de herramientas digitales en la arquitectura creó desde un inicio una tendencia de diseño con concepto principalmente estético debido a la posibilidad de crear y transformar formas curvas complicadas (Meredith et al., 2008), sin embargo, lo digital como herramienta y metodología de diseño desarrolla principios que van mucho más allá de una búsqueda visual y estética de la forma y permiten una investigación arquitectónica más profunda tomando como base, aquellas propiedades que afectan o modelan la forma final del proyecto; estas propiedades pueden ser propias del material y la geometría del proyecto o externas referentes al desempeño de la edificación frente al contexto o a la actividad que contenga (Fitch, 1980). Por otra parte, estos principios de diseño paramétrico tienen en común la tendencia a basar sus investigaciones y desarrollos en la observación de conceptos de la biología, la geometría y las matemáticas, así como en la imitación y reinterpretación de sistemas naturales o antrópicos ya que se considera clave comprender lo existente antes de

poder generar una versión más eficiente y optimizada de la forma.

En este sentido, el diseño digital no solo se convierte en una posibilidad de crear nuevas formas arquitectónicas, sino que también muestra una nueva forma de aproximarse, plantear y desarrollar un proyecto arquitectónico, dando paso a entender y conocer a fondo aspectos del proyecto que normalmente toman un segundo plano en el diseño como lo son aspectos que tienden a seguir patrones convencionales de construcción como el desarrollo de la estructura y la envolvente, las cuales están asociadas con la geometría. El material que se va a utilizar en el proyecto, dado que, en función de sus propiedades mecánicas, se afectaran las dimensiones y posibilidades formales del diseño. Y el desempeño del diseño, la cual puede estar fuertemente relacionada con la sinergia resultante entre la geometría, el material y el entorno.

Geometría

Según (Pottman, 2007), el estudio de la geometría con un fin compositivo espacial y estructural ha acompañado a la arquitectura desde sus inicios haciendo parte de los procesos de diseño, las metodologías de representación y las etapas de construcción del proyecto. La geometría junto con las matemáticas y la biología ha tenido un desarrollo teórico bastante amplio, sin embargo, es la evolución de las herramientas digitales como medios de diseño paramétrico lo que ha permitido mayor experimentación y libertad de la geometría en los procesos creativos formales, espaciales y constructivos.

La exploración de la geometría como principio de diseño abarca tanto la comprensión de conceptos teóricos (Pottman, 2007) como la observación y el estudio de sistemas naturales (Aziz & el Sherif, 2016). Entendiendo el primero como el estudio de la construcción del objeto en el espacio a partir de puntos, líneas y planos descritos sobre un sistema de coordenadas y el segundo, como el adaptar a la arquitectura, el aspecto funcional de las estructuras generadas por la naturaleza (imagen), conocido en otros términos como biomímesis. Ambos conceptos confluyen constantemente en el proceso de diseño, derivando en la posibilidad de desarrollar formas más eficientes, nuevos desarrollos técnicos y diferentes desarrollos estéticos para

aplicarlos a la solución de problemas típicos de la arquitectura, principalmente en el diseño de estructuras y envolventes.

Dentro de un proceso de diseño paramétrico donde el desarrollo geométrico cumple un papel importante, es necesario comprender y analizar la geometría para poder optimizar su construcción tanto en el campo digital como físico. Para esto, es posible abordar el concepto geométrico desde tres aspectos:

- Mediante el estudio de fórmulas matemáticas que permitan generar estas estructuras y superficies deseadas.
- Mediante el estudio del desarrollo geométrico propio del objeto o del sistema.
- Mediante la construcción de modelos físicos y digitales que permitan simular el comportamiento geométrico.

Si bien, este campo de exploración resulta bastante amplio. Es posible destacar dos temas que, dentro de la geometría, e impulsado por las herramientas digitales, han tenido mayor aplicación en el diseño arquitectónico paramétrico.

Sistemas ordenadores

La exploración de sistemas ordenadores, según (J. Burry & Burry, 2010; Fitch, 1980), se basa principalmente en dos aspectos, i) identificar el número de piezas mínimas que conforman un patrón dentro de un sistema, y ii) desarrollar una

mejor comprensión de la estructura de la materia a diferentes escalas tanto bidimensionales como tridimensionales.

La implementación de estos sistemas en el diseño, es un proceso que se ha desarrollado con mucha anterioridad en la arquitectura como parte de la exploración de la subdivisión de una superficie, con el fin de poder obtener de ese proceso, elementos de fácil manipulación y reproducción, como es el caso de las cerámicas, los ladrillos y las estructuras espaciales, entre otros. Con la parametrización de estos conceptos se ha logrado profundizar en el desarrollo de patrones más complejos y en la optimización de sistemas irregulares, además, se ha facilitado el estudio e implementación de diferentes conceptos aplicados a estos sistemas como la subdivisión fractal (repetición de un patrón a diferentes escalas - Ilustración 11) o el diagrama voronoi (subdivisión a partir de un conjunto de puntos, donde las regiones son el resultado de la intersección entre las mediatrices de los segmentos generados a partir de la unión de dos puntos - Ilustración 12).

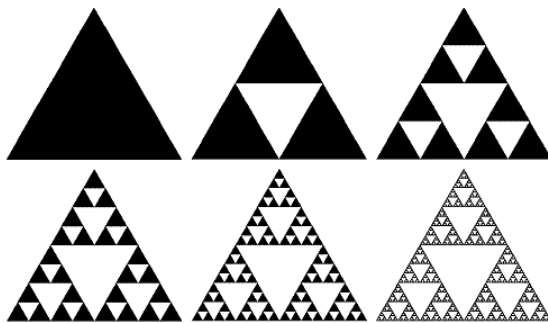


Ilustración 11 - Subdivisión fractal. Fuente: <https://2.bp.blogspot.com/-iOxZQ6EvynM/WhfjplXDYjl/AAAAAAABIE/Inx03geea24GPDhTpGWZS90TTPkHtggBgCLcBGAs/s1600/triangulo%2Bsierpinski.gif>.

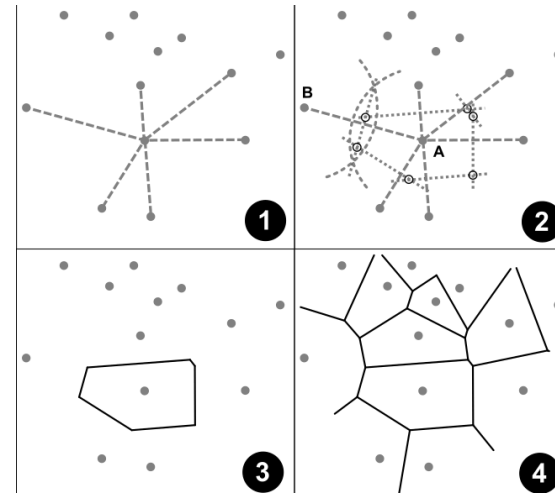


Ilustración 12 - Diagrama Voronoi. Fuente: https://setienymarinursos.com/wp-content/uploads/2021/03/construccion_voronoi-min.png

Como aplicación de este concepto en el diseño arquitectónico, está el proyecto "The Water Cube" ubicado en Beijing - China, diseñado por PTW ARCHITECTS. En esta se evidencia la exploración de patrones tridimensionales para el diseño de la fachada autoportante. En este caso, como lo explica (J. Burry & Burry, 2010), los diseñadores inspiraron su diseño en las burbujas de jabón, y encontraron en los distintos estudios y soluciones matemáticas realizados sobre este fenómeno, una solución eficiente para la estructura. Así, implementaron una secuencia repetitiva de ocho poliedros, organizados sobre una malla rotada 60° sobre el plano de la fachada obteniendo como resultado una envolvente visualmente irregular, pero con una secuencia lógica y un mínimo de elementos.

Ilustración 13 - Estructura natural burbujas de jabón.

Fuente:
https://samjshah.files.wordpress.com/2008/08/rd_love_bubbles.jpg

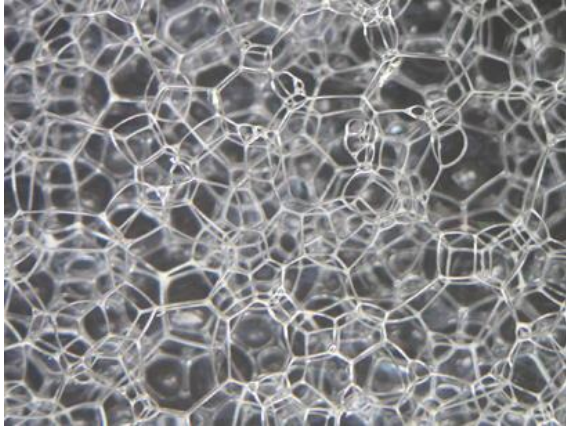


Ilustración 14 - Estructura metálica The Water Cube.

Fuente:
<https://arquidocs.files.wordpress.com/2008/08/378473.jpg>



Ilustración 15 - Vista exterior

The Water Cube. Fuente:
<https://w.litour.cn/img/beijing/water-cube/water-cube-1.jpg>



Superficies

Por otra parte, (J. Burry & Burry, 2010; Dunn, 2012) mencionan que la generación de superficies bidimensionales y tridimensionales como idea geométrica en el desarrollo de la forma del proyecto es un concepto bastante llamativo para los diseñadores, aún más con el desarrollo de las herramientas digitales que facilitan su generación y transformación. En este espacio es posible encontrar desde la simulación de superficies como plano, pasando por la generación de superficies de curvatura simple o doble curvatura, la auto intersección de superficies e incluso la reproducción de formas libres.

Por otra parte, este tipo de exploraciones se apoya en el modelado de NURBS (modelo matemático utilizado para la representación de curvas y superficies) y mallas como medio para facilitar la generación y manipulación de las superficies en medio digital usando principalmente, un lenguaje de líneas y nodos, además de simplificar la lectura del desarrollo geométrico para poder replicar la forma en un medio físico.

Un proyecto que explora la generación de superficies curvas es el Main Station, ubicado en Stuttgart – Alemania, de Ingenhoven Architects. Como menciona (J. Burry & Burry, 2010) , los diseñadores experimentaron la generación de la cubierta, las aberturas en ella y los apoyos como una sola superficie mínima, continua y delgada, que cubre todo el espacio, a la vez que permite la ventilación e iluminación del mismo. Para esto, el

diseño se basó en los estudios realizados por el instituto de estructuras ligeras de la universidad de Stuttgart sobre la formación de perforaciones en las membranas producidas por las películas de jabón, y en la construcción de modelos físicos invertidos (mallas de cadenas) para analizar y visualizar el comportamiento de la estructura que daría forma a la superficie continua.



Ilustración 16 - Estructura Main Station Stuttgart. Fuente: <https://www.wernersobek.com/wp-content/uploads/resized/2020/05/S21-in-Stuttgart-Kelchstutzen-1-1920x0-c-default.jpg>

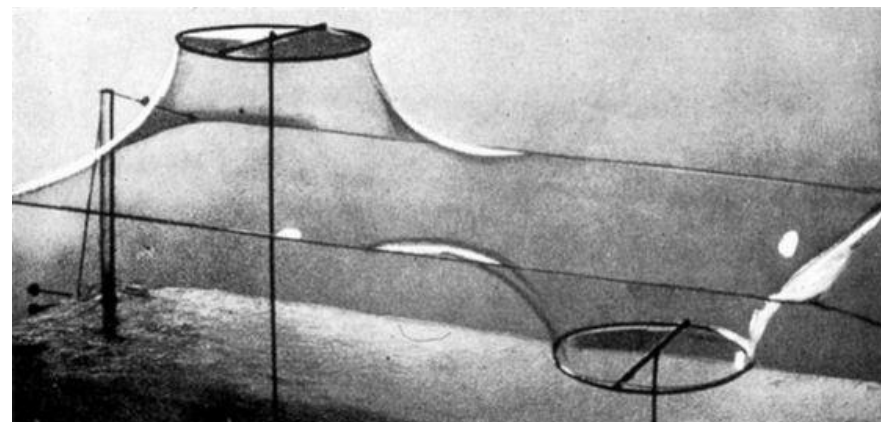


Ilustración 17 - Experimentos de Frei Otto con películas de jabón. Fuente: <https://www.researchgate.net/publication/318103333/figure/fig2/AS:511842612191232@1499044196112/Frei-Otto-Experimenting-with-Soap-Bubbles.png>



Ilustración 18 - Experimentación con modelos físicos de estructuras a tracción. Fuente: <https://www.architecturalrecord.com/ext/resources/Issues/2021/08-August/Main-Station-Stuttgart-08.jpg>

Material

La arquitectura configura el contexto material que habitamos y articula el ámbito social, cultural y ecológico con el entorno construido poniendo en evidencia las posibilidades tecnológicas de una época en procesos de diseño y materialización del proyecto arquitectónico. Si bien, el material como principio de diseño, no es un tema nuevo en investigación, el diseño paramétrico lo ha impulsado como un elemento activo en la concepción del diseño arquitectónico partiendo de dos aspectos principales, i) *diseño del material a partir de la experimentación de sus propiedades físicas y mecánicas*, y ii) *desarrollo de nuevos materiales*. Con esto se busca dejar en segundo plano la definición de la forma a partir de una geometría preestablecida y evitar la relación del material a una tipología constructiva, estructural o espacial convencional. Por otro lado, para el desarrollo de procesos con este enfoque, se vuelve necesario el trabajo conjunto de un equipo interdisciplinario de ingenieros, científicos y arquitectos que reúna los conocimientos base para lograr el desarrollo completo de un objeto arquitectónico desde su fase de diseño y fabricación hasta su construcción (A. Menges, 2016).

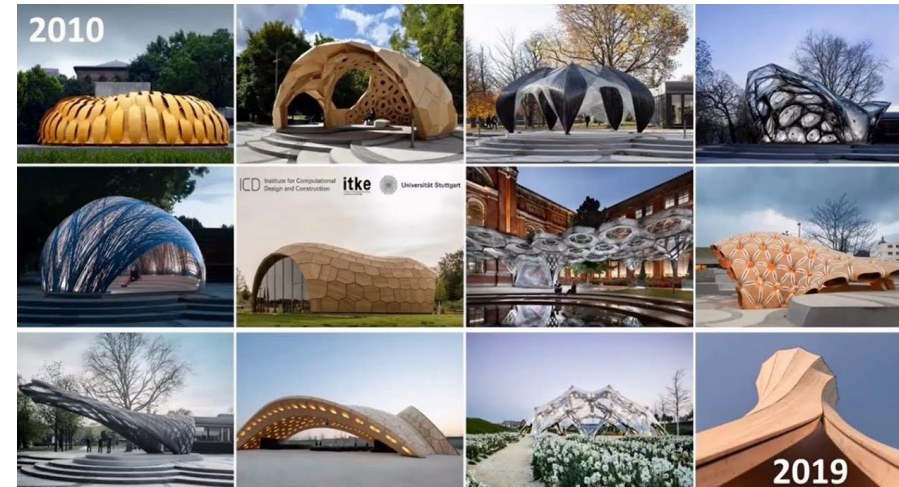


Ilustración 19 - Pabellones de investigación ICD/ITKE. Fuente: Experimental Buildings - ITKE University of Stuttgart (min 0:26)

Diseño del material a partir de la experimentación de sus propiedades físicas y mecánicas.

La exploración del diseño arquitectónico a partir de la experimentación de las propiedades físicas y mecánicas genera posibilidades geométricas nuevas o más eficientes con diferentes materiales. Una exploración con este enfoque se basa en la comprensión y potencialización del comportamiento del material, para esto se realizan una serie de experimentos y simulaciones donde se somete a diferentes esfuerzos, teniendo en cuenta las variaciones geométricas de la pieza de material sobre la cual se explora así como su comportamiento individual y en conjunto con otras piezas, cada caso es analizado por los investigadores mediante parámetros computacionales para determinar una forma en la que el material trabaja de manera más eficiente. Una vez realizada esta etapa, se realiza el desarrollo geométrico de las piezas que conforman el diseño y se pasa a analizar la etapa de fabricación y construcción del mismo. Esta experimentación ha permitido retomar materiales tradicionales para darles una nueva perspectiva de uso a partir de la transformación de las técnicas de construcción locales, así como implementar materiales poco convencionales que amplían el inventario de posibilidades formales y constructivas. Materiales como la madera, el bambú, el ladrillo y los materiales fibrosos se experimentan con el objetivo de explotar sus cualidades formales y estructurales basados en la

reinterpretación de los sistemas constructivos actuales y en la utilización de nuevos métodos y máquinas de fabricación.

Achim Menges, uno de los representantes del diseño paramétrico con enfoque en el diseño del material ha desarrollado a través del Instituto para el Diseño Digital (ICD, por sus siglas en inglés) en conjunto con el Instituto de Estructuras de Construcción y Diseño Estructural (TKE, por sus siglas en inglés) de la universidad de Stuttgart, una serie de pabellones *Ilustración 19* donde muestra los resultados de experimentos sobre procesos de generación y materialización de la forma partiendo del material (A. Menges, 2016). Un ejemplo de estos experimentos es el Pabellón de Investigación ICD/TKE 2010 *Ilustración 20*, un pabellón para la investigación de láminas de madera contrachapada como estructura autoportante. El cual es una expresión dinámica del comportamiento físico presente en un material sometido a tensión (Christopher Beorkrem et al., 2013), es decir un modelo que basa la búsqueda de la forma en la simulación de esfuerzos de tensión de las láminas de madera contrachapada de 6.5mm. Para esto se realizan una serie de pruebas que evalúa la máxima curvatura (deformación plástica) en que una lámina de madera puede soportar esfuerzos a tensión que permita el posterior desarrollo de un arco estructural rígido. Este proceso se realiza de manera repetitiva variando las fuerzas aplicadas y la forma de la lámina para analizar el comportamiento individual del elemento, luego, se organizan varias laminas en un anillo circunferencial y se alterna la

curvatura y el tipo de conexión entre los elementos de manera que se pueda analizar el trabajo conjunto a compresión y a tensión del sistema. De esta manera se busca la manera ideal de disponer y conectar una serie de láminas para proporcionar la resistencia estructural adecuada del pabellón.



Ilustración 20 - Pabellón de Investigación ICD/TKE 2010. Fuente: <http://www.achimmenges.net/?p=4443>

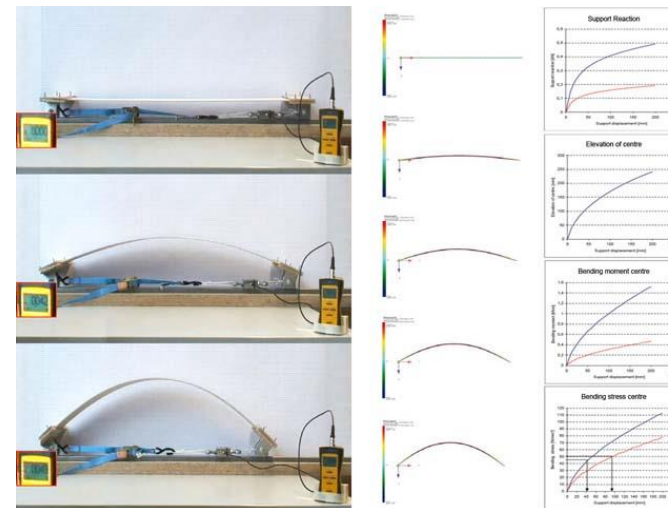


Ilustración 21 - Pruebas de sometimiento a tensión de lámina de madera contrachapada. Pabellón de Investigación ICD/ITKE 2010. Fuente: <http://www.achimmenges.net/?p=4443>

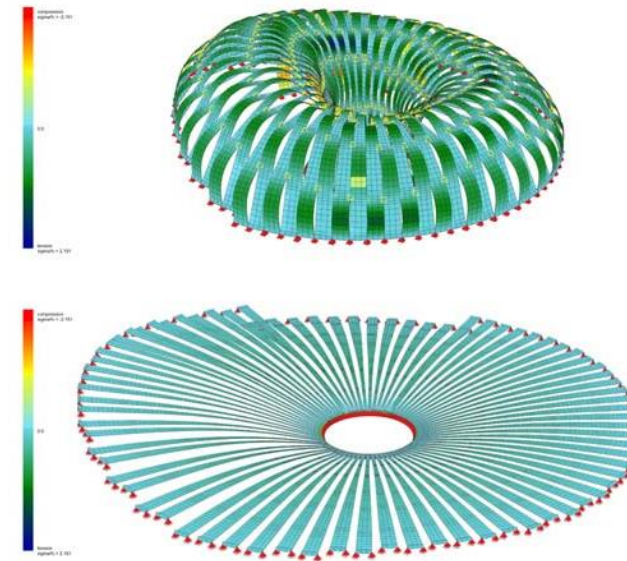


Ilustración 22 - Visualización comportamiento del sistema a esfuerzos de tensión y compresión. Pabellón de Investigación ICD/TKE 2010. Fuente: <http://www.achimmenges.net/?p=4443>

Otro proyecto relacionado con el comportamiento del material y su relación con el diseño paramétrico es el Pabellón de Bambú ZCB Ilustración 24. Desarrollado por Kristof Crolla de la Escuela de Arquitectura de la Universidad China de Hong Kong en colaboración de un equipo de estudiantes e ingenieros, el cual consta de una estructura reticular de bambú de aproximadamente 12 metros de altura y una superficie cubierta de 350 m². En este proyecto se plantean principalmente dos desafíos, i) la implementación de procesos paramétricos para la búsqueda de la forma a partir de la simulación física del material, y ii) el uso de herramientas digitales paramétricas como un medio para mediar entre el diseño y la construcción partiendo del uso de un material con una naturaleza formal variable. El equipo desarrollo cuatro etapas de diseño previas a la construcción donde, a partir del dialogo entre modelos digitales y maquetas físicas de diferentes escalas, se desarrollaban aspectos físicos, estructurales y constructivos del proyecto. En este proceso de diseño y construcción se realizaron ejercicios que iban desde estudiar el análisis de la curvatura máxima del bambú, anticipación el comportamiento geométrico del material, hasta la identificación de las zonas donde podía existir mayor imprecisión entre el modelo digital y el modelo construido. Por otro lado, la fácil variación de los datos del algoritmo permitió la manipulación constante de las dimensiones de los elementos, así como el despiece total del sistema y la identificación de los puntos de unión de la retícula para facilitar el proceso de construcción. (Crolla, 2017)

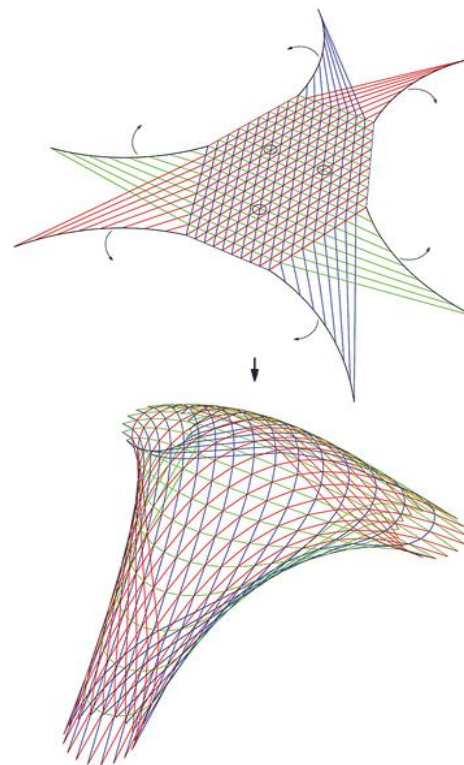


Ilustración 23 - Modelo digital 1: los motores de simulación de física de partículas de resorte se utilizan como herramienta de búsqueda de forma de geometría de equilibrio. Fuente: (Crolla, 2017). pág. 5



Ilustración 24 - Pabellón de Bambú ZCB / Escuela de Arquitectura de la Universidad China de Hong Kong. Fuente: https://images.adsttc.com/media/images/5837/dbfe/e58e/ce93/1c00/0094/slideshow/ZCBBambooPavilion_04.jpg?1480055801

Desarrollos de nuevos materiales

Este enfoque hace relación a los procesos de investigación sobre las propiedades de los materiales, permitiendo optimizar los procesos constructivos gracias a las nuevas propiedades que estos puedan lograr. Desde elevadas propiedades mecánicas (alta resistencia a la tensión y compresión), lo cual facilitaría la implementación de nuevas geometrías. Hasta materiales con elevadas propiedades aislantes térmicamente, lo cual mejorara la bioclimática de las construcciones. Obteniendo así mejoras en la eficiencia energética, al lograr los mismos resultados con menos material empleado, y ahorro en energía relacionada a la refrigeración de espacios, lo cual implica un menor impacto ambiental y una mayor gama de variaciones formales, llegando a desarrollar diversos procesos de fabricación para su posterior aplicación en procesos constructivos. En estos proyectos los procesos y herramientas computacionales facilitan la incorporación y análisis de datos de información de los materiales estudiados, la realización de simulaciones de comportamientos estructurales y formales y la traducción del diseño digital del material a los planos o a las máquinas de fabricación. Ilustración 25.

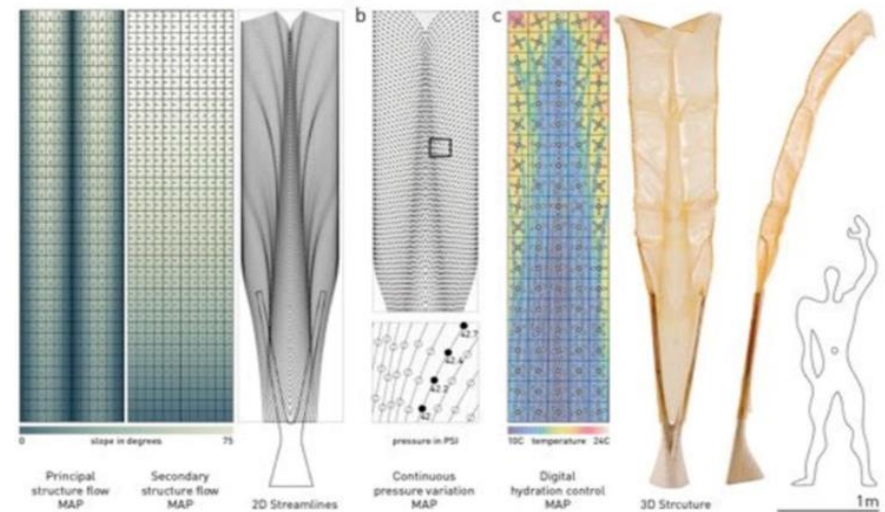


Ilustración 25 - Relación de las herramientas digitales con el proceso de fabricación de biomateriales. Diseño estructural de biopolímero derivado de crustáceos. Diseño del Pabellón del Océano. Fuente: (Mogas-Soldevila et al., 2015). Pág. 7.

Desempeño

El diseño a partir del desempeño se basa en la búsqueda de la eficiencia y el rendimiento de un proyecto desde diversos factores como el ambiental, espacial, geométrico, estructural y constructivo. Si bien, la eficiencia y el desempeño como un objetivo de diseño ha sido un tema recurrente en el desarrollo de proyectos arquitectónicos sobre todo en desempeños asociados a factores ambientales y constructivos, la integración de procesos paramétricos digitales ha sido un gran aporte como herramienta de diseño y análisis que permite evaluar soluciones de manera más rápida y precisa frente a un objetivo planteado además de facilitar la búsqueda de desempeños en proyectos de cualquier escala. En este sentido el papel de las herramientas digitales varía según la fase en la que interactúe con el proyecto ya sea como herramienta morfogenética (de diseño), en las primeras etapas, o como herramienta de análisis en la etapa final del proceso de diseño. Si bien en ambos casos se utilizan herramientas de análisis digital su integración tiene una finalidad diferente según, la manera y momento en el que se integran al proceso de diseño arquitectónico (Anton & Tñase, 2016)

Como herramienta de diseño basado en desempeño.

Utilizar herramientas digitales paramétricas en las primeras etapas del proceso de diseño conlleva a un proceso de

interacción entre los parámetros de generación formal y el análisis de desempeño, es decir, donde el desarrollo del algoritmo paramétrico de la forma está ligado a los resultados de un análisis de desempeños en una relación cíclica entre los dos factores, siendo esta relación la que da forma al proyecto mediando entre una búsqueda usualmente estética y fin funcional (Anton & Tñase, 2016). Este proceso parte de la definición de un concepto de diseño y del planteamiento de los objetivos de desempeño a lograr. Para esto se reúnen datos calificables y cuantificables que actúen como factores de referencia para la generación de la forma, y con los cuales se hacen estimaciones de los posibles resultados a obtener, a partir de esto se establecen las estrategias de parametrización tomando como base las relaciones entre los datos cualitativos y cuantitativos de desempeño y la forma proyectual deseada, luego se construye el modelo digital en el cual se incorporan los parámetros a analizar y los rangos en los que el modelo puede variar al realizar las simulaciones; posteriormente se evalúan los resultados obtenidos en las simulaciones y se seleccionan las soluciones que mejor responden a los objetivos planteados. Cabe resaltar que el conocimiento que tenga el equipo de diseño sobre los datos y las herramientas de exploración determinará la variedad de estrategias parametrizables, la amplitud de los resultados obtenidos y por lo tanto el tiempo dedicado al análisis de las exploraciones (Hu, n.d.).

Como herramienta de análisis.

Los medios digitales como herramientas netamente de análisis permiten la incorporación de datos cuantitativos con el fin de evaluar el rendimiento de un proyecto en la etapa final de diseño. En este caso, no existe una retroalimentación directa entre los datos arrojados por el análisis y los aspectos formales del proyecto, sino que actúa como un paso de validación que permite visualizar el comportamiento final de las decisiones tomadas en la etapa del diseño del proyecto dejando a consideración del diseñador generar cambios o no de acuerdo a los resultados obtenidos (Anton & TÁnase, 2016).

Uno de los subcampos en los que se emplean estos procesos es la optimización en planta de los espacios, un ejemplo de esto se encuentra en el trabajo realizado por el grupo de investigación ZH AI (Analytics and Insights) del estudio de arquitectura Zaha Hadid Architects denominado *Lugar de Trabajo Inteligente* con el cual se investiga la aplicación de algoritmos para entender y mejorar el rendimiento de las personas a partir de la optimización de las condiciones del entorno de trabajo dentro de un espacio de trabajo colaborativo. Una de las fases del proyecto tiene como objetivo determinar la distribución óptima de los espacios para lograr el mejor desempeño de los trabajadores, para esto se relaciona la acomodación de las personas respecto a cuatro factores iniciales: luz natural, accesibilidad, visibilidad y conectividad, con los datos de cada factor se construye un algoritmo paramétrico y se realizan las

simulaciones aplicadas a diferentes configuraciones en planta y variando el tipo de mobiliario utilizado. Como resultado se obtiene una gran cantidad de diagramas que grafican las posibles distribuciones en planta y arroja los valores de desempeño que tienen las personas en cada caso, estos resultados son analizados y comparados para responder al planteamiento de cómo se puede hacer una planta más eficiente que mejore el rendimiento y la colaboración de sus usuarios (Aranguren, 2019). Estos resultados se exponen en la Ilustración 26, la cual es el resultado del algoritmo considerando los diversos factores: luz natural, accesibilidad, visibilidad y conectividad.

En este caso los medios digitales paramétricos actúan principalmente como herramientas de diseño al trabajar de manera activa en la búsqueda de una distribución eficiente del espacio, al mismo tiempo que son herramientas netamente de análisis, si se estudia la relación entre configuración formal de una planta y las posibilidades de distribución espacial para determinar qué tipo de planta permite un mejor desempeño de sus usuarios, ya que en este caso las simulaciones realizadas no modificarían de manera directa la planta del proyecto.

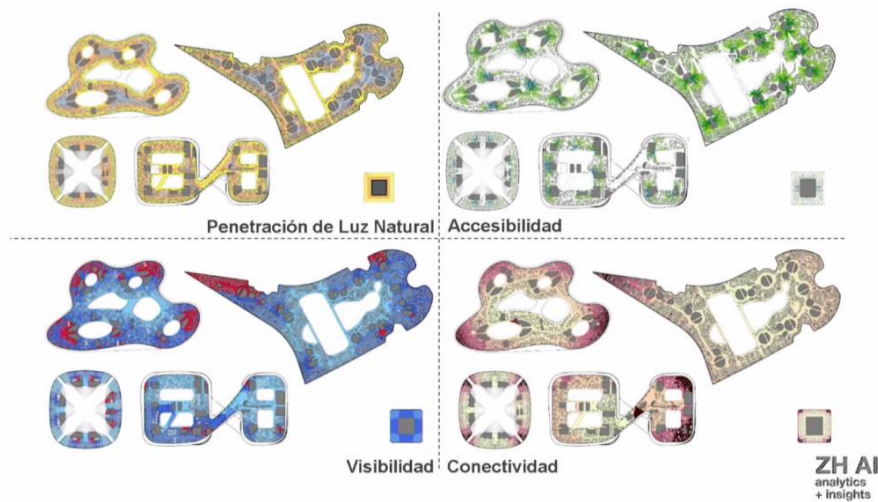


Ilustración 26 - Ejercicio de aplicación de algoritmo dedicado al mejoramiento de las condiciones del espacio comparando diferentes configuraciones de planta y proyectos de diferentes magnitudes. Grupo de investigación ZH AI (Analytics and Insights). Zaha Hadid Archit

Otro caso de aplicación de procesos de diseño paramétrico enfocados al desempeño se evidencia en la propuesta de diseño que realizó el estudio de arquitectura Foster + Partners para el proyecto Al Raha Development en Abu Dabi, en el cual la interacción entre la forma del edificio con factores de sol y viento se vuelven relevantes para la toma de decisiones proyectuales. El proceso de diseño se basa en el diálogo entre dos modelos paramétricos digitales, un primer modelo que parametriza la forma de tal manera que tiene la capacidad de variar sus componentes de acuerdo a los factores analizados, y un segundo modelo, parametrizado de forma similar al primero, sobre el cual se explora directamente las variables formales

generadas a partir de la retroalimentación automática entre los datos de análisis y los parámetros del modelo.(J. Burry & Burry, 2010). Así, aun cuando se está utilizando las herramientas computacionales como parte de un proceso de generación de forma, la exploración sobre dos modelos crea una relación indirecta entre el análisis de desempeño y la búsqueda estética del proyecto.

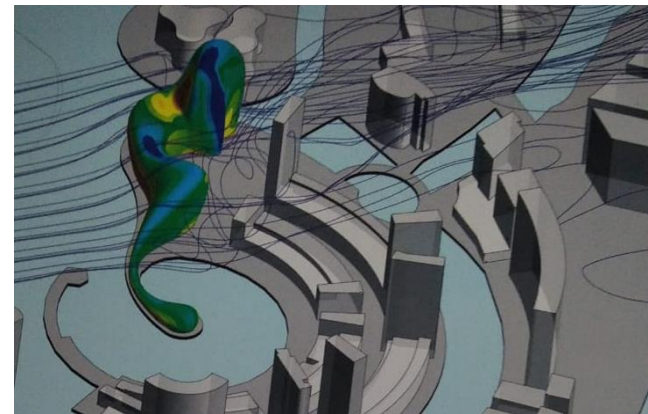


Ilustración 27 - Análisis de dinámica de fluidos computacional por ARUP. Flujos de aire y presión positiva y negativa. Al Raha Development. Abu Dabi. Foster + Partners. Fuente:(J. Burry & Burry, 2010). pag. 151.



Ilustración 28 - vista sur oeste de la propuesta de proyecto. Al Raha Development. Abu Dabi. Foster + Partners. Fuente: http://1.bp.blogspot.com/_Odu7eqW6gAY/Sb-PjSC2zVI/AAAAAAAAAGK4/XwYHQdXZK0w/s1600-h/Al+Raha+Beach+Development+by+Foster+%2B+Partners.jpg

Es preciso decir que estos principios no son una determinante, ni un factor único dentro de los procesos de diseño, sino que se muestran como una base que permite aproximarse a los procesos paramétricos y marca una guía conceptual para el desarrollo de proyectos. Así mismo, como es posible notar en las descripciones de cada principio, la implementación de uno no elimina la experimentación del otro ya que pueden interactuar de manera simultánea en el desarrollo de un proyecto teniendo iguales niveles de importancia o estableciendo una jerarquización entre ellos según sean los objetivos planteados en cada exploración.

PENSAMIENTO PARAMÉTRICO Y ALGORÍTMICO

El diseño paramétrico es un proceso de diseño basado en la creación de un sistema de relaciones entre elementos o grupos de elementos que mediado por un lenguaje algorítmico permite al diseñador controlar las partes y las condiciones que los relacionan a fin de obtener diversos resultados que respondan a los objetivos funcionales y estéticos planteados a partir de un solo modelo (o sistema).

En un proceso tradicional de diseño analógico o digital cada elemento tiene un carácter independiente en la concepción total del proyecto por tanto la interacción del diseñador con el modelo se limita a añadir y quitar partes sin llegar a ocasionar un cambio en el conjunto, el diseño paramétrico genera un mecanismo diferente al complementar este proceso con dos características: la relación y la reparación. (Woodbury, 2010) , es decir, el modelo pasa a configurar un sistema donde las partes que lo conforman están relacionadas entre sí y cambian de manera coordinada, y el diseñador puede acceder a estas condiciones y modificar las relaciones entre las partes y/o establecer unas nuevas a partir del análisis que realice sobre los resultados generados por el sistema a medida que el proyecto vaya evolucionando. Esto establece un proceso cíclico entre análisis de resultados y modificación de las relaciones del sistema que requiere de unas estrategias previas de diseño del sistema para poder obtener los resultados deseados.

Por otro lado, estos procesos de diseño paramétrico dejan de lado el uso de las herramientas digitales como medios de

representación del proyecto y los adoptan como mecanismo activo en el proceso de diseño apoyándose en gran medida en los medios de programación. Este proceso implica la inmersión en un lenguaje algorítmico como medio de comunicación entre la programación y la parametrización del proyecto, siendo la programación la que permite al diseñador acceder a los procesos internos de una interfaz gráfica, la parametrización lo que permite ampliar la capacidad de interacción con los procesos de generación y desarrollo de la forma y el algoritmo el medio para poder traducir los objetivos e ideas del diseñador al entorno digital (Dunn, 2012)

En este sentido, el diseño paramétrico requiere de un cambio de mentalidad a la hora de pensar y desarrollar un proyecto ya que no se trata de un entorno estático que permite el desarrollo de un objeto formal, concreto y fijo, sino que se torna a un medio dinámico que prioriza la creación de un sistema de elementos que a partir de la iteración de unas condiciones paramétricas busca encontrar la mejor solución a un objetivo planteado, lo que lleva a diseñar no un objeto final, sino el sistema de relaciones previas para lograr dicho objetivo.

Un proceso de diseño paramétrico si bien puede variar de acuerdo a tipo de búsqueda que se esté haciendo o al tipo de herramienta que se esté usando, sigue tres etapas generales. (Hu, n.d.; Woodbury, 2010)

- i) Una idea de diseño

- ii) Delimitación del campo de acción del algoritmo, si es arquitectónico o urbano, ¿qué problema típico está dedicado a resolver? ¿Una planta, una envolvente, una cubierta o todo un proyecto?
- iii) Definir el objetivo de exploración sea geométrico, material y/o de desempeño.

Con esto claro se reúnen datos e información que pueda actuar como parámetros dentro del algoritmo y se identifican los elementos principales que conforman el sistema, logrando de esta forma determinar las posibles rutas de construcción del algoritmo. Una vez establecidos los parámetros, se plantean diferentes subgrupos en que se puede abordar el sistema y se hacen estimaciones sobre los posibles resultados a obtener en cada caso, dando inicio a la lógica inicial de construcción del algoritmo.

Una vez establecido el algoritmo y cuáles son los principales parámetros involucrados en este, se inicia la construcción del modelo. Esta consiste en la elaboración digital del algoritmo o del modelo (de acuerdo a la herramienta con la que se esté trabajando) teniendo en cuenta las instrucciones y los parámetros establecidos anteriormente. Una vez el modelo está construido, se realizan iteraciones y simulaciones de las cuales se obtienen resultados formales (contemplados y no contemplados en la primera etapa) los cuales entra a evaluar el diseñador. Se relacionan los resultados obtenidos con el resultado esperado, ya sea cualitativo, cuantitativo, estético o

funcional, y se hace una preselección o una categorización de los objetos que mejor responden a los objetivos planteados. En función de estos resultados previos, se hacen iteraciones sobre el algoritmo existente, modificando o complementando los parámetros y sus elementos. O en el caso opuesto se replantea la lógica paramétrica del algoritmo. Esta última etapa se realiza de manera repetitiva hasta encontrar un resultado que responda de la mejor manera posible a los conceptos planteados inicialmente.

De acuerdo a (Dunn, 2012), en este proceso es importante tener en cuenta varios factores:

- i) Si el conocimiento del diseñador sobre el tema objetivo es profundo y se recolectan más datos del proyecto, se podrá construir un algoritmo donde interactúen un mayor número de parámetros que permita profundizar más en el tema de exploración y que acote a la vez el rango de resultados a analizar.
- ii) Dado que la construcción del algoritmo determina usualmente una construcción geométrica se hace necesario profundizar en conceptos que faciliten la comprensión de los procesos de generación y transformación de la geometría tanto de manera analógica como digital.
- iii) La claridad que se tenga sobre la formulación de relaciones algorítmicas y la experiencia que se tenga en el manejo de las herramientas digitales

determinará el tiempo dedicado al desarrollo de las dos primeras etapas.

- iv) Un conjunto de parámetros que determine un elemento o un conjunto de elementos pueden agruparse unos con otros o integrarse a un sistema de relaciones perteneciente a otro proyecto reduciendo el tiempo dedicado a la construcción del modelo.

Para entender un poco más sobre cómo funciona la lógica paramétrica dentro de un sistema de relaciones algorítmicas y cómo estas instrucciones orientan la variabilidad del sistema de una u otra manera se expone un ejercicio realizado por (Pottman, 2007), para la variación simple de una cúpula. Ilustración 29. El ejercicio formula la generación de una cubierta esférica para una sala prismática como parte de una exploración práctica para el estudio de variaciones de forma simple a partir de la parametrización de operaciones booleanas (unión, sustracción o intersección de dos geometrías para crear una nueva). Para ello se plantean dos lógicas constructivas con las cuales se obtienen dos modelos similares.

Modelo a) Intersección booleana entre un prisma y una esfera,
Modelo b) Rotación de un cuarto de círculo (c) en el eje z + recorte de las partes que exceden el perímetro en planta.

Con el modelo construido se generan iteraciones según las características principales formales de cada sistema,

excluyendo la variación de parámetros que alteren la simetría del modelo.

Modelo c) Disminución del radio de la esfera

Modelo d) Variación de la altura del prisma

Modelo f) Variación del perfil rotacional

Modelo e) Variación del polígono base

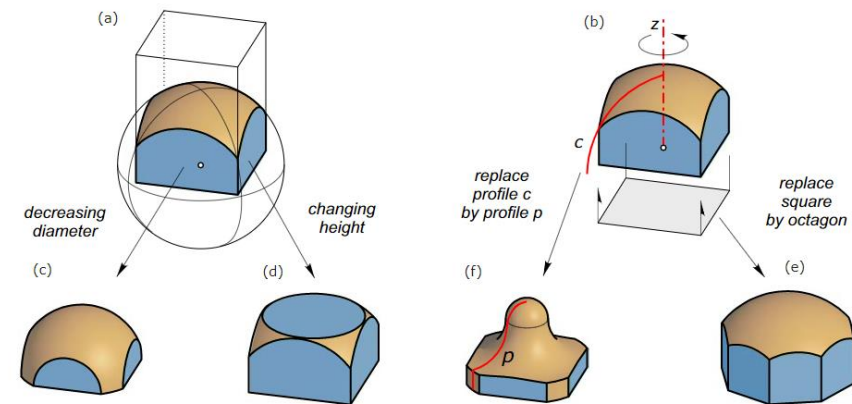


Ilustración 29 - Variación simple de una cúpula. Fuente: (Pottman, 2007). Pág. 135

En este ejercicio se evidencia cómo la estrategia inicial de diseño genera dos modelos visualmente similares, pero con elementos y relaciones distintas que derivan por tanto en posibilidades diferentes de iteración formal del modelo.

PROCESO PARAMÉTRICO BASE

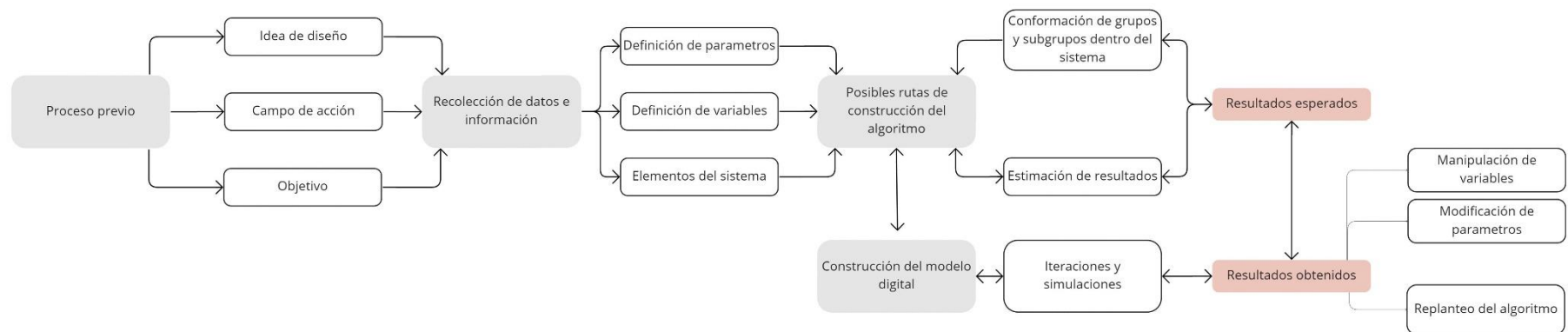


Ilustración 30 - Esquema proceso paramétrico base. Fuente: ilustración propia.

Herramientas digitales

A la hora de abordar estas ideas es fundamental el conocimiento de la o las herramientas paramétricas que se van a usar, actualmente en el campo paramétrico en temas arquitectónicos se puede diferenciarlas en dos grupos, las herramientas tipo BIM (Building Information Modelling) estos son programas donde se enfocan en una metodología de trabajo colaborativa para la creación y gestión de un proyecto de construcción. Su objetivo es centralizar toda la información del proyecto en un modelo sincronizado, las más conocidas son Revit, Archicad, Vectorworks, etc. (Rafael Sacks et al., 2018; Wintour, 2018). Estos programas funcionan bajo un orden paramétrico establecido por el mismo software, lo que hace que los usuarios no creen los parámetros del programa, sino que hagan usos de los sistemas preestablecidos de estos.

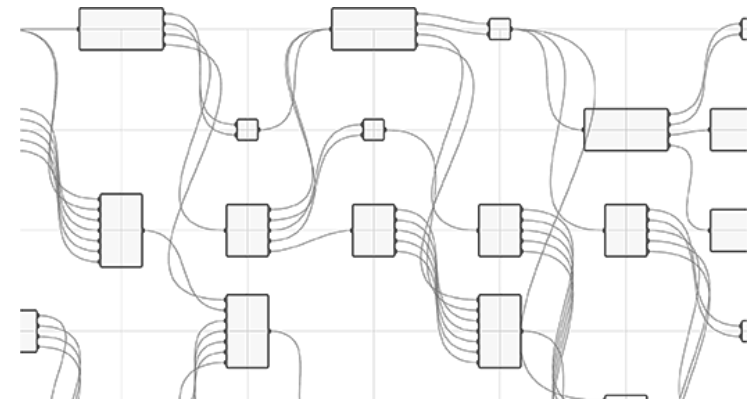


Ilustración 31 - Manual Payne a Grasshopper. Tomada de https://modelab.gitbooks.io/grasshopper-primer/content/1-foundations/1-2/images/1-2/1-2_001-anatomy-of-definition.png

Por otro lado, están las herramientas paramétricas basadas en un lenguaje de programación visual, esto es conjunto de bloques elementos gráficos que sintetizan una extensión compleja que permiten crear estructuras de elementos y conjuntos en vez de hacerlo textualmente como en la programación tradicional, estos procesos pueden ser de varios tipos:

- i) Visual: Arrastra y suelta elementos dentro del programa para integrarlos.
- ii) Orientado a sucesos: Cada paso del programa comienza cuando ocurre un evento predefinido.
- iii) Imperativo: el patrón consta de una serie de comandos.
- iv) Orientado a los objetos: Hay objetos individuales con tareas específicas asignadas a ellos. (IONOS, n.d.)

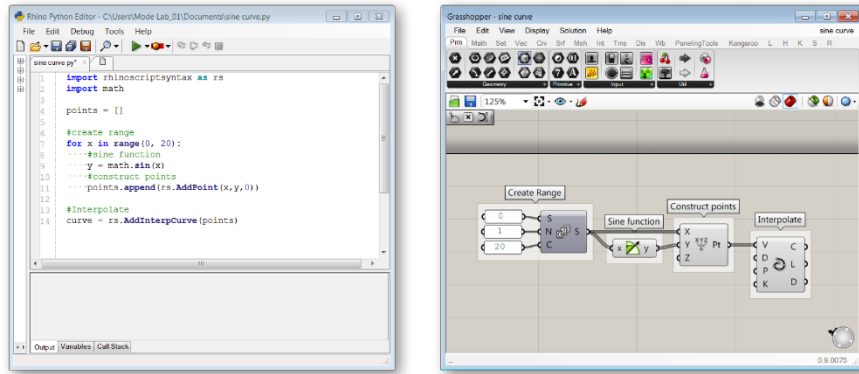


Ilustración 32 - Ejemplo manual Payne a Grasshopper vs programación tradicional de cómo hacer una curva. Tomada de <https://modelab.gitbooks.io/grasshopper-primer/content/0-about/images/python-and-gh-sine.png>

Las herramientas más conocidas son Vectorworks Marionette, Catia, Autodesk 3DS Max, Autodesk Revit, Autodesk Dynamo y Grasshopper. Aunque todas estas herramientas funcionan bajo el mismo principio de uso, los softwares de programación visual a diferencia de los softwares tipo BIM, permite que sean los usuarios quienes crean los parámetros.

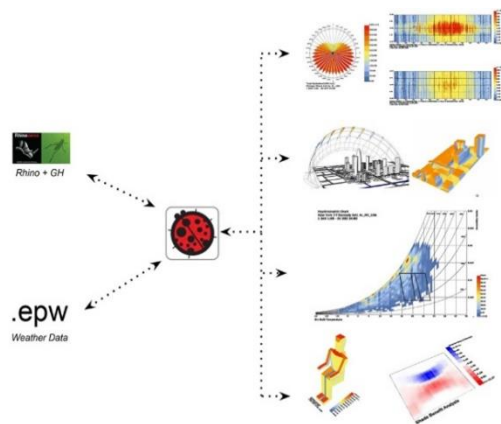


Ilustración 33 - Resultados de desempeño climático lady bug
https://i0.wp.com/parametricmonkey.com/wp-content/uploads/2016/03/ladybug_diagram_1600x1150.jpg?resize=1170%2C841&ssl=1

Para este proyecto, se enfoca el desarrollo en Grasshopper, el cual es un editor gráfico de algoritmos que está integrado con las herramientas de modelado de Rhino3D. Este software sigue un flujo de trabajo de izquierda a derecha donde vamos organizando los diferentes componentes sobre un lienzo, que van definiendo uno a uno el resultado final. Estos componentes pueden ser de varios tipos: parámetros y componentes, que pueden ser de geometría y especifican o dan forma, también pueden ser de movimiento y proyección, sliders o de cantidad, de listas y operaciones, etc. Todos estos parámetros brindan una muy amplia variedad de posibilidades en el programa, lo que hace que no haya solo una forma de llegar a un resultado específico, a comparación de los softwares tradicionales, donde las acciones son más predeterminadas y los procesos están más simplificados.

Aparte de esto, Grasshopper cuenta con una gran variedad de plugins, que son conjuntos de funciones ya sean abreviadas o nuevas que facilitan el uso o logran distintos fines que pueden agregar al programa. Los plugins más conocidos son Lunch Box, Kangaroo Physics, Ladybug Tools, Galapagos, entre otros. Estas funciones abarcan una gran variedad de temas que van desde lo más común que es lo geométrico o creación de forma permitiendo crear, descomponer formas simples o complejas, hasta lo analítico que puede saltar desde lo climático, permitiendo hacer análisis solares, de viento, sombra, etc. También estas funciones permiten generar análisis desde lo

físico, generando esquemas de deformación y esfuerzos. También se pueden encontrar plugins de flujo y la generación de despieces y el ámbito de fabricación, este campo es supremamente amplio y la mayoría de temas arquitectónico de modelado de diseño cuentan con un complemento en muchos de sus temas específicos (Payne, n.d.).

Grasshopper es uno de los programas más conocidos y usados de programación visual, lo que hace que se pueda encontrar mucha información y referencias al respecto. Al ser un software de código abierto, permite que toda la comunidad de usuarios diseñe y desarrolle sus propios complementos.

Herramientas de fabricación digital.

Las técnicas de producción y diseño digital basadas en tecnologías diseño asistido por computadora (CAD, por sus siglas en ingles) y manufactura asistida por computadora (CAM, por sus siglas en inglés) se adoptaron ampliamente durante las últimas dos décadas en muchos campos de la producción y creación de objetos.

Estos avances tecnológicos digitales en diseño y fabricación, crearon para el diseño arquitectónico oportunidades sin precedentes que ahondan en las implicaciones de los nuevos procesos de fabricación y diseño digital habilitados por el uso de diversas tecnologías. Logrando así, uno de los ejemplos más famosos del diseño digital: El avión Boeing 777. El cual tiene la particularidad de ser el primer avión diseñado 100% digitalmente (Kolarevic, 2001).

Entre estos procesos de fabricación digital y/o técnicas de fabricación digitales, se suelen encontrar cuatro grandes categorías que han permitido la construcción de diversas obras arquitectónicas, entre estas tenemos:

- Corte
- Sustracción
- Adición
- Formación

Corte

El corte controlado numericamente por computadora (CNC, en sus siglas en ingles) o fabricacion 2D es la técnica de fabricación más utilizada. Esta emplea diversas tecnologías de corte ampliamente usadas como lo son: el arco de plasma, el rayo láser o el chorro de agua (Kolarevic, 2001).

Las estrategias de producción utilizadas en la fabricación 2D a menudo incluyen contorneado, triangulación Ilustración 34, uso de superficies regladas Ilustración 35 y desplegables y despliegue. Todos implican la extracción de componentes planos bidimensionales de superficies geoméricamente complejas o sólidos que componen la forma de un edificio. Cuál de estas estrategias se utiliza, depende de lo que se esté definiendo tectónicamente: estructura, envolvente, una combinación de las dos, etc.

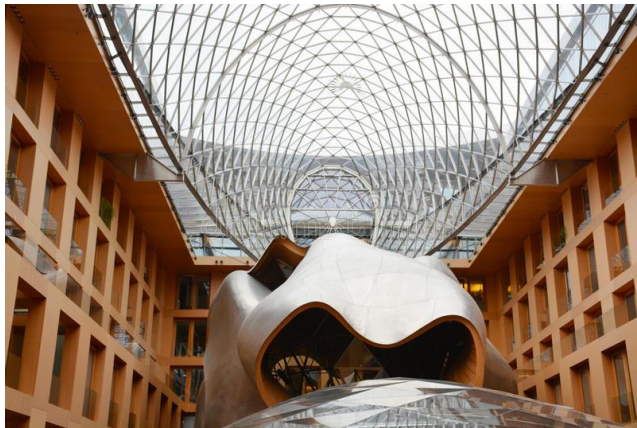


Ilustración 34 - Estrategia de triangulación. DG Bank Building, Berlin, Holanda. Fuente: <https://www.dreamstime.com/photos-images/dz-bank.html>

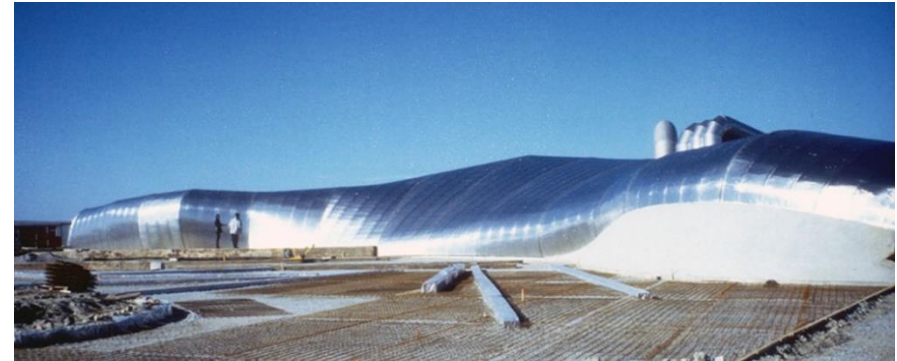


Ilustración 35 - Estrategia de superficie reglada. Water Pavilion, Neeltje Jans, Países Bajos. Fuente: <https://arquitecturaviva.com/obras/pabellon-h2o-neeltje-jans>

Sustracción

La fabricación sustractiva implica la eliminación de un volumen específico de material mediante el fresado Ilustración 36.



Ilustración 36 - Proceso de fabricación sustractiva. Remoción de material mediante el fresado. Fuente: <https://tresde.pe/manufactura-fabricacion-aditiva-vs-fabricacion-sustractiva/>

El proceso de sustracción mediante fresadoras automáticas se ha utilizado para producir componentes de construcción, como piedras para la Catedral de San Juan el Divino de Nueva York Ilustración 37 y columnas para la Iglesia de la Sagrada Familia en Barcelona Ilustración 38.



Ilustración 37 - Catedral de San Juan el Divino, Nueva York, Estados Unidos. Fuente: <https://elpoderdelarte1.blogspot.com/2017/01/la-catedral-san-juan-el-divino-de-nueva.html>



Ilustración 38 - Columnas Iglesia Sagrada Familia, Barcelona, España. Fuente: <https://sagradafamilia-tickets.com/es/blog-sagrada-familia/las-columnas-de-la-sagrada-familia/>

Adición

La fabricación por adición o fabricación aditiva Ilustración 39, implica la formación incremental al agregar material capa por capa, en un proceso inverso al fresado. A menudo se le conoce como fabricación en capas, fabricación sólida de forma libre o creación rápida de prototipos (Hope et al., 1997).



Ilustración 39 - Fabricación aditiva. Adición de diversas capas de hormigón para la formación de paredes. Fuente: <https://www.cdt.cl/micob-y-su-tecnologia-de-impresion-3d-de-hormigon-aplicada-al-ambito-civil-y-militar/>

Debido al tamaño limitado de los objetos que se pueden producir, el equipo costoso y los largos tiempos de producción, los procesos de fabricación aditiva tienen una aplicación bastante limitada en el diseño y la producción de edificios. En diseño, se utilizan principalmente para la fabricación de modelos con geometrías curvilíneas complejas.

Formación

En la fabricación formativa o de formación, se pueden aplicar fuerzas mecánicas sobre una pieza para lograr una geometría específica, calor para aumentar la maleabilidad y lograr darle la forma deseada mediante deformación. El objetivo de esta es lograr generar nuevas formas geométricas permanentes en los materiales empleados en la construcción a través de fuerzas externas. Por ejemplo, las curvas planas se pueden fabricar mediante el doblado controlado numéricamente de varillas delgadas, tubos o tiras de material elástico, como acero o madera, como se hizo para uno de los pabellones de exhibición diseñados por Bernhard Franken (ABB Architekten) para BMW

Ilustración 40



Ilustración 40 - Pabellón de exhibición de la BMW, diseñado por ABB Architekten. Fuente: https://vitruvius.com.br/media/images/magazines/grid_9/eaac1943293a_digital00.jpg

CASO DE ESTUDIO

Planteamiento del problema.

El diseño paramétrico digital se caracteriza por la posibilidad de generar un mayor número de exploraciones en tiempo real de las geometrías construidas mediante procesos paramétricos, así mismo, la visualización de estas variables permite explorar transformaciones con el fin de adaptar una geometría a condiciones específicas y optimizar el diseño de sus partes a partir de simulaciones (Woodbury, 2010). Por otro lado, el desarrollo de proyectos de carácter público ha acudido al diseño de sistemas y prototipos replicables que puedan responder, variar y adaptarse de manera eficiente a las diferentes condiciones físicas y programáticas del lugar donde se implantan. Sin embargo, la asociación de procesos de diseño paramétrico digital con el desarrollo de proyectos arquitectónicos para extender las posibilidades de exploración formal con énfasis en la adaptabilidad y eficiencia del proyecto es un ejercicio con poca profundización teórica y práctica a nivel educativo y profesional en Colombia.

En este sentido el diseño de un sistema de cubiertas para espacio público permite ser un medio para aproximarse a los procesos y herramientas del diseño paramétrico digital con el fin de desarrollar características de variabilidad, adaptabilidad y eficiencia aplicadas a el diseño de un elemento arquitectónico que se implanta en dos entornos la galería La Nave y Cancha Canasteros, ubicados en el sector de Siloé, Santiago de Cali.

Objetivos

Objetivo general

Diseñar un sistema de cubiertas para espacio público que evidencie la generación, adaptabilidad y optimización de la forma mediante un proceso de diseño paramétrico. Escenario simulado en la galería La Nave y Cancha Canasteros, sector Siloé, Santiago de Cali.

Objetivos específicos

- Estudiar el origen y la evolución del diseño paramétrico digital, así como los procesos, principios que han aportado al diseño arquitectónico.
- Identificar las herramientas digitales aplicadas al diseño paramétrico en la arquitectura.
- Desarrollar ejercicios de exploración formal mediante el diseño de algoritmos utilizando como herramienta digital Grasshopper, complemento de Rhino3D, para entender el proceso y el pensamiento del diseño paramétrico.
- Experimentar complementos de Grasshopper para optimizar el diseño de cubiertas y estructuras puntuales.

Metodología de trabajo

La metodología de trabajo está dividida en dos etapas:

- i) Exploración instrumental; la cual pretende ser una introducción a la interfaz de la herramienta digital y un acercamiento al pensamiento paramétrico en la manera de concebir y transformar una geometría, además de permitir el diseño y la recolección de algoritmos que sirvan como complemento para el desarrollo de la segunda etapa.
- ii) Proyecto creativo; en esta etapa se diseñará un sistema de cubiertas para espacio público en la galería La Nave y Cancha Canasteros, este diseño buscará características de adaptabilidad, variabilidad y eficiencia a partir de la aplicación de conceptos y procesos del diseño paramétrico enfocado en la generación geométrica y su posterior transformación a partir de simulaciones climáticas y físicas.

Exploración instrumental

Se desarrolla ejercicios de diseño enfocados en la generación de geometrías y en la variabilidad y adaptabilidad de superficies bajo parámetros de simulación climática (solar) y física (relacionados a esfuerzos - deformaciones) esto para comprender el entorno del programa, sus complementos y el proceso que se debe seguir para diseñar algoritmos. Para esto

se realizan primero ejercicios de creación y transformación de geometrías. Después, se plantea el desarrollo de algoritmos enfocados a la construcción de formas y elementos arquitectónicos. Y por último, se realizan ejercicios de simulación climática y física que permitan evaluar y optimizar superficies y elementos estructurales simples. De esta manera los ejercicios desarrollados en cada paso se van complementando entre sí dando como resultados conjuntos de algoritmos más complejos y completos en relación a la capacidad que ofrecen de generar, transformar y optimizar una geometría. En esta etapa se incluyen exploraciones realizadas por los autores en el curso Técnicas digitales de proyección de la Universidad del Valle y el curso 2022 del programa Crossing the Divide de la AA Visiting School.

Se plantean las siguientes exploraciones:

- i) Diseño de algoritmos para la generación de geometrías. Se realiza ejercicios de generación de superficies y geometrías sólidas a partir de líneas y puntos, estas geometrías son transformadas y replicadas a partir de parámetros de control de puntos y mallas, y secuencias de algoritmos para escala, rotación y movimiento apoyados en el manejo de **listas, rangos y series**. En estos ejercicios se explora las herramientas predeterminadas de la interfaz de Grasshopper y los complementos Weaverbird, Pufferfish y LunchBox que están direccionados a simplificar procesos geométricos.

- ii) Forma arquitectónica mediante procesos paramétricos. Con la intención de comprender la relación del pensamiento paramétrico digital con la solución de problemas arquitectónicos se realizarán algoritmos enfocados en la construcción digital de propuestas arquitectónicas, propias y existentes, Logrando de tal modo la parametrización de sus partes y elementos, lo cual permite la exploración y análisis “paso a paso” que conforma el algoritmo, determina a su vez la posibilidad de variación y transformación geométrica de la forma arquitectónica.
- iii) Parametrización e Iteración de superficies bajo simulaciones de radiación solar y exposición solar directa. Para acercarse a procesos de desempeño climático se realiza ejercicios de simulación de incidencia de radiación solar y confort térmico utilizando el complemento Ladybug. Se diseñan algoritmos que permitan explorar la reducción de la radiación solar y el control térmico a partir de la optimización geométrica mediante procesos de variación y transformación de superficies y sólidos. Para esto se acude a los procesos de generación geométrica y se realizan exploraciones que tomen como valores de referencia, listas de datos arrojados por la simulación.
- iv) Simulación física de esfuerzos y deformaciones.

Se explora la previsualización de deformaciones en estructuras y superficies variando datos de cargas según el tipo de material (acero y madera - base de datos del complemento Karamba), para tener base en la toma de decisiones respecto a la distribución de los apoyos y el redimensionamiento de sus elementos.

Proyecto creativo:

Se plantea el diseño de un sistema de cubiertas para espacio público que, como sistema, desarrolle características de replicabilidad, variabilidad, adaptabilidad y eficiencia y como cubierta. Además, que, sea un elemento arquitectónico que caracterice visualmente el lugar donde se implanta. La propuesta simula dos escenarios en el sector de Siloé, Santiago de Cali: Galería la Nave y Cancha Canasteros.

Propone concretar la exploración de la herramienta digital y evidenciar el aporte de los procesos de diseño paramétrico relacionados a la variabilidad, adaptabilidad y eficiencia en el desarrollo de elementos arquitectónicos.

Esta etapa se desarrolla en cuatro fases:

- i) El sitio. Es donde se realiza la contextualización y el análisis de los dos escenarios y se exponen las intenciones de diseño arquitectónico y urbano. En esta fase se obtienen tres variables para diseñar la cubierta: topografía, área a cubrir, alturas y programa.

- ii) Construcción geométrica. Se explorará la construcción y variabilidad de los módulos y apoyos de la cubierta, se muestra las exploraciones obtenidas en el proceso de diseño del algoritmo y se muestra los componentes que permiten la variabilidad y adaptabilidad de la forma.
- iii) Desempeño. Se somete los elementos diseñados (cubierta y apoyos) a simulaciones de exposición solar directa, con el fin de tomar decisiones de diseño a partir de los datos cualitativos que se generen.
- iv) Fabricación, contempla el despiece de cada componente del sistema.

EXPLORACIÓN INSTRUMENTAL

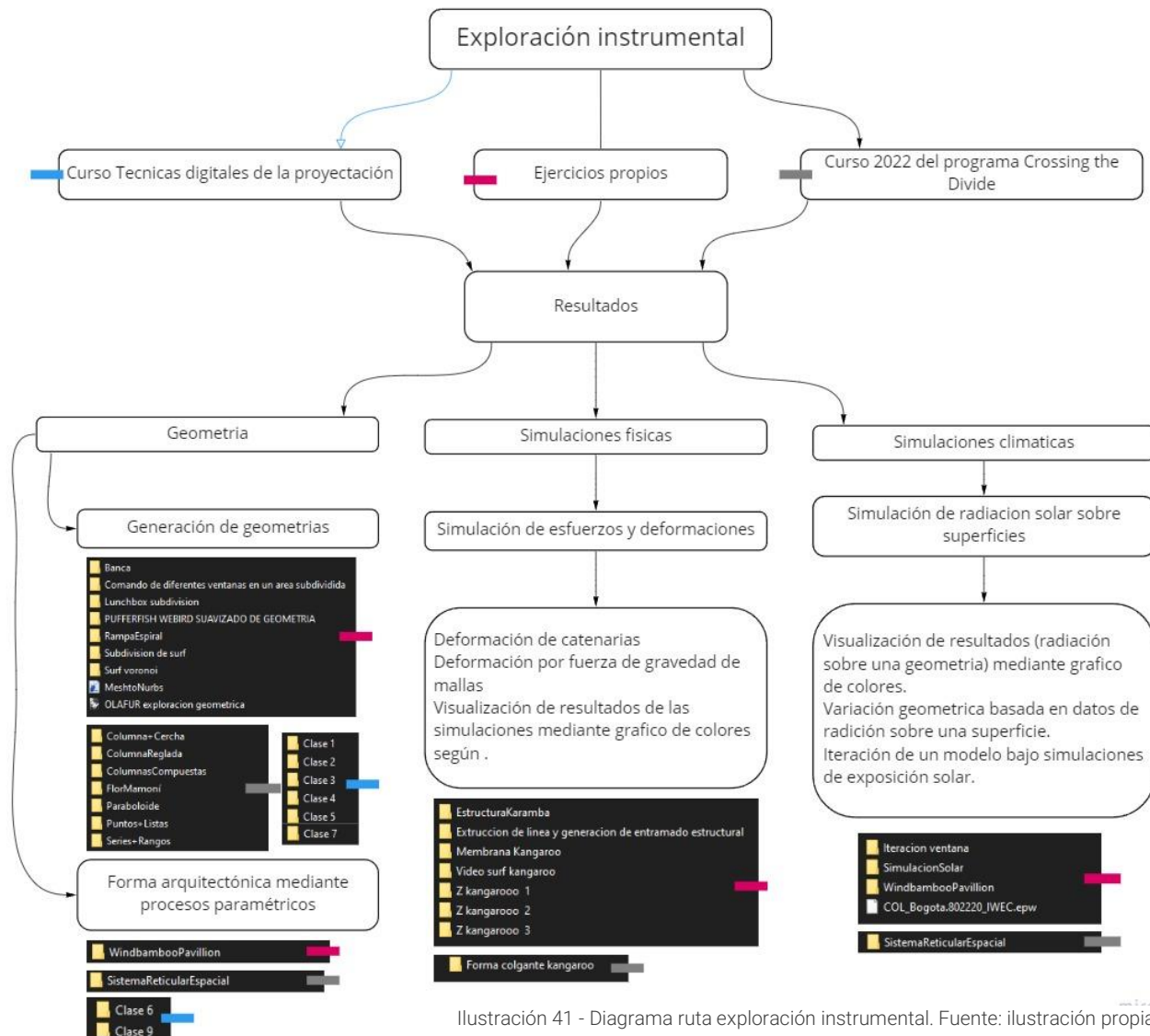


Ilustración 41 - Diagrama ruta exploración instrumental. Fuente: ilustración propia.

Curso Técnicas Digitales de Proyección (TDP)

Universidad del Valle. (Vargas, 2021)

Este curso facilitó el entendimiento general de la interfaz de Grasshopper y creó una base de conocimientos para el desarrollo del pensamiento paramétrico orientado a la generación geométrica. La metodología usada, partiendo del desarrollo de ejercicios simples hasta el proyecto arquitectónico permitió entender la complejidad que aborda cada caso en la construcción de relaciones algorítmicas y permitió evidenciar la posibilidad de reutilizar de recursos entre el desarrollo de un ejercicio y otro.

Curso 2022 del Programa Crossing the Divide (CD)

AA Visiting School. (D. Pérez et al., 2022)

Este curso actuó como una introducción al desarrollo de proyectos sostenibles con bambú mediado por procesos de diseño paramétrico digital, aportó en el aprendizaje técnico constructivo del bambú y en el manejo de herramientas digitales como medio para aprovechar las cualidades físicas, constructivas y geométricas del material profundizando en el desarrollo de formas orgánicas y en la identificación de parámetros variables y constantes en el proceso de construcción digital, además de la integración de procesos de diseño orientados al desempeño climático del objeto arquitectónico.

Banca.

Exploración instrumental – Generación geométrica
Grasshopper

El ejercicio plantea la generación de una banca a partir de un barrido de tres secciones preestablecidas sobre un eje (definido por una curva).

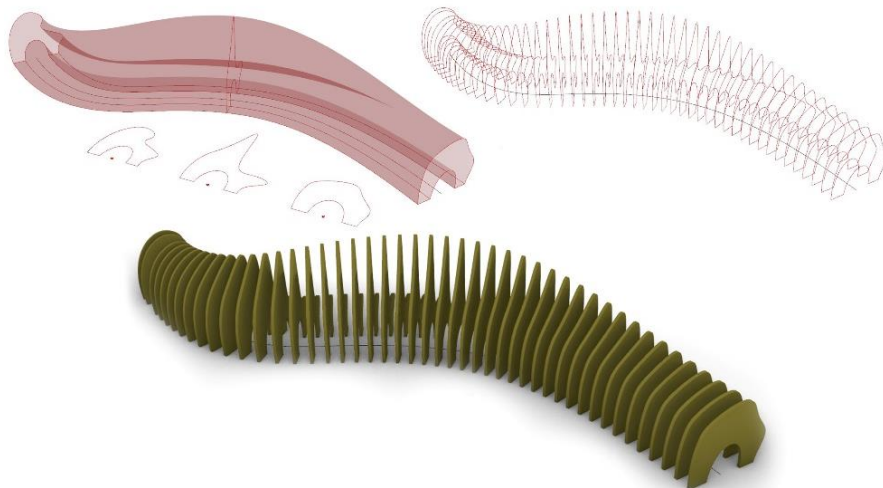


Ilustración 42 – Paso a paso. Ejercicio banca. Fuente: ilustración propia.

- Se modelan tres perfiles en Rhino y se asigna a cada uno un punto de referencia.
- Se referencia cada perfil sobre una línea eje.
- Con los perfiles ubicados se genera un loft. Se subdivide la superficie (número variable) para generar los perfiles intermedios.
- Se genera una superficie a cada perfil y se extruye para dar grosor a cada elemento.

Generación de entramado estructural.

Exploración instrumental – Generación geométrica
Grasshopper

Ejercicio para la generación de un entramado estructural a partir de curvas, puntos y listas.

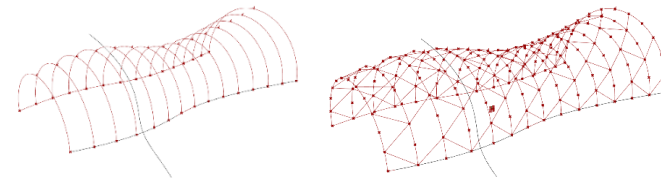


Ilustración 43 - Ejercicio entramado estructural. Fuente: Ilustración propia.

- Se genera una superficie a partir de la revolución de una curva (Perfil del volumen). Se dividen los extremos y se conectan creando los arcos.
- Se dividen los arcos, se generan la lista de puntos y con el componente *patrón de selección* se ordena el patrón de unión entre puntos.
- Se conectan los puntos para generar la trama.
- Se genera una superficie con las líneas de la trama. Y se utiliza el componente *tubo* para darle dimensión a estructura.

Sobre el ejercicio. De este ejercicio se resalta el uso de listas, el patrón de selección y las exclusiones como procesos que facilitan el manejo puntual de elementos.

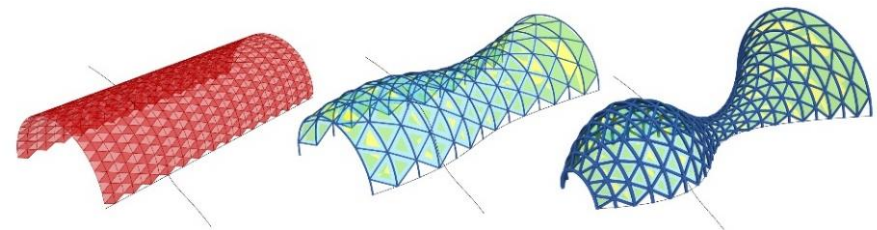


Ilustración 44 – Tres variaciones del entramado estructural. Fuente: Ilustración propia.

Subdivisión con LunchBox.

Exploración instrumental – Generación geométrica
Grasshopper - LunchBox

En este ejercicio se exploran los componentes preestablecidos del complemento LunchBox para generar diferentes subdivisiones sobre una superficie.

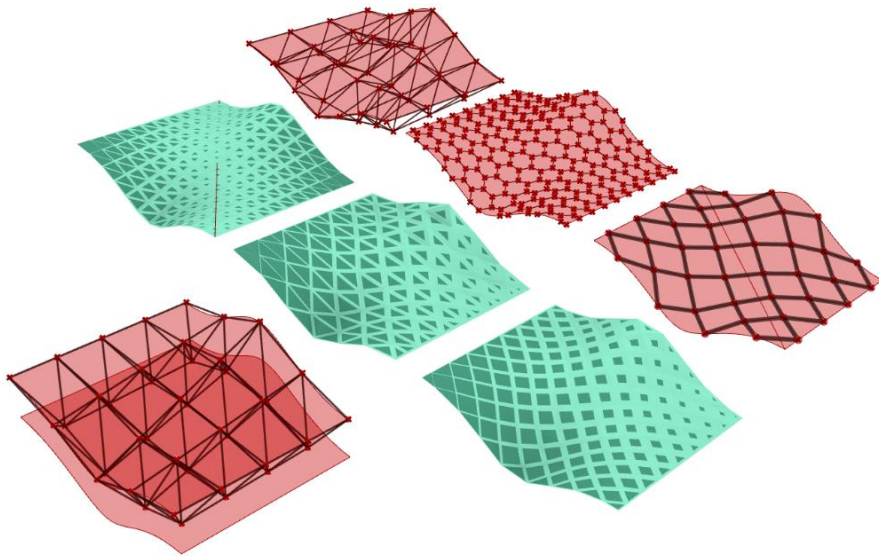


Ilustración 45 - Subdivisión de una superficie con LunchBox. Fuente: Ilustración propia.

Sobre el ejercicio. Comparado con el ejercicio anterior, se reconoce la facilidad y rapidez para generar subdivisiones simples y complejas sobre una superficie a partir del uso de componentes específicos (LunchBox)

Exploración Catmull-Clark - Pufferfish.

Exploración instrumental – Generación geométrica
Rhino-Grasshopper-Pufferfish

Se explora el suavizado de una geometría utilizando el componente Catmull-Clark de Pufferfish.

- i) Se modela desde Rhino la geometría y la superficie y se enlazan a Grasshopper.
- ii) Con el componente Catmull-Clark de Pufferfish se suaviza la geometría diseñada.
- iii) Se referencia la geometría obtenida sobre la superficie inicial utilizando el componente caja de morfología.

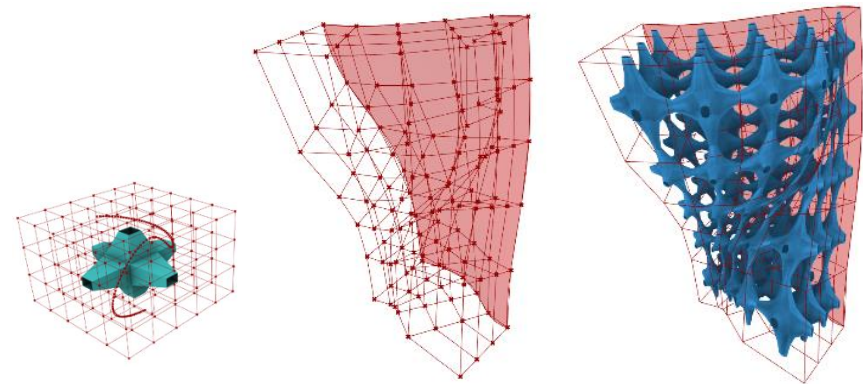


Ilustración 46 - Geometría referenciada + Malla tridimensional - Resultado final.
Fuente: ilustración propia.

Sobre el ejercicio. De este ejercicio se puede resaltar la adición de una geometría a un área establecida, el método de referenciación y como suavizar una geometría creándole curvatura mediante Catmull-Clark.

Exploración Tween y Blend - Pufferfish.

Exploración instrumental – Generación geométrica
Rhino-Grasshopper - Pufferfish

Ejercicio de generación automática de geometrías intermedias con el complemento Tween y Blend.

- i) En necesario más de dos elementos organizados en un mismo eje
- ii) Con el complemento se pueden escoger el tipo de generación de los elementos intermedios y la cantidad de elementos creados.

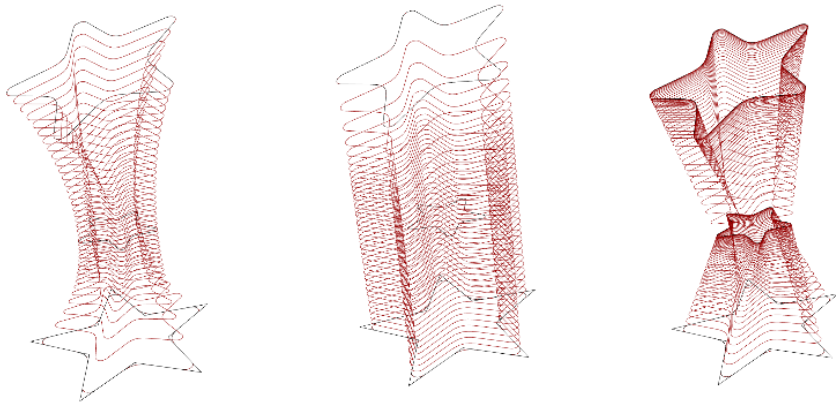


Ilustración 47 - Tres tipos de generación de elementos intermedios. Fuente: ilustración propia.

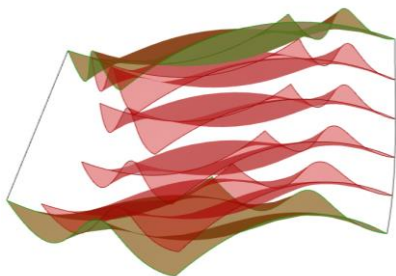


Ilustración 48 - Elementos intermedios con superficies. Fuente: ilustración propia.

Sobre el ejercicio. Se puede resaltar la facilidad de creación de geometrías por medio de referencias ya sean líneas continuas, separadas, superficies, interpolaciones o cuadrículas.

Exploración Voxelmesh - Pufferfish.

Exploración instrumental – Generación geométrica
Grasshopper - Pufferfish

Se subdivide una superficie en puntos y sobre cada punto se genera una nueva geometría. El componente permite variar el número de subdivisiones de la superficie y la dimensión de la geometría generada.

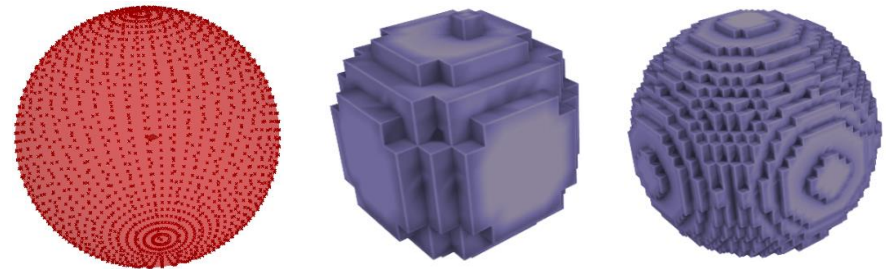


Ilustración 49 - Subdivisión de superficie + dos variaciones del ejercicio. Fuente: ilustración propia.

Subdivisión Voronoi.

Exploración instrumental – Generación geométrica
Rhino-Grasshopper

Ejercicio de subdivisión Voronoi. Es un método de interpolación más simple basado en la distancia euclidiana. El perímetro de los polígonos generados es equidistante a los puntos vecinos.

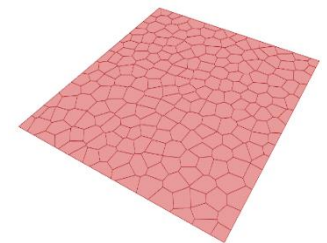
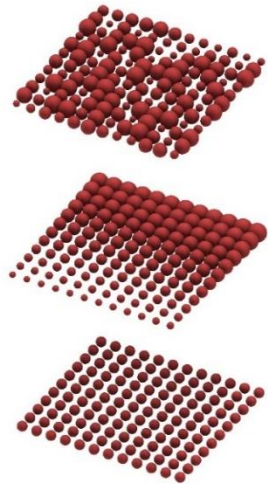


Ilustración 50 - Subdivisión Voronoi. Fuente: ilustración propia.

Ejercicio clase 1

Exploración instrumental - Generación geométrica – TDP
Rhino 3D + Grasshopper



Ejercicio de iteraciones generadas a partir series. Se generan esferas sobre una malla de puntos y se aplica un rango para variar el tamaño de las esferas. Se explora dos variaciones:

- i) Rango simple (lineal).
- ii) Rango aleatorio.

Ilustración 51 - Ejercicio generación de esferas sobre malla de puntos + dos variaciones.
Fuente: ilustración propia.

Ejercicio clase 2

Exploración instrumental -
Generación geométrica – TDP
Rhino 3D + Grasshopper

Generación de cercha Pratt a partir de una serie de líneas. Se realiza mediante la subdivisión de líneas e interconexión de puntos + el componente tubo para dar grosor a los elementos.

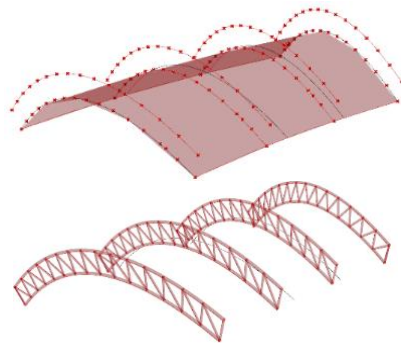


Ilustración 52 - Paso a paso ejercicio clase 2.
Fuente: ilustración propia.

Ejercicio clase 3

Exploración instrumental - Generación geométrica – TDP
Rhino 3D + Grasshopper

Se explora la generación de círculos cuyo radio varía en función de su cercanía a una curva específica.

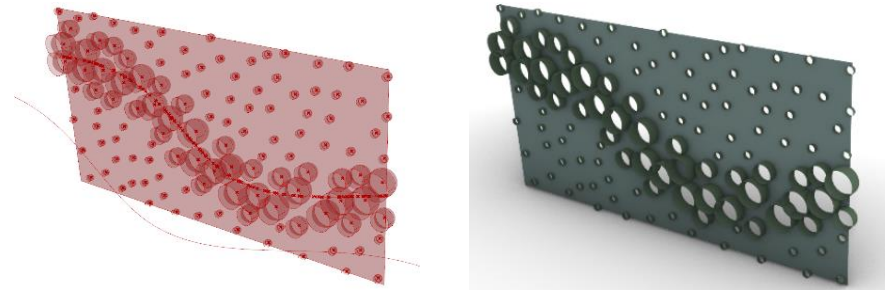


Ilustración 53 – Ejercicio generación de círculos de radio variable. Fuente: Ilustración propia.

Ejercicio clase 4

Exploración instrumental - Generación geométrica – TDP
Rhino 3D + Grasshopper

Generación de superficies regladas a partir de la subdivisión de curvas y la union de los puntos resultantes. Se exploran variaciones con el manejo de listas y series.

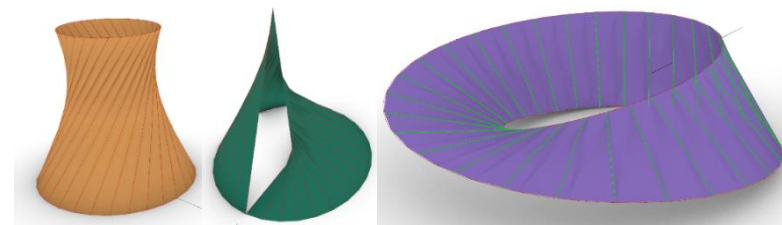


Ilustración 54 - Generación de superficies regladas. Fuente: ilustración propia.

Ejercicio clase 5

Exploración instrumental - Generación geométrica – TDP

Rhino 3D + Grasshopper

Se explora la transformación de una superficie a partir de subdivisiones, extrusiones y referencias. Además de la variación y clasificación de sus elementos con el manejo de listas.

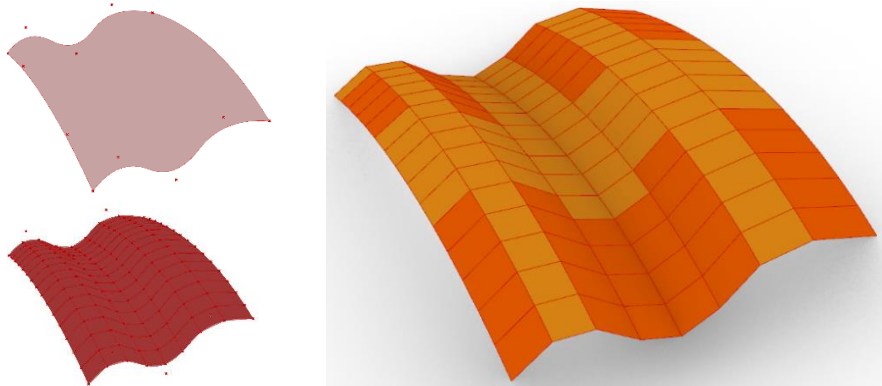


Ilustración 55 – Superficie + Subdivisión + Clasificación. Fuente: ilustración propia.

Se subdivide la superficie y se clasifican los módulos generados en dos conjuntos i) módulos planos, y ii) módulos curvos. Ilustración 55

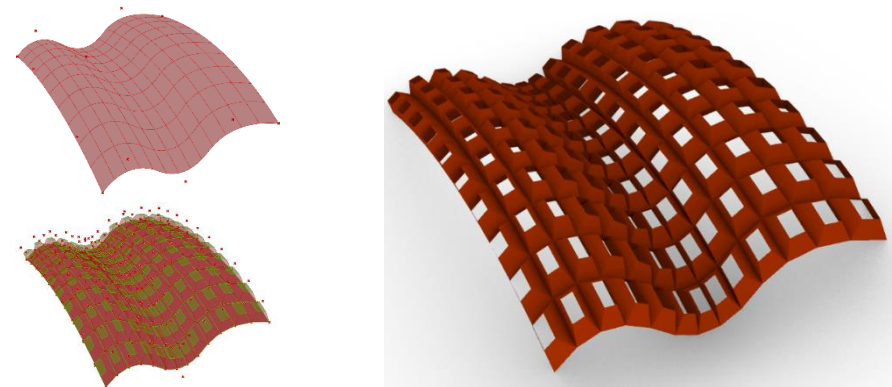


Ilustración 56 - Subdivisión + Escalado + Resultado final. Fuente: Ilustración propia.

Se subdivide la superficie, cada módulo generado se escala y se desplaza perpendicular a su centro. Finalmente se genera un loft entre ambas geometrías. Ilustración 56

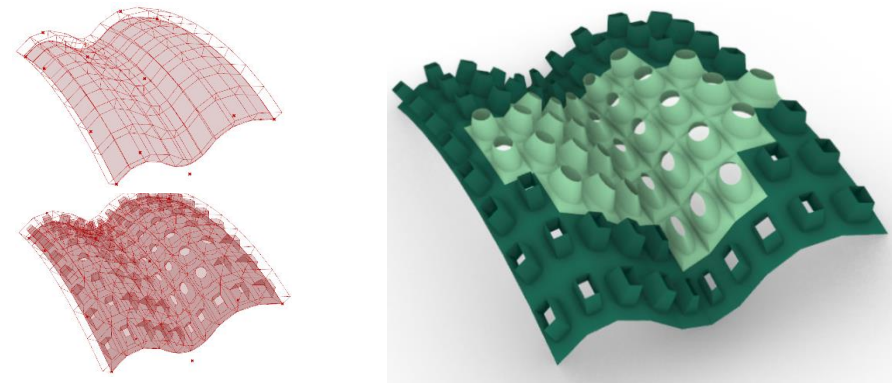


Ilustración 57 - Caja de morfología + Referenciación de geometría + Resultado final.
Fuente: ilustración propia.

Se subdivide la superficie y con el componente caja de morfología se referencian dos geometrías desde Rhino. Previamente se ubica un punto atractor para determinar la ubicación de las geometrías. Ilustración 57

Series + Rangos

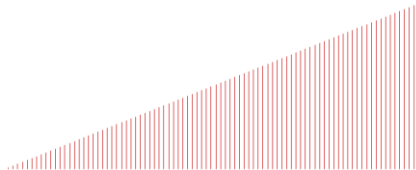
Exploración instrumental – Generación de geometrías – CD

Grasshopper

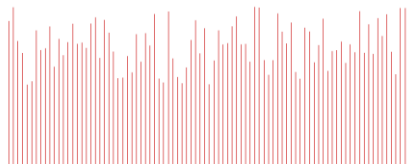
Comprender el funcionamiento de series y rangos entendiendo el flujo de datos y listas de datos sirve como base para crear algoritmos cortos que facilitan la variabilidad de un sistema.

Ejercicio base. Construcción de líneas a partir del movimiento de puntos en el eje Z.

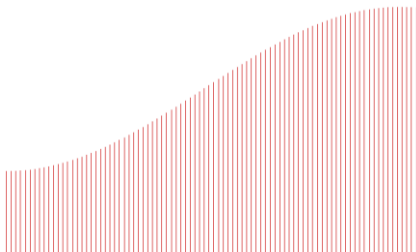
Rango. Los puntos se desplazan respondiendo a un valor máximo y mínimo.



Rango simple. Los puntos se desplazan de manera lineal y consecutiva.
Ilustración 58 Fuente: ilustración propia.



Rango aleatorio. Los puntos se desplazan de manera aleatoria.
Ilustración 59 – Fuente: ilustración propia.



Números por función. Los puntos se desplazan respondiendo a una expresión matemática.
Ilustración 60 - Fuente: ilustración propia.

Ejercicio base. Construcción de una torre en espiral.

- Se replica en el eje z la geometría base, con el componente *series* se varía el número de copias del elemento y la distancia entre ellos (lo cual determina la altura de la torre y el número de pisos).
- Se aplica un *rango* simple para rotar entre 0° y 180° cada geometría replicada.
- Se aplica un *rango* para variar la escala de cada geometría

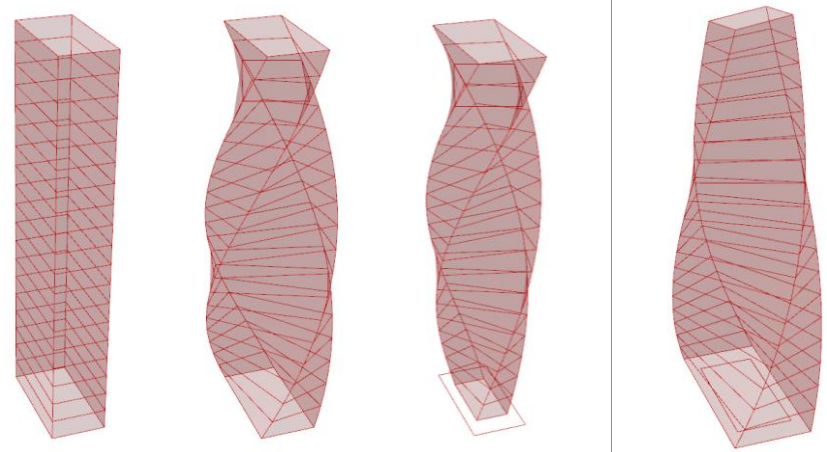


Ilustración 61 - Construcción de torre en espiral + una variación de los parámetros.
Fuente: ilustración propia.

Flor Mamoní

Exploración instrumental – Generación de geometrías - CD
Rhino 3D + Grasshopper

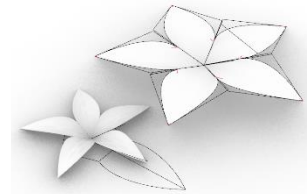


Ilustración 62 – Construcción conceptual en Rhino. Flor Mamoní. Fuente: ilustración propia.

Este ejercicio plantea la exploración de formas orgánicas en bambú partiendo de la transformación de paraboloides hiperbólicos. El diseño propone definir un espacio cubierto a partir de la réplica radial de un paraboloide y explora la extensión de los elementos que constituyen el paraboloide para suavizar los bordes simulando el pétalo de una flor. Para entender el proceso de

construcción en Grasshopper se realizó primero la construcción conceptual del diseño en Rhino Ilustración 62.

Paso a paso

- Se construye un paraboloide con vértices variables en z teniendo como base de trabajo un segmento de un polígono regular.
- Se extienden los elementos internos teniendo como referencia la gráfica de una parábola para generar la curvatura de los bordes externos.
- Se parametriza la rotación del paraboloide teniendo en cuenta el número de segmentos y el ángulo formado entre dos vértices y el centro del polígono base.
- Se aplica un componente de tubo a todas las líneas del paraboloide.

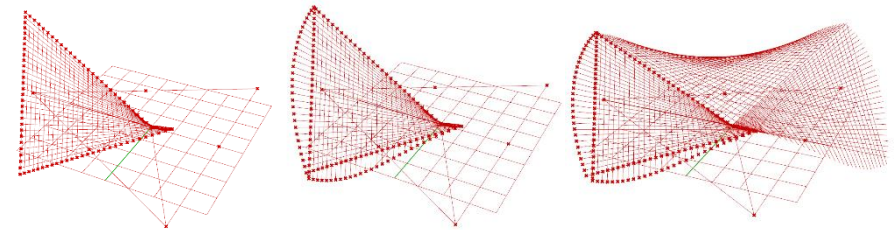


Ilustración 63 - Paso a paso en Grasshopper. Flor Mamoní. Fuente: Ilustración propia.

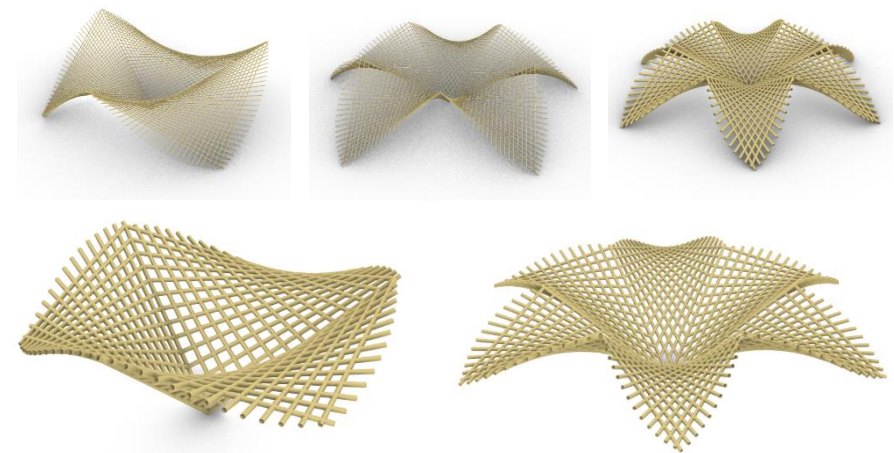


Ilustración 64 – Variaciones finales. Flor Mamoní. Fuente: ilustración propia.

Sobre el ejercicio. Se introduce a procesos cortos para la repetición de elementos permitiendo un grado de variabilidad dentro del mismo, es decir, se entiende que no es necesario duplicar algoritmos completos para obtener varios elementos similares y que es la herramienta la que posibilita generar cambios en cualquier momento a la geometría base.

Sistema reticular espacial

Exploración instrumental - Forma arquitectónica - CD

Rhino 3D + Grasshopper + LadyBug + Galapagos



Ilustración 65 - Practica constructiva. Sistema reticular espacial. Fuente: Ilustración propia.

El ejercicio consiste en la construcción digital del sistema reticular espacial en bambú diseñado para la práctica constructiva del taller CD sobre el cual se utiliza el complemento LadyBug para simular la exposición solar sobre los elementos de apoyo y se explora el complemento Galápagos (solucionador evolutivo) como medio para analizar las posibilidades de protección de estos elementos respecto a las variaciones de la cubierta.

Construcción geométrica

- i) La estructura nace de un polígono variable en su número de lados y en su construcción en z. Se desplaza el punto medio de cada segmento del polígono (min 1m - máx. 3m) para determinar la triangulación exterior en planta del sistema y se desplaza el punto central del polígono para determinar la altura de la estructura.

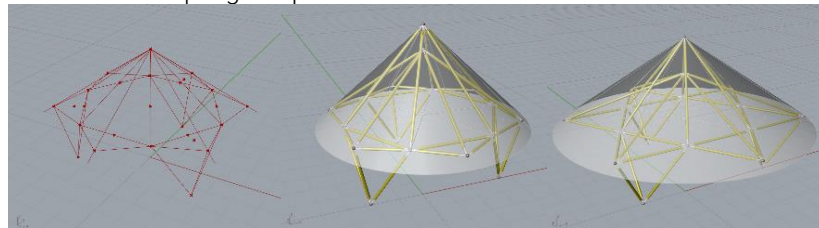


Ilustración 66 - Construcción líneas y puntos + Dos variaciones de amplitud de la cubierta. Fuente: Ilustración propia.

- ii) Usando el componente *patrón de selección* con un patrón verdadero, falso se determina el número de apoyos que tendrá la estructura. Se unen todos los puntos (base y altura) con los vértices de los polígonos.

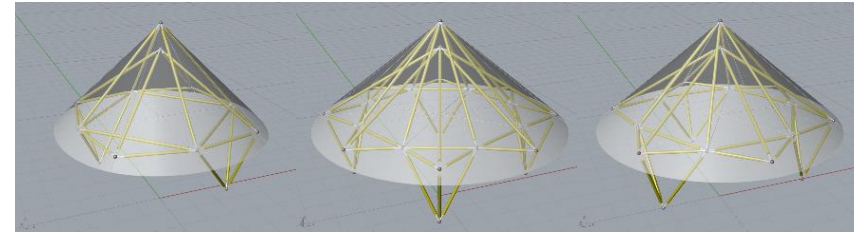


Ilustración 67 - Tres variaciones del polígono base. Fuente: ilustración propia.

- iii) Cada línea que conforma el esquema de la estructura se retrocede del vértice para crear el nodo de unión entre los tallos de bambú. Se utiliza el componente de *tubo* para definir el diámetro de cada elemento y con las líneas que componen la triangulación exterior superior se crea un loft que define la cubierta.

Simulación y análisis LadyBug + Galápagos.

- iv) Se construye el algoritmo con LadyBug para el análisis de exposición solar simulada en Bogotá y se determina el análisis de cada solsticio (21 de junio y 21 de diciembre) en un rango horario de 10:00 am - 14:00 pm. Previamente se seleccionan los elementos de la estructura que tienen mayor probabilidad de exposición directa al sol que se insertan al algoritmo como geometría de análisis y se inserta la cubierta como geometría de contexto ya que es la que dará sombra al primer elemento.

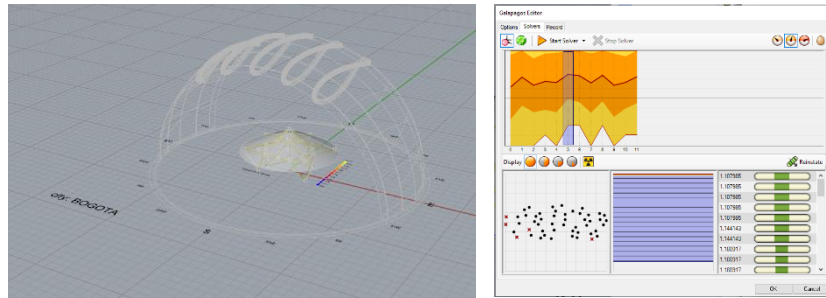


Ilustración 68 - Análisis solar + Interfaz de Galápagos. Fuente: ilustración propia.

- v) Antes de ingresar la información a galápagos se condensa en un solo dato numérico la relación entre el área de la cubierta y los resultados de exposición solar, de manera que a partir de las iteraciones realizadas por Galápagos se halle la superficie mínima de la cubierta que garantiza la protección de los elementos analizados.

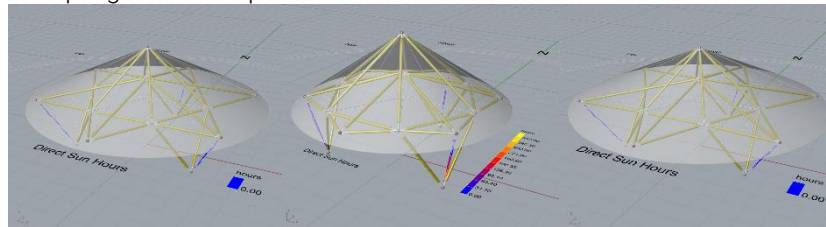


Ilustración 69 - Tres resultados arrojados por el componente Galápagos. Fuente: Ilustración propia.

posibilidades en menor tiempo, sin embargo, para que estas herramientas sean más efectivas es necesario profundizar en temas climáticos y matemáticos para comprender mejor los resultados arrojados en el proceso.

El componente *patrón de selección* y sus similares, resulta una acción útil para determinar de manera fácil y rápida distintos criterios de selección.

Sobre el ejercicio. El uso de complementos para el análisis resulta oportuno considerando que la estructura realizada es en bambú y por tanto sus elementos deben estar bien protegidos para garantizar su durabilidad, por otro lado el complemento Galápagos permite agilizar el proceso de iteración orientada al desempeño de la cubierta en pro de la protección de los elementos estructurales abarcando un mayor rango de

Sistema porticado en Bambú

Exploración instrumental - Forma arquitectónica - CD

Rhino 3D + Grasshopper



Ilustración 70 -Practica constructiva curso CD - Pórtico en bambú. Fuente: Ilustración propia.

El ejercicio consiste en la construcción digital del pórtico en bambú diseñado para la práctica constructiva del taller CD con el cual se explora las curvaturas suaves (naturales) del tallo de bambú. En cuanto a lo digital, se plantea incorporar un algoritmo que permita la

repetición lineal del pórtico para simular un espacio cubierto y explorar la variabilidad de las dimensiones de los elementos.

Como parte de la estrategia de diseño se divide el sistema en generación de columnas, generación de cerchas y algoritmo de repetición.

Columna compuesta por cuatro tallos y tres conexiones.

- i) Con una línea referenciada desde Rhino o Grasshopper se crea una secuencia de construcción de líneas y puntos a partir de un parámetro de desplazamiento que toma como valor de referencia el radio que se asigne al tallo de bambú. Con este algoritmo se define la ubicación de los centros para las columnas.
- ii) Se generan círculos a partir de cada punto (hallado en el paso anterior) y se establece un valor variable entre 0.5 y 0.8 cm para el radio. Cada círculo se extruye una longitud máxima de 10m.

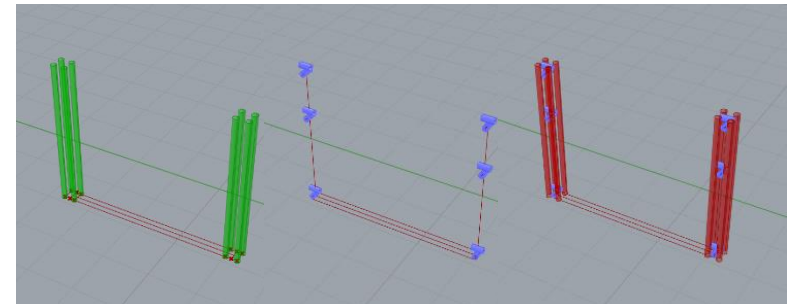


Ilustración 71 - Paso a paso construcción de columna compuesta. Fuente: ilustración propia.

- iii) Para las conexiones se referencian líneas generadas en el primer paso las cuales, a partir de una secuencia de líneas y puntos desplazados y rotados que toman como referencia el radio del tallo y la longitud de la columna, permite definir los puntos donde se van a ubicar las conexiones entre los tallos y la longitud que van a tener los elementos. Este algoritmo solo considera una ubicación variable para la conexión del medio.
- iv) Finalmente se aplica un parámetro de tubo a cada línea que representa un elemento de conexión aplicando el mismo valor de radio que tienen las columnas.

Cercha con perfiles curvos.

- v) Similar al proceso de generación de las columnas, se desarrolla un algoritmo que a partir del desplazamiento de curvas y puntos define la disposición de las vigas y riostras que conforman la cercha. Para este caso se establecen dos condiciones de relación: i) entre la longitud de la columna y la base de la cercha, ii) entre el punto medios de la viga superior y la conexión intermedia de la columna.

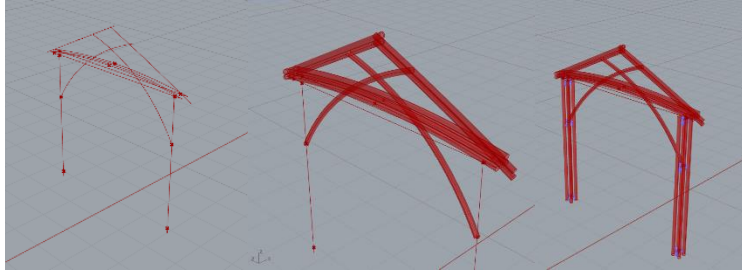


Ilustración 72 - Paso a paso construcción pórtico simple. Fuente: Ilustración propia.

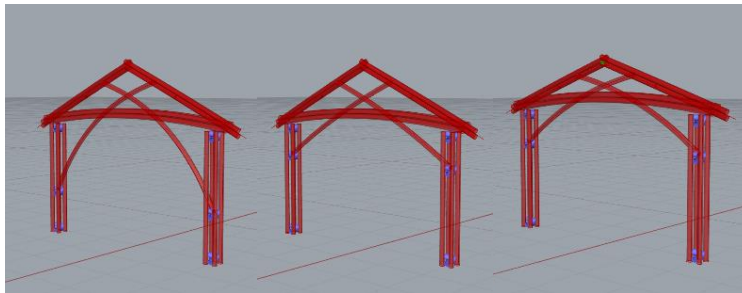


Ilustración 73 - Variación de conexión intermedia + variación de la altura de la cercha. Fuente: ilustración propia.

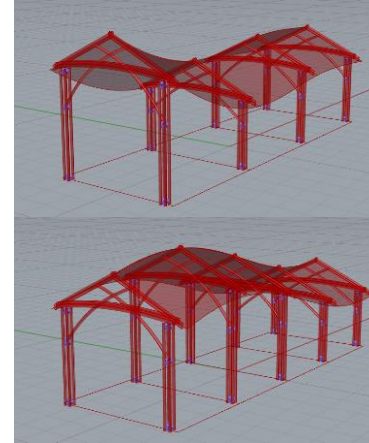
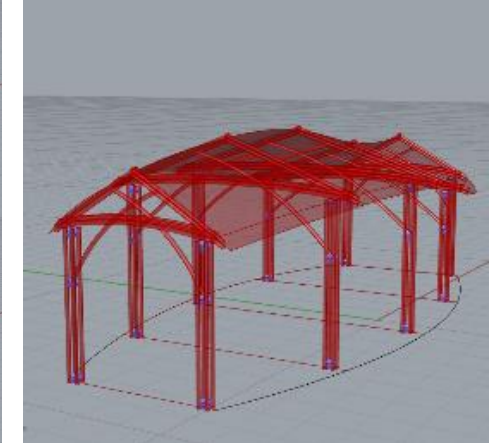


Ilustración 74 - Variaciones sistema porticado en bambú. Fuente: Ilustración propia.



Sobre el ejercicio. Se evidencia cómo el uso del programa facilita variar la configuración general del pórtico sin diseñar directamente la variación de cada elemento, es decir, mantiene una lógica constructiva al replicar los pórticos aun cuando su luz y altura cambian.

Algoritmo de repetición

- vi) Para la generación de un sistema porticado se referencian dos curvas que actúan como ejes estructurales y se dividen según el número de apoyos que se desea tener.
- vii) La superficie de cubierta se crea a partir de un loft entre las curvas que definen la viga superior de la cercha
- viii) Se explora la iteración de las alturas de cada pórtico a partir de rangos de valores que varían según una gráfica matemática.

Wind Pavilion, CAUP, Tongji University

Exploración instrumental - Forma arquitectónica

Rhino 3D + Grasshopper



Ilustración 75 - Imagen exterior Wind Pavilion. Fuente: Archdaily

La construcción digital del proyecto Wind Pavilion, CAUP, Tongji University, es un ejercicio que continúa la exploración del bambú en la construcción de superficies regladas. En el proceso se explora el concepto de adaptabilidad a partir de la parametrización de la envolvente y de los apoyos y se tiene en cuenta el rango de variabilidad para el diámetro del bambú.

- i) El modelo parte de una elipse, esta se divide en tres y a partir de la unión con curvas NURBS de los puntos resultantes con el centro se define la estructura central. El desplazamiento en z de la estructura se deja variable.
- ii) Se crea un algoritmo que proyecta en z los puntos de apoyo a una superficie. La superficie es una referencia externa que permite variar la topografía de implantación

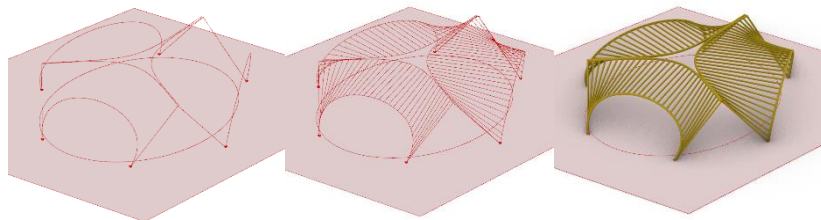


Ilustración 76 - Paso a paso construcción digital - Wind Pavilion. Fuente: Ilustración propia.

- iii) Se crea un arco entre dos puntos de apoyo y se genera un algoritmo de rotación para cada uno. Esto permite variar el ángulo de cerramiento de la envolvente.
- iv) Se dividen las curvas NURBS y los arcos en partes iguales (valor variable), se unen los puntos para crear la estructura de la envolvente y se aplica un componente de "tubo" a todas las curvas. Para el diámetro del tubo se establece un rango entre 12 -15 cm que corresponde a la variabilidad natural de un tallo de bambú.

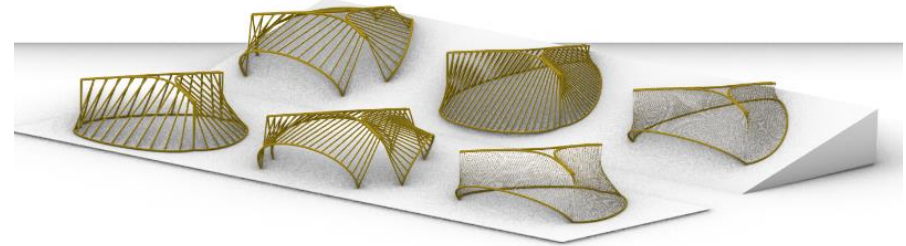


Ilustración 77 - Variaciones del proyecto Wind Pavilion. Fuente: Ilustración propia.

Sobre el ejercicio. La construcción del sistema representó cierta complejidad al aplicar algoritmos sobre elementos con sistemas de coordenadas distintos lo que significó duplicar la información de trabajo para cada caso específico.

Parametrizar el proceso de proyección de puntos sobre una superficie variable se entiende como un proceso que facilita la creación de sistemas con elementos adaptables a diferentes entornos.

Pabellón rampa en espiral

Exploración instrumental - Forma arquitectónica – TDP

Rhino 3D + Grasshopper + LunchBox

Ejercicio clase, técnicas digitales de proyección. Se genera una rampa en espiral por medio de una curva referenciada al centro tanto de su inicio como en su final, la cual se le hace un offset para sus costados y se subdivide creando una superficie la cual se extruye y crea la losa de la rampa, el manejo referenciado del inicio y del final permite variarlo tanto en su altura como en la separación del centro y el número de vueltas que vaya a dar.

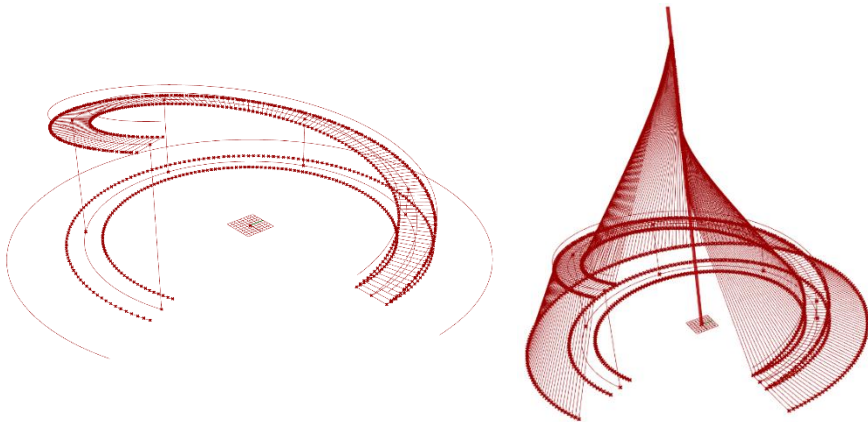


Ilustración 78. Construcción de rampa + modelo base. Fuente: ilustración propia.

- i) La generación de las dos superficies regladas de los hilos se logra por medio de la subdivisión de las dos curvas de los costados de la rampa la cual, una se conecta con los puntos hacia el mástil, y la otra por medio de la curva inferior hacia afuera, se subdivide y conecta.

- ii) La generación de las barandas es una extrusión de la misma línea de borde de la rampa la cual se le establece una altura. La línea de borde del pasamanos se le hace un pipe que le genera un grosor.
- iii) La estructura inferior se realiza por medio de LunchBox sobre la superficie de la rampa que por medio del complemento se genera una triangulación

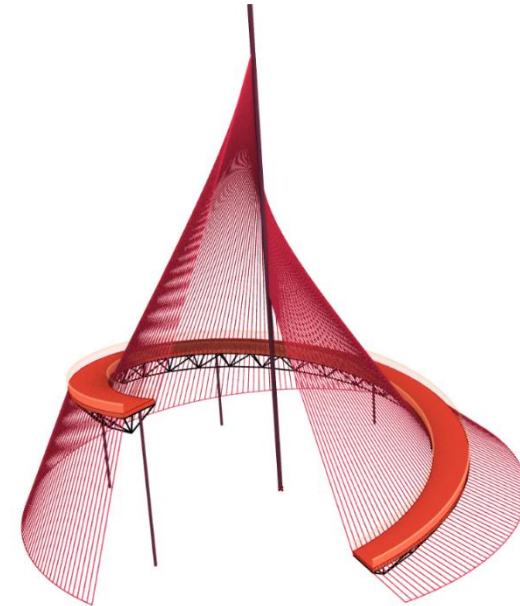


Ilustración 79 – Resultado final Pabellón rampa en espiral. Fuente: ilustración propia.

Sobre el ejercicio. Se resalta el manejo coordinado de varios elementos en un mismo ejercicio. Se puede lograr un resultado óptimo variable, si previamente se seleccionó los elementos primordiales cambiantes, lo que permite que todo pueda funcionar en conjunto.

Torre

Exploración instrumental - Forma arquitectónica - TDP
Rhino 3D + Grasshopper

Este ejercicio se organiza mediante un loft que organiza sus 3 partes, las losas la envolvente y los pilares.

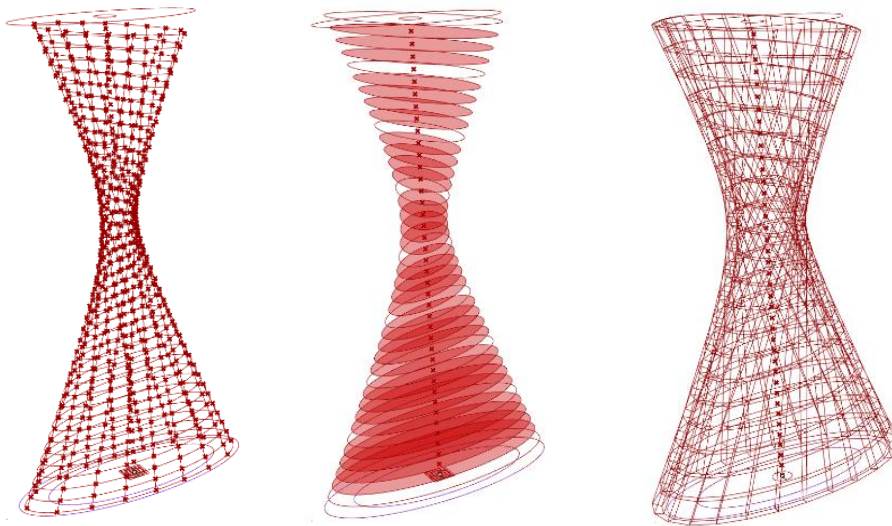


Ilustración 80 - Elementos de la torre: pilares + losas + envolvente.
Fuente: Ilustración propia.

- i) Los pilares se organizan en una subdivisión de la línea de borde la cual se conecta con la superior
- ii) Las losas se realizan mediante un ejercicio de listas descartando 2 dos tipos.
- iii) La fachada se realiza mediante una subdivisión de la superficie la cual se le referencia la geometría realizada aparte.

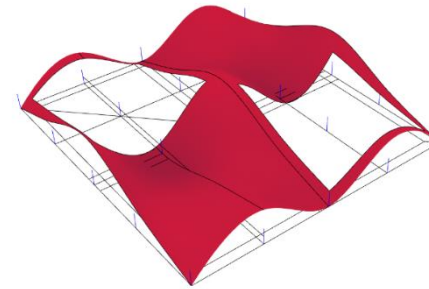


Ilustración 81 - Panel referenciado para la envolvente. Fuente: ilustración propia.

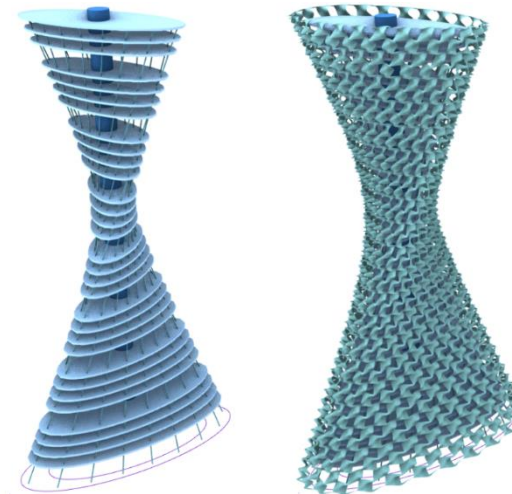


Ilustración 82 - Resultado final: i) estructura ii) envolvente. Fuente: ilustración propia.

Sobre el ejercicio. Se resalta el manejo coordinado de varios elementos en un mismo ejercicio y como se puede lograr un resultado optimo variable, si previamente se fue riguroso en la selección de los elementos primordiales cambiantes, lo que permite que todo pueda funcionar en conjunto.

Parametrización e Iteración de superficies bajo simulaciones de radiación solar

Exploración instrumental – Herramientas de simulación ambiental
Rhino 3D + Grasshopper + LadyBug + WaveBird

El objetivo de este ejercicio es crear variaciones geométricas a una superficie cuya generación este determinada por datos reales obtenidos de la exposición simulada a la radiación solar de una superficie plegada. Además, se explora el control sobre la cantidad de variaciones generadas mediante el uso de listas y rangos.

Proceso base Construcción de una superficie plegada + algoritmo de simulación.

- Se construye la superficie en la interfaz de Rhino 3D utilizando un loft entre dos perfiles (curvas).
- Se construye el algoritmo para la simulación de datos de radiación solar y se analiza la superficie bajo cuatro condiciones horarias.
Datos de simulación: Bogotá 21 de septiembre 8:00am, 12:00m, 4:00pm y el promedio de radiación sobre la superficie de 8:00am – 4:00pm. Para este algoritmo se usó el complemento LadyBug.

Caso 1 Algoritmo para la teselación piramidal de una superficie.

Parámetro: a mayor radiación mayor altura.

- Se utiliza el complemento WeaveBird para la generación de las pirámides sobre la malla de colores arrojada por la simulación.
- Se parametriza las alturas de las pirámides asignando un rango de valores (min 0.4 máx. 0.8 cm) a los datos cuantitativos arrojados por la simulación (previamente organizados en orden descendiente).

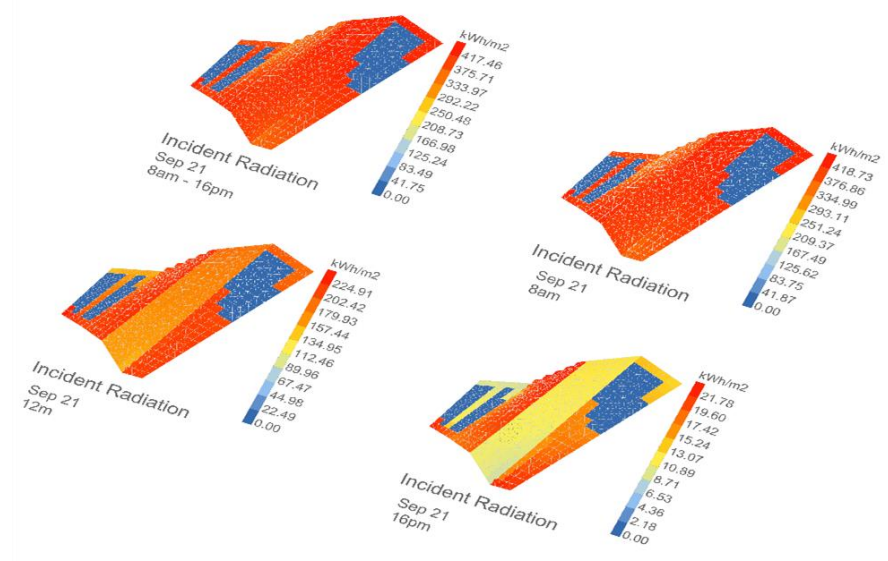


Ilustración 83 - Simulación de radiación solar + teselado piramidal de superficies.
Herramienta Grasshopper + LB Incident Radiation + WBStellate. Archivo anexo:
SimulacionSolar.gh - SimulacionSolar.3dm

Caso 2 Algoritmo para la perforación de una superficie.

Parámetro: A mayor radiación menor escala de la perforación.

- Se extrae la malla de colores generada por la simulación. Cada recuadro se escala hacia el interior y se crea una superficie teniendo en cuenta los nuevos contornos.
- Se parametriza a el factor de escala de la perforación asignando un rango de valores (min 0.1 máx. 0.9) a los datos cuantitativos arrojados por la simulación.

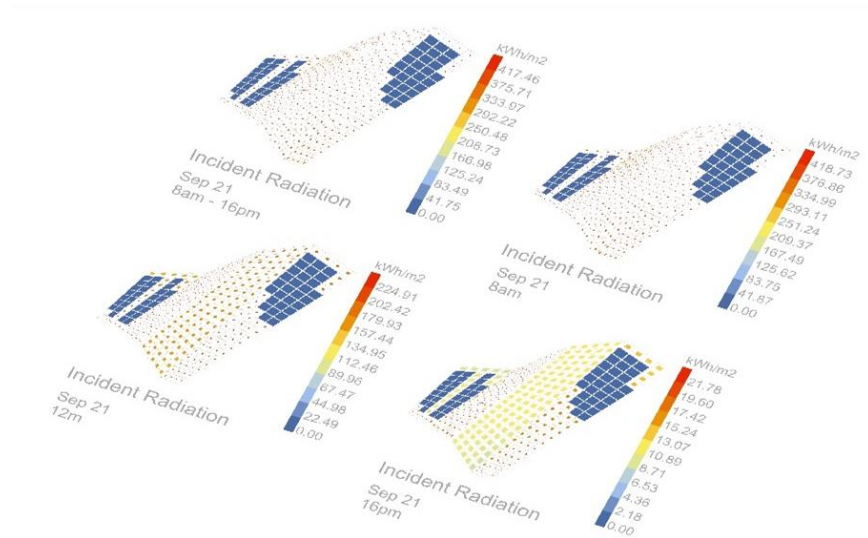


Ilustración 84 - Simulación de radiación solar + perforación de superficies. Herramienta Grasshopper + LB Incident Radiation. Archivo anexo: SimulacionSolar.gh - SimulacionSolar.3dm

Sobre el ejercicio. La implementación del complemento Weavebird redujo la extensión del algoritmo generativo simplificando el proceso de creación de la forma a un solo componente.

Si bien el complemento LadyBug permite un manejo intuitivo de sus componentes requiere que el diseñador profundice en temas climáticos y matemáticos para comprender mejor los resultados arrojados en el proceso y así poder utilizarlos de manera más eficiente en procesos tanto de análisis como de generación de geometrías.

Simulación física de esfuerzos y deformaciones.

Exploración instrumental – Herramientas de simulación física

Grasshopper

Ejercicio de propiedades físicas aplicado sobre una curva donde se seleccionan valores de carga y el elemento actúa.

Ilustración 85

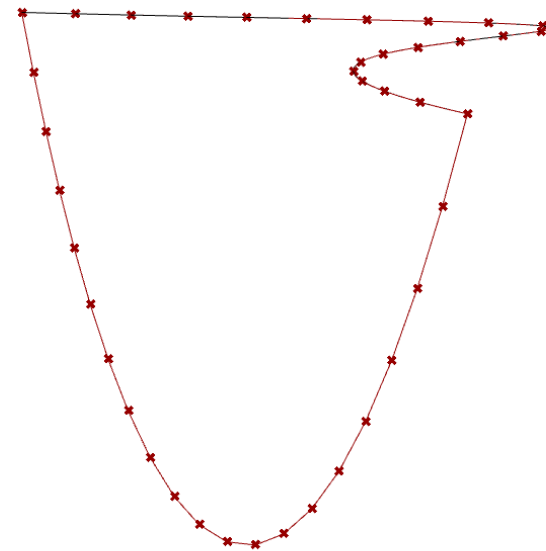


Ilustración 85 - Simulación físicas sobre una curva. Fuente: ilustración propia.

Se muestra el ejercicio del plugin Kangaroo donde a una superficie se le aplica una subdivisión en la cual se fijan puntos al borde y se establece una carga a los puntos internos que generan la superficie. Ilustración 86

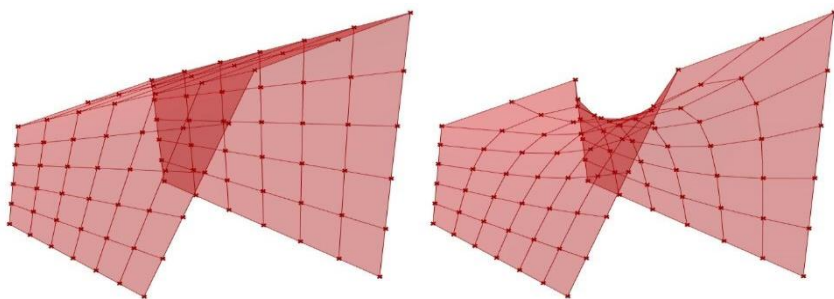


Ilustración 86 - Simulación físicas sobre una superficie. Fuente: ilustración propia.

Creación de superficie plana, la cual se le aplica las propiedades físicas que proyectan la forma generando una superficie bajo esfuerzos de tensión. Ilustración 87

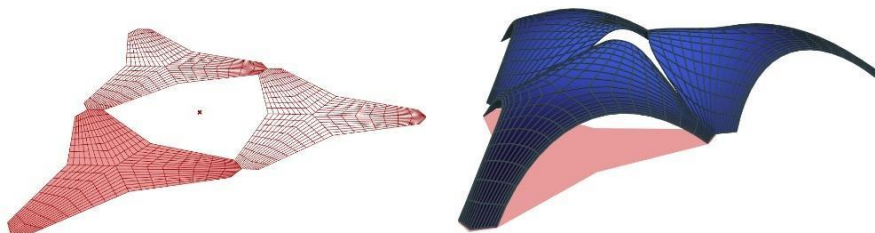


Ilustración 87 - Ejercicio mallas. Fuente: ilustración propia.

SISTEMA DE CUBIERTAS PARA ESPACIO PÚBLICO

CASO GALERÍA LA NAVE Y CANCHA CANASTEROS, SECTOR SILOÉ, SANTIAGO DE CALI.

Base conceptual.

Se realiza el siguiente proceso conceptual como base para el desarrollo del sistema

Modulación. Se explora la modulación del sistema a partir de una geometría irregular. Para esto se experimenta con la transformación de una malla ortogonal hasta obtener como base geométrica un romboide.

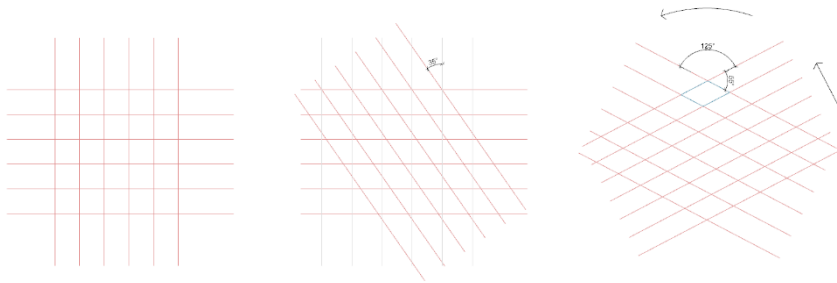


Ilustración 88 - Esquema conceptual modulación. Fuente: ilustración propia.

Capas. Se diseña diferentes capas que se puedan variar, añadir o sustraer a partir de la repetición a diferentes escalas de la geometría base para poder definir aspectos estructurales y de envolvente bajo una misma lógica constructiva geométrica.

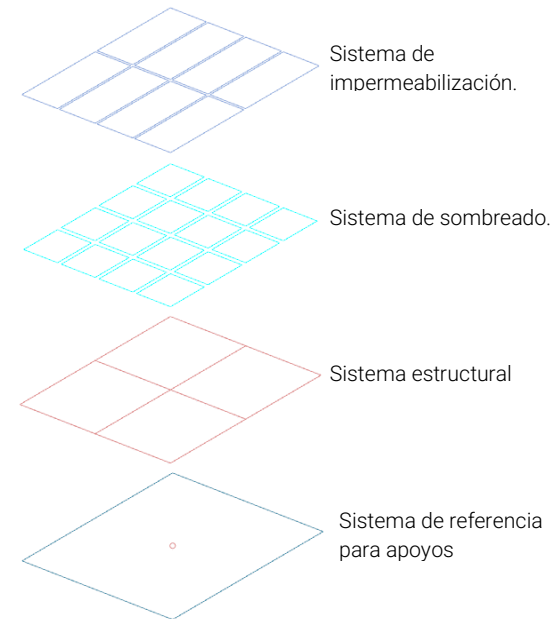


Ilustración 89 - Esquema conceptual. Fuente: Ilustración propia.

Adaptabilidad. Se diseña un algoritmo que permite variar la longitud de los apoyos para generar un sistema flexible que se adapte a las diferentes condiciones del plano base.

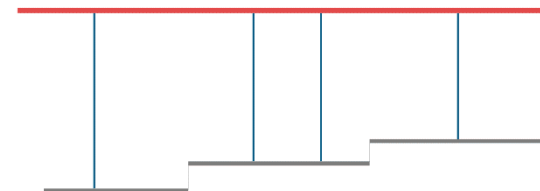


Ilustración 90 - Esquema conceptual adaptabilidad. Fuente: ilustración propia.

Proceso previo

A continuación, se documenta el proceso previo de exploración, el cual permitió llegar a la elaboración del algoritmo final.

La rejilla y el módulo base.

En la interfaz de Rhino se realizan diferentes exploraciones, que van desde la transformación de rejillas ortogonales hasta la creación de una rejilla a partir de ejes extraídos de los lugares a intervenir, variando el ángulo entre ejes, la distancia entre líneas y simulando la interacción del módulo resultante en cada caso con diferentes perfiles de las áreas a cubrir.

Se selecciona como rejilla base aquella que se acopla mejor a los perfiles seleccionados. Con esto, se pasa a Grasshopper, donde se explora tres formas diferentes de construir dichas rejillas y las posibilidades de definición, selección y transformación del módulo que facilita cada tipo de algoritmo.

Opción 1 Rejilla a partir de la repetición de los ejes principales.

Las líneas, en el ángulo previamente definido, se replican de manera lineal un número variable de veces para crear la estructura de la rejilla. La matriz resultante se corta con el perfil de área a cubrir.

Observaciones:

La rejilla creada se puede recortar fácilmente con cualquier perfil, sin embargo, el corte no conserva un registro modular en la trama debido a que no hay una definición previa del mismo.

Definir el módulo se complejiza porque requiere de un proceso ordenado y coordinado en el manejo de las listas de puntos de las intersecciones entre líneas.

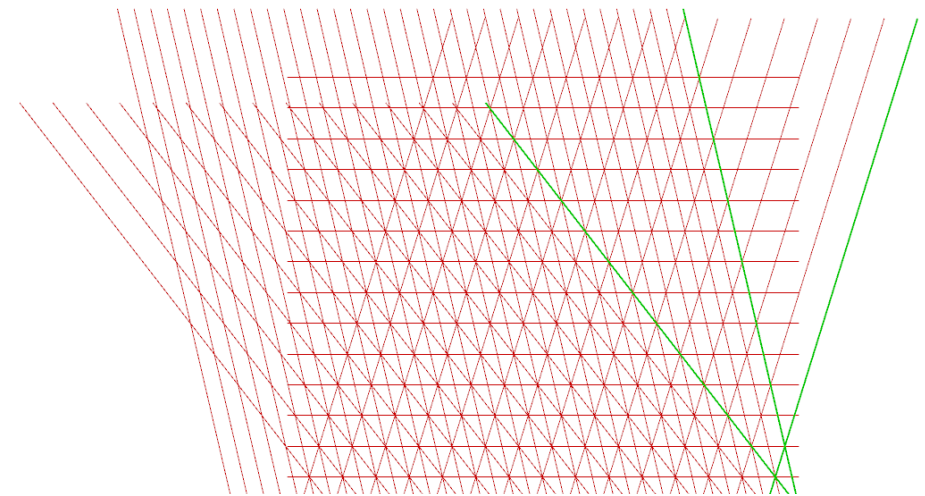


Ilustración 91 - - La rejilla y el módulo base - Opción 1. Fuente: ilustración propia.

Opción 2 Repetición de un módulo.

Se construye el perfil del módulo base, y con una matriz lineal se replica primero en un eje y luego en el otro. Para este caso, se genera un volumen con el perfil del área a cubrir y se hace que

el algoritmo descarte aquellos módulos cuyo centro este fuera del volumen.

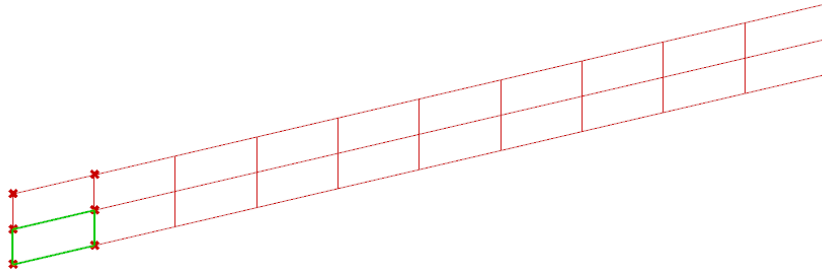


Ilustración 92 – La rejilla y el módulo base – Opción 2. Fuente: ilustración propia.

Opción 3 Subdivisión de una superficie

Se construye un paralelogramo basado en los ángulos preestablecidos, se genera una superficie y se subdivide n veces de acuerdo a las dimensiones deseadas para el módulo, la geometría resultante (romboide) se triangula y por último se utiliza el algoritmo de descarte realizado en la opción 2 para obtener la forma general de la cubierta.

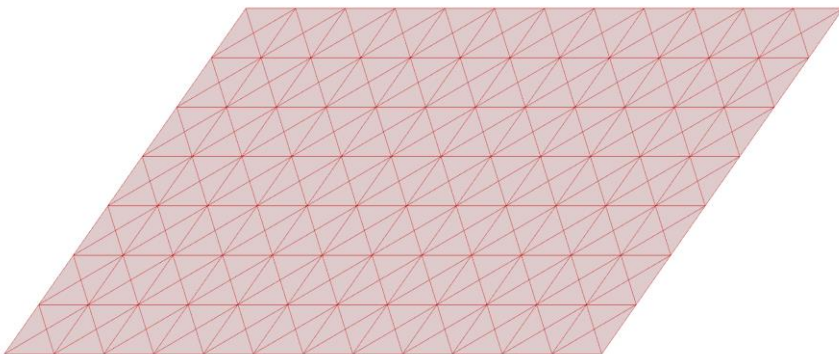


Ilustración 93 – La rejilla y el módulo base – Opción 3. Fuente: Ilustración propia.

Observaciones Op2 – Op3:

Hasta este punto se obtiene el comportamiento deseado en ambos ejercicios ya que se mantiene una lectura modular en el sistema y se logra variar las condiciones generales del módulo, sin embargo, con la opción 3 se facilita la manipulación de la geometría al entender la subdivisión como un proceso práctico y sencillo para generar variaciones al módulo.

De esta primera parte se comprende que, si bien la herramienta permite construir y deconstruir la información para la generación y transformación de geometrías es más fácil partir de una geometría general e ir desglosando datos para generar subdivisiones en lugar de agrupar elementos para conformar uno grande, ya que el proceso de selección de elementos específicos puede resultar complejo si la lista o la numeración de los mismo no corresponde a un patrón deseado.

Modulaciones y variaciones partiendo del algoritmo Op.3.

Se separa en dos versiones la disposición de la rejilla, sobre cada una se explora variaciones de escala y subdivisión de la superficie y se exploran componentes de Weavebird como medio para generar diversos patrones de división. Se simula el resultado de cada exploración sobre tres perfiles diferentes de área a cubrir.

Para visualizar los resultados de las exploraciones se extrae el módulo generado en la rejilla general y el módulo resultante del patrón de división.

Observaciones:

Las herramientas permiten generar patrones de subdivisión más complejos e interesante, aun así, se opta por desarrollar un patrón de subdivisión simple que permita enfocar el desarrollo geométrico en el diseño del panel.

El panel

Primero se explora la generación de dos algoritmos distintos aplicados a las rejillas con los patrones seleccionados en el paso anterior (modulaciones y variaciones) como parte de un proceso base para comenzar a definir la volumetría del panel.

Opción1 - Transformación de la superficie a partir de listas y puntos.

Se realizan ejercicios básicos de construcción de volúmenes por extrusión y perforación de superficies. En este paso se utilizan componentes de WeaveBird como medio para facilitar la exploración formal volumétrica del módulo.

Opción 2 – Panel como elemento referenciado.

Se generan las volumetrías en Rhino y se referencian en todos los módulos de la rejilla utilizando el componente *caja de morfología*. Para este primer ejercicio, se diseñan tres tipos de

paneles tomando como concepto de exploración las superficies regladas (concepto geométrico extraído de la cubierta actual de La Nave)

Nota: En este paso se aprende que todo objeto referenciado debe ser pensado desde una base cuadrada, la cual deformara la geometría para acoplarse al perfil base.

Observaciones:

La transformación directa de la superficie permite gran flexibilidad en el diseño y la variación del panel, aun así, se entiende que cuanto más se requiera desglosar la información para detallar el elemento (panel) y al mismo tiempo parametrizar las variaciones del panel, más se va a complejizar y extender el manejo de listas y puntos. Por otro lado, el manejo de referencias es un proceso que permite variar fácilmente el tipo de panel que se va a disponer en el módulo, sin extender el algoritmo.

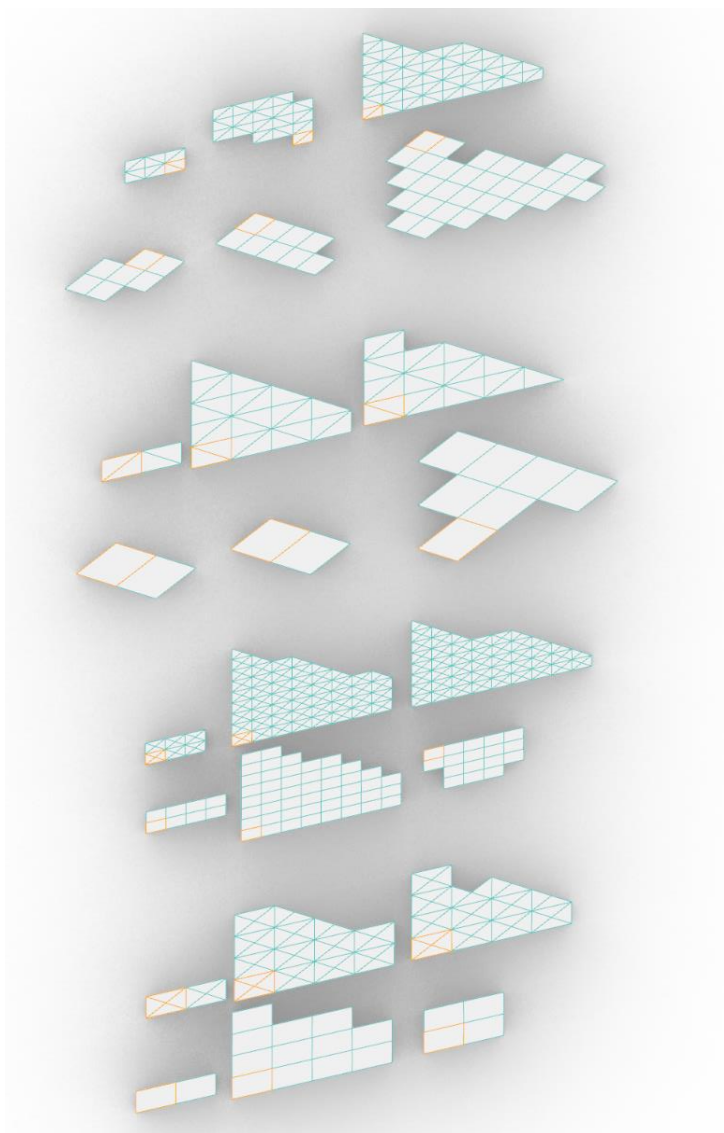


Ilustración 95 – Modulaciones y variaciones.
Fuente: ilustración propia.

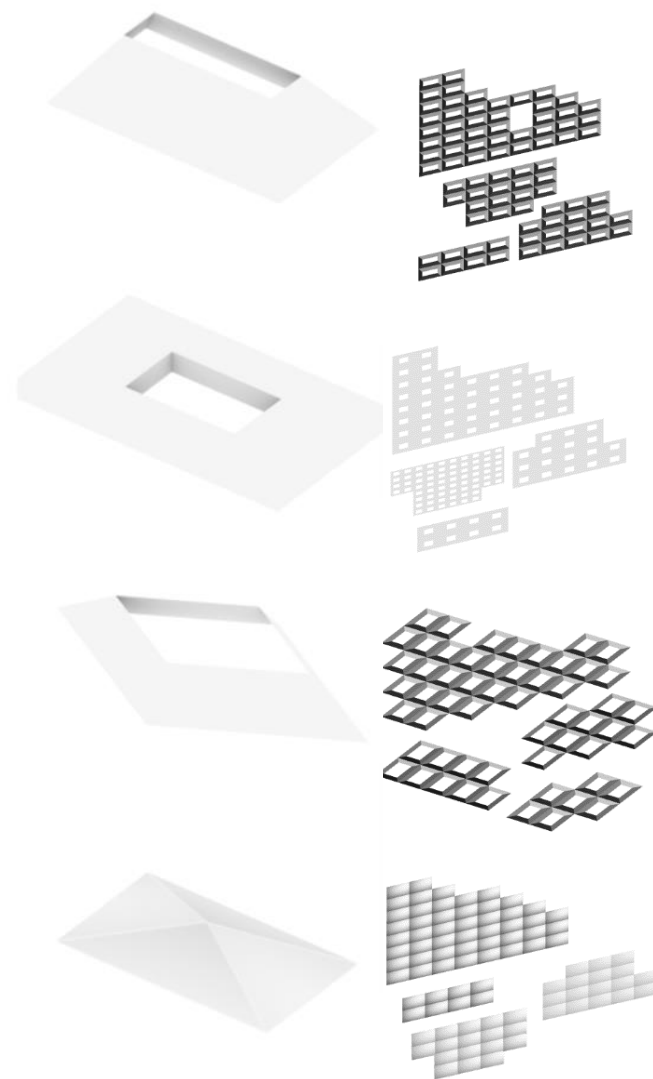


Ilustración 94 – El panel – Opción 1.1
Fuente: ilustración propia.

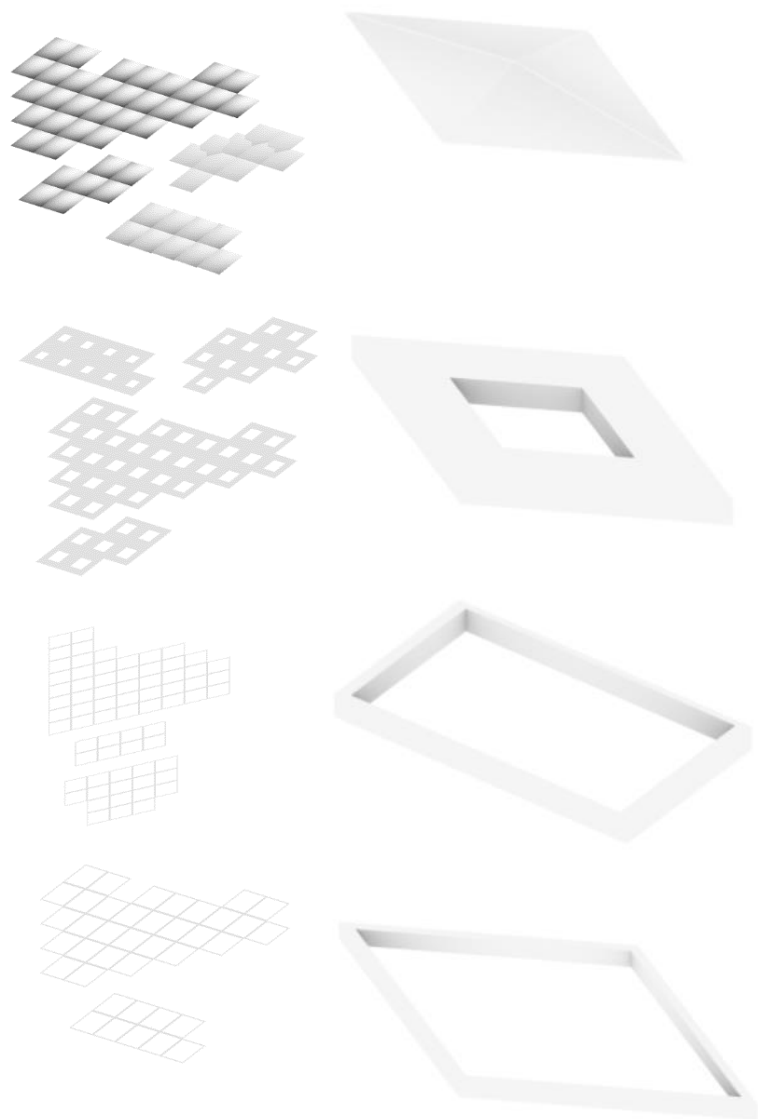


Ilustración 96 -El panel – Opción 1.2
Fuente: ilustración propia.

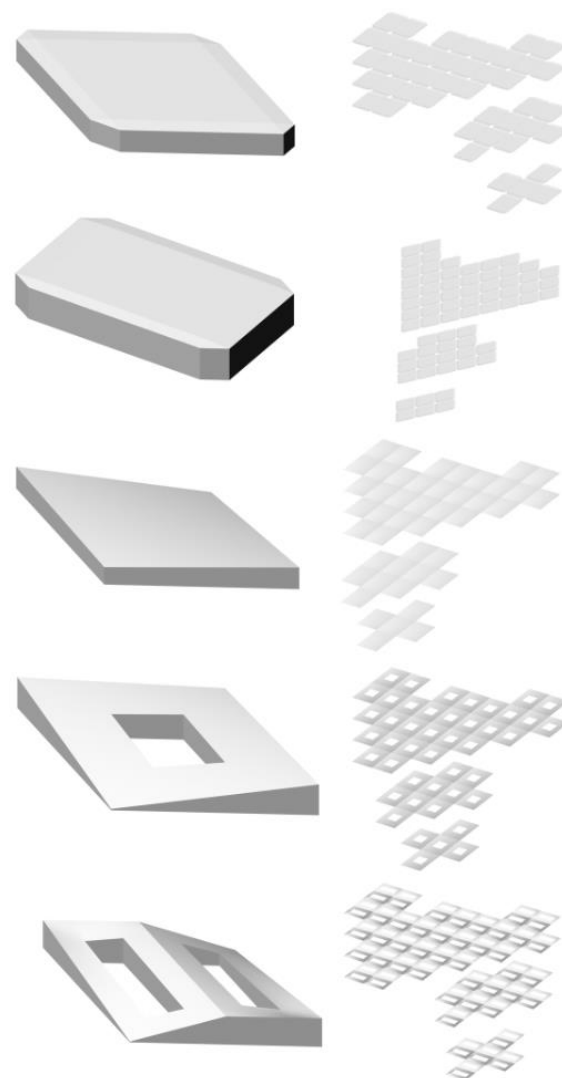


Ilustración 97 – El panel – Opción 2.1
Fuente: ilustración propia.

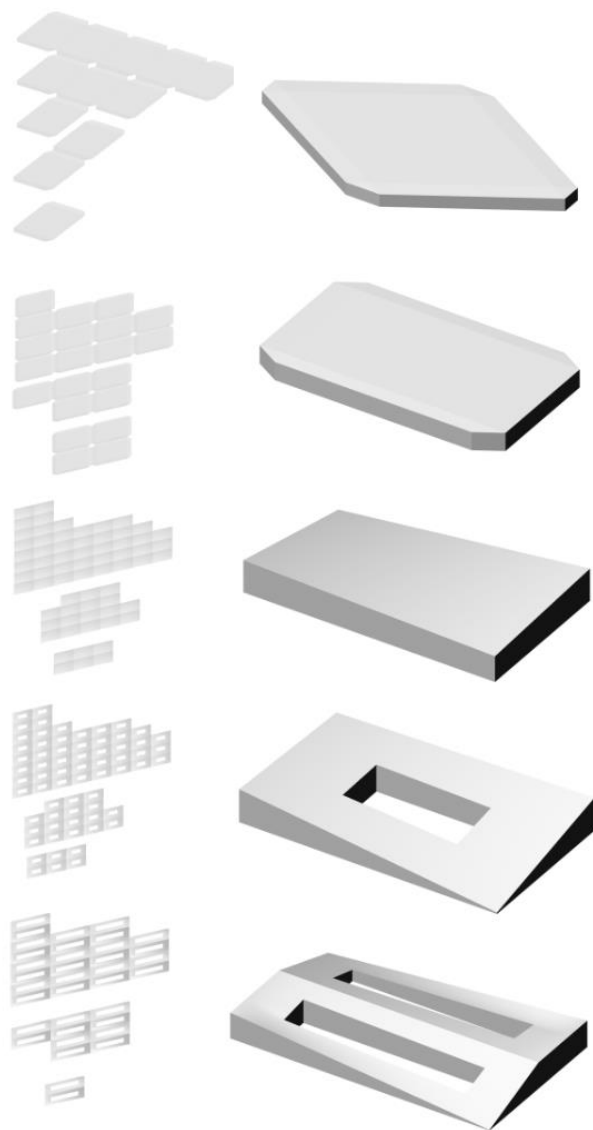


Ilustración 98 – El panel – Opción 2.1
Fuente: ilustración propia.

En la exploración de paneles diseñados bajo el concepto de superficies regladas se observan dos factores en contra: i) los puntos de convergencia que se generan entre estas geometrías se convierten en un factor complejo de resolver principalmente en temas de manejo de aguas lluvias, y ii) la generación de variabilidad de la geometría tiende a derivar en una gran cantidad de elementos distintos para su fabricación.

Se decide continuar con el algoritmo para referenciar elementos ya que sugiere un proceso más fácil y ágil para explorar las nuevas versiones del panel.

Nota: Al simular las geometrías sobre los lugares de intervención se decide reducir la escala del módulo base, para que haya una mejor relación con el entorno y se decide orientar el diseño del panel hacia el interior de la cubierta entendiendo que es la cara que tiene relación directa con los usuarios.

Se continua con la exploración del panel, en este segundo proceso, i) se retoma el concepto de patrón de subdivisión para lo cual se trabaja sobre las subdivisiones generadas en una de las rejillas del proceso modulaciones y variaciones con el propósito de obtener elementos más pequeños y manejables, ii) se diseñan dos versiones nuevas de panel, incluyendo la exploración de sus variaciones y iii) se referencia tanto hacia la cara superior como la inferior de la cubierta.

Panel 1

Se construye en Rhino una versión más detallada de la pirámide truncada (exploración generada en el proceso transformación de la superficie a partir de listas y puntos) y se realizan dos variaciones distintas. Antes de referenciar los paneles a las superficies de trabajo se agrega al algoritmo el complemento *patrón de selección* con un parámetro verdadero falso para que se alterne la ubicación de los paneles.

Panel 2

Se explora el diseño de un panel tipo reja y se propone como variación la modificación del ángulo de inclinación. Se referencia el panel en la superficie de trabajo.



Ilustración 100 - Zoom – Exploración panel 1 y panel 2.. Fuente: ilustración propia.

Observaciones:

Con la exploración del panel 1 se evidencia cómo una variación de panel genera un nuevo grupo de elementos distintos para su fabricación, lo que indica que el catálogo de piezas a fabricar

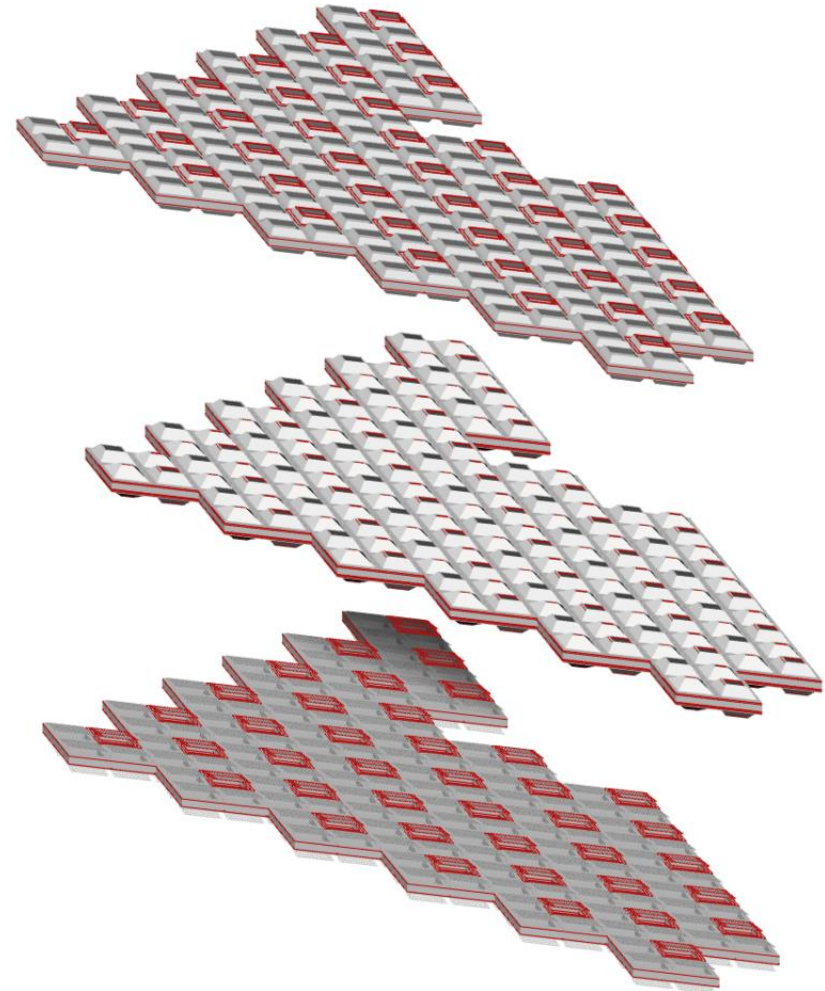


Ilustración 99 – Exploración 3. Panel referenciado + iteración con patrón de selección. Fuente: ilustración propia.

para la totalidad del sistema va a depender de la cantidad de variaciones de panel que se generen, situación que no se considera conveniente para el desarrollo de un sistema modular.

El resultado visual del panel 2 y las posibilidades de variación, no resulta suficientemente interesante en su desarrollo geométrico y en el manejo del software, por tanto, se descarta la continuidad de la exploración.

Pliegues.

Se explora la generación de un panel partiendo del concepto de superficies plegadas del cual se reconoce, en su desarrollo geométrico, la posibilidad de generar variaciones formales a partir del pliegue dinámico de sus partes.

- i) Se aplica el patrón de subdivisión a la superficie base del panel.
- ii) Se generan dos divisiones perpendiculares al patrón inicial.
- iii) Se realiza el pliegue simultaneo sobre los cuatro ejes

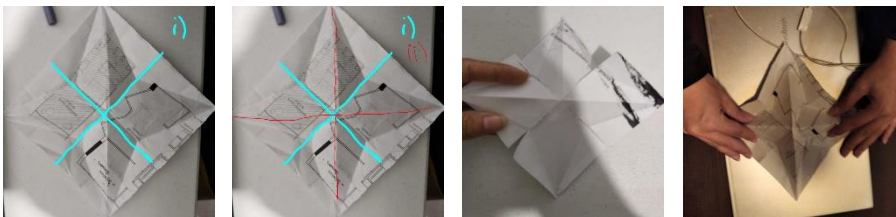


Ilustración 101 – Exploración 4. Paso a paso maqueta física del panel. Fuente: ilustración propia.

Los pliegues requieren un rango de movimiento para sus planos, vértices y aristas. Lo cual implica que para generar las variaciones se diseñen distintos tipos de conexiones o conexiones móviles.

- iv) Se secciona el panel para liberar el movimiento de los pliegues y estandarizar la subestructura de soporte.
- v) Se modela las variaciones de panel en Rhino.

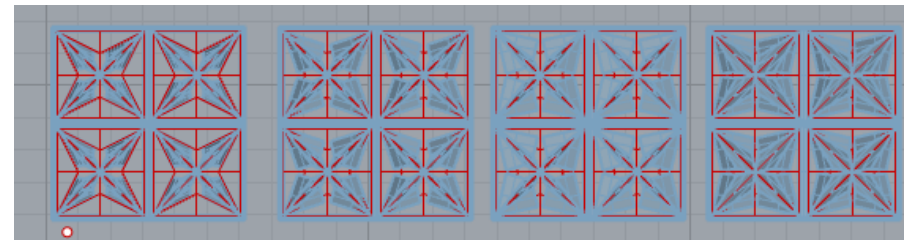


Ilustración 102 - Exploración 4. Cuatro variaciones del panel. Fuente: ilustración propia.

La creación del panel desde la interfaz de Rhino permite previsualizar de manera rápida la idea de panel y entender su proceso constructivo geométrico, sin embargo, la generación de sus variaciones se convierte en un proceso extenso que no aprovecha precisamente las cualidades del software paramétrico, por tanto, se decide, como siguiente paso diseñar el panel desde Grasshopper como un algoritmo independiente al sistema.

- vi) Modelo paramétrico del panel.

- vii) Se copia cinco veces para independizar el rango del ángulo de pliegue de las variaciones del panel y se referencian sobre la superficie de trabajo.

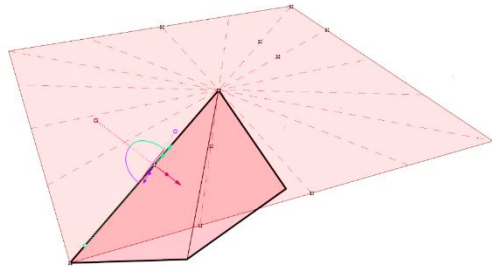


Ilustración 103 -
Exploración 4. Pliegues
del panel. Fuente:
ilustración propia.

Observaciones:

Esta exploración cumple con los siguientes objetivos:

- Permitir generar y modificar las distintas variaciones del panel utilizando un mínimo de elementos.
- Permitir visualizar en tiempo real las variaciones de cada panel.
- Permitir explorar la interacción de las variaciones del panel con la simulación de exposición solar.
- Genera un resultado visual hacia la parte inferior

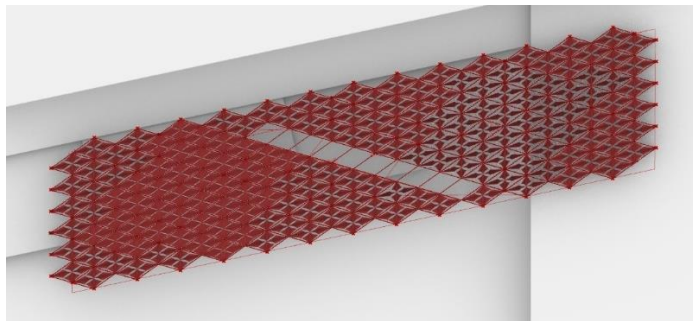


Ilustración 104 - Exploración 4. Variaciones referenciadas sobre la superficie.
Fuente: ilustración propia.

Zonificación del tipo de panel

Este paso se realiza con el objetivo de dar respuesta a las diferentes condiciones de sombra que requieran los espacios del lugar a intervenir. Para esto, se explora el diseño de dos algoritmos que permitan zonificar la superficie de trabajo para disponer en ella cada tipo de panel según las condiciones previas. En este caso cada algoritmo trabaja con parámetros y condiciones distintas, pero se espera que generen resultados similares.

Punto

Se explora el uso de puntos atractores (los puntos deben ser definidos por el diseñador). Con cada punto se genera un radio de acción variable, el cual define el área que va a ocupar un panel.

Curva cerrada.

Con el algoritmo de selección y descarte utilizado para la exploración de la rejilla en la opción 2 y opción 3, se generan 3 diferentes listas de trabajo y se asigna a cada una, una variación de panel.

Dado que la diferencia entre una variación y otra es muy marcada se decide agregar dos listas más que actúen como paneles de transición en todo el sistema. Para esto se trabaja con un offset de cada curva principal.

Observaciones:

Punto. En este caso es necesario mover directamente el slider para establecer el radio de acción de cada punto, por tanto, cada vez que se varíe las condiciones del programa es necesario modificar este parámetro. Por otro lado, no es posible variar la forma del área a afectar, el resultado siempre será una afectación radial.

Curva. La geometría del área de afectación se puede modificar fácilmente de un proyecto a otro. Por otra parte, se extiende el algoritmo para lograr generar un efecto de transición, sin embargo, las variaciones adicionales se generan de manera automática por lo cual el diseñador no interactúa directamente con esta parte del algoritmo.

Se decide tomar la opción dos por la facilidad de respuesta que se puede obtener en la variación de la zonificación y la dimensión del área que se requiera para cada espacio.

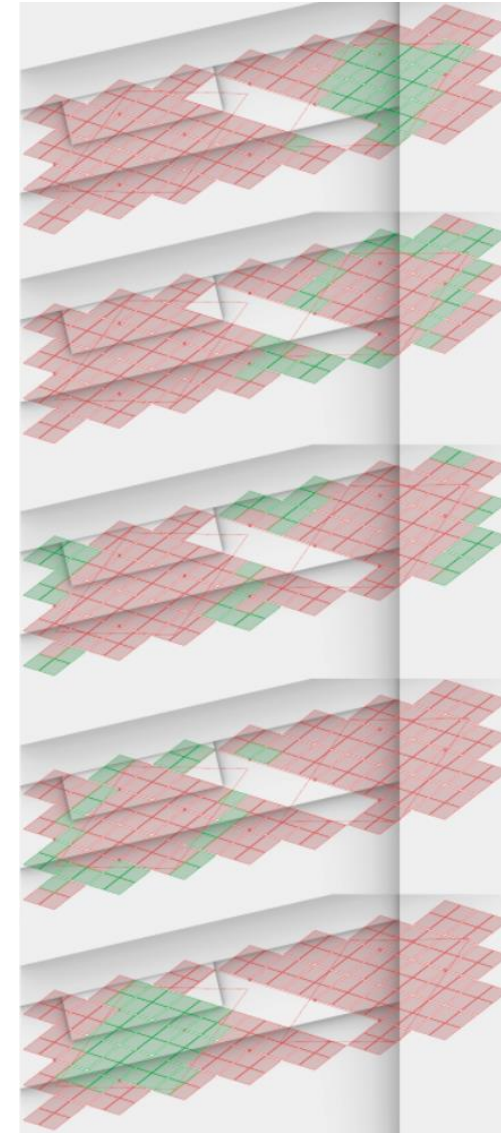


Ilustración 105 - Algoritmo para la zonificación los módulos.
Fuente: ilustración propia.

Estructura

Se exploran tres opciones diferentes para generar los perfiles de la estructura partiendo, en todos los casos, de las líneas extraídas de la rejilla, las cuales actúan como ejes estructurales.

Proceso base: Dado que la subdivisión de la superficie genera para cada módulo un contorno de líneas, es necesario eliminar las líneas duplicadas de la lista de trabajo antes de continuar con las exploraciones.

Exploración 1 – Complemento Karamba

Se inserta al componente *sección transversal* de Karamba las líneas extraídas en el proceso base. Se selecciona del catálogo de perfiles del componente un perfil tubular rectangular, y este, se genera de manera automática sobre las líneas. Es un procesos fácil y rápido siempre que se manejen perfiles estándar, ya que no es posible generar variaciones para obtener perfiles con cualidades específicas.

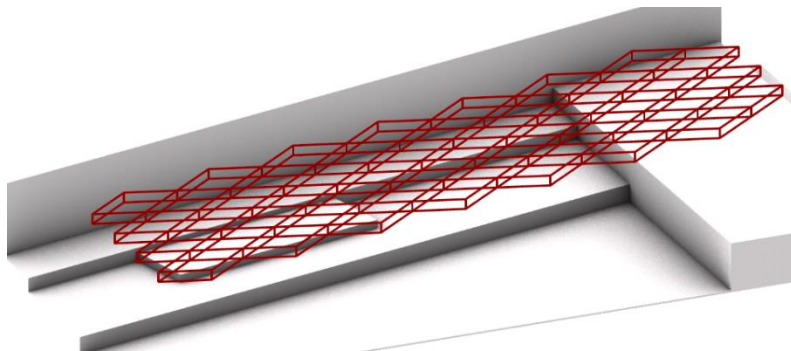


Ilustración 106 – Exploración de vigas con Karamba. Fuente: ilustración propia.

Exploración 2 - Complemento LunchBox

Se duplica en el eje z las líneas obtenidas del proceso base, ambos listados se introducen al componente de LunchBox, el cual genera de manera automática una viga celosía. El algoritmo permite variar la dimensión de todos los elementos y el número de diagonales en la viga.

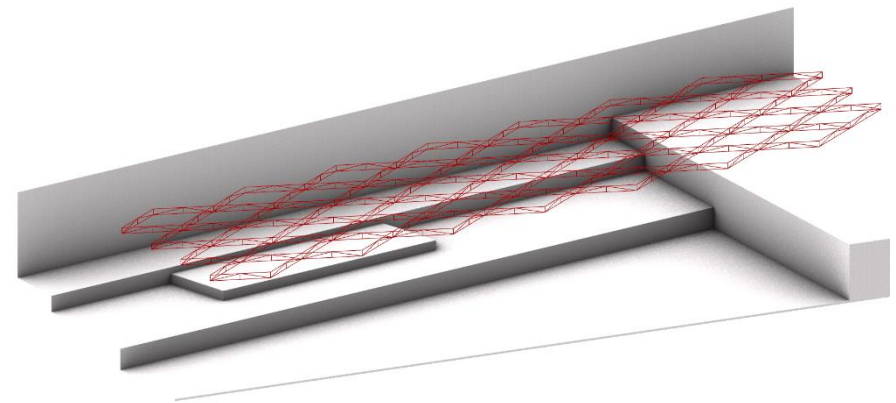


Ilustración 107 – Exploración de vigas en celosía con LunchBox. Fuente: ilustración propia.

Exploración 3 - Generación por secuencia de desplazamiento y extrusión.

Se explora la generación de un perfil específico, viga en H que pueda actuar como canal de aguas lluvias en el sistema. Para esto se genera un offset a ambos costados de las líneas (parámetro que define el ancho de la viga), se hace que el algoritmo genere un espesor a la línea para después extruirla, definiendo así la altura de la viga. Para los patines se genera una

superficie entre los elementos anteriores, se extruye y se duplica en el eje z.

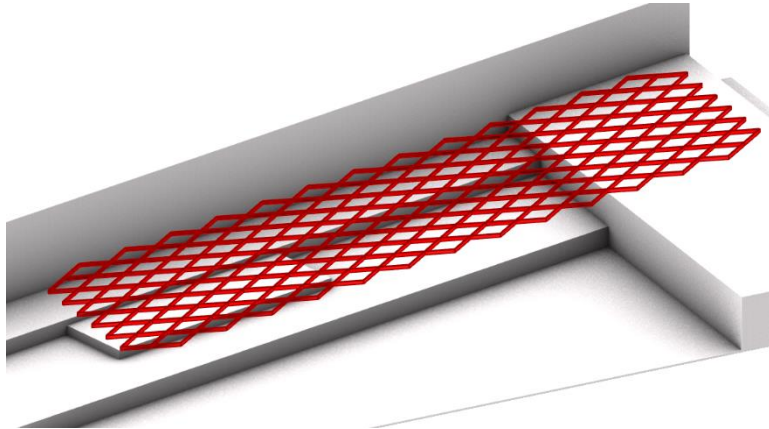


Ilustración 108 - Exploración vigas desde Grasshopper. Fuente: ilustración propia.

Los apoyos

Se explora la relación visual que tiene la cubierta con dos tipos de apoyos.

Proceso previo: Se escala la trama principal de manera que abarque cuatro módulos del sistema estructural principal. Se aplica el algoritmo de descarte de módulos utilizando el perfil del área a cubrir y se determina el centro de cada romboide como punto para la generación del apoyo.

Compuesto

Se diseña una columna compuesta con pedestal. La columna nace de un perfil puntual y se bifurca dos veces consecutivas hasta conectar en cuatro puntos, con las vigas de la cubierta. Y

el pedestal actúa como elemento intermedio que absorbe las diferencias de altura entre el plano base y la cubierta

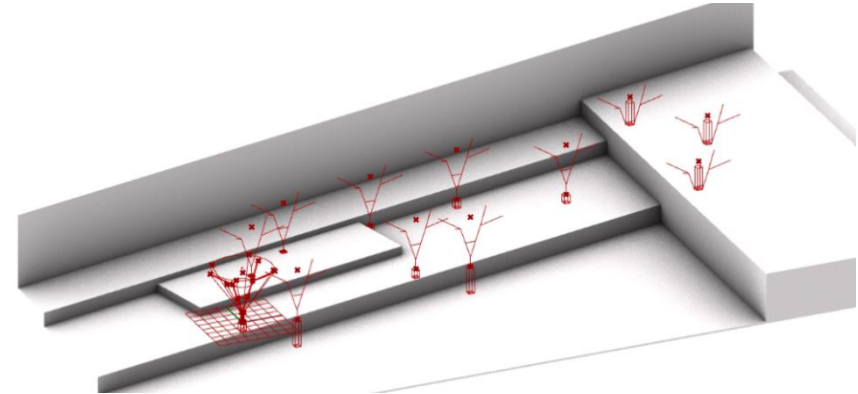


Ilustración 109 - Exploración apoyos compuestos + adaptabilidad. Fuente: ilustración propia.

Simple

Se diseña una columna tubular circular utilizando el componente *tubo* sobre las líneas de referencia para los apoyos.

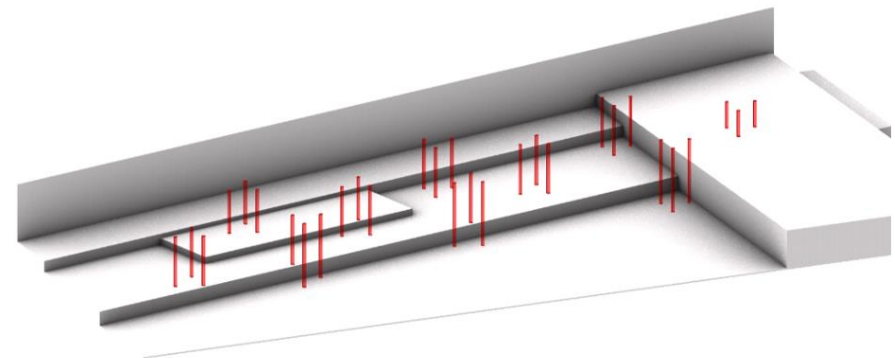


Ilustración 110 - Exploración de apoyos simples + adaptabilidad. Fuente: ilustración propia.

Algoritmo de adaptabilidad.

Se construye un algoritmo basado en la *proyección de puntos* sobre una superficie (plano base del lugar a intervenir) para determinar la longitud de las columnas.

Análisis solar

Se simula las horas de exposición solar directa sobre el plano base teniendo en cuenta, como contexto, la cubierta. Y se visualiza el grado de protección que genera el tipo de panel sobre la superficie.

Proceso previo

Realización de esquemas y bocetos para el diseño y composición de la cubierta

Esquemas sobre cómo abordar el algoritmo

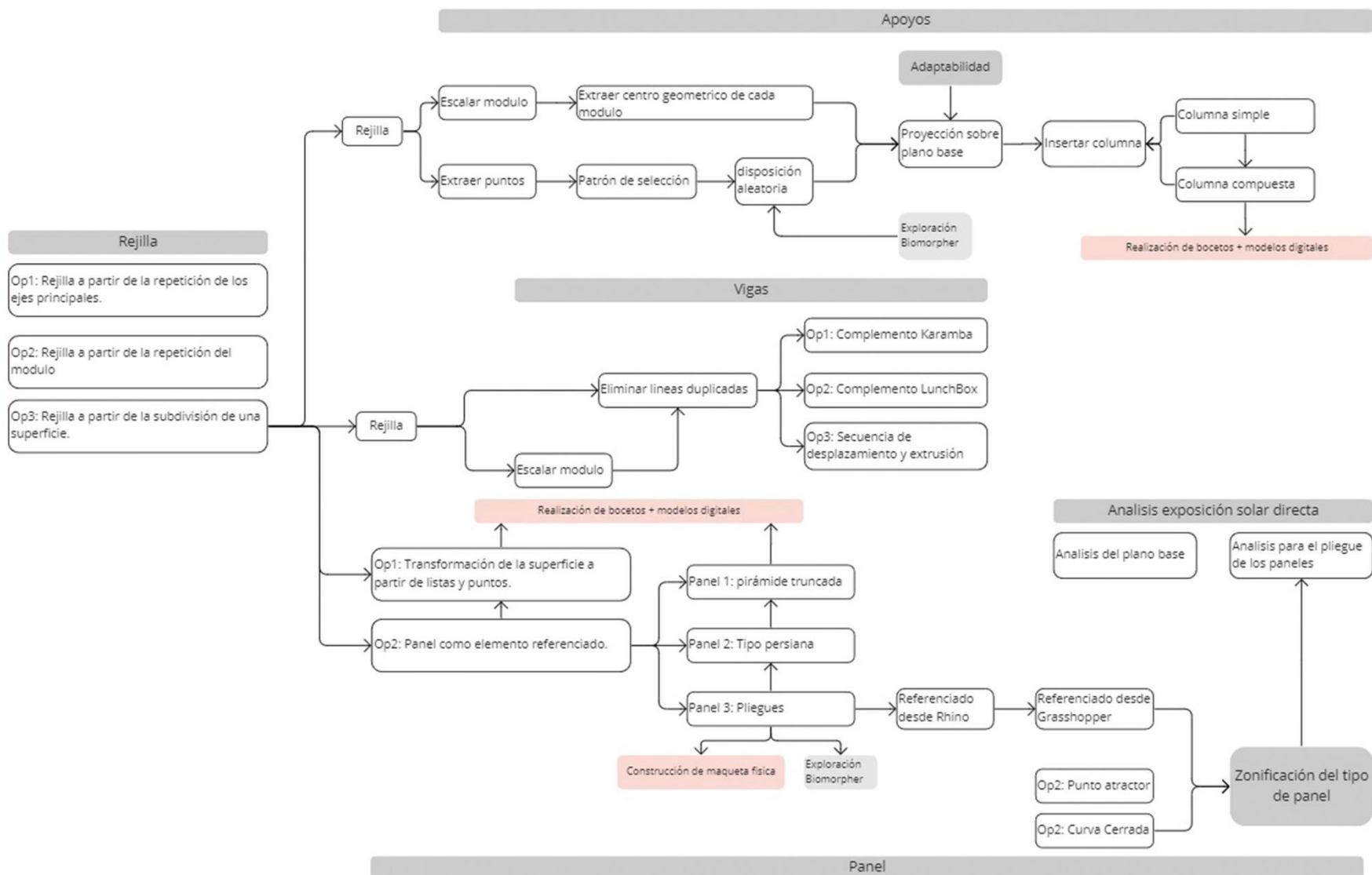


Ilustración 111 - Esquema proceso previo. Fuente: ilustración propia.

Algoritmo Final

Algoritmo de subdivisión modular

- i) Se subdivide la superficie de un paralelogramo hasta obtener un módulo romboide de 2.5x3m.

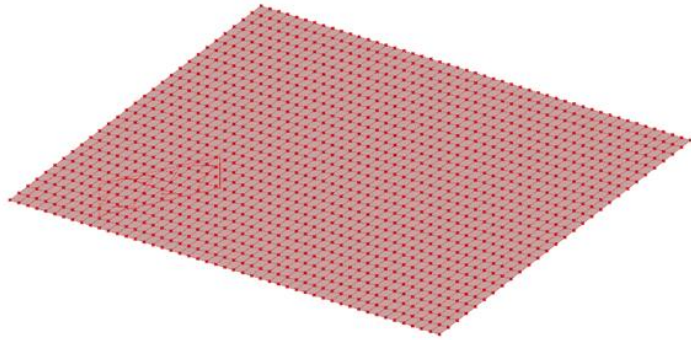


Ilustración 112 - Esquema subdivisión de superficie. Fuente: ilustración propia.

Algoritmo de selección

- i) Sobre la rejilla se inserta el perfil que define el área a cubrir, se convierte en volumen por medio de una extrusión y se hace que el algoritmo descarte los módulos cuyo centro esté fuera del volumen.

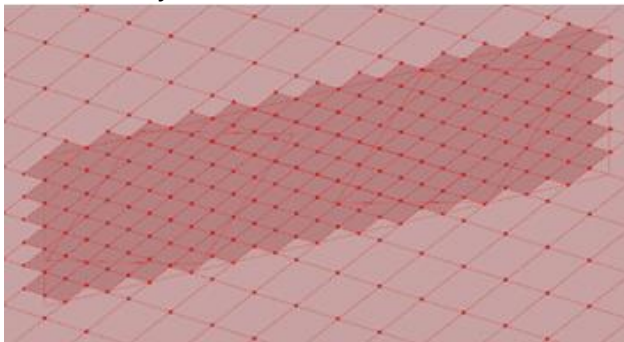


Ilustración 113- Perfil área a definir sobre rejilla. Fuente: ilustración propia.

Algoritmo de zonificación

- i) Se realiza una secuencia de escala, subdivisión y escala para dar espacio al perfil de la estructura principal y al perfil de la subestructura que soporta los paneles, determinando finalmente el módulo de desarrollo para cada panel.
- ii) Tomando como referencia esta última subdivisión creada para la modulación de los paneles se realiza el proceso de zonificación de los paneles, para lo cual se pueden insertar dos perfiles:
 - a. Para definir una condición espacial de mayor permeabilidad a la cual el algoritmo responde con la selección de un panel abierto que genera el mínimo de sombra.
 - b. Para definir una condición espacial de menor permeabilidad a la cual el algoritmo responde con la definición de un panel cerrado que actúa como elemento de continuidad visual e incluye la generación de una segunda capa para evitar el paso directo del agua.

A cada perfil definido se le aplica un algoritmo de descarte.

Al área restante el algoritmo destina automáticamente tres variaciones de panel. Un panel intermedio generado para abarcar la mayor parte del área restante y dos paneles de transición que suavizan el paso entre los dos paneles principales con el panel intermedio. Para la ubicación del panel de transición se genera un offset a cada perfil principal. Con el perfil resultante y sobre la superficie resultante en el paso anterior se repite el proceso de descarte de módulos.

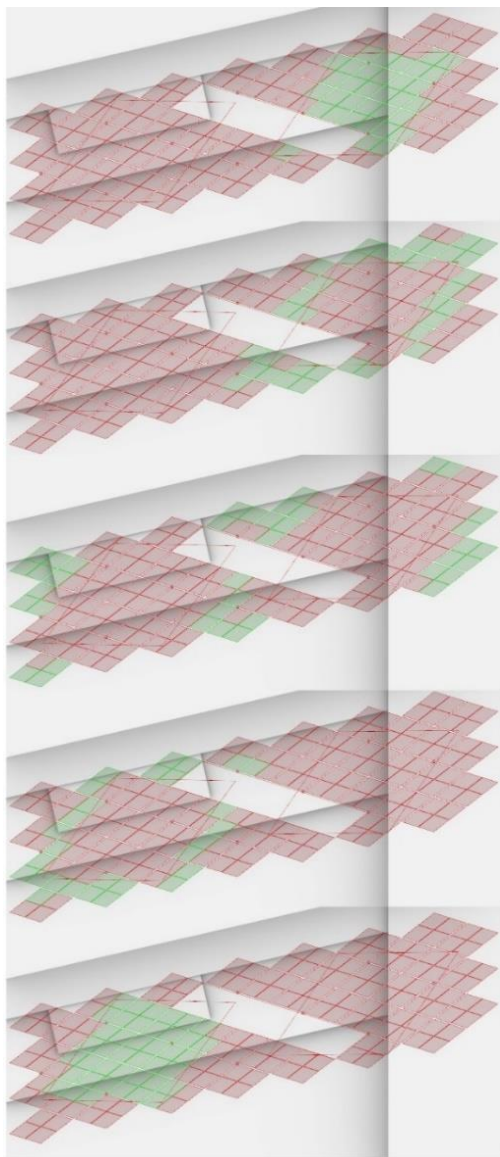


Ilustración 114 - Zonificación de paneles. Fuente: ilustración propia.

Algoritmo para la generación del panel

Se genera un panel que a partir de un mínimo de piezas permite un amplio rango de variación formal, para esto el diseño del panel continúa con el patrón de subdivisión del módulo base y explora la generación de pliegues sobre una superficie.

- i) Se desarrolla el modelo sobre una base cuadrada. Para esto se subdivide el módulo base de manera similar al romboide y se plantea el doble pliegue (base) de la superficie sobre la mitad de uno de los rombos resultantes, se hace que el algoritmo realice un espejo sobre la otra mitad y que después rote el conjunto de pliegues sobre todo el módulo.
- ii) Usando el componente *caja de morfología* se aplica el panel generado a un conjunto de módulos definidos en el algoritmo anterior.

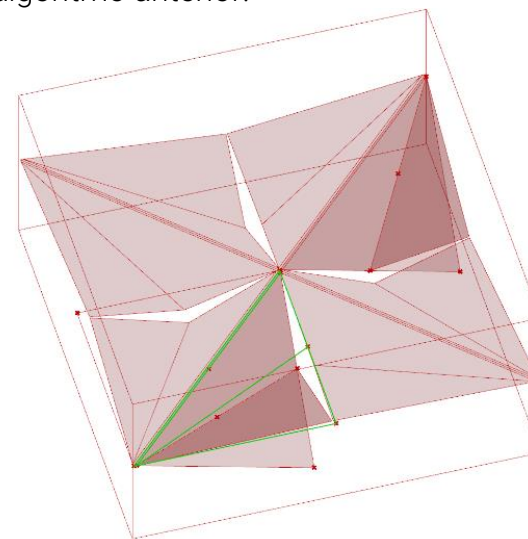


Ilustración 115 - Panel base. Fuente: ilustración propia.

Este algoritmo se copia cinco veces y a cada panel se le asigna un rango simple para determinar el ángulo máximo y mínimo de rotación del doble pliegue (base) según la condición que solucionen.

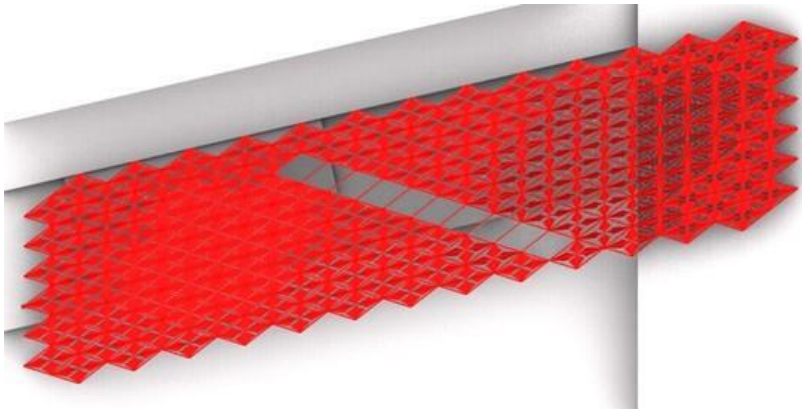


Ilustración 116 - Iteración del panel sobre la superficie. Fuente: ilustración propia.

Sistema de impermeabilidad

De acuerdo a lo mencionado para la condición b del algoritmo de zonificación, se genera una capa adicional, correspondiente al sistema de tejas livianas (estructura y lámina).

Sistema estructural

- i) Utilizando como base la rejilla de cada capa modular se genera una secuencia de desplazamientos, extensión y extrusión para modelar cada perfil de la estructura previendo las intersecciones entre los elementos.
- ii) Para resolver la última subestructura se incorpora una trama perpendicular a la original de manera que se soporte cada panel garantizando el pliegue de los mismos.

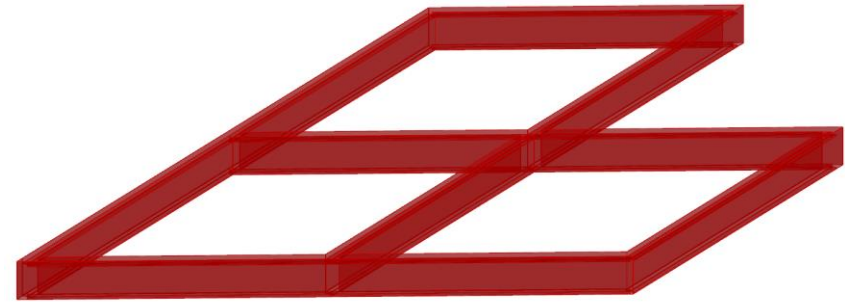


Ilustración 117 - Estructura principal. Fuente: ilustración propia.

Apoyos

El apoyo se diseña como una columna tubular circular.

- i) Se escala la trama principal de manera que abarque cuatro módulos del sistema estructural principal. Se aplica el algoritmo de descarte de módulos utilizando el perfil del área a cubrir y se determina el centro de cada romboide como punto para la generación del apoyo.
- ii) Se inserta la geometría del plano base del lugar a intervenir, sobre ella se proyectan los puntos definidos en el paso anterior y se construye una línea con ellos.
- iii) Se da volumen con un componente de tubo y se deja variable el diámetro del mismo.

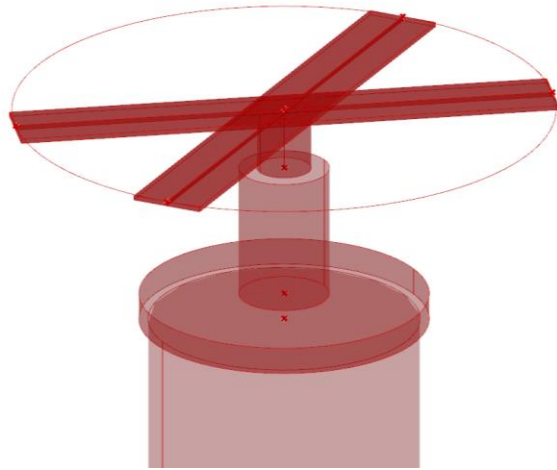


Ilustración 118 - Detalle unión columna-vigas. Fuente: ilustración propia.

Algoritmo de simulación de exposición solar directa.

Con LadyBug construye el algoritmo de simulación de exposición solar directa con datos de Cali para cada solsticio (21 de junio y 21 de diciembre) en un periodo horario de 10:00 am – 14:00 pm. La simulación se realiza sobre la superficie del plano base del lugar a intervenir y se inserta como contexto los elementos de la cubierta y el entorno directo, con lo cual se busca visualizar la efectividad del sistema de sombreado.

Todo el modelo se condensa en un componente de desplazamiento con el cual se puede visualizar y modificar la altura libre mínima del proyecto.

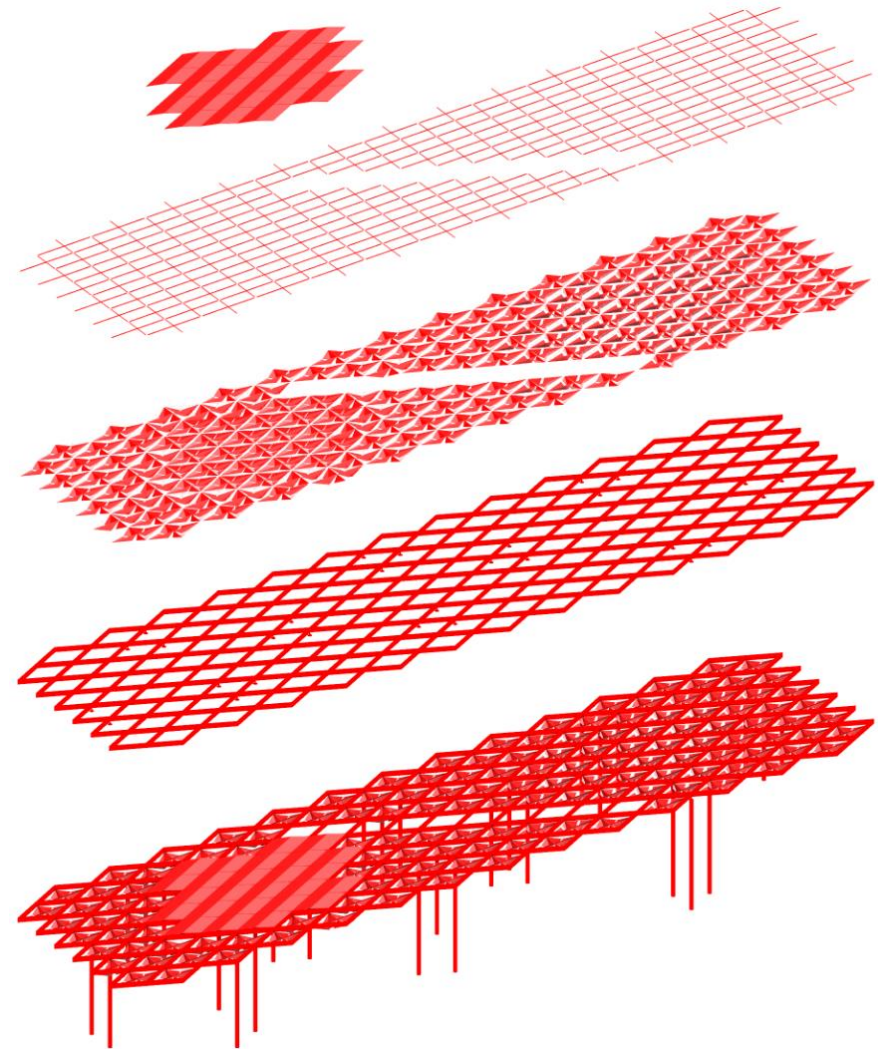


Ilustración 119 - Explosión de la exploración final. Fuente: ilustración propia.

Despiece

Se extrae la geometría resultante de cada panel y se realiza el despiece. Además, se obtiene el listado de cantidades de cada elemento de la cubierta.

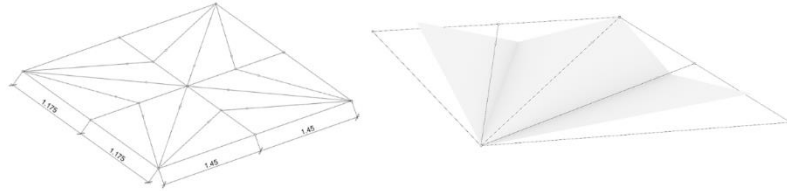
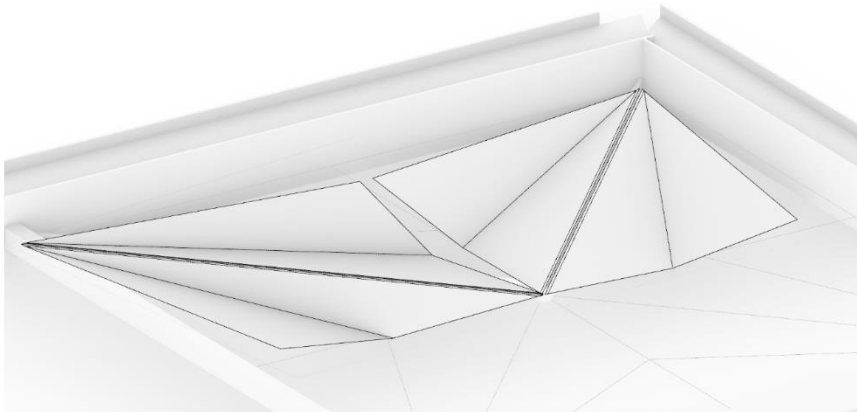


Ilustración 120 - Despiece panel. Lamina perforada. Fuente: ilustración propia.

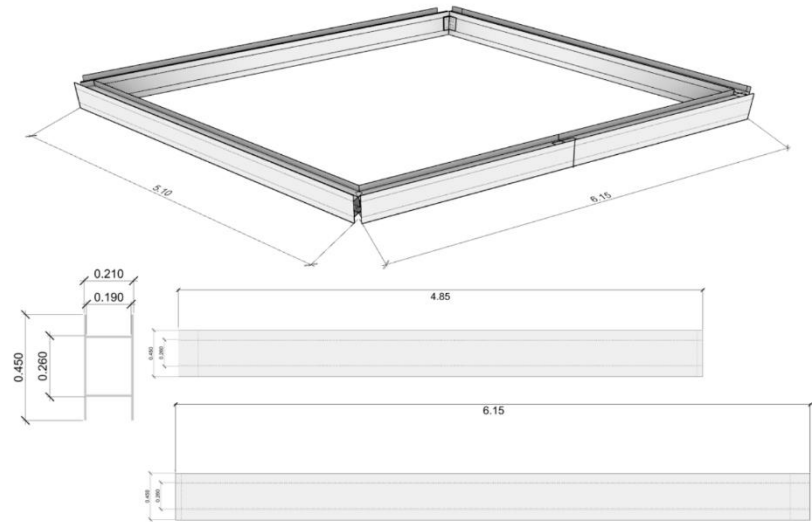


Ilustración 121 - Despiece estructura principal - Perfil metálico. Fuente: ilustración propia.

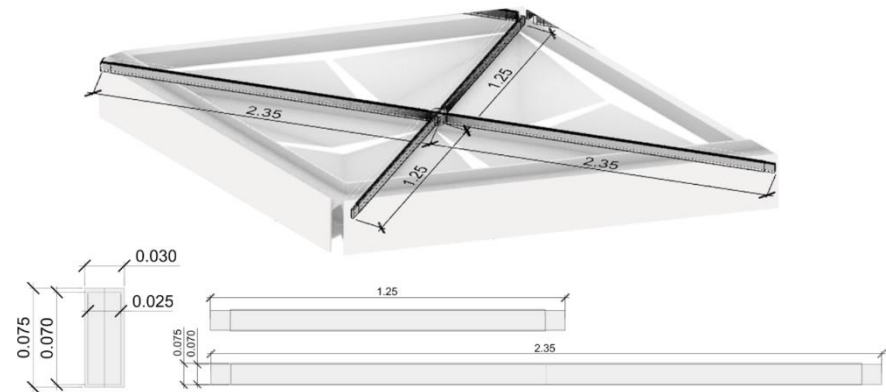


Ilustración 122 - Despiece soporte panel - Perfil metálico. Fuente: ilustración propia.

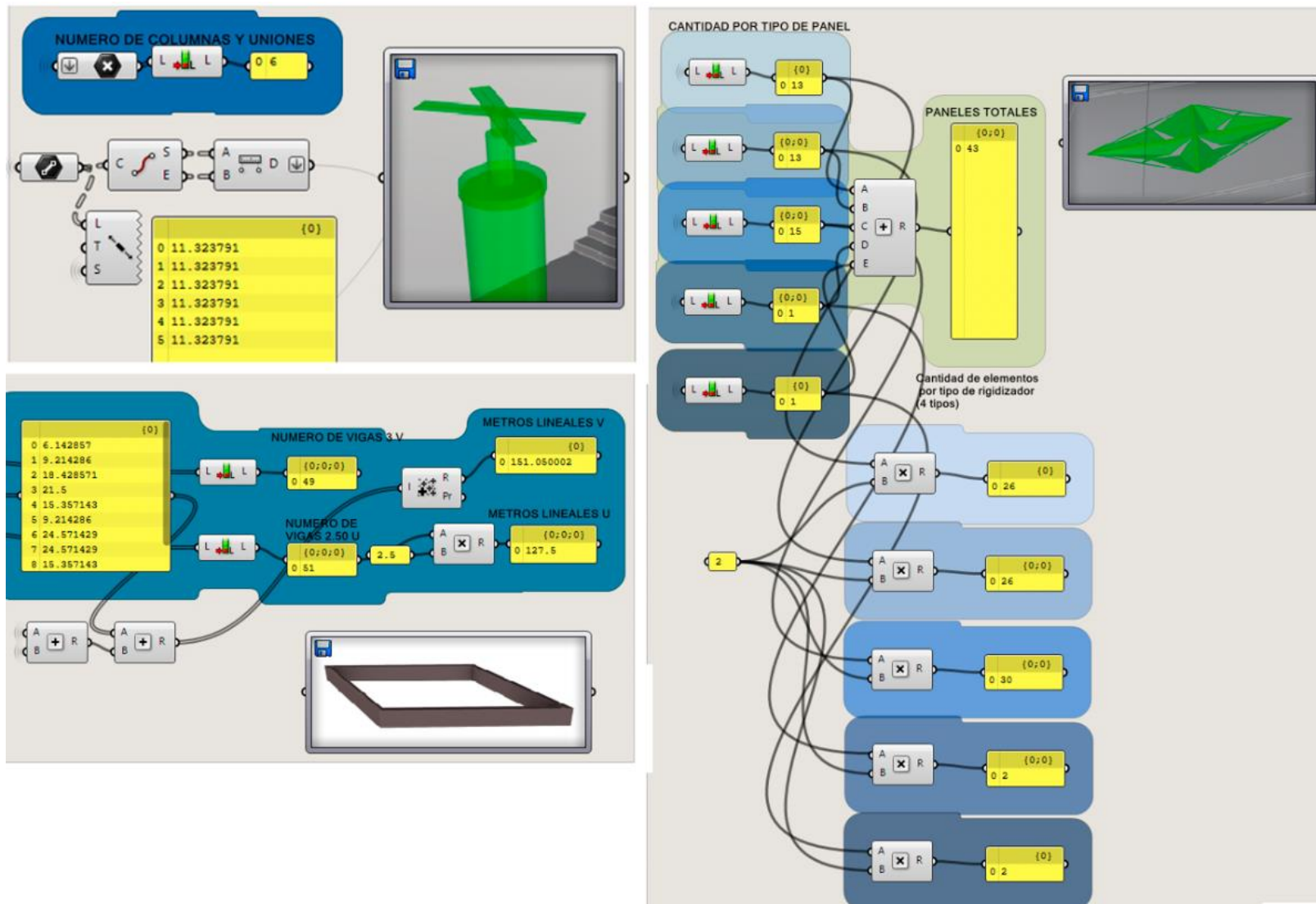


Ilustración 123 - Lista de cantidades. Fuente: ilustración propia.

SISTEMA DE CUBIERTAS

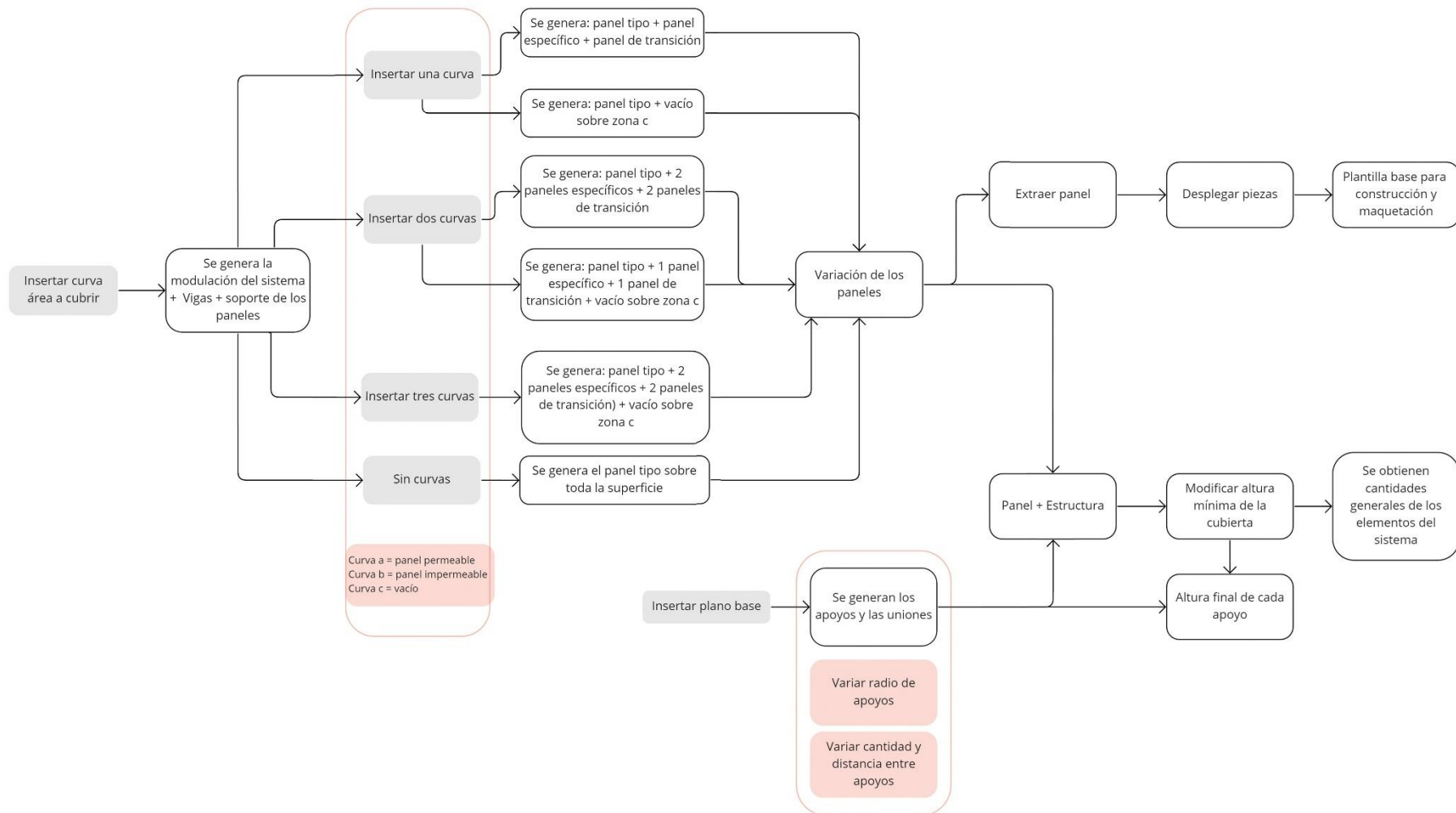


Ilustración 124 -Esquema Sistema de cubiertas. Fuente: ilustración propia.

El sitio

Si bien se plantea el diseño de un sistema de cubiertas que sea implementado en espacios públicos diversos, es pertinente la simulación en un escenario físico que permita recopilar información que se aplique como parámetros de diseño al algoritmo y que visualice la caracterización del lugar.

El sector de Siloé, comuna 20, nace del asentamiento informal de familias mineras y familias desplazadas por el conflicto armado (A. Pérez, 2020), esta condición derivó en el crecimiento no planificado y en la consolidación de un territorio denso y con carencia de espacio público efectivo de calidad para la comunidad. En este sentido la identificación e intervención de los pocos espacios adoptados por la comunidad para la realización de actividades colectivas se convierte en un ejercicio necesario para el mejoramiento de la calidad de vida de sus habitantes.

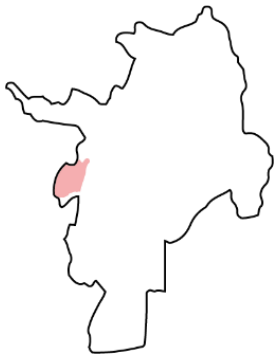


Ilustración 125 - Santiago de Cali.
Fuente: Ilustración propia.

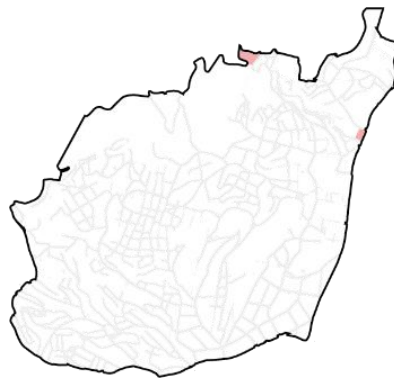


Ilustración 126 -Comuna 20 – Siloé.
Fuente: Ilustración propia



Ilustración 127 - Lotes de intervención.
Fuente: Ilustración propia.

La galería la Nave, ubicada sobre la avenida los cerros, se proyecta como un equipamiento que complementa el eje de intervenciones urbanas, que atienden las necesidades del sector y conectan la comuna con la ciudad. Actualmente pese al deterioro de sus instalaciones (Ausecha et al., 2021), se percibe como un nodo importante de actividades comerciales y de esparcimiento para los habitantes que también actúa como puerta de entrada peatonal y conexión vehicular al barrio San Francisco.

Por otro lado, Cancha Canasteros, ubicado en la parte alta del barrio San Francisco es una zona que ha sido apropiada por la comunidad como un espacio para el encuentro, la recreación y el deporte. Su transformación mediada por el laboratorio de intervención urbana (LIUR) mediante proyectos como urbaniños y camino al barrio, reflejan la importancia de resignificar y caracterizar el espacio para crear colectividad.

Si bien ambos espacios comparten ciertas condiciones, son diferentes en su conformación física y en su uso. En este sentido, la lógica de un proceso paramétrico permite abarcar de manera simultánea el diseño de la cubierta para ambos lugares.



Ilustración 128 – Galería La Nave. Fuente: ilustración propia.



Ilustración 129 - Cancha Canasteros. Fuente: ilustración propia.

Intenciones de diseño



Ilustración 130 - Visibilizar y conectar. Fuente: ilustración propia.

Visibilizar y conectar

La relación que tiene el equipamiento con las intervenciones urbanas que se encuentran sobre la avenida los cerros y su uso activo permite reconocer la importancia que tiene como nodo en el sector. Enfatizar. Ilustración 130

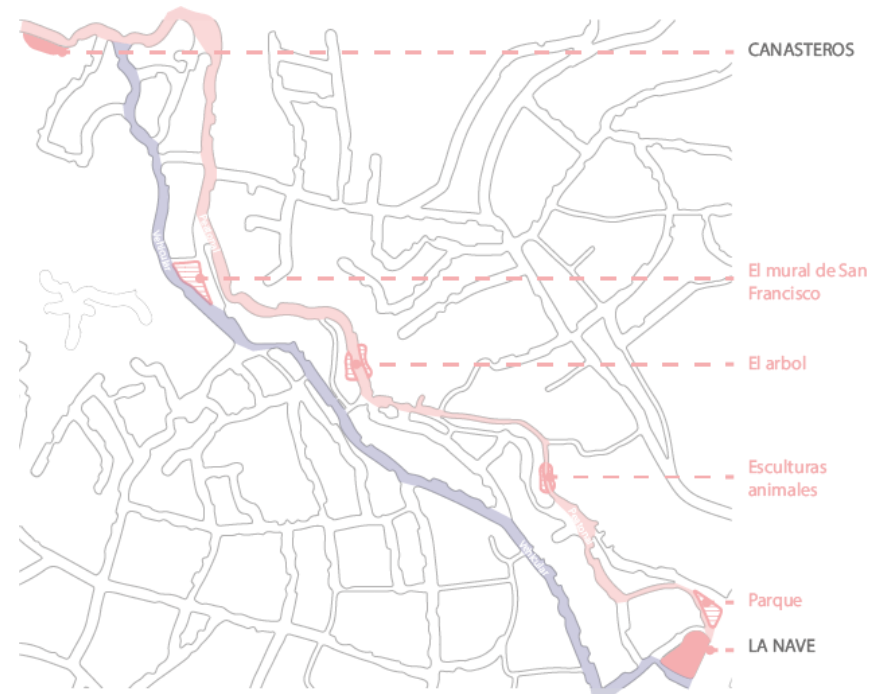


Ilustración 131 - Conectar. Fuente: ilustración propia.

Conectar

Generar una continuidad espacial entre la cancha deportiva y la galería de la Nave. Ilustración 131



Ilustración 132 - Conservar. Fuente: ilustración propia.

Conservar.

El uso activo de los espacios a intervenir permite reconocer la importancia que tienen como nodo en el sector, por tanto, se propone registrar y conservar el programa base de actividades desarrolladas en cada lugar. Ilustración 132

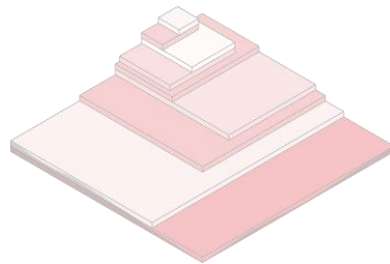


Ilustración 133 - Adaptar. Fuente: ilustración propia.

Adaptar

Entendiendo el uso residencial y de comercio de las edificaciones vecinas se propone generar plataformas que relacionen el acceso a las mismas con el espacio público y responda a su vez a la topografía del lugar. Ilustración 133

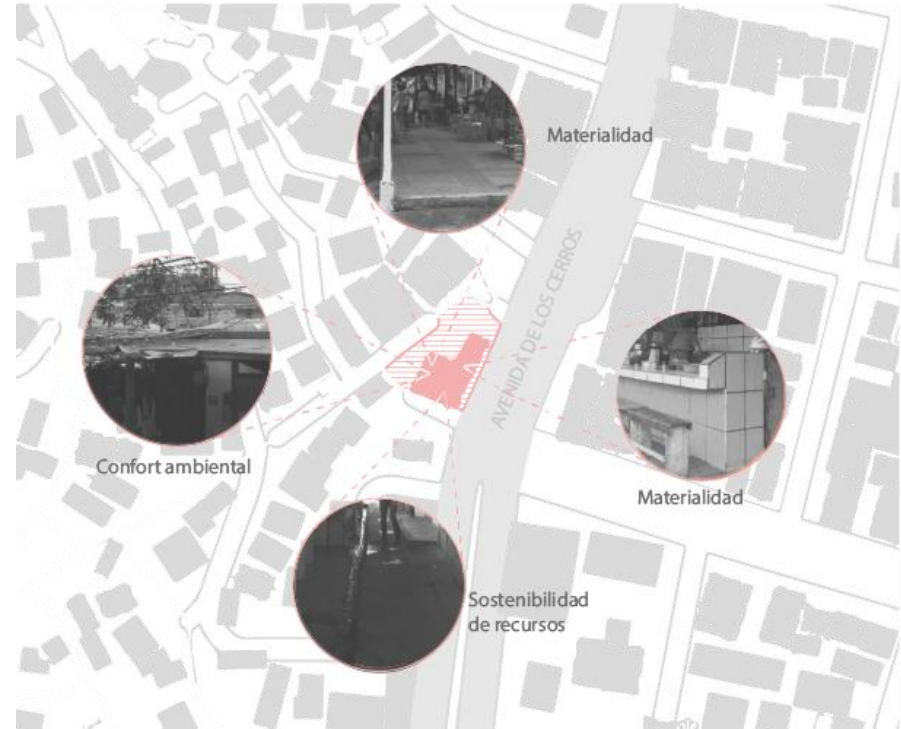


Ilustración 134 - Renovar. Fuente: ilustración propia.

Renovar

Dada la precariedad de las instalaciones de estos nodos, se interviene el lugar con su demolición.

Ilustración 134

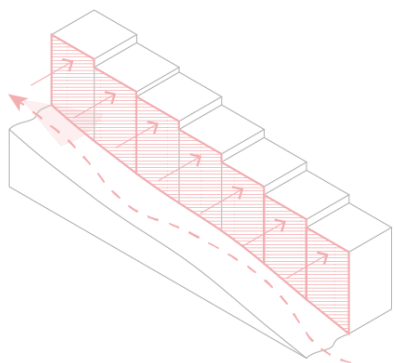


Ilustración 135 - Paramentar y liberar.
Fuente: ilustración propia.

Paramentar y liberar

Como estrategia urbana y programática se propone condensar los módulos de locales en una sola franja que paramente el corredor peatonal sobre la carrera 42, libere las fachadas de las edificaciones posteriores abriendo la visual hacia el comercio de las mismas y enfatice el acceso al barrio.

Ilustración 135

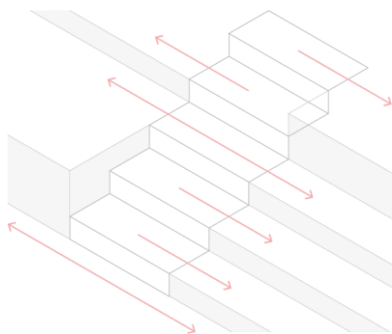


Ilustración 136 - Contener.
Fuente: ilustración propia.

Contener

Se plantea el diseño de graderías y canteros como elementos que complementan el desarrollo del programa actual del lugar a la vez que actúan como estrategia para la contención del terreno.

Ilustración 136

Variables para el diseño de la cubierta

Área a cubrir- Polilínea que determina el borde del área a cubrir.

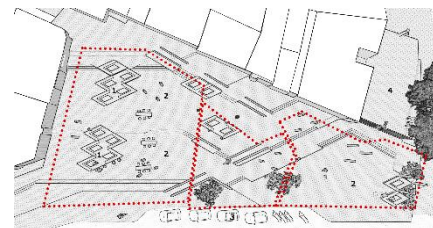


Ilustración 137 - Perímetro cubierta - La Nave.
Fuente: ilustración propia.



Ilustración 138 -Perímetro cubierta - Canasteros. Fuente: ilustración propia.

Zonificación Espacios cubiertos (rojo) y permeables (azul).

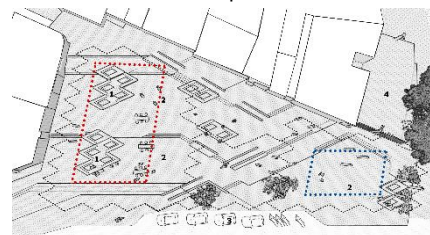


Ilustración 139 - Zonificación La Nave.
Fuente: ilustración propia.

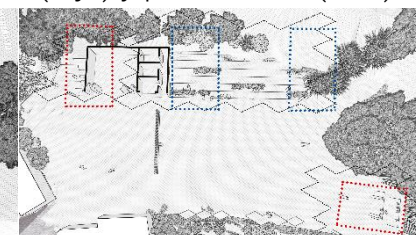


Ilustración 140 - Zonificación Canasteros.
Fuente: ilustración propia.

Plano base - Superficie sobre la cual se adaptan los apoyos.



Ilustración 142 - Plano base La Nave.
Fuente: ilustración propia.

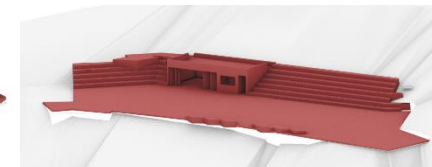


Ilustración 141 - Plano base Canasteros.
Fuente: ilustración propia.

Planta Galería La Nave.



Ilustración 143 -Planta Galería La Nave. Fuente: ilustración propia.

Planta de Cubierta Galería La Nave.



Ilustración 144 - Ilustración 99 -Planta de cubiertas Galería La Nave. Fuente: ilustración propia.

Planta Cancha Canasteros

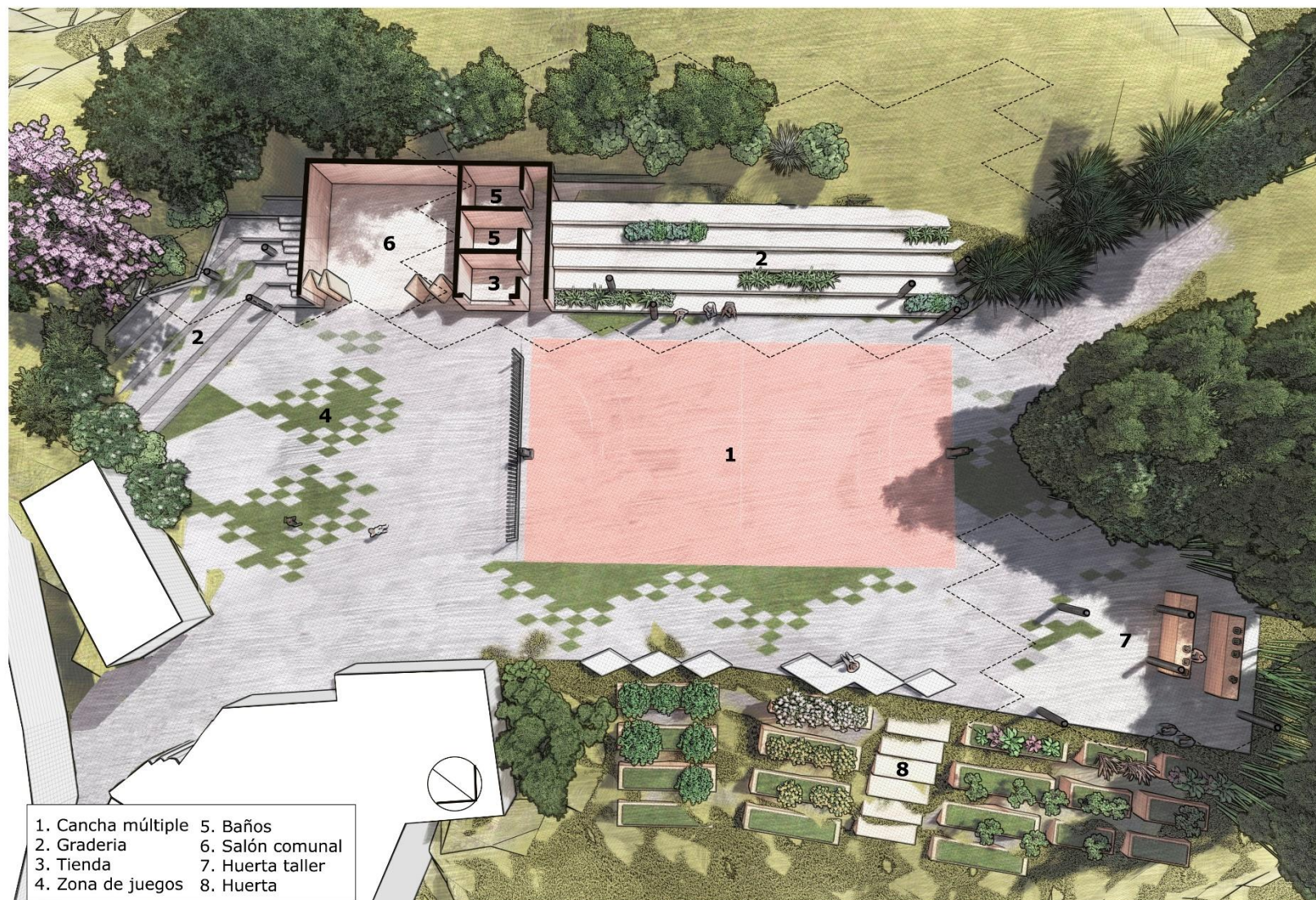


Ilustración 145 - Planta Cancha Canasteros. Fuente: ilustración propia.

Planta Cancha Canasteros

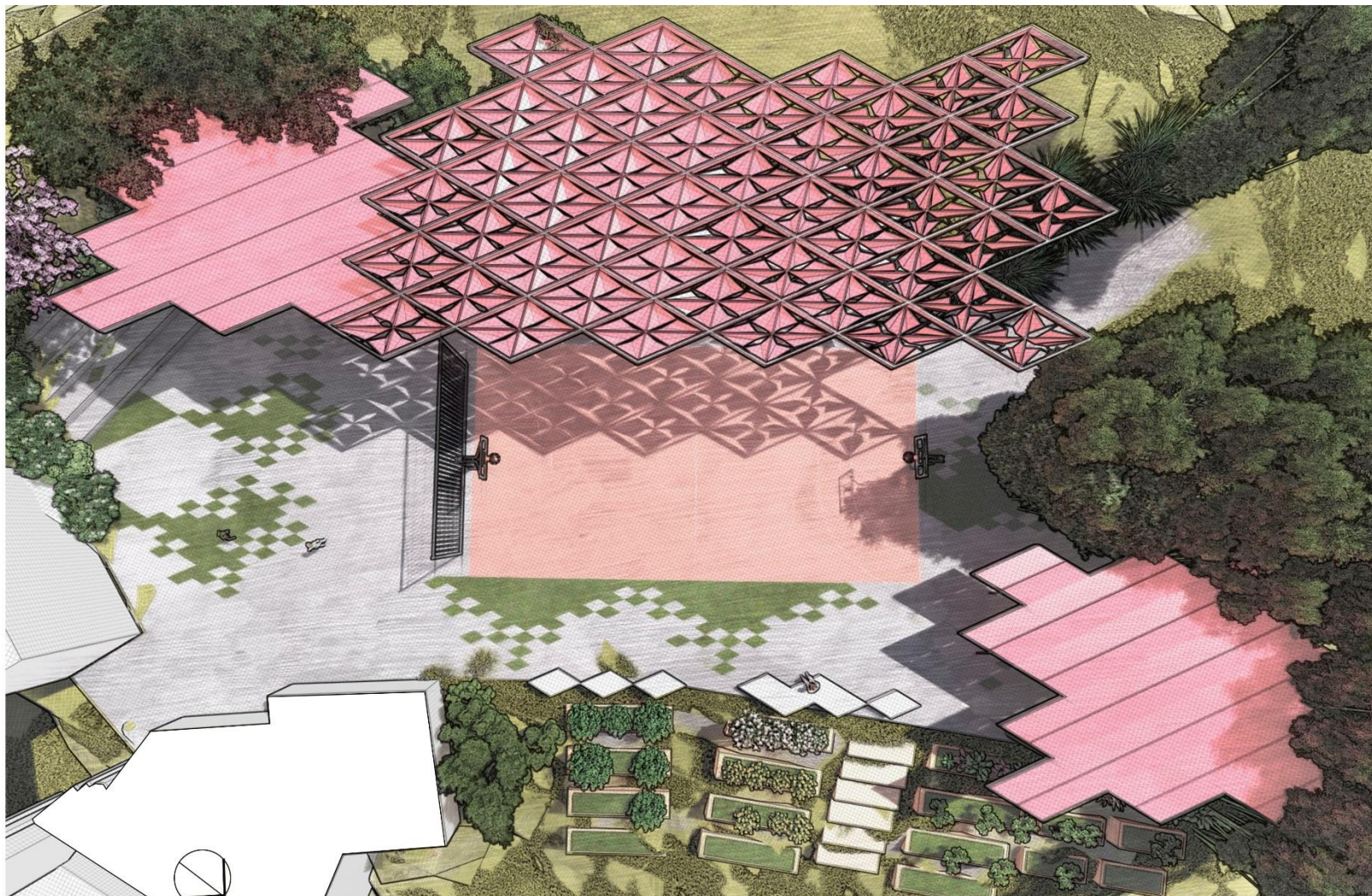


Ilustración 146 - Planta de cubierta Cancha Canasteros. Fuente: ilustración propia.

Visualización 3D - Galería La Nave



Ilustración 147 - Render 1 - Galería La Nave. Fuente: ilustración propia.



Ilustración 148 - Render 2 - Galería La Nave. Fuente: ilustración propia.



Ilustración 149 - Render 3 - Galería La Nave. Fuente: ilustración propia.

Visualización 3D – Cancha Canasteros



Ilustración 150 – Render 1 - Cancha Canasteros. Fuente: ilustración propia.



Ilustración 151 - Render 2 - Cancha Canasteros. Fuente: ilustración propia.



Ilustración 152 - Render 3 - Cancha Canasteros. Fuente: ilustración propia.



Ilustración 153 - QR 360.
Fuente: Contenido propio.

CONCLUSIONES

El acercamiento al diseño paramétrico de lo teórico a lo práctico, la experimentación de las herramientas digitales y el proceso realizado en el diseño del sistema de cubiertas para espacio público permitió comprender las implicaciones que surgen a partir de la implementación de procesos y herramientas digitales paramétricas en el proceso de diseño arquitectónico. Con esto presente, se expresan a continuación las principales conclusiones del proyecto de grado.

✓ Parametrización de procesos de diseño.

Es importante establecer las razones, las condiciones y las variables sobre las cuales se desea parametrizar un elemento de manera que se identifique previamente si es viable la implementación de un proceso paramétrico o, por lo contrario, si este proceso sólo complejiza el ejercicio del diseño. De igual forma, para obtener buenos resultados de un proceso de diseño paramétrico es necesario establecer una metodología clara que defina el concepto inicial de diseño y prevea las variaciones finales del proyecto, de manera que se logre crear una ruta base que guíe la construcción del sistema, algoritmo.

El proceso de parametrización permite explorar, evaluar y visualizar diferentes condiciones de manera más fácil y rápida.

✓ Áreas de desarrollo.

Con los ejemplos expuestos y exploración realizada se muestra que los procesos paramétricos pueden estar asociados tanto a geometrías complejas, como convencionales de diferentes escalas, ya que para ambos casos es posible llegar a formular parámetros que definan el proyecto como un sistema de relaciones, facilitando la exploración del mismo y reduciendo el tiempo destinado a la generación de variables.

Así mismo, se identifican tres casos principales en los cuales resulta óptimo la implementación de procesos paramétricos: i) desde la formulación del tipo de proyecto cuando se relacionan características de lo paramétrico como es la variabilidad y la adaptabilidad, ii) para el desarrollo de proyecto específico, donde la parametrización permitiría entender, simplificar y optimizar la solución geométrica, y iii) cuando se busca integrar datos de desempeño al proceso morfogenético del proyecto.

✓ Pensamiento y herramientas

El diseño paramétrico presenta un proceso previo complejo que exige un cambio de pensamiento en la forma de abordar el diseño ya que requiere de un entendimiento más profundo de las partes que componen un elemento y las relaciones entre ellos para poder generar un sistema dinámico.

La inmersión en las herramientas digitales, la comprensión de la interfaz, el lenguaje y el funcionamiento del software es un

proceso extenso que requiere de la comprensión geométrica del elemento a diseñar por lo cual es esencial profundizar progresivamente en el conocimiento teórico de la geometría y de las matemáticas para poder transformarlo y entender su construcción y desarrollo dentro de un entorno de trabajo abstracto.

Tanto el proceso como las herramientas paramétricas se pueden convertir fácilmente en una limitante al momento de abordar un proyecto, especialmente para los diseñadores que están iniciando el proceso de aprendizaje, ya que cada ejercicio de diseño requiere de un proceso extenso para la construcción del algoritmo incluso si se trata de objetos simples.

En este mismo contexto, el proceso de diseño paramétrico digital mantiene una relación constante, desde las etapas iniciales hasta las finales, con el proceso convencional de diseño analógico y digital, en cuanto a la realización de bocetos, esquemas y maquetas ya que se convierten en elementos mediadores para la comprensión del pensamiento paramétrico y algorítmico.

✓ Desarrollo de enfoques

La posibilidad de integrar datos específicos relacionados a temas como el material, el contexto o el programa, por medio de las herramientas digitales paramétricas muestra cómo abordar el desempeño y la optimización como criterio morfogénico en las etapas iniciales del proyecto, lo que permite explorar nuevas

relaciones entre la forma del objeto arquitectónico, los elementos que lo componen y el entorno en el que se encuentra.

✓ Fabricación y construcción

La implementación de estas herramientas resulta útil en la obtención de información para la fabricación y construcción del proyecto facilitando la reproducción del objeto digital en un medio físico.

✓ Proceso personal

Embarcarse en este proceso fue una experiencia retadora, que implicó el aprendizaje de una herramienta totalmente nueva y la práctica constante de metodología para comprender poco a poco la manera de pensar el desarrollo de objetos en un entorno paramétrico. Esto a su vez, amplía las expectativas y el campo de posibilidades que existen para exploración del proyecto arquitectónico.

BIBLIOGRAFIA

- Anton, I., & TĂnase, D. (2016). Informed Geometries. Parametric Modelling and Energy Analysis in Early Stages of Design. *Energy Procedia*, 85, 9–16.
<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.12.269>
- Aranguren, J. I. (2019). *Conferencia Magistral Internacional Zaha Hadid Architects*.
<https://www.youtube.com/watch?v=7mMXj4-3j84&t=1934s>
- Ausecha, L., Barrera, J., & Gomez, L. (2021). MAESTRIA ARQUITECTURA Y URBANISMO UNIVERSIDAD DEL VALLE ARQUITECTURA Y URBANISMO BIOCLIMÁTICO II COMPONENTE ESPACIO-FUNCIONAL.
- Aziz, M. S., & el Sherif, A. Y. (2016). Biomimicry as an approach for bio-inspired structure with the aid of computation. *Alexandria Engineering Journal*, 55(1), 707–714.
<https://doi.org/10.1016/j.aej.2015.10.015>
- Burroughs, J., & Burroughs, M. (2010). *THE NEW MATHEMATICS OF ARCHITECTURE*.
- Burroughs, M. (2011). *Scripting Cultures*.
- Christopher Beorkrem, A., Eth, K., Reichert, S., Menges, A., Heatherwick, T., Roberge, H., Box Architecture, H., Søndergaard, A., Eloueini, A., Nogues, B., Wierinck, S., Office Architects, F., Pawlofsky, T., & Block, P. (2013). *MATERIAL STRATEGIES IN DIGITAL FABRICATION*.
- Colón, A. (2018). F. OTTO, J.M. SONGEL - Frei Otto. Conversaciones con Juan Maria Songel. *ZARCH*, 11, 210.
https://doi.org/10.26754/ojs_zarch/zarch.2018113217
- Crolla, K. (2017). Building indeterminacy modelling – the ‘ZCB Bamboo Pavilion’ as a case study on nonstandard construction from natural materials. *Visualization in Engineering*, 5(1). <https://doi.org/10.1186/s40327-017-0051-4>
- Dunn, N. (2012). *Proyecto y construcción digital en arquitectura* (Primera). Blume.
- Fitch, J. M. (1980). PEARCE_Structure in Nature is Strategy for Design. *Journal of the Society of Architectural Historians*.
- Fraile, D., de la casa, C., & Sainz, S. (n.d.). *Curiosidad radical En la Órbita de Buckminster Fuller*.
- Hope, R. L., Jacobs, P. A., & Roth, R. N. (1997). Rapid prototyping with sloping surfaces. *Rapid Prototyping Journal*, 3(1), 12–19.
<https://doi.org/10.1108/13552549710169246>
- Hu, M. (n.d.). *Performance-Based Design Strategy and Parametric Design Goal Setting*.

- IONOS. (n.d.). *Programación visual: la entrada más sencilla al mundo digital*. Retrieved March 18, 2022, from <https://www.ionos.es/digitalguide/paginas-web/desarrollo-web/programacion-visual/>
- Kolarevic, B. (2001). *2001: ACADIA 268 Digital Fabrication: Manufacturing Architecture in the Information Age*.
- Llópiz, V. J. (2018). *DIBUJO Y ARQUITECTURA EN LA ERA DIGITAL*.
- Makert, R., & Alves, G. (2016). Between Designer and Design: Parametric Design and Prototyping Considerations on Gaudí's Sagrada Familia. *Periodica Polytechnica Architecture*, 47(2), 89–93. <https://doi.org/10.3311/PPar.10335>
- Menges, achim. (2011). Megabites_de_madera. *Arquitectura Viva*.
- Menges, A. (2016). Computational material culture. *Architectural Design*, 86(2), 76–83. <https://doi.org/10.1002/ad.2027>
- Meredith, M., AGU, Sasaki, M., P. ART, DesignToProduction, & Aranda/Lasch. (2008). *FROM CONTROL TO DESIGN: PARAMETRIC/ALGORITHMIC ARCHITECTURE*.
- Payne, A. O. (n.d.). *The Grasshopper Primer*. Retrieved March 12, 2022, from <https://modelab.gitbooks.io/grasshopper-primer/content/index.html>
- Pérez, A. (2020, December 31). *Hace un siglo nació Siloé, el barrio que está más cerca del cielo*. <https://www.cali.gov.co/participacion/publicaciones/158376/hace-un-siglo-nacio-siloe-el-barrio-que-esta-mas-cerca-del-cielo/>
- Pérez, D., Naylor, J., & Cheng, C. (2022). *AA Visiting School Panama / Colombia Visiting School Programme 2022-2024*.
- Peters, B., & Peters, T. (2013). *INSIDE SMARTGEOMETRY Expanding the Architectural Possibilities of Computational Design SMART01*.
- Pottman. (2007). *ARCHITECTURAL GEOMETRY First Edition*. www.bentley.com/books
- Rafael Sacks et al. (2018). *BIM Handbook*.
- Sabaté, J. (2005). Naturaleza ligera Frei Otto, Medalla de Oro del RIBA 2005. In *Arquitectura Viva* (Vol. 101).
- Vargas, R. (n.d.). *Extracto_Rep_Sim_67-85*.
- Vargas, R. (2021). *TÉCNICAS DIGITALES DE PROYECTACIÓN*. <https://www.youtube.com/user/gervalengar>
- Wintour, P. (2018, June 8). *A brief history of computation*. <https://parametricmonkey.com/2018/06/08/a-brief-history-of-computation/>
- Woodbury, R. (Robert F. (2010). *Elements of parametric design*. Routledge.

ANEXOS

Exploraciones instrumentales (formato 3dm y gh).

<https://drive.google.com/drive/folders/1XQY1LKAfkKHBjUsEHvK2Alzd64BHJGLg?usp=sharing>

Proyecto creativo (formato 3dm y gh).

<https://drive.google.com/drive/folders/17NZn5rdMjzFABytWbkCaq366R0CT6Wt-?usp=sharing>