

Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Arquitectura
Centro de Investigaciones de Diseño Industrial

**Sistema de módulos biomiméticos
para la cosecha y tratamiento de agua.**

Titulación por Proyecto Documentado

Tesis Profesional que para obtener el Título de
Diseñador Industrial



Presenta:
Andrés Velázquez Laguna



Con la dirección de:
MDI. Vanessa Sattelle Gunther

y la asesoría de:
M.Ing Claudio Hansberg Pastor
MDI. Victor Gustavo Casillas Lavín
MDI. Fernando Jiménez Sánchez
D.I Maribel Alonso Chein



Ciudad Universitaria, CDMX, 2020

“Declaro que este proyecto de tesis es totalmente de mi autoría y que no ha sido presentado previamente en ninguna otra Institución Educativa y autorizo a la UNAM para que publique este documento por los medios que juzgue pertinentes”



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE DISEÑO INDUSTRIAL



Programa de Egreso y Titulación
Aprobación de impresión

EP01 Certificado de aprobación de impresión de documento.

Coordinación de Titulación
Facultad de Arquitectura, UNAM
PRESENTE

El director y los cuatro asesores que suscriben, después de revisar el documento del alumno, alumna:

NOMBRE: **VELAZQUEZ LAGUNA ANDRES** con no. de cuenta **414010059**

PROYECTO: **Sistema de módulos biomiméticos para la cosecha y tratamiento de agua.**

OPCIÓN DE TITULACIÓN **TESIS Y EXAMEN PROFESIONAL**

Consideran que el nivel de complejidad y de calidad de LA TESIS, cumple con los requisitos de este Centro, por lo que autorizan su impresión y firman la presente como jurado del

Examen Profesional que se celebrará el día _____ **a las** _____ **horas.**

Para obtener el título de **DISEÑADOR INDUSTRIAL**

ATENTAMENTE

“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”

Ciudad Universitaria, CDMX a 22 de septiembre de 2020

SINODAL	FIRMA
PRESIDENTE M.D.I. VANESSA SATTELE GUNTHER	
VOCAL M.I. CLAUDIO HANSBERG PASTOR	
SECRETARIO M.D.I. GUSTAVO VICTOR CASILLAS LAVÍN	
PRIMER SUPLENTE M.D.I. FERNANDO JIMÉNEZ SÁNCHEZ	
SEGUNDO SUPLENTE D.I. MARIBEL ALONSO CHEIN	

ARQ. MARCOS MAZARI HIRIART
Vo. Bo. del Director de la Facultad

Este proyecto fue realizado en colaboración con:

BiomimicryMex
Representante global del Biomimicry Institute

Asesoría:
MSc. Daniela Esponda Rodriguez



y



Freie Universität Berlin (Universidad Libre de Berlín, Alemania)
Institut für Chemie und Biochemie (Instituto de Química y Bioquímica)

Asesoría:
Dr. Olaf Wagner
Dr. Rainer Haag





Resumen del PROYECTO

El estrés hídrico y el acercamiento acelerado hacia el llamado Día 0 dentro de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) son una realidad. El objetivo de este proyecto es la creación de un Objeto-Sistema-Servicio que mitigue las repercusiones de este fenómeno haciendo uso de la ciencia de la biomimética.

La propuesta consiste en un sistema de módulos verticales que aprovechan la infraestructura de la ciudad y los factores abióticos de su entorno para la cosecha de agua, ya sea de lluvia o de humedad. Estos módulos están pensados para recaudar, distribuir, purificar y almacenar agua. Esto lo realizan sin ningún tipo de energía eléctrica, aprovechando únicamente la orientación de su colocación, los factores operantes para la vida sobre la tierra (según la metodología del *Biomimicry Institute*) y las cualidades de los materiales con los que se construye. Los módulos son sensibles a la humedad, a la radiación de calor, aprovechan la gravedad, las cargas eléctricas de las bacterias y hacen uso principalmente de planos inclinados para su funcionamiento, captando hasta 1,437 lt por módulo por año, lo que supone que al cubrir los casi 28,000m² de la Torre Latino se podrían ahorrar más de 125,000,000 lt al año.

El concepto posee varias mejoras frente a los sistemas de cosecha actuales, entre los que destaca una mejor calidad de agua colectada, el aprovechamiento de superficies verticales, la ausencia de energía eléctrica para su funcionamiento, la modernización de la urbe e incluso -según los principios de las dobles fachadas arquitectónicas- la regulación térmica de los edificios en

donde se instala. Es un proyecto prospectivo con fundamentos actuales por lo que su realización, de ser financiada, es factible y promete ser provechosa pues el mercado actual no cuenta con objetos que abarquen todas las áreas cubiertas por este concepto teniendo competidores limitados e inditectos. Lo anterior supone un alto grado de innovación con posibilidades de aplicar a solicitudes de patente.

En tanto a su producción, esta se hace principalmente por medio de inyección plástica de distintos polímeros, lo que permite la separación selectiva y gestión de residuos.

Al ser un objeto nacido para formar parte de instancias arquitectónicas no solo se estudiaron las tendencias estéticas de los productos industrializables de esta década, sino que también se buscó que el objeto evocara la estética de firmas reconocidas mundialmente como Zaha Hadid, Norman Foster, Richter Musikowski, Herzog & de Meuron, Neutelings Riedijk Architects, entre otros.

Este concepto fue creado dentro de una colaboración de la UNAM con BiomimicryMex, representante global del Biomimicry Institute y bajo una estancia de formación profesional en la Freie Universität Berlin, siendo asesorado por MSc. Daniela Esponda Rodríguez sobre la implementación de la ciencia-metodología y por Dr. Rainer Haag y Dr. Olaf Wagner con el desarrollo de nuevos materiales, recubrimientos catalíticos para el tratamiento de recursos hídricos. Por parte de la UNAM la asesoría fue principalmente por MDI. Vanessa Sattelle Gunther sobre la evolución del concepto y la toma de decisiones, por M.Ing Claudio Hansberg Pastor sobre la configuración del objeto y la lógica de documentación y por MDI. Victor Gustavo Casillas Lavín sobre el pensamiento sistémico.





Summary

ENGLISH

Water stress and an imminent approach of the so-called "Day 0" in the Metropolitan zone of the Mexico valley (ZMVM) are a reality. The aim of this project is the creation of an Object-Service-System which mitigates the repercussions of said phenomenon, by making use of Biomimicry science.

The proposal consists of a vertical modules system which uses the existing infrastructure of the city and the abiotic factors of its environment for water harvesting, either from the rain or atmospheric humidity. These modules are designed to perform the collection, distribution, purification and storage of water. Those activities are carried out with passive forms of energy such as humidity, solar heat, radiation, gravity, and micro electric bacteria charges, as well as its own qualities such as orientation, geometric forms, materials and slanting surfaces. Each module can collect up to 1,437 lt per module per year, which means that, by covering the 28,000m³ from "Torre Latino" it could be possible to save more than 125,000,000 lt per year.

The object configuration and its components manage the abiotic resources and activate the different operative phases of the concept. The concept has several advantages versus the current harvesters such as better quality of collected water, the possibility to use

vertical surfaces in skyscrapers and high buildings, the absence of external energy resources, aesthetic modernization of the city and even, as a result of the double facade principles, thermal regulation within the buildings in which it is installed .

Its production processes are basically plastic injection of various polymers, the properties of which permit selective separation and hence, waste management.

This is a prospective project fundamented on current technology which means its development, if financed, promises to be feasible and profitable.

Its aesthetic is based on industrial design objects of this decade and also uses as a reference architectural trends from worldwide recognized firms such as Zaha Hadid, Norman Foster, Richter Musikowski, Herzog & de Meuron, Neutelings Riedijk Architects, among others.

This project was carried out as a collaboration between UNAM with BiomimicryMex, worldwide representative from Biomimicry Institute, and under an apprenticeship in "Freie Universität Berlin", being respectively assessed by Msc. Daniela Esponda Rodríguez with the application of the science-methodology and by Dr. Rainer Haag and Dr. Olaf Wagner regarding catalytic coatings for water treatment. UNAM supported the investigation with tutoring from MDI. Vanessa Sattelle Gunther about concept development and decision making process, M. Ing Claudio Hansberg Pastor about documentation and the object configuration, and by MDI. Victor Gustavo Casillas Lavin about system thinking





ÍNDICE

1	Introducción	1
	1.1 Relevancia de la investigación	3
	1.2 El reto	4
2	Sistemas dentro de sistemas	9
	2.1 Relación Aumento Poblacional-Cambio climático- Ciclo del agua	14
	2.2 Contexto ¿Por qué la ZMVM?	16
	2.2.1 Mancha urbana	17
	2.2.2 Clima	18
	2.3 Escasez de agua	19
3	Callando el intelecto humano: Biomiméisis	25
	3.1 Sobre la metodología	27
	3.1.1 Ética: La filosofía	29
	3.1.2 (Re)Conexión: En sintonía	30
	3.1.3 Emulación: La ejecución	30
	3.2 Proceso de diseño	32
	3.2.1 Alcances	33
	3.2.2 Descubrimiento	35
	3.2.3 Creación	38
	3.2.4 Evaluación	38
4	La consciente emulación de la naturaleza	43
	4.1 Brief de diseño	44
	4.2 Preguntas base	48
	4.3 Modelos naturales	49
	4.4 Taller de emulación	50
	4.5 Análogos y Homólogos	60
	4.6 Patrones profundos	70
	4.7 Taller WDO "Diseñando los futuros del agua en la CDMX"	71
	4.8 Primeras aproximaciones	72

5	Desarrollo del Concepto	81
	5.1 Captadores Verticales	82
	5.2 Iteraciones: Evolución del proceso.	84
	5.3 Sobre su operación en sistemas y las especies emuladas.	99
	5.4 Atributos funcionales y operativos.	108
	5.5 Evaluación según los principios de vida.	118
6	Dzahui: Propuesta de Diseño	123
	6.1 Aplicación de nuevos materiales	124
	6.2 Memoria descriptiva	130
	6.3 Análisis estético	154
	6.4 Descripción del servicio	164
	6.5 Preguntas frecuentes	166
7	Conclusiones Generales	173
8	Referencias	178
9	Anexos	184



Sistema de módulos biomiméticos
para la cosecha y tratamiento de agua.

Andrés Velázquez Laguna

Agradecimientos

Este ha sido un largo camino por lo que hay muchas personas a las que agradezco de corazón.

A mi familia por su apoyo incondicional, por cuidar de mí en todos los sentidos y hasta donde les es humanamente posible, por ser la mejor versión que pueden ser -para ellos mismos y para mí-, por su esfuerzo y sus enseñanzas, pero por sobre todo por su cariño, amor y tolerancia. Mamá, papá, Victor, (y hasta tú, Layla) ¡Gracias!

A TODOS mis amigos que confían en mí. Por sus palabras de aliento, las sonrisas, los momentos y el cariño que me han dado. Fats, Kazz, Vale, gracias por escucharme siempre que lo necesito, incluso cuando a veces no son los temas más sencillos de explicar.

A mis profesores, que me han brindado innumerables lecciones académicas y de vida. Gracias Vane, por tu mentoría y hacerme sentir que soy bueno en lo que hago. Ana Pau, por la confianza y apoyo constante. Daniela, por la paciencia y la entrega en lo que haces, Olaf, por permitir mi estancia en Alemania y Claudio, por el innato interés de profesionalizar nuestra forma de actuar y pensar.

A la UNAM por todas las oportunidades directas e indirectas que me ha otorgado a lo largo de mi carrera.

Endlich danke dir, Elías. Du weißt was du für mich bedeutet. Danke, dass du mich fast nie fallen lässt und an mich glaubst. Dich treffen ist -ohne Zweifel- der schönste Zufall, den ich in meinem Leben hatte.



PRIMERO
FUE NECESARIO

CIVILIZAR AL HOMBRE

EN SU RELACIÓN CON EL HOMBRE.



Fotografía de Benita Welter, Bergheim/ Deutschland



1.Introducción



La globalización ha cobrado velocidad de forma espectacular debido a los avances sin precedentes en la tecnología, las comunicaciones, la ciencia, el transporte y la industria; a su vez esto ha causado una aceleración en el crecimiento urbano (Benavides, 2017). Lo cierto es que lo anterior se ha tornado en un proceso caótico que requiere ajustes y plantea desafíos y problemas importantes.

El ritmo de crecimiento acelerado y la actividad humana han alterado el balance ecosistémico que está alcanzando un punto donde la resiliencia del planeta no basta para contrarrestar dichos efectos, trayendo como una de sus consecuencias, el controversial tema "cambio climático"¹. Esto provoca eventos inusuales como la mezcla de estaciones, el aumento de los niveles del mar, el calentamiento global, la pérdida de especies, la escasez de recursos, catástrofes naturales, entre otros (NASA, 2018)

¹Se especula que el estilo de vida, consumo y producción, principalmente del humano urbano moderno, sirve como agente catalizador del cambio climático, incrementando la velocidad con la que la etapa de súper calefacción, efecto del calentamiento global -a su vez efecto del cambio climático- se acerca. Cabe mencionar que el calentamiento global es algo natural en el cual intervienen varios factores. Desde el punto de vista atmosférico interviene principalmente el contenido de CO2 y metano (gases de efecto invernadero) en la atmósfera (Nelson, 2015), sin embargo la industria incorpora estos gases a la atmósfera de manera exponencial si se compara con el porcentaje habitual de estos dentro del planeta.

Seleccionando de un listado de afecciones mundiales enlistadas por el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (2016), entre los cambios que más perturban a las ciudades se encuentran la modificación de los patrones naturales de precipitación, el aumento de la temperatura promedio global, inundaciones recurrentes, y la disminución en la disponibilidad de agua para consumo humano, agrícola e hidroeléctrico. Con lo anterior se evidencia la alteración de los ciclos hidrológicos y la inminente exposición de cientos de millones de personas a sufrir de **estrés hídrico** (IPCC, 2007). Dicho concepto -premisa central del proyecto- se refiere a la relación de volumen de agua dulce disponible por habitante dentro de regiones específicas.

Esta tesis es una invitación a hacer conciencia sobre nuestros actos como individuos y el planteamiento de una solución adaptativa, que disminuya, ralentice y contrarreste el estrés hídrico. El proyecto nace bajo el estudio de nuestro bioma como una red sistémica, el estudio de modelos naturales y la traducción de su información biológica. El análisis se basa en la metodología de la ciencia de la biomimética, que estudia a la naturaleza para la creación de productos-sistemas-servicios (Baumeister, Tocke, Dwyer, Ritter y Benyus, 2013), concebidos bajo la consciente emulación de las formas, procesos o ecosistemas que los 3.8 mil millones de años de experiencia de la vida en la tierra ofrecen, aplicando lo anterior dentro del marco del quehacer del Diseño Industrial.



Fig. 1



1.1 Relevancia de LA INVESTIGACIÓN

En México existen grandes áreas con escasez de agua. En promedio 70% del crecimiento poblacional se da en regiones donde ya existe una gran presión sobre el recurso. Paradójicamente en estas regiones se presentan frecuentes eventos hidrometeorológicos (SEMARNAT/CONAGUA, 2011) que afectan la infraestructura de los asentamientos humanos y a los humanos mismos.

En el país existen 653 acuíferos de los cuales 106 están sobreexplotados, dentro de ellos se encuentran los que alimentan a la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), esto alarma sobre un previsible agotamiento del recurso, implicando graves problemas de escasez. No obstante, en la ZMVM se desperdicia entre el 30% y 50% del agua por fugas en las redes de abastecimiento, distribución y tomas domiciliarias, sin mencionar que sólo el 27.6% de las aguas residuales colectadas recibe tratamiento. Lo anterior habla de una enorme ineficiencia en la gestión y manejo del recurso. (Consejo Consultivo del Agua, s.f.)

Por otro lado, México cuenta con una precipitación anual de 1,489 miles de millones de m³ de los cuales el 22.1% escurre por los cuerpos de agua dentro de la Ciudad de México (ríos y arroyos), solo el 4.7% logra filtrarse al subsuelo gracias a las escasas áreas permeables (tierra no pavimentada) recargando de esta forma los mantos acuíferos, mientras que el 73.2% restante se evapotranspira (CONAGUA, 2010).

Además de lo anterior, también deben considerarse factores como el índice de crecimiento poblacional. En 2015, cerca de 4000 millones de personas vivía en ciudades y se prevé que ese número aumente hasta unos 5000 millones para 2030 (ONU, 2020).

Hablando sobre la disponibilidad de agua, se considera que esta es baja cuando existe un factor de 5,000 m³/habitante/año. En el año 2010 México contaba con un promedio de disponibilidad de agua de 4,210m³/habitante/año y se tiene previsto que para el año 2030 la disponibilidad sea de tan solo 3,800 m³/habitante/año (SEMARNAT/CONAGUA, 2011). Nos encontramos en un escenario sumamente desfavorable donde el recurso escasea y la demanda incrementa. Tener a disposición de la ZMVM otra fuente para este recurso renovable, pero limitado, supone una mejoría en la cobertura de la demanda hídrica.

Por ello, parece viable la implementación de sistemas que aprovechen los recursos hídricos de manera más eficiente con respecto a las redes de distribución y almacenamiento del México actual. Resulta conveniente la **cosecha de agua**, definida por la SAGARPA como la recolección del vital líquido derivado de las lluvias para usarlo con fines productivos; de esta forma la precipitación no se mezcla con las aguas residuales.

Esto resulta favorable por el bajo porcentaje de tratamiento que reciben para su reutilización –como se hizo saber en párrafos anteriores-, además de disminuir los recursos energéticos invertidos en transportar el agua hasta los hogares y/o industrias, desde las plantas de extracción o tratamiento que se sitúan a las afueras de la ZMVM

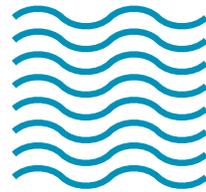
Más adelante se explicará la estrecha relación entre cambio climático, aumento poblacional y ciclo del agua así como sus implicaciones con la vida cotidiana. Por el momento basta con hacer notar la necesidad actual del humano a adaptarse a los cambios ocasionados por las mismas acciones antropogénicas, dando pauta a la creación de posibles soluciones, siendo esta tesis una de ellas.

² Los Principios de vida son parte de la metodología de la biomimética, empleada para la investigación, se profundiza al respecto dentro del punto 3.1.

Si así se desea, en el siguiente link o código QR puede encontrarse la herramienta de estudio en su idioma original https://glbiomimicry.org/Education/Lifes_Principles_Handout_FINAL.pdf/



1.2 El Reto



El reto de esta tesis consistió en hacer uso de la metodología de la ciencia "biomimética", para proponer un concepto adecuado al contexto en el que se busca introducir, que propicie soluciones que conduzcan a la innovación mediante la emulación de mecanismos específicos abstraídos de modelos naturales, evaluándolos y retroalimentándolos haciendo uso de los Principios de vida²

Lo anterior dentro de un marco sustentable que haga un mejor uso del recurso hídrico con respecto al actual; que suponga una mejoría en el sistema de abastecimiento del recurso, distribuyéndolo, recolectándolo y almacenándolo, obteniéndolo de fenómenos naturales como la lluvia y la humedad ,haciendo el menor gasto energético posible.

De manera introductoria el presente documento buscó encontrar una respuesta/propuesta a las siguientes preguntas:

¿Cómo se puede re-concebir el uso y aplicación de la tecnología, la ciencia y la industria para contrarrestar los efectos que estas han creado por efecto del humano a lo largo del tiempo?

¿Cuál es la manera más eficiente de hacer uso del recurso

hídrico y disminuir las afecciones provocadas por la alteración de su ciclo en las grandes ciudades?

¿Qué organismos naturales son capaces de ofrecer mecanismos emulables dentro de un contexto urbano, aplicable a la cosecha, suministro y manejo del agua?

¿Hasta qué punto es posible la conceptualización de objetos que respondan a su entorno como si fuesen organismos vivos?

¿Cómo podemos tener a nuestra disposición la mayor cantidad de agua posible, proveniente de precipitaciones, sobre-precipitaciones y el vapor en forma de humedad causado por la evapotranspiración?

El presente proyecto encara una problemática actual de repercusiones inmediatas y futuras. Se plantea una solución que combata el estrés hídrico mediante la cosecha de agua, que incluya al contexto en el que habita en vez de excluirlo, y que aproveche los recursos abióticos y no abióticos a su alrededor de manera responsiva y responsable. Supone también una solución parcial al deterioro de la infraestructura pública afectada por las inundaciones -efecto directo de la pobre gestión del mismo- pues gracias a la cosecha de lluvia se puede llegar a disminuir la cantidad de agua sobre el asfalto, evitando problemas ambientales ocasionados por las emisiones de CO₂ que aumentan durante las frecuentes inundaciones³.

³ Entre otras cosas, esto se debe al incremento del tiempo promedio en el traslado de los ciudadanos que comprende el trayecto "escuela-casa / casa-oficina" a más de una hora con 21 minutos (IGECEM, 2007) pues ocasiona tráfico y repercute en el uso de transportes públicos y privados, mismos que representan el 13.1% del dióxido de carbono arrojado a la atmósfera (IPCC,2007).

Fig. 1: Chapingo, Estado de México. Comunidad almacenando agua en cubetas y bandejas desde una pipa por falta de agua en la colonia. Imagen de El Universal "Alerta foro económico sobre severa falta de agua" 20/02/2016

Fig 2: Hojas transpirando y evaporando gotas de rocío contribuyendo al 73.2% de agua evapotranspirada (CONAGUA,2010) Fotografía de Hilary Halliwell

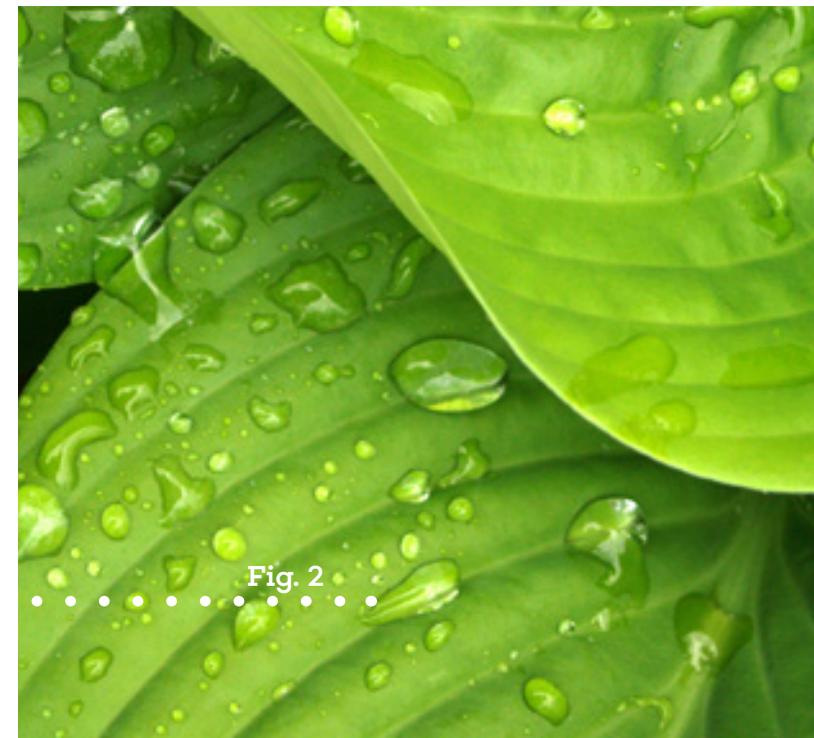


Fig. 2

PARA CAMBIAR LA MANERA EN CÓMO

UN SISTEMA FUNCIONA Y FLUYE,
PRIMERO DEBES NOMBRAR LA PIEZA CENTRAL

ENTENDER ^Y
DEFINIR SUS PARTES ...

... Y CUALES ELEMENTOS
O FACTORES CLAVE

AFECTAN O SON AFECTADOS

POR OTRAS PIEZAS DENTRO DEL MISMO

- Dayna Baumeister



2. Sistemas dentro de Sistemas:

PENSAMIENTO SISTÉMICO



Estudiar eventos de manera aislada proporciona un entendimiento parcial de los hechos, esto crea "soluciones" que "resuelven" la problemática de manera parcial y/o temporal. Para evitar lo anterior, dentro del desarrollo de la presente investigación se empleó como fundamento metodológico la ciencia de la Biomimética- que abordaremos en el capítulo siguiente-, partiendo del concepto del **Holismo**, mismo que profundizaremos a continuación.

Este término creado en 1926 y acuñado por Jan Christiaan Smuts, fue descrito como *"La tendencia de la naturaleza de usar una evolución creativa para formar un todo que es mayor que la suma de sus partes"* (Smuts, 1927)

Explicemos esto: el holismo evita el parcelamiento de la información, por el contrario, busca integrarla. Al estudiar las problemáticas como un todo, se genera una visión y comprensión más certera sobre los fenómenos que se estudian. Esto implica el entendimiento del contexto de la problemática, sus causas, efectos y el hallazgo de las posibles interrelaciones entre los elementos que la conforman. De aquí proviene el segundo gran concepto: **el Pensamiento Sistémico**.

Este pensamiento fue propuesto en 1968 dentro del libro "Teoría general de los sistemas", escrito por Karl Ludwig Von Bertalanffy, biólogo y filósofo austriaco. El autor generó una crítica hacia el método científico que, a su consideración, no ofrece la flexibilidad necesaria para entender conceptos complejos.

Entendamos por conceptos complejos a todos aquellos que, para que operen, necesitan la intervención de múltiples factores y variables -de los cuales se puede o no tener control. Resulta comprensible que esta teoría fuese propuesta por un biólogo, ya que la biología posee gran cantidad de ejemplos de conceptos complejos.

Al pensamiento sistémico se le atribuyen 3 premisas básicas, las cuales son:

- 1 "Los sistemas existen dentro de sistemas, cada sistema existe dentro de otros más grandes.
- 2 Los sistemas son abiertos y se caracterizan por un proceso de intercambio con su entorno [...] Cuando el intercambio cesa, el sistema se desintegra, esto es, pierde sus fuentes de energía.
- 3 Las funciones de un sistema dependen de su estructura; para los sistemas biológicos y mecánicos, esta afirmación es intuitiva [...] reconociendo que hay tanto un sistema formal como uno informal dentro de un sistema total integrado." (Sesento, 2008)

La comprensión del holismo y el pensamiento sistémico no resulta una tarea fácil, pues al dedicarse a la asimilación de fenómenos complejos, su estructura resulta igualmente compleja. Ya que estos conceptos forman parte del marco teórico de la investigación, resulta necesario asimilar cómo es que estos operan, sin embargo, solo se mencionan los conceptos básicos, considerados como fundamentales para el entendimiento del funcionamiento del pensamiento sistémico.

PENSAMIENTO TRADICIONAL



Fig. 3

PENSAMIENTO SISTÉMICO

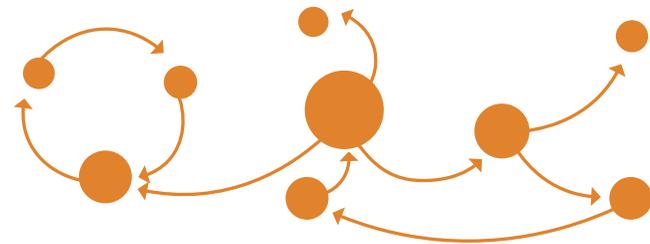


Fig. 4

INTERACCION ELEMENTOS-INTERCONEXIÓN- PROPOSITO

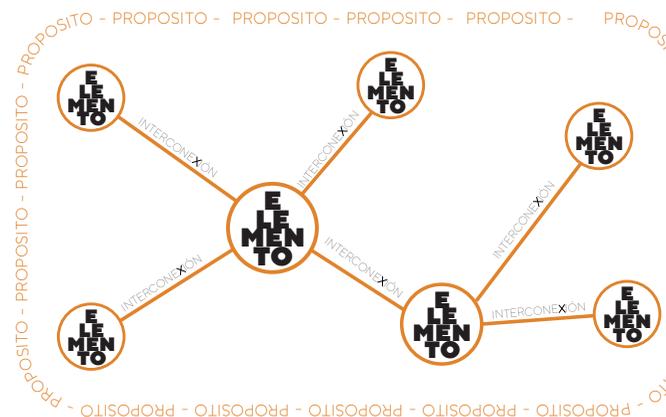


Fig. 5

INTERACCIÓN FLUJO-STOCK



Fig. 6

El pensamiento sistémico no ofrece un entendimiento lineal de los sucesos como lo hace el pensamiento tradicional (Fig. 3), por el contrario el ordenamiento de los elementos tienden a formar una estructura cíclica con varias interrelaciones entre sí (Fig. 4), siendo esta, una de sus características más particulares.

La no linealidad de los sucesos provoca a su vez un bajo grado de predictibilidad, pues comprende "n" cantidad de variables que dificultan esta tarea. Pongamos un ejemplo: una prueba de laboratorio "in vitro"⁴ donde se busca generar reacciones químicas, es la imagen del pensamiento tradicional; esta misma reacción química llevada a cabo "in vivo"⁵ es la imagen del pensamiento sistémico. Afortunadamente para el pensamiento sistémico y desafortunadamente para el pensamiento tradicional, "El mundo está lleno de no linealidades" (Meadows, 2012, p.91)

⁴Es decir, realizado dentro de un ambiente controlado y bajo condiciones específicas y generalmente inertes.

⁵Sucedido en un entorno natural, no estéril, donde el sujeto de experimentación posee vida.

Fig. 3: Representación gráfica del pensamiento tradicional.

Fig. 4: Representación gráfica del pensamiento sistémico.

Fig. 5: Interacción básica de los factores que intervienen en la construcción de un sistema.

Fig. 6: Representación gráfica de la interacción entre los flujos, el stock y los elementos de entrada y de salida.

A continuación, se desglosan los componentes de los sistemas así como sus características fundamentales, como lo explica Donella H. Meadows (2008) en su libro "Thinking in Systems"

COMPONENTES DEL SISTEMA

Elemento: Son todos los entes con propiedades modificables directamente. (Puede ser tangible o intangible)

Stock: O "reserva" en español. Son todos los entes con propiedades modificables indirectamente. Modificar el stock requiere modificar la propiedad de un elemento y/o modificar la interconexión entre estos. (Puede ser tangible o intangible, pero debe ser medible)

Flujo: Este puede ser de entrada o de salida. Su interacción dentro del sistema gira en torno al stock y es quien dictamina si el stock permanece estable, decae o incrementa. (Puede ser tangible o intangible, pero debe ser medible)

Interconexión: Es la relación de operación entre los elementos, las reglas del juego. (Es intangible)

Propósito: Es la razón de ser del sistema, el objetivo que este pretende lograr. (Aunque pueda reflejarse de manera tangible, el propósito es intangible)

CARACTERÍSTICAS FUNDAMENTALES DEL SISTEMA

Los siguientes tres términos trabajan en conjunto y de manera retroalimentativa. No

son independientes el uno del otro.

Resiliencia: Dentro de un sistema, este término hace referencia a su capacidad de sobrevivir y persistir dentro de un entorno variable cuyos opuestos conceptuales pueden ser fragilidad y rigidez. (Meadows, 2012)

Auto-organización: Es la característica que le permite al sistema hacerse más complejo dentro de sí mismo, le permite diversificarse, adecuarse, generar, evolucionar. La auto-organización es una propiedad común, propia de la vida. (Meadows, 2012)

Jerarquía: Al hacerse más complejos, los sistemas se fragmentan en subsistemas. El orden de los subsistemas y elementos es fruto de la jerarquía. Le brinda un orden lógico al sistema. (Meadows, 2012)

El pensamiento sistémico apoyó a la investigación al proporcionar un marco teórico de búsqueda y análisis, que permitió encontrar el problema que se decidió intervenir.

Siguiendo la estructura y características de los sistemas, partiendo desde el fenómeno cambio climático, se mapeó la información de todos aquellos factores bióticos y abióticos que intervienen en dicho fenómeno (sistema inicial). Se buscaron aquellas rutas de flujos, interconexiones y elementos con más factores hilados entre sí, mientras más interconexiones y flujos tenga un elemento con respecto a otros, su jerarquía es mayor pues modifica el comportamiento del sistema de manera drástica al reorganizar los flujos que intervienen en él, lo anterior responde a la característica de la auto-organización.

Una vez encontradas dichas rutas, se aislaron en subsistemas de menor complejidad para posteriormente hilarlos entre sí, creando un nuevo marco de investigación más acotado, con menos factores pero que siguen suponiendo modificaciones dentro del fenómeno estudiado de forma primigenia (cambio climático).

La siguiente imagen (Fig. 7) elaborada en 7vortex - herramienta diseñada por un profesional de la ciencia biomimética y miembro de BiomimicryMex- muestra la simplificación de lo descrito en párrafos anteriores. Las esferas azul cielo en los extremos, representan los ciclos -abierto y cerrado- que interactúan entre sí, a su alrededor se encuentran esferas verde lima que representan los agentes involucrados en cada uno de estos ciclos. En color azul turquesa se encuentran elementos, efecto de la interacción de más de un agente dentro de uno de los ciclos. Finalmente en color rosa se encuentran fenómenos que intervienen en más de un solo ciclo, siendo estos en los que el proyecto de investigación se centra pues estos repercuten de manera más drástica con los flujos del sistema mismo.

Según la teoría del pensamiento sistémico, al actuar sobre elementos que poseen mayor incidencia dentro de un mapa, se logra modificar los flujos, stocks y la resiliencia del mismo de manera más inmediata. Dichos elementos (graficados en rosa según el párrafo anterior) son: las precipitaciones atípicas, las áreas permeables, la explotación de recursos naturales y el aumento de emisiones contaminantes. El concepto desarrollado en este documento ataca los elementos anteriores al ser estos quienes suponen un mejoramiento más próximo del macrociclo estudiado.



Fig. 7

En los siguientes subcapítulos se muestran datos de interés que completan el marco teórico de la investigación, hilando la información necesaria para dar pauta a la justificación y razón de ser del documento.



2.1 Relación Aumento Poblacional- CAMBIO CLIMÁTICO -Ciclo del Agua.

La situación planteada en torno al estrés hídrico es grave. Es fundamental que exista un cambio de mentalidad a nivel local y global sobre nuestra relación con el agua. Hace falta cambiar la forma del uso y reúso correcto de tan vital recurso, al igual que generar proyectos creativos que re-planteen la forma en la que accedemos y cuidamos de ella.

Ángel Gurría, el entonces secretario general de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) aseveró a través de un comunicado en Enero 2013, que el crecimiento de la población y la mayor incidencia de los efectos del cambio climático "empeorarán la situación actual". Han pasado ya ocho años desde aquel comunicado y

según publicaciones más actuales de la misma OCDE, no ha habido cambios notorios mientras que la problemática continúa en incremento. "Hoy por hoy México enfrenta un reto en materia de gestión del agua debido a su mala gestión y al alto índice de natalidad del país" (Yayí, 2015).

Así pues, se estudió la interacción sistémica de tres términos relacionados con el concepto **estrés hídrico**.

Ciclo del Agua:

Al incidir directamente en la existencia de este fenómeno. El estrés hídrico denota la falta de agua dulce disponible y esto se debe a una modificación dentro de su ciclo retroalimentativo al ser incapaz de reabastecer el stock de manera constante y desaprovechando el recurso.

Efectos directos del Cambio climático:

Dentro del campo semántico del estrés hídrico, estos fungen como hiperónimo a la modificación del ciclo hídrico al pertenecer a un subsistema de jerarquía mayor. La presencia de estos efectos a manera de sistema aislado ofrece una conexión directa con el sistema inicial.

Fig.7: Relación de sistemas bióticos y abióticos de la fenomenología estudiada, misma que ayudo a generar los hallazgos necesarios para acotar el proyecto y medir de manera visual las posibles repercusiones del mismo. Este mapa fue creado dentro de la herramienta 7vortex- diseñada por un profesional de la ciencia biomimética y miembro de BiomimicryMex. Se recomienda visitar el código QR que se encuentra dentro de la imagen para visualizar el mapa de manera interactiva.

WATER STRESS BY COUNTRY

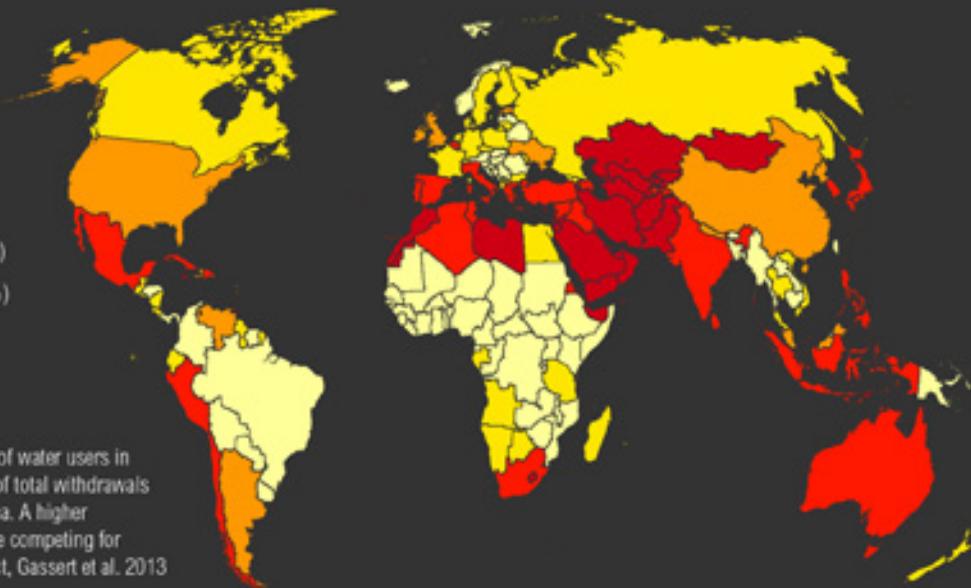
ratio of withdrawals to supply

- Low stress (< 10%)
- Low to medium stress (10-20%)
- Medium to high stress (20-40%)
- High stress (40-80%)
- Extremely high stress (> 80%)

This map shows the average exposure of water users in each country to water stress, the ratio of total withdrawals to total renewable supply in a given area. A higher percentage means more water users are competing for limited supplies. Source: WRI Aqueduct, Gassert et al. 2013

AQUEDUCT

WORLD RESOURCES INSTITUTE



Aumento poblacional:

El estrés hídrico es la relación entre la cantidad de agua disponible entre el número de habitantes existentes, esto supone la intervención obligatoria del factor: cantidad de habitantes. A su vez este término acuña otros más como urbanización, infraestructura, abastecimiento, etc., sin embargo con la intención de acotar la investigación, todos estos términos subyacentes se engloban de manera general, respondiendo a la primera premisa del pensamiento sistémico.

Fig. 8: Mapa de estrés hídrico por país. En la figura se aprecia que México cuenta con un índice alto. (2013)

Fuente: World Resources Institute

2.2 Contexto: ¿POR QUÉ LA ZMVM?

Introduzcamos el tema con datos de interés. La Ciudad de México (CDMX) -parte importante de la ZMVM- fue asentada dentro de una cuenca rodeada de montañas y sierras, en esta prevalecieron cinco importantes lagos: Zumpango y Xaltocan al norte, Xochimilco y Chalco al sur y Metzliapan, al centro. Este último, mejor conocido como lago de Texcoco, era el más grande y sobre el cual se fundó la Gran Tenochtitlan, por lo que erróneamente suelen englobarse los cinco como uno solo (Silva, 2017)

El urbanismo empleado por los Aztecas fue muy respetuoso con su entorno. Incluso para una de sus principales actividades económicas, la agricultura, inventaron su propio método de cultivo en suelos lacustres, las chinampas. La creación de las mismas empezó a provocar una ciudad flotante.

Dicho crecimiento urbano fue modificándose paulatinamente, causando un desequilibrio en la autorregulación del terreno. A lo largo del tiempo esto ha generado repercusiones como: inundaciones, presencia de fallas, grietas, y laderas. Todo lo anterior ha afectado y continúa afectando a los pobladores de la CDMX (Escamilla, 2012).

Innegablemente, hoy día la CDMX es una ciudad flotante y el uso desmedido del

agua que la mantiene a flote causa daños inmensurables. "La sobreexplotación continua ha causado problemas de hundimientos e incrementado la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación".(CGER, NRC, ANIC, ANI,1995).

Por otro lado, contrario a lo que podría pensarse, la CDMX no es del todo urbana, de hecho la mayoría de su terreno sur es de carácter rural, abarcando el 59% de su extensión territorial (Escamilla, 2012). Este terreno forma el llamado suelo de conservación (SC). El SC proporciona diversos bienes y servicios ambientales a la ZMVM como la regulación del clima a través de la captura de dióxido de carbono y el suministro de agua por filtración; conservando el ciclo hidrológico, disminuyendo la contaminación atmosférica por la retención de partículas suspendidas, asegurando la diversidad biológica y proveyendo el 57% del agua que consume la ciudad (PAOT, 2006)

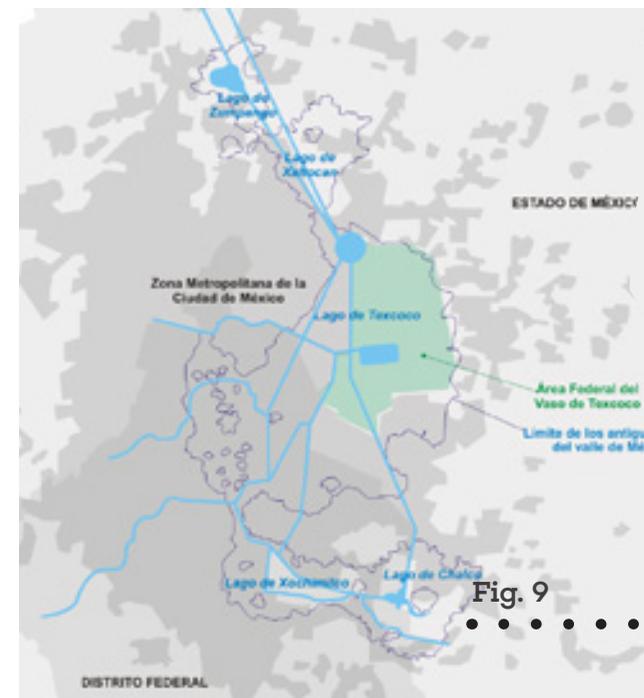


Fig. 9

Enfocándonos en la problemática hidrológica, esta zona fue elegida pues presenta un problema de falta de agua para consumo y un exceso de agua sin uso -propia de las inundaciones causadas por la mancha urbana actual y la geografía del lugar. Abordando problemáticas como: explotación de los mantos acuíferos, hundimientos por asentamiento del suelo lacustre y el desaprovechamiento/mala gestión del recurso hídrico; el presente documento desarrolla una solución conceptual y prospectiva, buscando crear un marco de referencia sobre nuevas posibilidades de relacionarnos sinérgicamente con nuestro entorno.

Según censos del INEGI (2010) la ZMVM cuenta con 22 millones de habitantes, es decir, aproximadamente un quinto de la población total del país

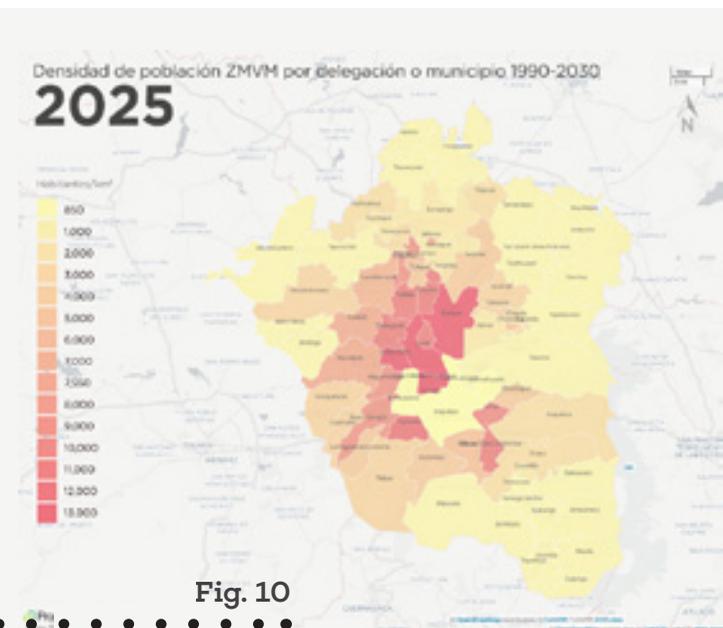


Fig. 10

2.2.1 Mancha URBANA

Su extensión territorial comprende los 7,954 km2 mientras que su población es de 20.4 millones de habitantes siendo el área de mayor densidad poblacional en el país, por lo mismo también es la que contiene mayores problemas urbanos. Se localiza al centro del país con una altura de 2,240 metros sobre el nivel del mar lo que afecta su nivel de oxígeno teniendo en promedio 23% menos oxígeno que otras ciudades lo que causa -por ejemplo- ineficiencia en motores de combustión interna, lo que provoca más contaminantes atmosféricos. (FIMEVIC, s.f.)

Entre 1990 y 2010, la población en México aumentó 31 millones de personas, es decir, a un promedio anual de 1.5 millones de personas, de acuerdo con un reporte del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2010). El mismo reporte destaca que casi la mitad de la población de México se concentra en las ciudades. Según el instituto, 47.6% de los habitantes del país viven en localidades de 100,000 personas o más.

Con ese aumento, la población del país llegó a 112.3 millones de personas, lo que lo coloca en el lugar 11 entre las naciones más pobladas del mundo, señaló el INEGI en el marco del Día Mundial de la Población, el 11 de julio del 2011.

El proyecto de este documento se centra en la ZMVM formada por las 16 alcaldías de la Ciudad de México, 59 municipios del Estado de México y uno más del Estado de Hidalgo⁶

2.2.2 Clima

Esta zona metropolitana recibe una radiación solar intensa gracias a su latitud de 19°N. En tanto a su temperatura, posee una media anual de entre los 12°C y los 18°C, con máximas alcanzables de hasta los 33.5°C en los meses de Abril y Mayo, y mínimas de -1° en Diciembre y Enero (INEGI,2002).

En el 63.7% de su superficie, presenta un clima templado subhúmedo, con lluvias en verano y una precipitación total anual promedio entre los 600 mm y 800 mm, llegando a poco más de 950 mm en los años más lluviosos.

El 18.4% cuenta con clima semifrío, que en su mayoría es subhúmedo, con lluvias en verano y una precipitación total anual que varía entre 500 mm y 600 mm. El restante 17.9% es semiseco templado (INEGI,2002).

La mayor cantidad de lluvia se presenta en la parte occidental de la CDMX, al pie de la sierra Ajusco-Chichinautzin. Esto se debe por el flujo de viento de verano que se refuerza por el levantamiento mecánico del aire que se provoca al chocar con la montaña, este rebota y sube, debido a la humedad de la región esta se condensa formando nubes y produciendo precipitación. Esta área posee un promedio anual máximo de 1356 mm (INEGI,2005).

En cuanto a la humedad relativa, la ZMVM tiene un promedio de entre el 46% y el 52%, aunque esta incrementa desde mediados de Mayo y hasta la primera quincena de Octubre afectando también la incidencia de lluvias (INEGI,2005).

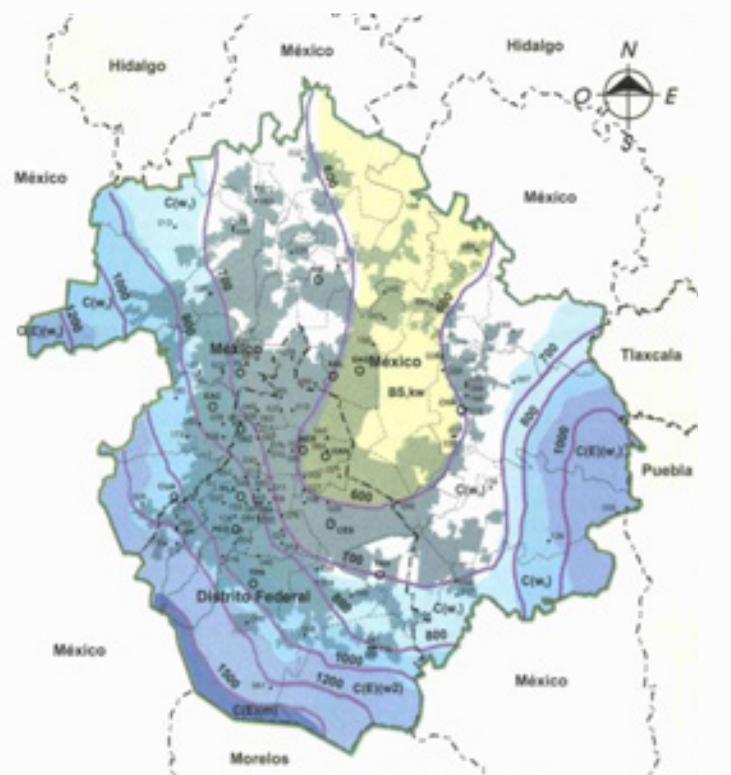


Fig. 11



Fig. 9: Localización de lagos en la ZMVM con respecto al crecimiento urbano actual. Imagen de dominio público.

Fig. 10: Mapeo de prospección de densidad poblacional con datos de CONAPO e INEGI. Imagen tomada de: Propiedades.com.

2.3 Escasez de AGUA

La calidad de agua y las limitaciones en el abastecimiento de agua en la ZMVM están relacionadas principalmente con el crecimiento de la población que demanda una mayor cantidad del recurso, esto dificulta su distribución y gestión. Sin embargo la calidad del recurso también recae en la economía regional, es decir, el presupuesto disponible para obras de carácter hídrico, lo cual escapa de la competencia de los funcionarios públicos encargados de su planeación y manejo. Sin embargo, esto influye en el costo total del uso de agua en la ciudad, ya que se debe incluir el costo del desarrollo de sistemas de alcantarillado, así como el de instalaciones para el tratamiento de las aguas residuales, afectando su gestión idónea (CGER, NRC, ANIC, ANI, 1995, p.179).

Como se mencionó en el capítulo 2.2, la ZMVM se encuentra asentada sobre suelos lacustres. En la década de los años treinta las reservas de agua subterránea de la Cuenca de México comenzaban a agotarse provocando un continuo hundimiento del suelo (Fig. 12). Esto llevó a las autoridades a buscar una fuente de abastecimiento hidrológico externo a la zona misma. En 1941 se inició la construcción de un acueducto de 15 kilómetros, para trasladar agua desde los pozos de la cuenca del río Lerma (CGER, NRC, ANIC, ANI, 1995, p.147).

El cuadrante sur de la CDMX está poblado de manera dispersa y el abastecimiento de agua para dicha zona no está integrado al sistema de distribución, esto sin mencionar que gran parte de la misma no cuenta con sistema de drenaje. Muchos de los habitantes de esta área de la CDMX dependen de camiones tipo tanque (o pipas) que transportan el agua para luego repartirla, o bien, dependen del agua que es posible obtener mediante pozos y manantiales locales.

El entonces Departamento del Distrito Federal (DDF y ahora SACMEX), era el responsable del abastecimiento de agua potable, recolección de aguas residuales y disposición de las mismas, ellos trataron de restringir la urbanización de esas áreas debido a las dificultades que existen para llevar los servicios básicos, pero también porque se trata de una zona natural de recarga del agua subterránea (Fig. 13)⁷ (CGER, NRC, ANIC, ANI, 1995, p.144).

“Actualmente, el uso de agua en la ZMVM es de aproximadamente 60 metros cúbicos por segundo (m3/s) (Departamento del Distrito Federal, 1992b; Comisión Estatal de Agua y Saneamiento, 1993). Aproximadamente 43 m3/s, casi el 72 por ciento del agua utilizada, se obtiene de distintas baterías de pozos que se encuentran explotando el acuífero de la Cuenca de México” (CGER, NRC, ANIC, ANI, 1995, p.146)

Fig. 11: Mapa de climas y estaciones meteorológicas en la ZMVM, Mapa 2.4.1 del documento “Estadísticas del medio ambiente del Distrito Federal y zona metropolitana” (INEGI,2002)

Otro sistema actual -alternativo al suelo lacustre- es el Cutzamala. Sistema hídrico de almacenamiento, conducción, potabilización y distribución de agua dulce para la población e industria de la CDMX y el Estado de México. Es considerado uno de los sistemas de suministro de agua más grande del mundo, ya que debe bombearse el agua desde una altura de 1,600 m.s.n.m. en su punto más bajo hasta los 2,702 m.s.n.m. en su punto más alto. Así como transportar 480 hm³/año de agua (Pérlo, González, 2005).

En el 2019 -a tan solo una semana del momento en el que se redactan estas líneas- una falla en su mantenimiento ocasionó un desabasto prolongado a miles de habitantes de la ZMVM así como pérdidas millonarias en indumentaria. Ejemplo claro de la

problemática que representa el bombeo de la inmensurable cantidad de agua desde fuentes relativamente alejadas de la urbe hacia adentro de la misma (Fig. 14)

Se hace referencia al suelo de conservación (SC), su importancia y se menciona en el capítulo 2.2

Fig. 12: Evidente hundimiento lacustre en el centro de la CDMX. (Imagen tomada de internet)

Fig. 13: "K invertida" horas antes de instalarse por primera vez e inmediatamente después desplazarse, provocando el paro total de bombeo del sistema Cutzamala en Noviembre 2018. (Imagen de "El financiero.")

Fig. 14: Suelo de conservación de la ZMVM ubicado dentro de la CDMX. Fuente (SEDEMA)

Hasta el momento se ha reflejado la investigación pertinente al marco teórico, y el planteamiento de una problemática clara. En los siguientes capítulos se abordarán las injerencias metodológicas, así como pautas determinantes en la elaboración del presente proyecto. De igual forma se reflejará el proceso de diseño, el objeto de diseño y las conclusiones generales de la investigación y el desarrollo del producto-servicio conceptual al que se llegó.

Siendo congruentes con la definición de "Diseño Industrial" (ver Cap. 3); en miras de propiciar innovación, crear mejores condiciones medioambientales y de vida, y replanteando la problemática plasmada a lo largo de todo el capítulo 2, se buscó crear una oportunidad de diseño que favorezca al usuario y a su entorno próximo al proporcionar una respuesta a la pregunta

¿Cómo se puede crear una solución sistémica dentro de la CDMX, que coseche el agua de lluvia, y contribuya a mitigar el estrés hídrico?



Fig. 12



Fig. 13



Fig. 14

DURANTE CENTENARES DE
MILES DE AÑOS,
**EL HOMBRE LUCHÓ
PARA ABRIRSE UN LUGAR
EN LA NATURALEZA.**

POR PRIMERA VEZ EN LA HISTORIA DE NUESTRA ESPECIE,

LA SITUACIÓN SE HA INVERTIDO Y

HOY ES INDISPENSABLE

ACERLE UN LUGAR A

LA NATURALEZA

EN EL MUNDO DEL HOMBRE.

- Santiago Kovadloff



3 Callando el Intelecto Humano⁸: BIOMIMÉTICA



La Organización Mundial del Diseño (WDO por sus siglas en inglés, anteriormente conocida como ICSID), en la edición 29 de su asamblea general, en Gwangju, Corea del Sur, definió al Diseño Industrial como “...un proceso estratégico para resolver problemas que conducen a la innovación, al éxito empresarial e induce a una mejor calidad de vida a través de productos innovadores, sistemas, servicios y experiencias”. Una versión extendida de la misma definición agrega que:

“...el diseño industrial proporciona una visión más optimista de ver el futuro al replantear los problemas como oportunidades. Vincula innovación, tecnología, investigación, negocios y a los consumidores para proporcionar un nuevo valor con ventajas competitivas en las esferas económicas, sociales y ambientales.”
-(WDO, 2015).

Las estrategias y metodologías existentes para cumplir con esas metas específicas son diversas, se eligen de acuerdo a la finalidad y orientación del proyecto que se desarrolla pues los resultados obtenidos difieren según las estrategias y metodologías empleadas. En el caso del presente documento se utiliza como soporte teórico-metodológico la ciencia de la Biomimética (conocida también como Biomimésis o por su término original en inglés: *Biomimicry*) por ello varios de los recursos usados son de carácter biológico y se basan en estudios realizados por investigadores especializados.

Se hace mención de la definición del diseño industrial antes de profundizar en la metodología pues en primera instancia, podría resultar inusual la manera de abordar el caso de estudio. Resulta interesante hacer notar que al emplear la Biomimética no sólo se cubren los parámetros esenciales del diseño industrial, sino que también se enriquece su quehacer, agregando conceptos como: sustentabilidad, resiliencia, bajo consumo energético, y sobre todo, una manera más responsable de manejar los recursos; conceptos que conducen a la innovación, al ofrecer una manera poco explorada de aplicar la ciencia y tecnología. Lo anterior propicia de manera casi obligada las deseables ventajas competitivas en los ámbitos: económico, social y ambiental que la definición de la WDO propone.

Existen pocas instituciones dedicadas a la práctica de la biomimética. En este documento se emplean algunos procesos y herramientas de *Biomimicry 3.8*, la consultoría de inspiración biológica líder en el mundo cofundada por Janine Benyus (Fig. 15) y Dayna Baumeister. Estos recursos fueron donados al proyecto por la colaboración entre *BiomimicryMex*, representante global del *Biomimicry Institute*, con el Centro de Investigaciones de Diseño Industrial-CIDI.

El presente capítulo es un compendio de información extraída del Biomimicry Resource Handbook (pp.21-145) en su lengua original. Podrían existir ligeras disparidades con los términos empleados dentro de la bibliografía del texto, consecuencia de la adecuación al idioma español.

El empleo de la biomimética implica una búsqueda activa y consciente de las estrategias de las que la naturaleza hace

uso antes de empezar a diseñar cualquier cosa, supone pues reinventar no sólo lo que se hace (servicios-sistemas-productos) sino también el cómo se hacen. *"Biomimética es la consciente emulación del genio de la naturaleza"* (Baumeister, et al., 2013, p.11).

Afamados personajes incursionaron dentro de la biomimética antes de que esta naciera y fuera reconocida como ciencia; tal es el caso de Antoni Gaudí, famoso por su arquitectura morfológicamente bio-inspirada en motivos arbóreos, o el caso de Leonardo Da Vinci, indiscutible genio creador de múltiples prototipos de máquinas voladoras que respondían en gran medida al entendimiento anatómico de las aves, de lo cual incluso escribió valiosos manuscritos entre los que resalta el "Códice sobre el vuelo de los pájaros", terminado en el año 1505. Ambos ejemplos responden a la aproximación de la emulación más básica posible que esta ciencia ofrece, el mimetismo de las formas naturales y su relación intrínseca con la naturaleza.

Aclaremos lo último mencionado. Existen tres niveles de emulación: **forma, proceso y ecosistema**, ordenados ascendentemente en tanto a su nivel de entendimiento hacia la naturaleza, profundidad de estudio y complejidad se refirere. El primer nivel supone el entendimiento de la función que cumplen las **formas** en la naturaleza. **Proceso** implica el entendimiento de la interacción de múltiples factores que ocurren dentro de la especie estudiada; mientras que el **ecosistema** habla de la interacción de múltiples factores que ocurren dentro de la especie estudiada y con respecto a su entorno (Baumeister, et al., 2013).



Fig. 15

"Después de 3.8 billones de años de evolución, la naturaleza ha aprendido qué funciona, qué es apropiado y qué perdura aquí, en la tierra"
- Janine Benyus.

Es de suma importancia entender que la biomimética no busca copiar a la naturaleza, ni extraer nada de ella, sino entenderla y aprender cómo logra llevar a cabo múltiples funciones; pretende usar a la naturaleza como mentor para generar ideales aspiracionales, como modelo para estrategias innovadoras y como medida para puntos de referencia sustentables.

Para *Biomimicry 3.8* el quehacer de esta ciencia no recae solamente en llevar a cabo la emulación. La emulación es una de las tres fases propuestas para practicar la ciencia, cada una con sus particularidades; a estas etapas se les conoce como **elementos esenciales de la biomimética** y son:

3.1 Sobre la METODOLOGÍA



Ética.

En esta fase recae la esencia, la filosofía y los motivos subyacentes del por qué practicar biomimética.

La ética es la responsable de que uno de los grandes postulados de esta ciencia logre llevarse a cabo. Tener gratitud y responsabilidad hacia el entorno guía hacia soluciones que crean condiciones que conduzcan a la vida.

Este elemento también guía y crea las oportunidades de elección acerca del dónde, cómo y cuándo la práctica de la biomimética debe suceder.

(Re)Conexión.

Esta es una mentalidad que explora la relación entre los humanos y el resto de los seres vivos. Esta fase pretende callar el intelecto humano para que así sea posible ver con respeto otras especies y poder aprender de ellas.

Está escrito como (re)conexión en vez de conexión porque cada persona tiene una relación única con la naturaleza; hace alusión del entendimiento de sentirse parte de ella o separado de.

⁸El nombre del capítulo hace referencia a una famosa frase de Janine Benyus.

Fig. 15: Janine Benyus, Co-fundadora de *Biomimicry 3.8* y quien describe la emulación de la naturaleza como *Biomimicry* por primera vez.

Emulación.

Es la intención última de la ciencia, donde se intenta proponer diseños y sistemas apropiados para el planeta usando a la naturaleza como mentor, modelo y medida. La emulación idónea ocurre cuando los humanos resuelven problemas con agentes bio inspirados y evadiendo, en medida de lo posible, la generación de impactos negativos en la tierra (Baumeister, et al., 2013 pp.64).

Fig. 16: Rueda de la metodología de la biomimética. Propiedad de Biomimicry 3.8

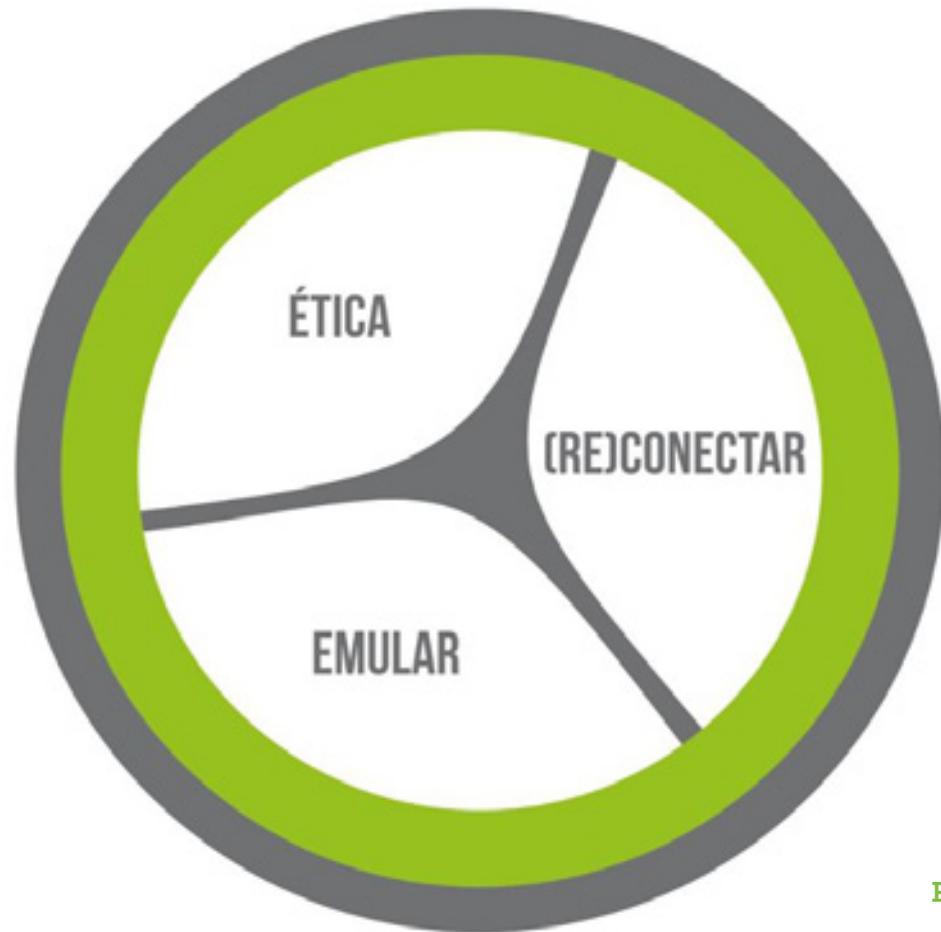


Fig. 16



3.1.1 Ética: LA FILOSOFÍA

Como un acto de humildad hacia la tierra y la vida misma, ética hace referencia a aceptar un cambio de mentalidad que también impulse a un cambio conductual, a estar conscientes de que todos los seres vivos coexisten en el mismo y gran hogar, la Tierra. Es entender también que la especie humana es muy joven existiendo como tal y que por lo mismo resulta conveniente que voltee a ver -con ánimos de aprender- a aquellas especies que han subsistido por más tiempo, para comprender sus estrategias de adaptación a las reglas operantes de la Tierra y como las usan a su favor.

Entiéndase por condición operante a la suma de fenómenos necesarios para que algo suceda; en el caso de la vida en la Tierra estos son:

- Luz solar, agua y gravedad
- Dinamismo, no equilibrio
- Procesos cíclicos
- Límites de escala y contexto

Los principios de vida sirven también como herramienta evaluadora. Cada principio posee particularidades muy específicas que pueden ser aplicadas de manera literal o no. Cada principio se subdivide a su vez en conceptos aislados por lo que el entendimiento total requiere de una explicación extensa y práctica que genere familiaridad con los conceptos involucrados.

Para los interesados en el tema se recomienda consultar el QR del capítulo 1.2 del presente documento y el capítulo Life's Principles del Biomimicry Resource Handbook

Además de las condiciones operantes, existen también los Principios de vida, estos principios se cumplen de alguna u otra forma por todos los organismos vivos y son 6º:

- 1 Adaptarse a condiciones cambiantes
- 2 Estar en armonía con el entorno y sensible a él
- 3 Evolucionar para sobrevivir
- 4 Integrar desarrollo y crecimiento
- 5 Ser eficiente con los recursos
- 6 Usar química respetuosa con la vida.

Al entender y aplicar los conceptos éticos dentro del ámbito de la biomimética se ofrece un cambio de esquema, una re-concepción del cómo son las cosas a base de cuestionarse el cómo podrían ser. En otras palabras, se replantean paradigmas.



3.1.2 (Re)Conexión: EN SINTONÍA

La gente suele preferir ambientes con elementos naturales a ambientes sin ellos, por ejemplo, prefieren la luz natural a la luz artificial; a esta predisposición y afinidad hacia la naturaleza se le conoce como Biofilia cuyo significado etimológico es "amor hacia la vida" (del griego bíos, <vida> y filein, <amar>); es la tendencia humana a otorgarle valor al mundo natural, más allá de una perspectiva económica o utilitaria y la afinidad hacia otras formas de vida.

La (re)conexión ofrece entendimiento. Mientras que la primera fase (ética) refiere a un acto de predisposición y aceptación a lo natural, la segunda fase se refiere a la generación de la habilidad de percibir patrones, estrategias y métodos que no provengan del mundo creado por los humanos. Por ello, el practicante de biomimética busca pistas que lo guíen hacia la comprensión de la función estudiada por la curiosidad y fascinación que genera el desconocimiento del funcionamiento concreto de los modelos naturales.



3.1.3 Emulación: LA EJECUCIÓN

La ética ofrece predisposición, (re)conexión entendimiento, mientras que emulación, aporta un pensamiento metódico. Este pensamiento provee de una mesa de trabajo que se adapta según la necesidad específica del proyecto y le da flexibilidad a su ejecución.

Es importante entender el término empleado dentro del contexto de la ciencia: emulación hace referencia a traer a la mesa de trabajo principios, patrones, estrategias y funciones encontradas en la naturaleza para poder moldear propuestas de diseño con ellas.

Esta fase se subdivide a su vez en cuatro etapas:

Alcances.

El propósito de esta etapa es identificar el problema a resolver junto con su contexto, los criterios particulares y las restricciones; es crear un *brief* de diseño que provea de metas a seguir, analice hechos y proporcione una línea de seguimiento mediante trabajos preparatorios para las sub etapas consecutivas de la investigación y proporcionando estándares de ejecución.

Descubrimiento.

Regularmente ocurre después de tener noción sobre el reto y/o las oportunidades de diseño para poder así buscar modelos que ofrezcan inspiración al proyecto, sin embargo, como se mencionó con anterioridad, el proceso es flexible y esta regla no es estricta. Provee conocimientos específicos; es esta etapa la que tiene mayor carga de carácter técnico-científico pues sus sub-etapas comprenden la búsqueda de modelos naturales y la abstracción de sus formas, procesos y ecosistemas biológicos a términos aplicables y manejables fuera del contexto científico-biológico

Creación.

Es la etapa de mayor similitud a las metodologías convencionales del diseño industrial, aquí se integran las estrategias abstraídas con la finalidad de crear nuevos productos y diseños.

Se exploran ideas, se lanzan conceptos, se esbozan dibujos, bocetos; se modelan prototipos virtuales y se preparan pruebas físicas, se comparan materiales y se toman múltiples decisiones.

Aunque dentro de la metodología no está descrito, en esta etapa se pueden adoptar herramientas de ayuda que provengan de otras metodologías siempre y cuando estas apoyen sin causar un desvío en la fundamentación ética y de (re)conexión, planteadas al inicio.

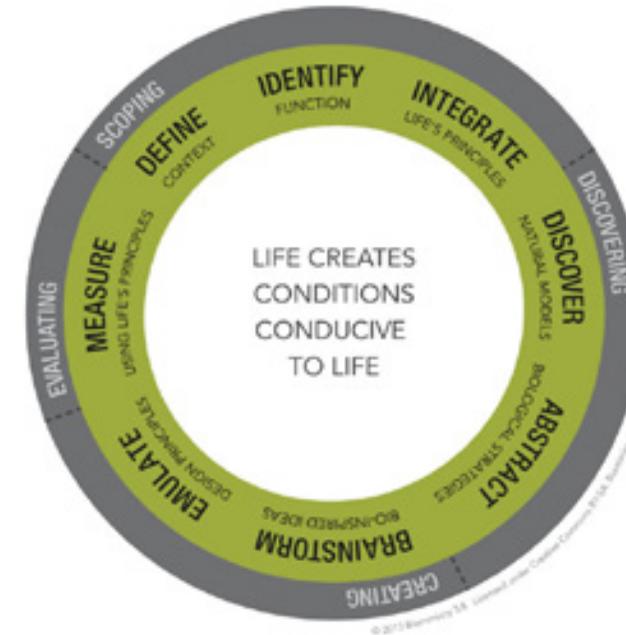


Fig. 17

Fig. 17: Rueda del pensamiento biomimético. Licencia: Biomimicry Thinking

Evaluación.

Finalmente, esta etapa usa a la naturaleza como medida, aplicando los principios de vida mencionados dentro de la etapa ética. Mientras más principios de vida sean cubiertos por la propuesta, mejor adaptada y más adecuada será.

Esta etapa provee retroalimentaciones al proyecto en el cual se aplica. Redefine y ajusta datos, ideas o la argumentación empleada. Esto suele causar un retroceso a etapas y/o sub-etapas previas.

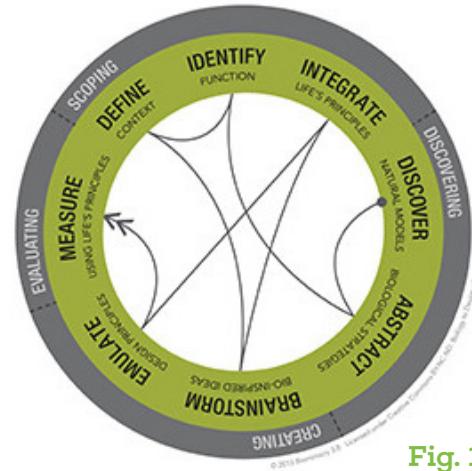


Fig. 18

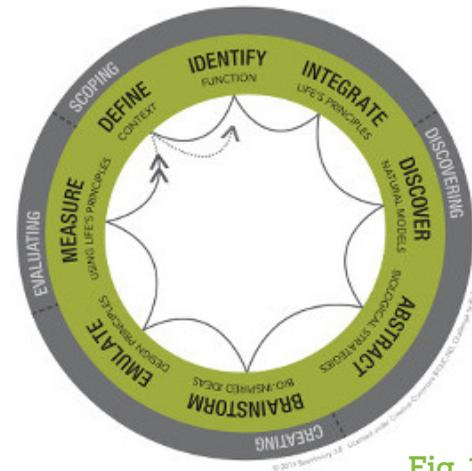


Fig. 19

3.2 Proceso DE DISEÑO

“Los proyectos no son simples. En realidad el diseño es muy fluido y las categorías de contextualizar, descubrir, crear y evaluar no son una simple iteración de pasos con instrucciones.” (Baumeister, et. all., 2013, p.87)

Aunque idóneo, resulta utópico pensar que un proceso de diseño puede llevarse a cabo como una receta de cocina. En el mundo del diseño existen variables que no siempre son controlables o en su defecto, conforme el proceso de proyección avanza, resulta ser necesario mirar atrás en la investigación para corroborar datos, o bien, ajustar el rumbo de la investigación por descubrimientos obtenidos en etapas posteriores.

De manera general, la biomimética ofrece dos caminos idóneos a seguir para resolver problemáticas específicas, estas son:

De la biología al diseño.

“Es apropiado cuando tu proceso inicia con un descubrimiento biológico inspiracional (incluyendo los principios de vida) que usarás para manifestarlo en un diseño” (Baumeister, et al., 2013, p.141)

Del reto a la biología.

“Es usado en escenarios donde se quiere dirigir hacia un problema específico y buscar descubrimientos biológicos para su solución” (Baumeister, et al., 2013, p.141)

El presente trabajo se rigió dentro del camino “del reto a la biología” pues se empezó buscando una problemática, pasando seguidamente por todas las etapas y sub-etapas de la metodología con pequeños brincos hacia atrás y hacia delante, refinando el proceso.

Dado a que el proyecto se llevó a cabo de esa manera, se hará énfasis en dicho camino de hacer biomimética.

Entender realmente el reto a resolver y las restricciones en las que se encuentra ayuda a asegurar resultados exitosos.

La etapa “alcances” (*scoping*, por su término original en inglés) comprende las siguientes subdivisiones.

Función.

Resulta de vital importancia, dentro de la metodología, identificar correctamente la función; la función es aquello que uno quiere que el diseño haga. Todas las funciones se capturan en forma de verbo, por ejemplo: transformar, cargar, comunicar, evadir, retener, iluminar, absorber, entre otros.

3.2.1 Alcances

El objetivo principal de esta etapa es proporcionar un *brief* claro a seguir. En el caso del diseño industrial, este *brief* podría incluir un análisis de usuario, perfilamiento, investigación de mercado, análisis de marcas, estudio de tendencias, requerimientos productivos, presupuestos, seguridad, etc.

Los conceptos clave de la etapa “alcances” son : **función, contexto y principios de vida.**

Encontrar la función adecuada no siempre resulta fácil, regularmente la primer función propuesta es una predisposición sobre el resultado que se espera en la solución de diseño; para poder encontrar una función adecuada debe autocuestionarse múltiples veces el motivo de la elección (¿Por qué?) Pongamos el siguiente ejemplo extraído del Biomimicry Resource Handbook.

¿Por qué quieres un filtro de agua?
[Para filtrar agua]
 ¿Por qué quieres filtrar agua?
[Para remover partículas]

Siendo así la función adecuada “remover partículas” en vez de “filtrar agua”. Ahora bien, la elección del verbo también debe ser cuidadosa ya que este será aplicable al mundo biológico y al mundo del diseño, así

*“Desde una perspectiva biológica [...] una **estrategia biológica bien adaptada** debe conocer **las necesidades funcionales** del **organismo** en el **contexto** en el que vive para poder contribuir con su **sobrevivencia** [...] Desde una perspectiva del diseño humano, esto se traduce como: Un **diseño bien adaptado** debe conocer **las necesidades funcionales** del **reto de diseño** en el **contexto** en el que debe existir para poder contribuir con su **éxito**” (Baumeister, et. all., 2013, p.98).*

Fig. 18: Camino idóneo de la biología al Diseño Licencia Biomimicry Thinking

Fig. 19: Camino idóneo del reto a la biología Licencia Biomimicry Thinking

pues, el verbo tendrá que encontrarse en un lenguaje neutral que sirva como un puente de comunicación a través de las disciplinas.

Definir contexto.

El contexto ayuda a poner sobre la mesa las condiciones, circunstancias, escenarios, restricciones, leyes o sistemas a las que el diseño se enfrentará. Agregar el contexto ayuda a completar la función siendo más específicos, no sólo preguntando cómo el diseño debería funcionar sino cómo el diseño debería funcionar en ciertas circunstancias o dentro de ciertos parámetros.

Definir el contexto ayuda a plantear la pregunta adecuada para obtener la respuesta adecuada. Para poder contextualizar correctamente se debe profundizar lo más posible en, por ejemplo, la descripción del ecosistema en el que el diseño residirá; ¿Quiénes serán sus consumidores? ¿Quiénes

serán sus productores? ¿Cuál es el nicho de mercado? ¿Qué agentes externos e internos podrían afectar? ¿Qué oportunidades se encuentran en el entorno? o ¿Qué tipo de retroalimentación podría tener la solución implementada? Tener esta información a la mano ayudará a seleccionar correctamente las especies que más pueden aportar a la investigación sirviendo de inspiración.

Integrar los principios de vida.

En este último caso se enfatiza la importancia de traer los principios de vida al menos en forma de metas aspiracionales, aunque idealmente, como aspectos de diseño no negociables.



Fig. 20

¹⁰ Se trata de un banco de datos sobre estrategias, emulaciones, ideas bioinspiradas existentes y organismos naturales. Es una herramienta auxiliar para la etapa de descubrimiento por lo que el lenguaje que se maneja dentro de la página tiene el objetivo de ayudar a asimilar y comprender los organismos, más allá de simplemente recabar información científica que enriquezca el conocimiento por el conocimiento, sino el conocimiento para su aplicación.

Fig.20: Rueda resumida sobre los principios de vida. Licencia Biomimicry Thinking



3.2.2 Descubrimiento

El objetivo general de la etapa de descubrimiento es adentrarse en el pensamiento divergente, es decir, proveer de información y herramientas que propicien un cambio de paradigma en la forma en la cual se hacen los proyectos que no consideran aspectos naturales dentro de su ideación y ejecución.

“De múltiples maneras, el pensamiento biomimético impulsa hacia mejores y más radicales caminos hacia la innovación pues los modelos naturales generalmente no conllevan a recursos comunes, las estrategias naturales pueden proveer de atractivas visiones prospectivas y descubrimientos brillantes.”
(Baumeister, et al., 2013, p.107)

Esta etapa es el corazón de la biomimética, ya que le otorga su característica diferenciadora. La biomimética es la única ciencia creadora y propositiva que incluye modelos naturales como inspiración dentro de su metodología, los cuales se buscan, encuentran, analizan y abstraen en esta etapa. Las sub-etapas de “descubrimiento” son:

Descubrimiento de modelos naturales.

Una vez que se tiene definido el contexto y la función, se puede comenzar la búsqueda; seres vivos que respondan la pregunta propuesta. Para ello dentro de este proyecto

se recurrió a textos científicos, artículos de divulgación y al uso de la herramienta AskNature.com¹⁰.

La información recopilada debe ser detallada, sin dudas respecto a algún término empleado dentro de la descripción biológica de la función, ya que el entendimiento total es necesario para poder realizar el siguiente paso: la abstracción. En esta sub-etapa, los biólogos son capaces de aportar su conocimiento para hallar más especies que cumplan la misma función y hacer más grande la lista de especies a estudiar. Aunado a ello también se cuenta con una herramienta taxonómica que ayuda a facilitar la búsqueda de especies según grupos subgrupos y funciones específicas.

Abstraer estrategias biológicas.

Este paso es quizá el más importante de todos pues en éste recae la definición misma de la ciencia.

“Cuando lees un caso de estudio, el proceso creativo se ve fácil y obvio, pero la emulación de estrategias naturales a soluciones humanas requiere el entendimiento de la biología, una traducción hacia principios de diseño, y una buena dosis de creatividad. Nosotros llamamos a esta etapa: traducción-abstracción”
(Baumeister, et al., 2013, p.116)

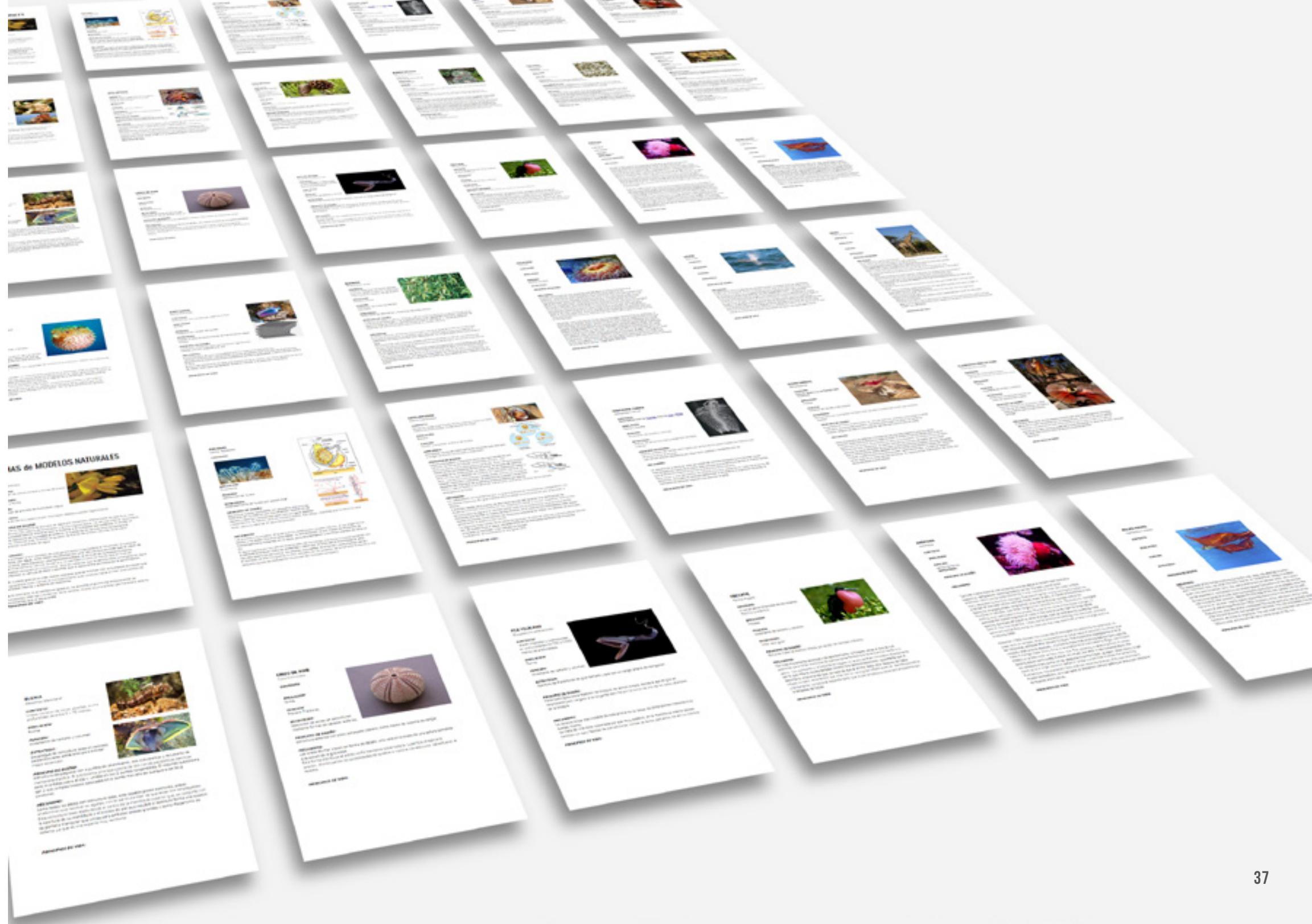
Abstraer es una de las partes más críticas de la práctica de la biomimética por la dificultad que implica, aquí es donde se crea la herramienta de trabajo de mayor utilidad: las fichas de trabajo. Una ficha de trabajo¹¹ recopila la información obtenida en las etapas anteriores y adiciona la información propia de esta etapa.

Una ficha debe contener idealmente: **nombre científico** de la especie, **mecanismo**, **función**, **estrategia y principio de diseño**. También puede añadirse el nombre común de la especie, ilustración o foto de la misma, tipo de emulación posible y diagramas explicativos del mecanismo y con qué principios de vida cumple el organismo.

La **estrategia** es cómo la función es lograda. El **mecanismo** es el cómo la estrategia funciona. La **función** es qué es lo que está haciendo la naturaleza, mientras que el **principio de diseño** es la traducción del mecanismo en un lenguaje neutro, plasmado en forma de un párrafo que sirve de apoyo para la función pueda ser emulada por el diseñador.

El principio de diseño así como la función, sirven como puente entre ambas disciplinas, captura la esencia de la estrategia biológica y la traduce en una manera que sea correcta pero evadiendo cualquier terminología biológica para que sea universalmente entendible.

¹¹ A la derecha se muestra un compendio gráfico de las primeras 30 fichas realizadas para el estudio y conceptualización de posibles alternativas de diseño en etapas posteriores. Se profundizará sobre este tema en el capítulo 4.3.





3.2.3 Creación

Esta etapa es en la que probablemente los diseñadores sin experiencia en la biomimética se desenvuelven con mayor facilidad, pues las tareas a desarrollar guardan una gran similitud con los métodos creativos tradicionales. Se conforma por las sub-etapas de: ideas bio-inspiradas y emulación de los principios de diseño.

Todas las ideas arrojadas en esta etapa responden a la pregunta ¿Cómo resolvería este problema la naturaleza? En esta etapa el diseñador emula la abstracción traducida de los modelos estudiados (principio de diseño), en una adaptación humana de soluciones existentes en la naturaleza. La emulación puede ocurrir a la misma escala que en el modelo estudiado o en una mayor o menor escala; incluso la aplicación puede ser literal o metafórica teniendo cuidado que esto último no se desvirtúe.

Ideas bio-inspiradas.

Las ideas obtenidas pueden ser drásticamente diferentes a las existentes en la actualidad, esto quita la presión de inventar algo nuevo, pues con las estrategias biológicas sobre la mesa, es básicamente un hecho que la innovación sucederá.

Todas las vías posibles de generación de ideas son bienvenidas, es posible crear matrices, hacer mapeos, tablas, realizar dinámicas o incorporar estrategias de diseño que ayuden al proceso creativo. Esta es quizá la sub-etapa de mayor libertad, porque carece de reglas específicas a seguir. Estas dependerán

directamente del caso de estudio que se desarrolle.

Emulación de principios de diseño.

De las ideas bioinspiradas se seleccionan las más adecuadas, se analizan, modifican, exploran o combinan entre sí para tener una propuesta que pueda ser llevada a cabo a profundidad.

En el campo del diseño industrial, la emulación equivale al desarrollo del proyecto una vez que el *brief* ha sido totalmente descrito.

3.2.4 Evaluación



La última etapa. Durante la evaluación se asegura que el diseño ha sido realizado teniendo a la naturaleza en mente, funge como control de calidad para asegurar que se crean condiciones que conducen a la vida. Se implementan de nueva cuenta los principios de vida (Fig. 21) usados en la primer etapa, al hacerlo se afirma que el objetivo principal no se perdió a lo largo del proceso.

Específicamente en proyectos de desarrollo de productos, la evaluación no incluye solo la aplicación de los principios de vida sino también su factibilidad, la disponibilidad de los materiales empleados, seguridad de instalación o mantenimiento, presupuesto, estudio ergonómico, análisis de uso, entre otros.

Si el diseño en cuestión no cumple satisfactoriamente la evaluación con los principios de vida – con la finalidad de integrarse apropiadamente- suele considerarse el regresar a la etapa de creación. Evaluar el diseño de esta manera es una forma de hacer una prueba previa sobre su éxito en el mundo real.

Fig. 21: Las fichas mostradas en la imagen contienen símbolos que representan cada uno de los principios de vida. Se profundiza al respecto en el capítulo 4.1 del presente documento.



UN DISEÑADOR CON UNA FUERTE CONECCIÓN
CON LA NATURALEZA DESCUBRE QUE

LA BIOMIMÉTICA CONLLEVA...

...A UNA ASOMBROSA

RIQUEZA DE CONOCIMIENTO

ACERCA DE CÓMO ESTA PODRÍA SER TRADUCIDA

A INNOVACIONES DE

DISEÑO HUMANO

- Dayna Baumeister



4 La consciente EMULACIÓN DEL GENIO DE LA **naturaleza**¹²



El presente capítulo busca plasmar la ejecución de la metodología –los saltos hacia atrás y hacia adelante dentro de la rueda del pensamiento biomimético– que dieron pauta a la creación del producto-sistema-servicio final. Además fueron empleadas estrategias de apoyo para sustentar partes de la investigación que la metodología de la biomimética no comprende.

Ya que gran parte de la investigación fue de carácter científico, se cuenta con una amplia gama de estudios realizados principalmente por instituciones educativas. En gran medida estos soportan la toma de decisiones que se llevó a cabo. Aquellas investigaciones se mencionan a lo largo del documento y se encuentran referenciadas.

Antes de proseguir se recuerda al lector la pregunta que el proyecto de esta tesis busca responder: ¿Cómo se puede crear una solución sistémica dentro de la CDMX, que coseche el agua de lluvia, y contribuya a mitigar el estrés hídrico? Así pues, todos los esfuerzos intelectuales pasados y siguientes fueron dirigidos a resolver dicha incógnita.

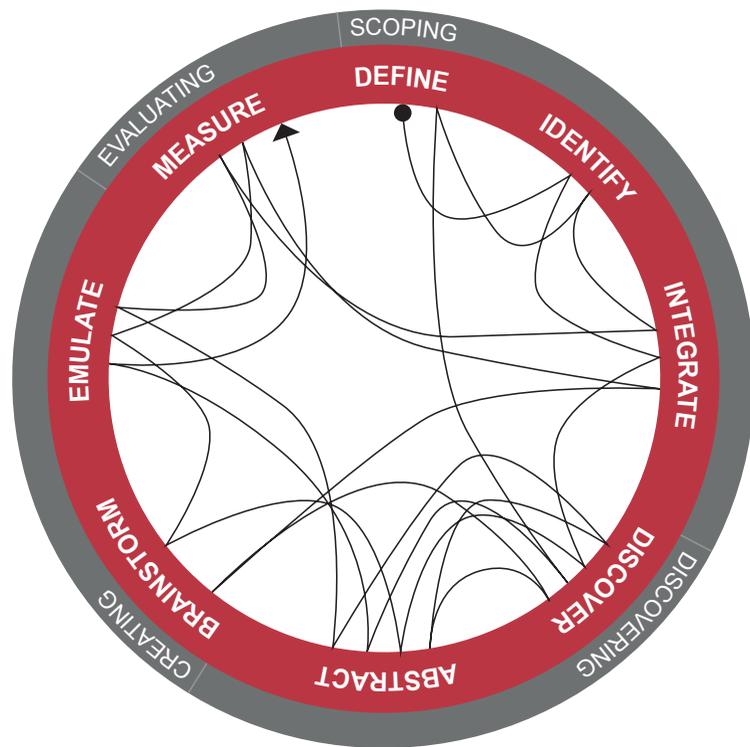


Fig. 22

¹² El nombre del capítulo hace referencia a la definición condensada, propuesta por la escuela Biomimicry 3.8 hacia el concepto: Biomimética

Fig. 22: Parte del proceso personal que se llevó a cabo para la elaboración del concepto..

Se aprecia que el inicio fue en orden progresivo como lo ejemplifica la figura 19 para posteriormente migrar de etapa en etapa repitiendo principalmente el "descubrimiento de modelos naturales" y la "abstracción".

Esto es una muestra clara de la no linealidad en la ejecución del proyecto y da pauta al entendimiento de la complejidad del mismo.

Acotación POR CONTEXTO.

- El objeto deberá ser capaz de resistir factores abióticos tales como sol, viento, agua, acidez, golpes, etc. y en medida de lo posible se beneficiará de ellos.

-Ya que su función gira en torno a la recolección de agua, su eficacia no deberá verse totalmente comprometida por la temporada de lluvia y/o sequía.

-El objeto apoyará el abastecimiento del sistema de la ZMVM. Su aplicación tendrá que ser una alternativa secundaria de abastecimiento, idóneamente primaria en la temporada de lluvia.

-Su localización (ya sea dentro de edificios, sobre edificios, en áreas libres, en áreas públicas, -aspecto a definir) no comprometerá el funcionamiento espacial del entorno en el que se use, esto significa que su tamaño y proporción no deberá entorpecer las actividades cotidianas que se realizan en su contexto.

-Apoyando el punto anterior, deberá ser un objeto fijo con la menor cantidad de injerencia humana sobre él, disminuyendo la manipulación humana lo mayor posible.

- De la misma manera, su instalación deberá aprovechar las peculiaridades de la localización donde se inserte, es decir, tomar ventaja de la infraestructura existente o de los medios naturales/artificiales con los que se cuentan.

-Permitirá la separación del agua limpia de la contaminada, favoreciendo a la calidad del recurso colectado.

Acotación POR ASPECTOS TÉCNICOS.

-Deberá ser fabricado con materiales que aseguren la integridad del agua recaudada, a la misma vez que el agua no comprometerá la integridad física de los materiales.

-La elección de los materiales deberá recaer en cuestiones funcionales sobre cuestiones estéticas sin comprometer la segunda.

-Los materiales deberán estar en existencia. Será posible prospectar la creación de nuevos materiales solo si estos se sustentan en estudios científicos que aseguren su factibilidad en un escenario prospectivo en un plazo no mayor a 10 años.

- Si su aplicación es en vivienda, en temporada de lluvia deberá recabar agua en un rango de entre los 20lt (acceso básico) y 100 lt (acceso óptimo) por día por persona, si su aplicación es en oficinas, este factor será divisible entre 4 (5lt-25lt). Es idóneo rebasar dicho rango más no situarse por debajo del mismo (OMS, 2013)

-Es determinante la inclusión de criterios productivos factibles. La complejidad de los procesos empleados se encontraran en relación al beneficio (en cuestiones hídricas) que el objeto implique, es decir, procesos complejos serán permitidos solo si el beneficio que presta el producto es muy alto.



_4.1 Brief de Diseño

Como eje rector, el brief establece pautas de referencia sobre lo que es posible o no hacer, teniendo así un rango definido dentro del cual debe regirse el proyecto. En este caso, se impusieron acotaciones según su contexto así como dentro del área técnica, ergonómica, operativa y metodológica.

A continuación se enlistan las acotaciones de cada una de las clasificaciones mencionadas.

Acotación ERGONÓMICA.

-La manipulación del objeto no deberá provocar lesiones y/o molestias a quien lo use, esto implica que el objeto-producto-sistema no fuerce a posturas incómodas y que se encuentre en parámetros dimensionales adecuados según la tarea que se desempeñe.

-Si el instalador debe cargar el objeto, este no puede superar los 25 kg para evitar problemas posturales y de esfuerzos según los esquemas de la ecuación NIOSH¹³.

-Un peso mayor a 25 kg será permitido solo si el objeto cuenta con ruedas que faciliten su transporte y/o el uso de maquinaria para su instalación.

- La superficie que tenga contacto con el usuario no debe tener aristas que puedan causar laceraciones.

-Si el objeto debe ser manipulado con regularidad, este deberá contar con asas o en su defecto, adecuaciones formales que faciliten la maniobrabilidad del mismo.

-Códigos de usabilidad (texturas, colores, formas) deberán ser empleados, sin que estos comprometan el carácter estético del producto, Por el contrario, se debe buscar que ambos atributos empaten el uno con el otro.

-Si es necesario introducir la mano en alguna parte del objeto, este deberá contar con dimensiones apropiadas para que la tarea en cuestión se realice apropiadamente, usando como referencia tablas antropométricas de población mexicana.

Acotación OPERATIVA.

-Su mantenimiento será de fácil acceso en relación a la periodicidad del mismo, es decir, mientras más mantenimiento requiera mayor será la accesibilidad hacia el usuario de mantenimiento.

-El uso de mecanismos de apoyo que ayuden al instalador y/o usuario a interactuar con el objeto, tales como: guías, apoyos, botones, palancas, etc. deberán ser empleadas a consideración.

-Ya que se plantea que el objeto sea de apoyo secundario al sistema de abastecimiento con el que las edificaciones cuentan actualmente, el mantenimiento del producto propuesto no deberá entorpecer el mantenimiento del sistema actual, por el contrario, es idóneo que se incorporen el uno al otro.

-Si el objeto se encuentra en exteriores, deberá contar con mecanismos que eviten en medida de lo posible el robo de piezas o la vandalización de las mismas. Si se encuentra en interiores, deberá procurarse que niños menores no puedan intervenir en su funcionamiento o en su defecto lastimarse con el objeto.

-Deberá considerarse el reciclaje de piezas o el uso de refacciones de manera tal que si el objeto falla este pueda ser reparado en vez de remplazado.

¹³NIOSH, por sus siglas en inglés, es el Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional de Estados Unidos, si se requiere profundizar en el tema se recomienda visitar el portal de la institución.

Acotación POR METODOLOGÍA.

Estudiar al mundo natural implica el manejo de mucha información biológica, química y física que, para los profesionales del diseño no resulta familiar. En el marco de la metodología empleada traducir la información biológica a un lenguaje técnico, admisible dentro del ámbito del diseño industrial, clarifica las metas y objetivos de la investigación. El sistema-producto-servicio propuesto deberá responder a la mayor cantidad posible de Principios de Vida (*Master Principles*, término original del Resource Handbook (Baumeister, et al., 2013).

Se recomienda la implementación de todos los principios de vida bajo los siguientes parámetros, siendo estos guías que podrán ser adecuados según el objeto de diseño que se desarrollará, procurando siempre que este sea respetuoso con su contexto, resiliente y sostenible

Adaptarse a condiciones cambiantes.

Responderá a contextos cambiantes, operando en condiciones de poca precipitación, mucha precipitación o sin precipitación, no necesariamente desempeñando la misma tarea.

Estar en armonía con el entorno y sensible a él.

Tomará ventaja de los fenómenos bióticos y abióticos que se repiten dentro de ciclos, integrándolos a su funcionamiento. Ejemplos de estos son: Aire, temperatura, radiación, magnetismo, viento, humedad, etc.



Integrar desarrollo y crecimiento.

Usará cualidades modulares en sus componentes, ajustando unidades progresivamente entre sí, yendo de lo simple a lo complejo dando importancia al "conjunto".



Ser eficiente con los recursos.

Tomará ventaja de los recursos y las oportunidades que encuentre, sacando la mejor ventaja de ellos.

Las formas y patrones usados serán elegidos con base a su función específica

Convergirán múltiples necesidades o particularidades del diseño con soluciones destacadas por su sencillez



Usar química respetuosa con la vida

Usará pocos componentes en comparación a la complejidad del diseño.

Será construido selectivamente con pocos subconjuntos de elementos



Evolucionar para sobrevivir

Replicará estrategias biológicas cuyo funcionamiento se adecue al entorno en el que se inserta.



4.2 Preguntas BASE

Dentro de la metodología de la biomimética, basta con hacer la pregunta correcta a la naturaleza para obtener respuestas viables para emular por lo que resulta de suma importancia plantear de la manera más concreta posible la pregunta adecuada, recordando que un buen input genera un buen output. Para ello, existe una herramienta llamada "taxonomía biomimética"¹⁴ (Fig. 23), en ella se establecen los grupos, subgrupos y funciones específicas que emplean las especies naturales.

En este caso, las preguntas y funciones iniciales pertenecen al siguiente orden taxonómico:

¿Cómo cambia su estado físico la naturaleza por estímulos externos?

Grupo: Modifica
Subgrupo: Modifica estado físico
Función: tamaño/forma/masa/volumen.
ACCIONES: SE EXPANDE / SE INFLA / SE CONTRAE / SE DILATA

¿Cómo contiene fluidos herméticamente la naturaleza?

Grupo: Obtener, Almacenar o distribuir recursos
Subgrupo: almacena
Función: líquidos
ACCIONES: ALMACENA PARTÍCULAS / GUARDA PARTÍCULAS / COLECTA PARTÍCULAS

¹⁴ Para acceder a esta herramienta se recomienda visitar el siguiente enlace, código QR o revisar la página 113 del Biomimicry Resource Handbook



Fig. 23: Vista en miniatura de la herramienta: taxonomía biomimética

¿Cómo redirecciona fluidos la naturaleza?

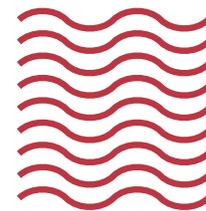
Grupo: Obtener, Almacenar o distribuir recursos
Subgrupo: distribuye
Función: líquidos
ACCIONES: SE DISTRIBUYE / SE MUEVE / REPELE

¿Cómo emplea la humedad la naturaleza?

Grupo: Modifica
Subgrupo: Modifica estado físico
Función: Modificación de fase



Fig. 23



4.3 Modelos NATURALES

Al contestar las preguntas planteadas anteriormente se llegó a un listado inicial de 30 especies que las respondían.

Como se muestra en la fig. 22, dentro del proceso llevado a lo largo de la investigación se hizo una reformulación de las funciones específicas que los organismos debían cumplir, por lo que día con día se agregaron cada vez más especies al listado, ofreciendo una gama mas amplia de estrategias y mecanismos a emular.

Fig. 24: Espacio de trabajo dentro del Centro de Investigaciones de Diseño Industrial, con fichas de trabajo de algunos de los modelos naturales estudiados.

Espacio creado para favorecer la creación de ideas en la tercera etapa del pensamiento biomimético.

Fig. 25: Compendio fotográfico tomado por participantes del mismo taller.

Las fichas iniciales se emplearon para llevar a cabo el taller de emulación, lo que dio pauta a la creación de las primeras ideas bioinspiradas.



Fig. 24



4.4 Taller de EMULACIÓN

Se llevó a cabo un taller multidisciplinario en conjunto con dos compañeros con quienes se estudió los principios de la ciencia de la biomimética.

Con la finalidad de incorporar distintas profesiones al proyecto para generar propuestas con visiones multidisciplinarias y con mayor sustento, se convocó a un taller de emulación para completar la sección de emulación dentro de la rueda del pensamiento biomimético y cumplir con la parte del *biobrainstorming*.

Participantes:

Organizadores:

Ponente y asesora: MSc. Daniela Esponda Rodríguez -*Diseñadora Industrial*

Ponente: Alberto Daniel Ortega Hernández -*Estudiante de Diseño Industrial*

Ponente: Tamara Martínez Sánchez -*Estudiante de Diseño Industrial*

Ponente: Andrés Velázquez Laguna -*Estudiante de Diseño Industrial*

Profesores a cargo:

MDI. Vanessa Sattelle Gunther -*Diseñadora Industrial*

MI. Claudio Hansberg Pastor -*Ingeniero Mecánico*

Alumnos colaboradores:

Karen Tellez San Juan - *Estudiante de Diseño Industrial*

Montserrat Campos Toscuente - *Estudiante de Diseño Industrial*

Invitados:

Profesor: Dr. Alberto Rosas Aburto - *Ingeniero químico*

Profesor: MS. Patricia Pérez Salinas - *Ingeniera química*

Estudiante: Eric Sosa Jiménez - *Biólogo*

Estudiante: Miguel Ángel Peralta Perales - *Biólogo*

Profesionista: Sandra Ángeles Domínguez - *Diseñadora Industrial*

¿Cuándo?

Centro de Investigaciones de Diseño Industrial. Ciudad Universitaria, México.

¿Cuándo?

Abril 13 del 2018.

¿Duración?

De 9:00 a.m. a 2:30 p.m. (6.5 horas)

Se expuso sobre el cambio climático para contextualizar a los participantes en torno a la idea central a la que responden los tres proyectos. Se dio también una introducción sobre la biomimética para orientar a los participantes que no contaban con la noción de lo que esta ciencia busca. De manera afortunada para el taller, más del 80% de los participantes contaban ya con experiencia, nociones básicas o prácticas en este tema, lo que posteriormente favoreció en la fluidez del taller. Por último se expusieron de manera individual los tres proyectos de investigación. Mientras más clara fuera dicha exposición, más acertadas serían las propuestas generadas por los participantes.

Los temas expuestos fueron:

Impresión 3D
por **Alberto Ortega**

Migración forzada
por **Tamara Martínez**

Aprovechamiento del recurso hídrico
por **Andrés Velázquez**

La herramienta principal del taller fueron las fichas de modelos naturales investigadas por los tres estudiantes. Estas fichas arrojaron información valiosa sobre las estrategias biológicas y los principios de diseño aplicables para conjuntar y proyectar ideas.

Todas las fichas fueron usadas, incluso si estas no fueron estudiadas de manera particular para el tema en específico, lo que abrió el panorama y en algunos casos provocó propuestas disruptivas.

Después de dar estas pláticas introductorias y explicar el funcionamiento de las fichas

se realizó el biobrainstorming. Se hicieron tres sesiones de 45 minutos cada una. Las sesiones fueron enfocadas a arrojar ideas sobre su tema particular. El seguimiento de los temas se hizo de manera similar, pero con pequeñas diferencias, respondiendo a las particularidades de los proyectos.

En el caso particular del tema de esta Tesis se hicieron cinco columnas (cambiar de forma, mover fluidos, medio, contexto y aplicación) con tres preguntas diferentes (¿Cómo?, ¿En dónde? ¿Para qué?). Responderlas dentro de cada columna buscaba favorecer la generación de ideas contextualizadas, funcionales y con respuesta en la biomimética (Fig. 26). Al momento de generar ideas no se puso ninguna limitante, es decir, no importaba su viabilidad, capacidad de escalabilidad, relevancia o incluso innovación.

El objetivo principal fue favorecer el pensamiento disruptivo e integrar los modelos naturales, esto sucedió en la mayoría de las propuestas. Después del taller se analizaron, descartaron y en algunos casos, se profundizó sobre las propuestas.

Fig. 26: Herramienta facilitadora de ideas usada durante el bio-brainstorming

Fig. 27-34: Bocetos de ideas aportados por los participantes el taller.



Fig. 25

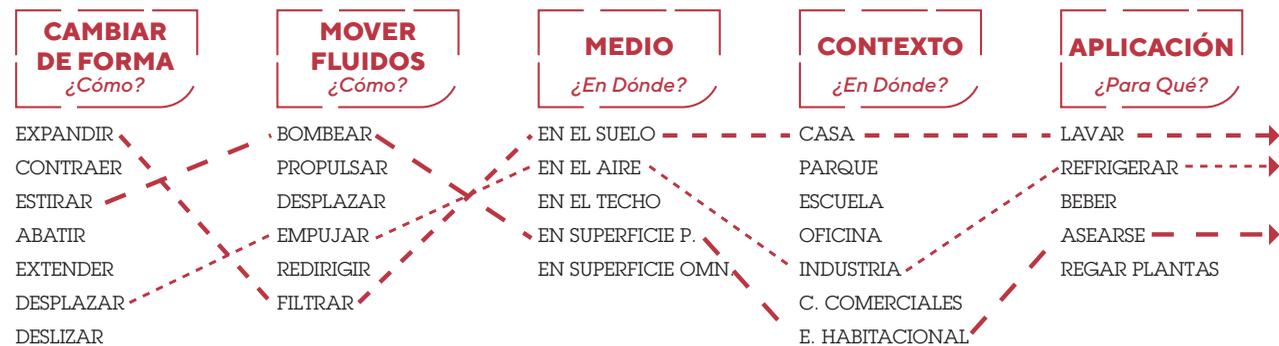


Fig. 26

A continuación se muestran algunas de las ideas generadas en el taller que forman la primera de tres partes de biobrainstorming que se llevaron a cabo. Las palabras subrayadas en rojo hacen mención de especies cuyas fichas naturales estuvieron presentes en la sesión.

Sistema de bombeo cerrado de agua pluvial

Se hace uso de una forma cónica en la parte superior del sistema, por medio de ella se recauda agua de lluvia. El interior de todo el sistema se encuentra forrado con una capa de fibrillas desfasadas para evitar fugas en el sistema, similar al mecanismo de los **Erotílicos**. El agua se almacena en una cámara inferior que se expande como la piel de los **Peces Globo**, cuando esta está llena, una válvula reguladora se cierra, el mecanismo de la válvula se emula por la diferencia de humedad externa e interna que la planta **Lúpín** posee, al estar cerrada esta válvula, la cámara se contrae expulsando el agua recolectada y dirigiéndola a donde se le pueda dar uso.

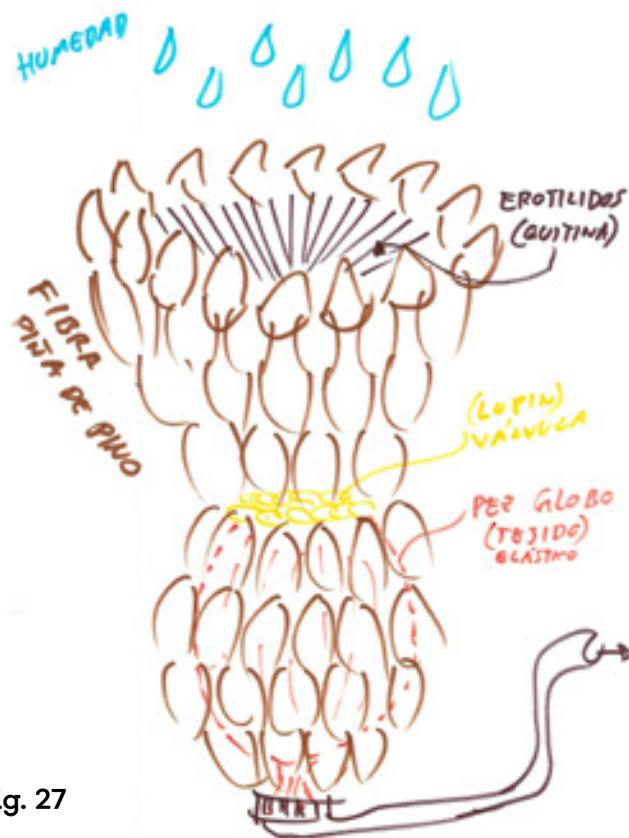


Fig. 27

Cosecha de agua en azotea de edificios

Tinacos dinámicos en azoteas que recaban agua por medio de permeabilidad, estos no cuentan con una abertura para permitir el paso del agua sino con membranas semipermeables unidireccionales que permean el agua que la toca del exterior al interior pero no a la inversa

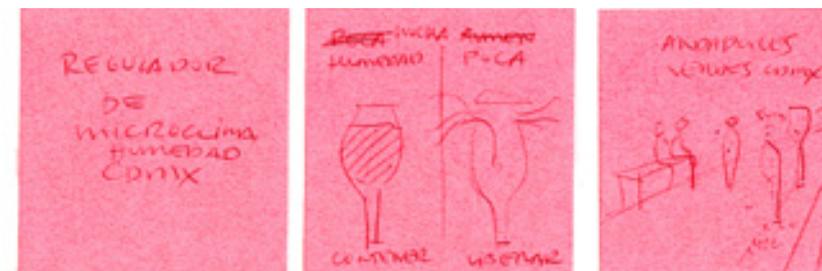


Fig. 28

Sistemas de recaudación pluvial en infraestructura urbana.

En este punto se engloban varias ideas que no emulan estrategias naturales pero que si solucionan los problemas planteados en la plática impartida al inicio por lo que también son considerados.

1.- Humidificador de ambiente en andadores verdes (recolectando agua mediante la lluvia y expulsándola en estado gaseoso cuando la humedad ambiental sea baja)



2.- Recolección subterránea de agua (usando "coladeras" capaces de restringir únicamente el paso del agua. Absorbiéndola, se evita el problema de las inundaciones)



3.- Reinserción de agua a los mantos acuíferos (por medio de recolectores estilo paraguas que se encuentran conectados directamente al subsuelo, cuando llueve, estos inyectan el agua a los mantos acuíferos procurando evitar hundimientos lacustres)

Fig. 29

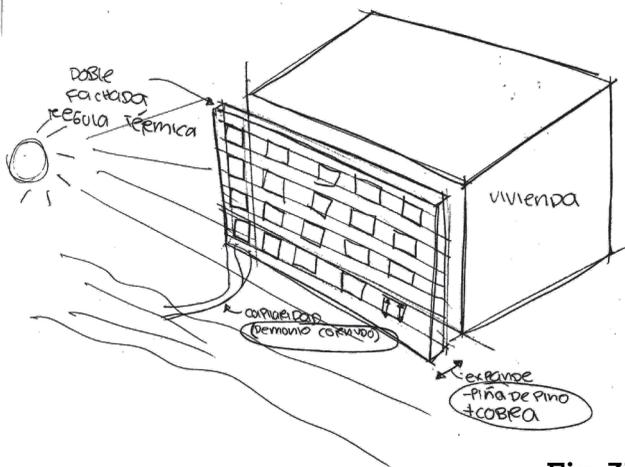


Fig. 33

Humidificador y reservorio pluvial subterráneo

Sistema que recaba el agua de lluvia en su parte superior, la filtra haciéndola pasar por rejillas microperforadas que eliminan partículas grandes, emulando a las **Ascidias**. Cuenta con varias rejillas internas basadas en los **Erotílicos**, creando superficies impermeables que permanecerán mojadas; un respiradero lateral propiciará la entrada de aire que al momento de salir, saldrá humidificado por el contacto con rejillas mojadas. Esto ayudaría a la sensación térmica del exterior. El agua que logra pasar las rejillas se filtra por segunda vez al pasar por un bioma interno de plantas que viven en abundante agua; las plantas vivirán alimentándose de agua "gelada", emulando a las **Biznagas**. Finalmente el agua que resta se guarda en un reservorio subterráneo para su uso posterior. Para asegurar que las plantas del bioma permanezcan con abundante agua, una válvula inteligente, emulando al **Lúpulo**, se encargará de regular el agua que pasa al reservorio.

Sistema de captación pluvial en dobles pieles arquitectónicas

Usando el método de redirección hídrica mediante capilaridad que el **Demonio Cornudo** posee, sumado a un mecanismo de elongación, similar al de la capucha de la **Cobra**, se propuso un sistema de recolección de escorrentía que se resguarda en los laterales de los edificios en vez de en el techo como lo hacen los sistemas (tinacos) tradicionales.

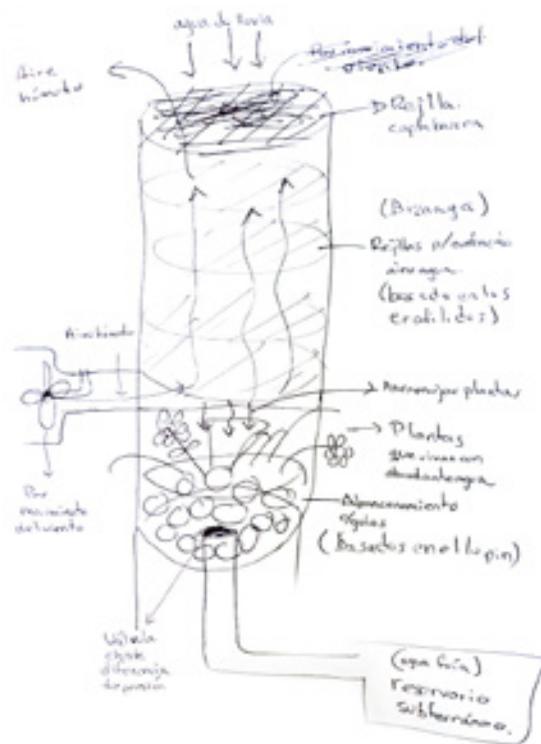


Fig. 34

Haciendo una retrospectiva del desarrollo y los resultados del taller, se pueden resaltar los siguientes descubrimientos y conclusiones.

DESCUBRIMIENTO:

- 1 Explicar la temática de la investigación de manera oral facilitó el ordenamiento de las ideas y la información recabada, esto ayudó a una comprensión más profunda de la problemática. En esta etapa fue cuando se descubrió que la interrelación de los sistemas estudiados se encontraba en el estrés hídrico.
- 2 Suele ser mejor captar el agua a grandes alturas y/o antes de que ésta llegue al suelo pues se aprovecha la gravedad para su distribución posterior.
- 3 La aplicación que se le dé al agua dependerá de la calidad de pureza de la misma.
- 4 Para etapas posteriores de la investigación, la legalidad o el marco de acción posible a nivel jurídico y político será una limitante proyectual, es decir, depende de las leyes aplicables en la ZMVM sobre infraestructura, intervención urbana o petición de licitaciones aportarán un fundamento más real a futuro próximo sobre la implementación de la idea final.

CONCLUSIONES:

- 1 Para resolver la problemática planteada es necesario generar una retroalimentación dentro del ciclo hídrico, por ejemplo, mediante la reinserción del agua a las etapas del ciclo menos afectadas por acciones antropogénicas, o bien, a causa del cambio climático.
- 2 Es necesario asignar una escala al producto. Hasta este momento no se había planteado la cantidad de agua recolectada, sino simplemente su recolección. Basándose en el uso que se le dará al agua ¿Cuánto volumen se debe de recolectar o mover? Establecer un parámetro.
- 3 La regulación térmica resultó ser una idea colectiva, probablemente por el calor que se ha vivido en la ciudad en los últimos años, lo que lo convierte en un problema de interés.
- 4 En tres ocasiones se generó la idea de la colecta vertical sobre edificios, siendo la propuesta menos explorado de manera previa al taller.
- 5 El equipo de trabajo, aunque principalmente los biólogos, aportaron más especies con estrategias biológicas similares a las estudiadas con anterioridad, lo cual dio pauta a la inclusión de más especies al catálogo obtenido hasta el momento.



4.5 Análogos y HOMÓLOGOS

Para refinar y hacer más sólidas las propuestas generadas y con la finalidad de desarrollar aún más propuestas, se exploraron análogos y homólogos de proyectos afines -biomiméticos o no- a la temática de la investigación. Esto se realizó posterior a la primera etapa de *biobrainstorming* para no interferir con el proceso creativo, favoreciendo la originalidad del concepto final.

Afín a la metodología, se estudiaron análogos y homólogos que a primera instancia difieren mucho uno de otro; el motivo de esta elección de proyectos aparentemente aleatoria, responde al mismo principio usado para la selección y estudio de organismos naturales: sus funciones. Se plantearon las preguntas "¿Cómo se adquiere el agua de lluvia o humedad? ¿Cómo se gestiona y maneja el recurso?" procurando que los proyectos elegidos guardaran cierto parentesco con las ideas obtenidas en el biobrainstorming para tener una línea afín, se analizaron proyectos de distintas escalas, distinto nivel de realidad (factibilidad en el mundo actual) y complejidad.

Así pues se analizaron 12 proyectos, mismos que se mapearon dentro de una matriz ilustrativa (Fig. 36) teniendo como ejes su escala y su nivel de realidad (disponible en las siguientes páginas). Con ello se generaron conclusiones del marco de referencia y se

encontraron patrones de forma, métodos de operación y estrategias funcionales.

El manejo de esta información fue similar al desarrollo de un *Benchmarking* (*análisis comparativo*), buscando no copiar ideas sino aprender de ellas y encontrar aportes benéficos para la investigación. Por ello, previo a la descripción del proyecto, se enuncian brevemente los motivos de su elección y los aportes particulares de cada propuesta.

CONCLUSIONES generales. Cap. 4.5:

- 1 Es evidente la prevalencia de diseños conceptuales sobre diseños en el mercado actual. Aunque bien es cierto que no se enlistan todos los proyectos actualmente producidos, también es cierto que estos últimos guardan una gran similitud, por lo que mencionarlos no enriquece la investigación.
- 2 No todas las opciones conceptuales distan mucho de la realidad, sin embargo no existen modelos funcionales por limitaciones presupuestales y espaciales, más que por factibilidad de producción.
- 3 En tanto a escalas se refiere, los proyectos estudiados podrían dividirse en intervenciones arquitectónicas y no arquitectónicas, siendo los primeros edificios en sí o intervenciones que recubren la edificación. Por otro lado los proyectos no arquitectónicos se subdividen en objetos transportables y objetos que requieren instalaciones fijas o que son demasiado grandes para poderse trasladar.

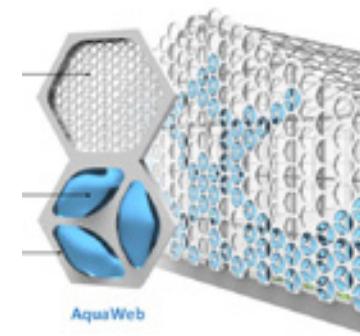
4 La biomimética ofrece una amplia gama de proyectos en torno al agua. Se especula que esto se debe a que este recurso es uno de los factores abióticos que condicionan la vida sobre la tierra, es por esto que los organismos que lo utilizan a su favor son vastos.

5 Todos los proyectos recaban agua por escurrimiento sobre superficies de alguna u otra forma.

6 Los proyectos biomiméticos se apoyan del calor por acción del sol y la dirección, composición y temperatura del viento, para llevar a cabo sus funciones. También hacen uso del patrón profundo descrito en el capítulo 4.6, el uso de propiedades específicas bivalentes dentro de los materiales empleados.

7 Los patrones hallados en los proyectos analizados pertenecen a dos o más objetos de la misma escala. Esto permite aseverar que el tamaño de la propuesta influirá determinadamente en las cualidades del objeto creado.

8 Muchos de los proyectos estudiados no se limitan solo a la recolección de lluvia sino también a la de rocío, es decir, propician la condensación de la humedad ambiental.



La presentación de los análogos se hará en orden ascendente según su escala, empezando siempre por las propuestas que responden a emulaciones naturales.

Fig. 35: Collage de análogos y homólogos analizados. Derechos intelectuales a quien correspondan.



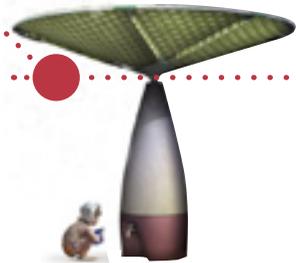
Fig. 35



DISEÑO CONCEPTUAL
SIN DESARROLLO A DETALLE

-  Proyecto biomimético
-  Proyecto no biomimético

Distintas versiones del mismo diseño, captan agua por medio de superficies en forma de "paraguas" y la recolectan en depósitos inferiores. Iconográficamente responden a la mayoría de los proyectos de recaudación pluvial no incorporados a esta investigación.



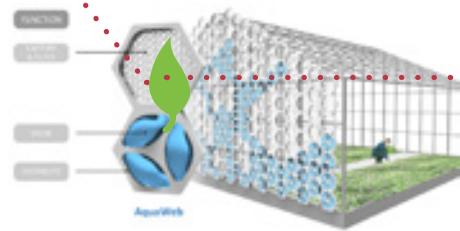
Morfológicamente similares. Aunque sus funciones son distintas ambos utilizan el intercambio de calor y energía a su favor para condensar agua sobre superficies que la dirigen por gravedad.



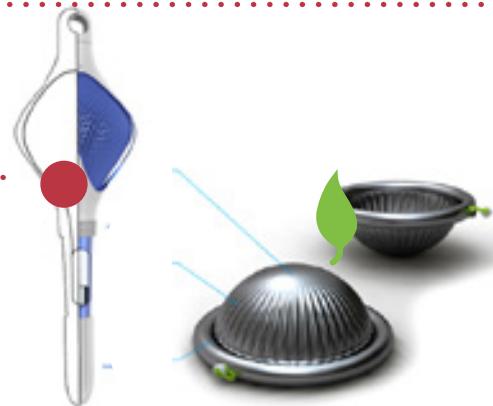
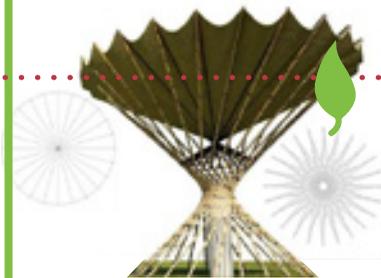
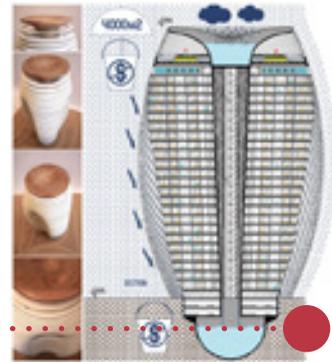
DISEÑO CONCEPTUAL
PROSPECTIVO (TECNOLOGÍAS NO ACTUALES)



Ambos son biomiméticos y utilizan estrategias pasivas. Sus dimensiones son escalables al ser diseños modulares. Se rigen por retículas hexagonales.

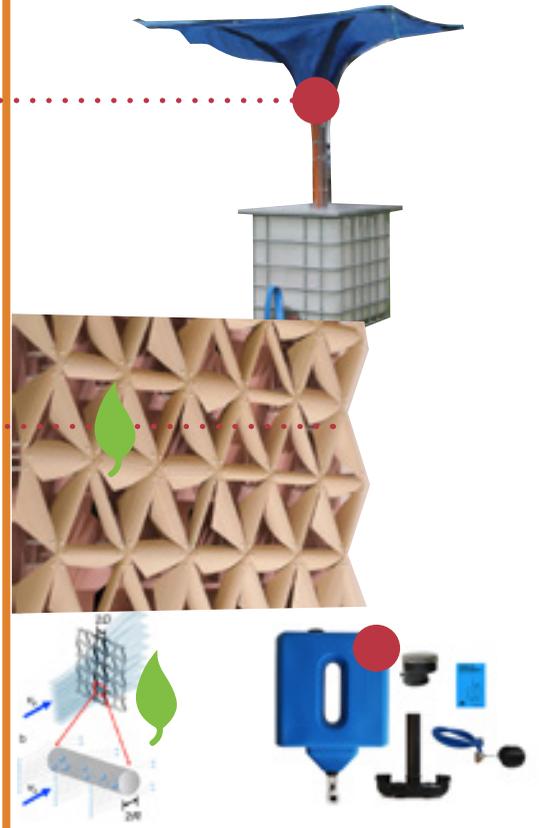


DISEÑO CONCEPTUAL
CON TECNOLOGÍAS ACTUALES



DISEÑO FÍSICO
EXISTENTE EN LA VIDA REAL

Estos dos proyectos son a macro escala, rascacielos que aprovechan la superficie de su envolvente para redireccionar el agua. Emplean la captación por escurrimiento en superficies verticales.



MALLA COSECHADORA DE NIEBLA

Diseñado por:
Massachusetts Institute of Technology (MIT)

Motivo de elección: Emulación de patrones profundos con fundamentos biomiméticos (ver Cap.4.6).

Aportes: Pruebas científicas a micro escala. Los tamaños de los elementos que componen la malla guardan relación entre ellos mismos. Esto posibilita formular hipótesis sobre la escala de los componentes según su función específica.

Descripción: Malla fabricada de filamentos de acero inoxidable, entre cada filamento hay un espaciado de aproximadamente 2 veces el espesor del filamento. Cuenta también con un recubrimiento que disminuye la histéresis del ángulo de contacto del agua, provocando que las pequeñas gotas de agua se deslicen hacia abajo con mayor velocidad; esto evita que el viento las regrese al ambiente en forma de humedad. La malla colecta el 10% de la humedad del ambiente contra el 2% que las mallas cosechadores normales colectan.

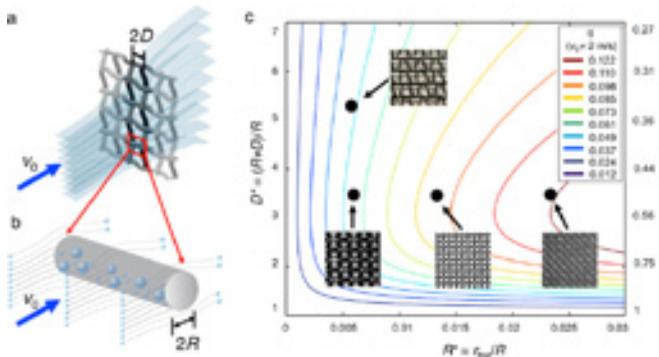


Fig. 37



Fig. 38

DEW BANK

Diseñado por: Kitae Pak

Motivo de elección: Biomimética aplicada.

Aporte: Responde al tipo de emulación "forma". Su envolvente es una abstracción de las cualidades físicas del organismo que añade materiales con propiedades similares al de la especie seleccionada. La elección del material es lo más importante en esta emulación.

Descripción: Contenedor para cosecha de agua obtenida por niebla y rocío. Se diseñó emulando al escarabajo de Namibia. Los puntos más relevantes en la emulación se encuentran en la temperatura del cuerpo del escarabajo, siempre menor al del aire a condensar, y las cualidades hidrófilas e hidrófobas de su exoesqueleto. Su material principal es acero inoxidable y funciona gracias a la propiedad térmica del material. Se coloca en la intemperie por las noches para que guarde el frío ambiental creando en las mañanas un intercambio de calor que favorece la condensación. El agua se recolecta en el aro inferior de la botella.

DEW WATER AND TASTY

Diseñado por: Tong-Shang, Teng-Wen Hu, Jie-Yu Jiang, Zi-Shuo Fang, Chi Cheng & Xiao-Neng Jin

Motivo de elección: Aunque no responde a la biomimesis, su función emula a organismos naturales. Su principio es muy similar al del ejemplo anterior.

Aportes: Es un objeto conceptual de diseño industrial y como tal, ofrece soluciones disruptivas en el uso de materiales junto a una estética sofisticada y limpia, deseable en el diseño final.

Descripción: Colector de humedad de cuerpo flexible para uso específico en desiertos. Al guardarse posee dimensiones compactas mientras que al momento de su uso su superficie se expande considerablemente usando materiales elásticos con buena memoria. Colecta agua de humedad y rocío; esta se condensa sobre su superficie y se filtra con uso de carbón activo; finalmente se deposita en el contenedor inferior donde permanece fría al estar bajo la arena.



Fig. 39

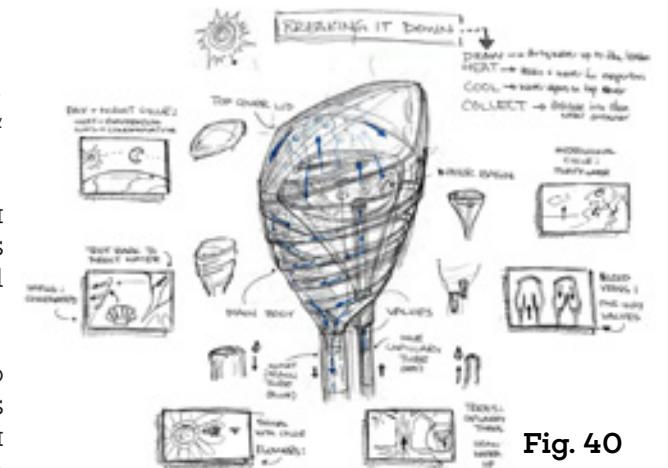


Fig. 40

SOLDROP

Diseñado por: Stefanie Koehler

Motivo de elección: Fue diseñado por una estudiante de maestría del Colegio de Arte y Diseño de Minneapolis. Ya que hizo uso de la misma metodología, sus alcances sirven como estándares de lo esperado para el presente documento, además, su proceso ofrece un punto comparativo sobre la ejecución de la metodología en este proyecto.

Aportes: Intentó no solo emular la naturaleza en el objeto sino que también exploró la posibilidad de que su fabricación, tratamiento y disposición, se diera de manera orgánica y responsable con el entorno.

Descripción: Purificador de agua diseñado para personas que viven cerca de suministros de agua contaminados. Usa la evaporación por medio solar y condensación por escurrimiento. Intenta emular estrategias provenientes de árboles (capilaridad), conchas (estructura), hojas (color), venas humanas (válvulas de paso), cactus (autorregulación) y girasol (organización y disposición).

TLALOQUE: KIT BRONCE

Diseñado por: Isla Urbana

Motivo de elección: Es el representante del método tradicional de cosecha de agua comercializable y nacional. Este proyecto aporta información sobre la capacidad real de cosecha y sobre la aceptación de la gente hacia esta actividad.

Aportes: "Tlaloque", el dispositivo azul de mayor tamaño (Fig.41) separa el agua de lluvia sucia de la limpia.

Descripción: Para funcionar necesita ser instalado en casas con techos inclinados (tipo dos aguas) y canaletas. El agua colectada por el techo de la casa pasa por una serie de aditamentos, propios del kit bronce. Este kit, comercializado por Isla Urbana es el más sencillo de los 3 con los que cuenta facilitando el uso del agua para WC y riego, las 2 categorías superiores añaden filtros, ya sea para que el agua tenga contacto humano o sea bebestible. Todos los kit cuentan con un Tlaloque, un reductor de turbulencias, una pichancho flotante y manuales de uso.

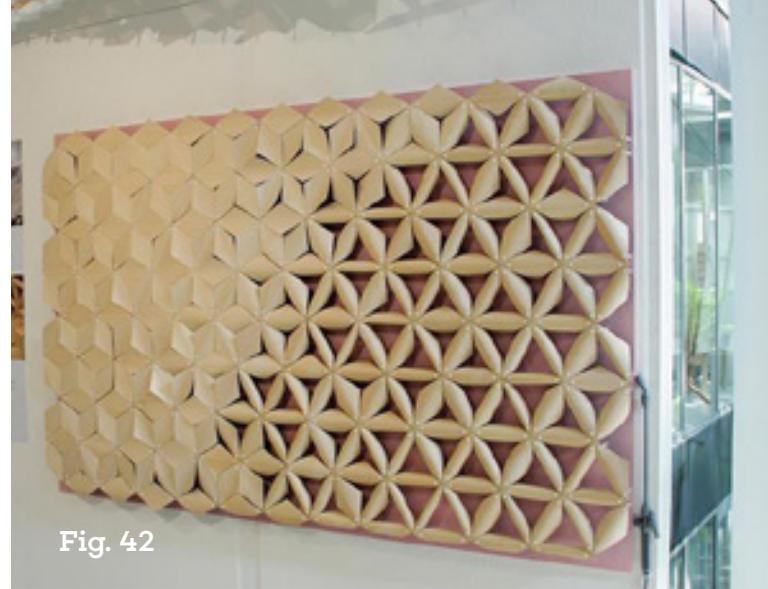


Fig. 42

WATER-REACTING SKIN

Diseñado por: Chao Chen

Motivo de elección: Es un objeto biomimético. Su emulación abstrae los métodos de la estrategia original, evitando la invención de materiales sino aprovechando las cualidades de los ya existentes.

Aportes: Responde a factores abióticos cambiando su morfología sin ningún motor o energía. El cambio de morfología responde a la disposición de las fibras del material lo que apoya a la exploración de materiales existentes dentro de la investigación.

Descripción: La estudiante de diseño del Royal College of Art, desarrolló un material de construcción que responde a la presencia de agua gracias a la emulación de las piñas de pino, esto fue logrado con un laminado bicapa plástico-madera que se flexiona en respuesta a la humedad atmosférica, humedad del suelo o lluvia; al mojarse la capa exterior se elonga más que la capa interior provocando que esta se abra o cierre dependiendo de la orientación de las fibras



Fig. 41

AQUAWEB

Diseñado por: NexLoop Team

Motivo de elección: Su proceso fue hecho con la metodología de *Biomimicry 3.8*, la misma que se ha empleado para la elaboración del presente documento. Es el proyecto ganador del Biomimicry World Challenge del año 2017

Aportes: Las especies estudiadas para AquaWeb guardan similitud a las estudiadas en el presente proyecto. El banco de especies de NexLoop puede ampliar la investigación de ser necesario.

Descripción: Diseñado por un equipo multidisciplinario de arquitectos, especialistas en biomimética, ecólogos y biólogos, AquaWeb es un sistema modular para productores de comida en medios urbanos que ayuda a captar, distribuir y gestionar agua para el riego. Puede ser usada dentro de invernaderos, granjas verticales, granjas contenidas, etc., ofreciendo la salvaguarda de energía para crear estrategias sustentables. Todas las funciones de estos módulos todo en uno fueron extraídas de emulaciones de organismos vivos.

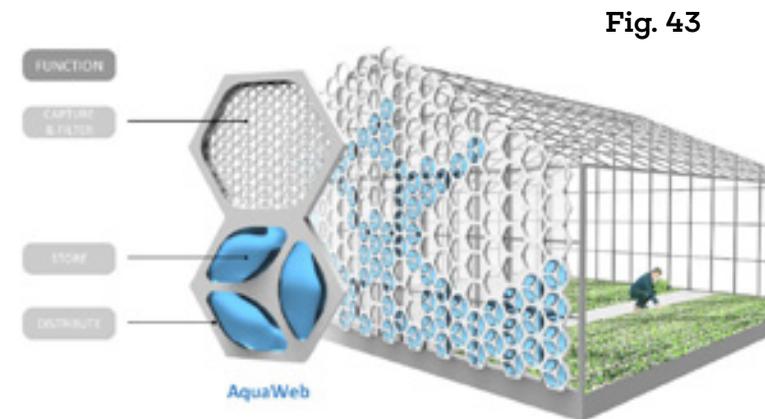


Fig. 43



Fig. 44

COLECTOR INDIVIDUAL DE LLUVIA

Diseñado por: Elizabeth Goetvinck

Motivo de elección: Prototipo funcional de bajo costo.

Aporte: Provee un vistazo a lo que se hace habitualmente para recolecta de lluvia y su disposición, es un método tradicional y cuenta incluso con estandarizaciones que podrían ser aplicables al diseño final de este proyecto de investigación.

Descripción: Sistema de recolecta de agua de lluvia de bajo costo, cada unidad tiene una superficie útil de 6m² de recolección con un costo aproximado de 70 euros por unidad (\$1,662.5 mxn al momento de la consulta). El agua es para riego pues no cuenta con ningún tipo de filtración. El captador es fabricado con lona con soportes rígidos y tensores empotrados al piso por lo que su área de instalación es considerablemente mayor al área de captación. La instalación es principalmente con tubos de PVC.

WATERFULL

Diseñado por: Adital Ela

Motivo de elección: El diseño responde a la misma problemática planteada, el estrés hídrico a causa del cambio climático.

Aportes: Aunque su diseño es bastante conservador, el tejido que emplea podría arrojar pistas sobre eficiencia de cosecha del recurso. Estudiarlo e integrarlo bajo principios de vida o combinarlo con estrategias naturales podría ofrecer una emulación biomimética redituable.

Descripción: Es un objeto "multi-temporada" que sirve para coleccionar agua así como para brindar sombra. Se diseña bajo la realidad del calentamiento global, causante de una evidente escasez de agua alrededor del mundo.

Tiene 3 metros de diámetro y posee la peculiaridad de recolectar humedad usando un tejido desarrollado por la OPUR (International Organization for Dew Utilization), capaz de coleccionar 3.5 litros de agua diarios en temporada seca, y 460 litros en temporada de lluvias.

El agua coleccionada es de libre disposición para ser usada en distintas tareas de la vida cotidiana.



Fig. 45



Fig. 46

CHAAC HA

Diseñado por: Diana Carolina Vega Basto, Luis Didier Cox Tamay, Andy Francisco Arjona Massa, Cindy Beatriz, Shirley Molina, Álvaro Jesús Buenfil Ovando

Motivo de elección: Es el único proyecto conceptual mexicano con presencia a nivel global y con aplicación de biomimesis

Aporte: Emulaciones estrategias naturales de la bromelia y un tipo particular de telaraña.

Descripción: Está diseñado para Yucatán, zona con humedad alta, lo que le ayuda a recolectar el rocío abundante que se provoca en las mañanas, puede llegar a recolectar hasta 2.5 litros de agua de rocío por noche. Su estructura está hecha a base de bambú y el tejido superior cuenta con propiedades hidrofóbicas gracias a la utilización del teflón como recubrimiento. Su funcionamiento es similar a los 2 proyectos anteriores.

WINDWHEEL

Diseñado por: Rodesk

Motivo de elección: Proyecto localizado en un área altamente urbana que si bien no responde a factores climáticos similares a la ZMVM si comparte características similares en cuanto a la infraestructura inmobiliaria se refiere.

Aportes: Integra pensamiento divergente y tecnologías en desarrollo y/o de carácter sustentable. Es un proyecto, si bien conceptual, con fundamentaciones claras y sostenido en proyectos de desarrollo de la universidad TU Delft.

Descripción: Rascacielos que incluye el uso de energías renovables y de economía inclusiva y circular. Es una ambiciosa propuesta que incorpora bioclimática y tecnologías en desarrollo. La edificación es capaz de recolectar agua de lluvia y filtrarla para su uso posterior, genera energía a través del viento sin la necesidad de turbinas, hace uso de celdas solares y trata residuos orgánicos para la generación de biogás.

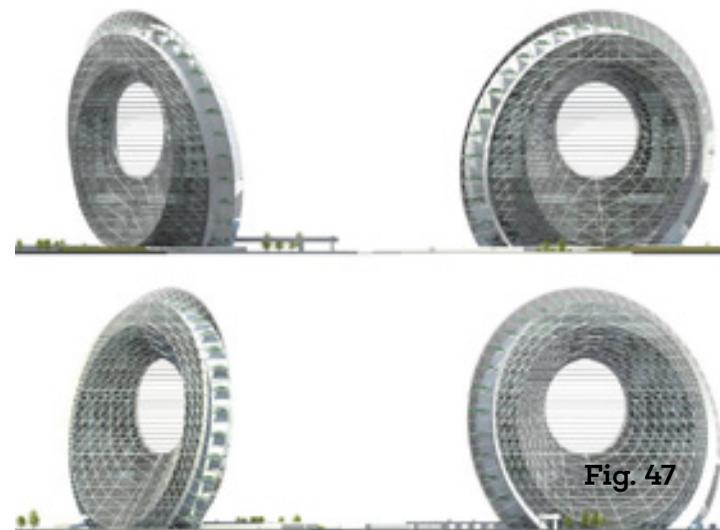


Fig. 47

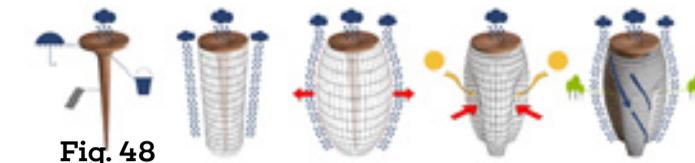


Fig. 48

CAPTURE THE RAIN

Diseñado por: Ryszard Rychlicki y Agnieszka Nowak

Motivo de elección: De todos los proyectos estudiados es el que mayor grado de profundidad posee en un sentido de factibilidad productiva y elección de materiales, estrategias y recursos.

Aportes: Propone varias estrategias pasivas que consideran factores abióticos y responde en gran medida a los principios de vida, incluso sin hacer uso de la metodología.

Descripción: Rascacielos diseñado por estudiantes procedentes de Polonia. Esta construcción recaba agua de lluvia usando toda la superficie de la construcción. Sus paredes poseen canaletas helicoidales que dirigen el agua hacia un depósito subterráneo, el agua capturada en el techo se mantiene arriba para aprovechar la gravedad para su distribución.

Su estudio estima que 85 litros diarios por persona pueden provenir de agua de lluvia. Posee también un sistema de compuertas inteligentes que ayuda al bombeo y a salvaguardar el recurso.



4.6 Patrones PROFUNDOS

La teoría de la evolución propone que toda la vida en la Tierra procede de un último antepasado común y universal. El portal del Instituto de Geología de la UNAM menciona que, el registro más antiguo de vida -los estromatolitos- data de entre hace 3,800 y 3,500 millones de años (UNAM,2020). Esta hipótesis podría explicar por qué distintas especies pertenecientes a distintos reinos y contextos diferentes poseen estrategias similares o idénticas, a esto se le conoce como patrón profundo.

Ya que las especies encontradas son diversas, los patrones profundos son una herramienta valiosa, pues permiten hacer uso de los detalles que caracterizan la singularidad operativa de cada especie que los posee.

Los patrones profundos fueron hallados al momento de abstraer repetidas veces distintos principios de diseño dentro de funciones específicas. Inclusive en funciones distintas se encontraron patrones comunes al comparar el funcionamiento de las especies, entre el que destaca el empleo de dos elementos opuestos y complementarios dentro de un mismo organismo, a lo que se le nombro como "principio de dualidad".

Algunos ejemplos de lo anterior son: la combinación de materiales hidrofílicos con materiales hidrofóbicos (funcionan en conjunto gracias a sus propiedades opuestas). El movimiento por bombeo de agua de los cefalópodos, que hace uso de

músculos con fibras opuestas en forma y disposición, el primer grupo es de fibras lineales acomodadas bajo una disposición radial, el segundo de fibras circulares acomodadas bajo una disposición lineal, al momento de contraerse un grupo, se relaja el otro y viceversa.

Indiscutiblemente esto es un hallazgo relevante que puede aplicarse al diseño final, en tanto a su funcionamiento se refiere.

Otros de los patrones profundos encontrados durante el análisis de la información, fueron:

¿Cómo cambia su estado físico la naturaleza?

Por medio de pliegues de materiales blandos pero resistentes, extendidos por estructuras móviles y (semi)rígidas.

Con uso de materiales elásticos que mantienen su integridad física gracias a una tensión externa a la que se someten.

¿Cómo contiene los líquidos la naturaleza?

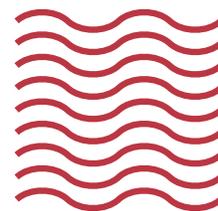
Aumentando la densidad del líquido, protegiéndolo por medio de paredes celulares con microfibras de varias capas y con orientaciones desfasadas.

¿Cómo redirecciona fluidos la naturaleza?

Usando la gravedad a su favor.

Combinando geometrías cóncavas y convexas.

Combinando la hidrofobia con la hidrofilia.



4.7 Taller WDO: "DISEÑANDO LOS FUTUROS DEL AGUA EN LA CDMX"

En el marco de la "Design Week" y "World Design Capital México City 2018"-organizado por la "World Design Organization" (WDO), dentro de la universidad CENTRO, en la segunda semana de Octubre de dicho año, se realizó un evento enfocado al futuro de la Ciudad de México y el agua. Fueron una serie de conferencias y talleres cuya finalidad era compartir y proponer ideas sobre el cuidado del agua, su aplicación, obtención actual y futura.

Durante este evento, nuevos términos e implicaciones se pusieron sobre la mesa de diseño. Esto sucedió en las últimas etapas de refinamiento e iteración, sin embargo se menciona antes de dar paso a la elección y evolución del concepto final para dar sentido a la documentación.

En lo que respecta al taller, se incorporó a la investigación el pensamiento estratégico del "diseño de futuros" al igual que nuevas terminologías y conceptos teóricos. A continuación se enlistan algunos de ellos.

-Reconocimiento de patrones y tendencias sociales.

-Reconocimiento de "señales": comportamientos, acciones o eventos aislados que modifican en menor o mayor medida una tendencia pero

Fig. 36: Esquema cartesiano donde se clasificaron los análogos y homólogos según su tamaño y nivel de realidad. Se muestran conclusiones específicas dentro del esquema.

Fig. 37-48: Imágenes de referencia sobre cada análogo y homólogo estudiado. Propiedad intelectual a quien corresponda.

Fig.49: Fotografía capturada en la ejecución del taller

Fig.50: Herramienta para el diseño prospectivo. Derechos intelectuales de Universidad CENTRO

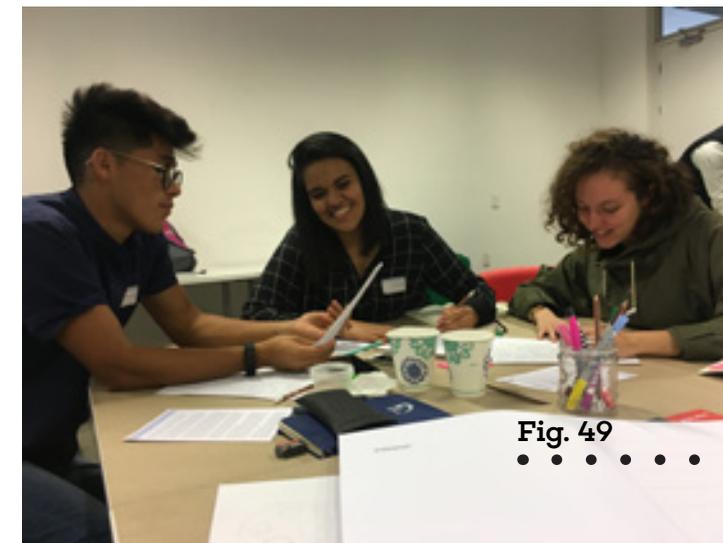


Fig. 49

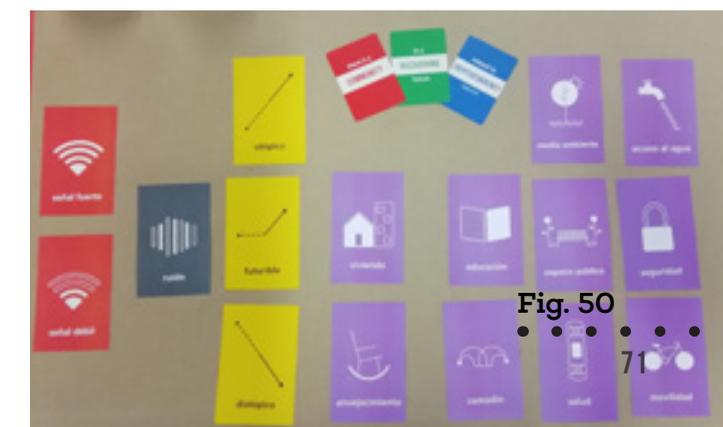


Fig. 50

sin repercusión directa en ella.
-Identificación del tipo de futuro a prospectar:

Utópico- futuro benigno sin sustentos claros dentro del marco del mundo actual.

Futurible- futuro que modifica tendencias reconocidas con anterioridad pero que su sustento depende totalmente del mundo actual.

Distópico- futuro maligno sin sustentos claros dentro del marco del mundo actual.

Uso de la premisa: "El futuro es social":

Sea cual sea el tipo de futuro a prospectar lo más importante es el considerar el comportamiento de la sociedad, no es posible diseñar un futuro si los objetos insertados en ese marco se deslindan por completo de posibles comportamientos sociales, pues estos se encontraran sujetos a las particularidades del futuro

prospectado.

Por el lado de las conferencias, se obtuvieron hallazgos sobre el comportamiento social dentro de la urbe de la ZMVM dirigido hacia el aprovechamiento, recolección y recuperación de infraestructura natural de recursos hídricos.

4.8 Primeras APROXIMACIONES



Dentro de la documentación, la exploración de análogos y homólogos se da después de la primera sesión de biobrainstorming, lo cierto es que tanto las tres iteraciones de biobrainstorming como el análisis de análogos y homólogos se llevaron a cabo simultáneamente. Esto implica que algunos bocetos de propuestas presentadas a continuación no comprenden dentro de su ideación la totalidad de los *insights* y aportes encontrados en el análisis de proyectos existentes.

El conocimiento recopilado a lo largo del proceso es acumulativo y sistémico pues el proceso de diseño es por definición flexible y adaptable a cambios y descubrimientos, retroalimentativo y sumatorio. Así pues, la presentación de información no responde a un seguimiento cronológico de los hechos sino a un ordenamiento de los pasos con fines documentarios. No es sino hasta el desarrollo a detalle de la propuesta que todos los descubrimientos mencionados en capítulos anteriores influyen de manera activa en la creación del diseño.

Para poder elegir el concepto a desarrollar se seleccionaron algunas propuestas de las tres etapas de ideación que existieron. Únicamente 12 – las más representativas– se calificaron con los principios de vida, pasando a la siguiente sub-evaluación solo aquellas dos que respondían con cinco o más principios de vida, pues esto aseguraría la sustentabilidad y adecuación a las condiciones operantes de factores bióticos y abióticos.

Dentro de las figuras 50 y 51 se muestra un esbozo general de las propuestas generadas en las etapas de ideación. En rojo se encuentran englobadas aquellas que dieron partida al nacimiento del concepto a desarrollar. Como ya ha sido mencionado, el concepto se encuentra inmerso en un campo muy explorado, la recolección de agua en estado líquido y gaseoso, por lo que encontrar estudios relacionados con el tema como fundamentación técnica y científica no suponía un contratiempo. Por otro lado el concepto seleccionado no guarda una gran similitud con los homólogos y análogos, ni se asocia con iconografías típicas de recaudadores pluviales, de esta forma se aseguró la creación de un objeto con fundamentación vasta pero con una implementación novedosa.

Se explica a detalle la idea elegida, así como su evolución en el capítulo siguiente.



Fig. 51: Fichas con los símbolos de los principios de vida, estos fueron de ayuda para la evaluación mencionada en el presente capítulo

Fig. 52 y 53: Bocetos personales realizados en la etapa de ideación y generación de propuestas.

Fig. 51

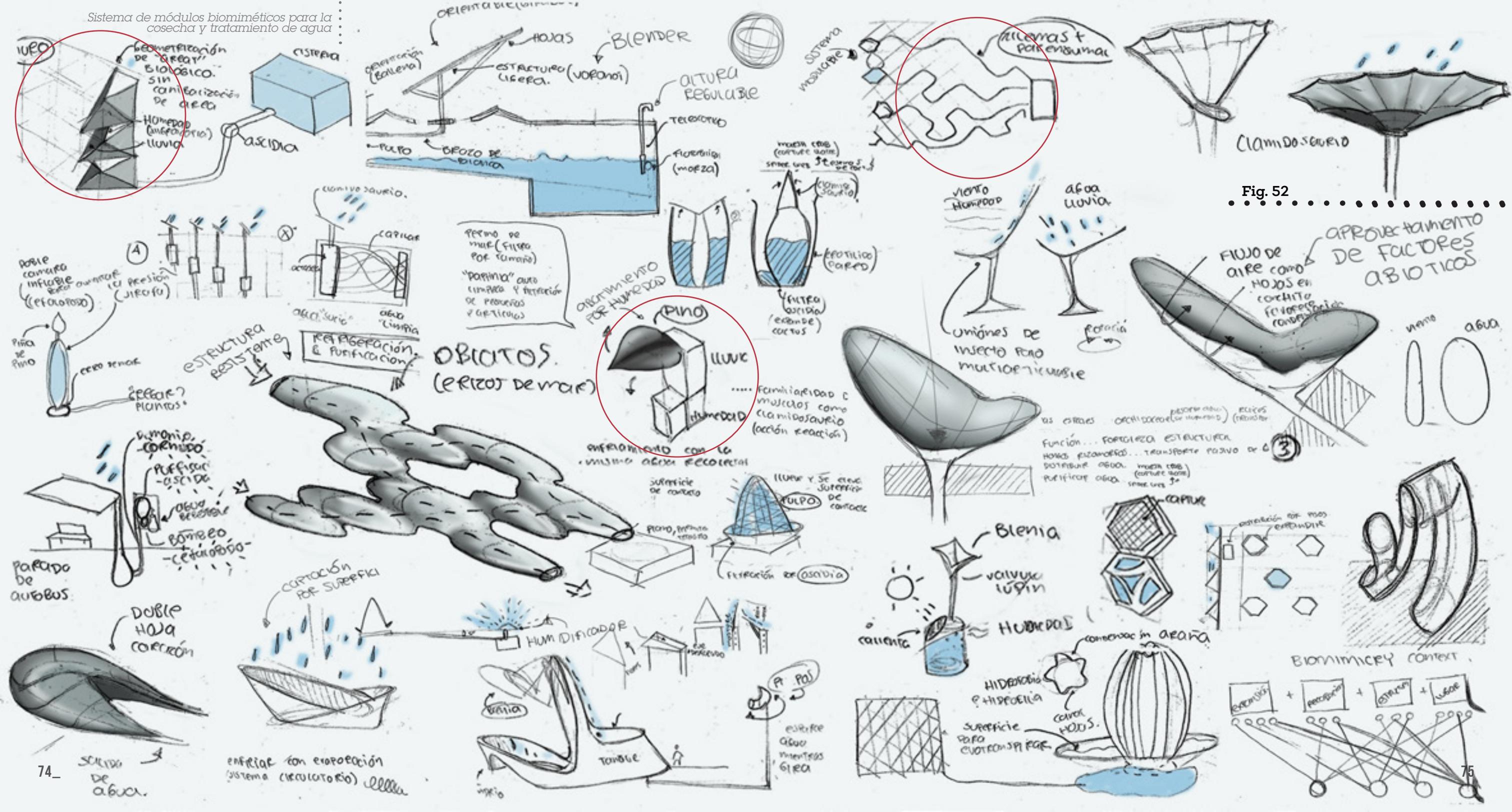


Fig. 52

LA PARTE IMPORTANTE ES
REORDENAR LAS PIEZAS
EN TU MENTE...

...Y CREAR CONEXIONES
QUE NO HABÍAN SUCEDIDO PREVIAMENTE
- *Dayna Baumeister*

5 Desarrollo DEL CONCEPTO



Como resultado de todos los procesos iterativos, del pensamiento colectivo, la exploración de modelos naturales y organismos biológicos, la participación en talleres, los grupos de estudio, exposiciones, ponencias, consultas con especialistas, investigaciones de campo, asesorías, etcétera, se propone como concepto final:

Sistema de módulos biomiméticos para la cosecha y tratamiento de agua sobre superficies verticales dentro en la ZMVM

Como introducción al tema, en los siguientes párrafos se expone la idea de manera general abriendo pauta a inquietudes sobre la operatividad del mismo e interés sobre las peculiaridades que le permiten funcionar.

El concepto es un sistema-objeto-producto a modo de doble fachada, que usa a su favor una de las cualidades arquitectónicas más evidentes de las grandes urbes, la verticalización de la vivienda- El diseño consta de módulos tipo panel hexagonal, que responden a estímulos abióticos externos (humedad, lluvia, viento, calor), ayudándose de ellos para purificar, capturar, distribuir, almacenar y filtrar el agua cosechada según la fase en la que el objeto se encuentre. Estos módulos pueden ser empotrados sobre fachadas de rascacielos, edificios o casas habitación.

Los módulos sufren variación de peso y forma ocasionados por las condicionantes climáticas a las que responden. Estos colectan el agua de lluvia al abrir compuertas en su carátula principal, diseñadas para no canibalizar y/o comprometer el funcionamiento de los demás módulos que se interconectan entre sí. A diferencia de los sistemas de cosecha convencionales, la superficie de colecta de agua se encuentra guardada la mayor parte del tiempo, abriéndose sin uso alguno de energía eléctrica o de otro tipo. Esto favorece

la calidad del líquido pues el recurso no se ve afectado por el polvo o suciedad acumulada en la superficie de captación.

Este objeto también es capaz de coleccionar agua de la humedad, condensándola sobre la superficie de su cuerpo principal al tomar ventaja de los materiales seleccionados, su textura, color y propiedades de las superficies. La condensación se logra gracias a un intercambio de temperatura en las horas matutinas de la temporada no lluviosa el cual forma gotas que se coleccionan por finas aperturas en la pared del sistema.

El agua coleccionada se hace pasar por un filtro inicial que elimina grandes partículas como hojas o piedras que la pudieran contaminar, a continuación se separan las primeras lluvias en un contenedor interno, al ser estas las que presentan una mayor cantidad de contaminantes ambientales, posteriormente se purifica el agua sin sustancias añadidas sino por un intercambio de cargas eléctricas entre las bacterias y los materiales con los que se encuentra fabricado, esto elimina patógenos al evitar su reproducción y alimentación. Finalmente el fluido pasa por un proceso de evapotranspiración interna que fomenta aún más la purificación del líquido.

Cada módulo tiene la capacidad de comunicarse con los módulos vecinos que componen el sistema. Al momento de ser instalado uno al lado de otro, válvulas auto-accionables permiten el flujo de líquido haciendo uso de la gravedad.

Para poder sujetar el producto a la fachada de las edificaciones, se hace uso de uniones individuales que permiten flexibilidad en la composición de su montaje siempre y cuando

se cumplan con ciertas restricciones.

Una vez que el agua es coleccionada –ya sea por pluvialidad o por humedad– filtrada y purificada, esta se dirige a una cisterna donde será conservada para su uso posterior. El funcionamiento y operatividad de la cisterna es externo al concepto diseñado pero se reconoce a esta como parte del sistema por lo que se integra dentro de su mantenimiento. El mantenimiento de los módulos se hace simultánea y dependientemente al mantenimiento de la cisterna

Todo lo anterior se encuentra inserto en un servicio que cubre la experiencia del usuario que busque adquirirlo. Este servicio ayuda a evaluar la factibilidad de uso según la locación donde se planea montar y ofrece el mantenimiento del sistema “módulos-cisterna” al igual que su instalación.

5.1 Captadores VERTICALES



Durante el taller de biobrainstorming se propusieron algunas ideas similares al concepto final. Según la investigación de análogos y homólogos, pocos objetos y/o injerencias arquitectónicas guardaban gran semejanza con ella, lo que parecía indicar que su grado de innovación era adecuado. Se indagó más al respecto y se encontró un estudio que validaba completamente la factibilidad de cosechar agua en superficies verticales, empezando por la premisa de que el viento -agente abiótico omnipresente- juega un papel importante en la dirección

en la que las gotas de lluvia caen. Este fenómeno, conocido como lluvia conducida por el viento o WDR por sus siglas en inglés (*Wind-Driven Rain*) es el que da soporte a la factibilidad operativa del presente concepto. (De Rycke, 2017 pp.603-612)

Este estudio fue realizado por estudiantes de la maestría dual de diseño y computación: “*Architecture and Computer Science*” de la Universidad de Carolina del Norte en Charlotte. Dentro del mismo estudio se desarrolló una plataforma digital con la capacidad de evaluar la cosecha de agua sobre fachadas, usando como referencia la masa y orientación de los edificios. Dicha investigación responde al nombre de Kak-tos y fue desarrollada por Christopher Beorkrem y Ashley Damiano, publicada dentro del libro “*Humanizing Digital Reality*”. (De Rycke, 2017 pp.603-612)

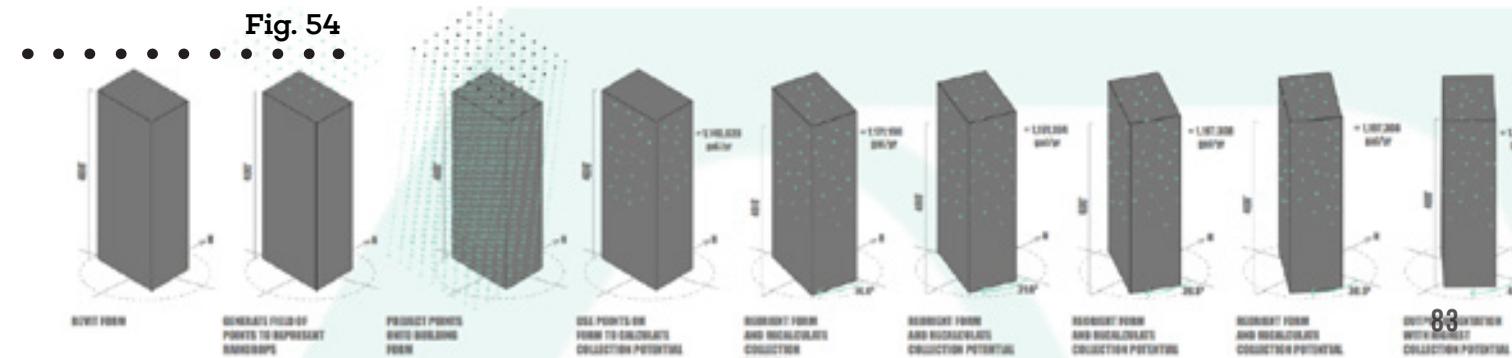
Dentro de los insights que enriquecen a este proyecto se encuentra el saber que la factibilidad de esta estrategia de cosecha pluvial responde a la relación de la superficie vertical de los edificios con su superficie horizontal, es decir, mientras la dimensión de sus techados sea más estrecha con respecto a su altura, mayor será el incremento de cosecha de lluvia sobre fachadas respecto al posible sobre techados (Beorkrem, 2017).

No obstante, la orientación del edificio, así como la velocidad y dirección del viento también comprometen el éxito de la estrategia. Según sus estudios, estos dos factores pueden favorecer la cosecha de agua en fachadas respecto a la cosecha de agua en techados llegando a tener un incremento de hasta 276% (Beorkrem, 2017 Fig.1).

El proyecto Kak-tos ofrece una herramienta computacional basada en Revit para arquitectos proyectistas que pretendan incorporar sistemas de cosecha en nuevos edificios. Para aquellos edificios que ya han sido construidos, el presente documento ofrece una alternativa posible de adecuarse en construcciones existentes buscando ser más amigables con el ciclo hídrico y respetuosos con el mismo.

Fig. 54: Prueba de orientación de masas. Figura extraída del abstract sobre el proyecto Kak-tos. Todos los créditos -para Ashley Damiano y Christopher Beorkrem, autores de la misma

Fig. 55: Diagrama sobre la evolución del concepto.



5.2 Iteraciones: EVOLUCIÓN DEL PROCESO

A la derecha se observa un diagrama (Fig.55) que permite visualizar las 10 iteraciones realizadas de inicio a fin. En este diagrama se encuentra una iconografía de cada uno de los conceptos categorizados en tres etapas: exploración, maduración y desarrollo técnico.

En las siguientes páginas se esboza de manera general cada una de las evoluciones que el concepto sufrió junto con algunas imágenes de referencia¹⁵ que ayudan a visualizar la modificación del objeto-sistema-producto. Dentro de la descripción de cada iteración se responden preguntas consideradas como clave para comprender el proceso de diseño, estas son:

- ¿Qué se buscó en la iteración?
- ¿Cuál fue el proceso de diseño?
- ¿Cuáles especies se emularon?
- ¿De qué manera se llevó a cabo?
- ¿Qué hallazgos arrojó la iteración?

¹⁵Cabe mencionar que dichas imágenes no son ni las más representativas ni de las que se obtuvieron mayores descubrimientos, sino aquellas que hilan de manera más coherente la evolución del proceso.

Fig. 56: Bocetos generales realizados en la etapa de aterrizaje de la propuesta. Ya que durante este periodo se maduró la propuesta, el uso de bocetos fue en decremento mientras que el empleo de software y maquetas en aumento.

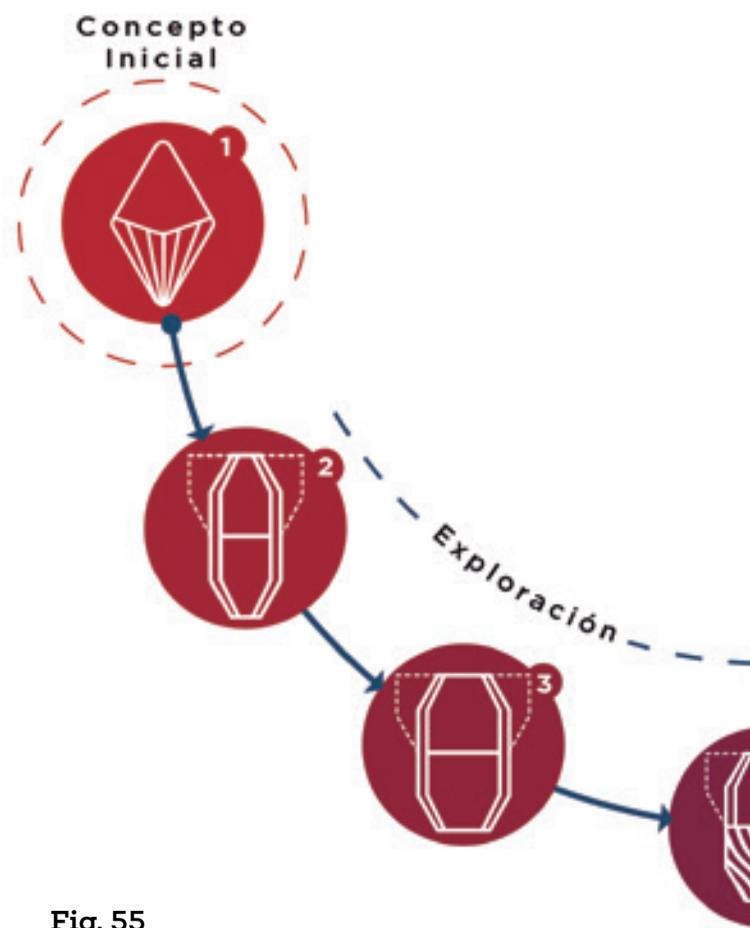


Fig. 55

1.- Planteamiento: Surgimiento inicial del concepto.

2.- Aterrizaje: Dimensionamiento y materialidad del objeto. Búsqueda de empatar forma con función.

3.- Redimensión: Estimación de captación de agua, reajuste de medidas.

4.- Accionamiento: Exploración de aplicaciones tecnológicas para la activación de la fase principal del sistema.

5.- Simplificación: Reincorporación de factores abióticos como los principales agentes que interactúan con el objeto y cambio de morfología.



6.-Productividad: Descomposición de funciones en piezas industrializables

7.-Consolidación: Generación del *journey** del objeto dentro de cada fase operativa.

8.-Optimización: Redefinición de dimensiones y carácter estético.

9.-Nuevos materiales: Inclusión de nuevos materiales para la mejora del producto y disminución de piezas.

10.-Concepto final: Corrección del sistema de apertura, afinación técnico-estética y operativa. Sumatoria de conocimiento generado y adquirido.

*En este caso Journey hace referencia a las actividades que realizara un usuario en relación a un evento particular. Este funciona para mapear las acciones específicas con miras a comprender las asociaciones socio cognitivas, puntos de mejora y aciertos en dicho recorrido. Es un término ampliamente usado en el campo del Service Design.

Sistema de módulos biomiméticos para la cosecha y tratamiento de agua

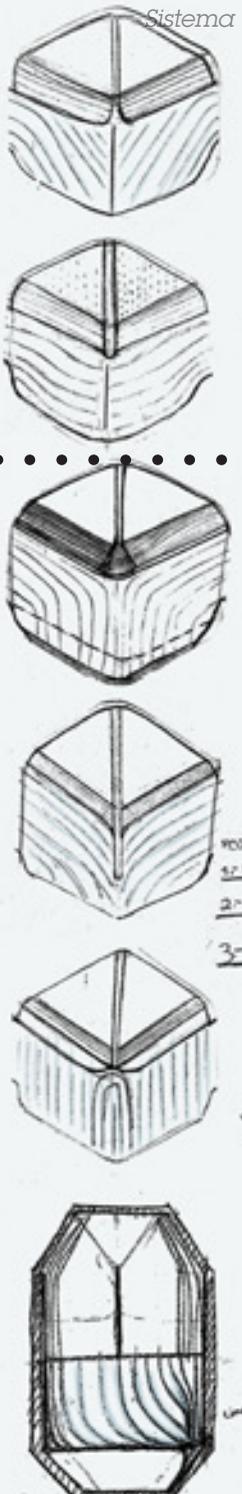
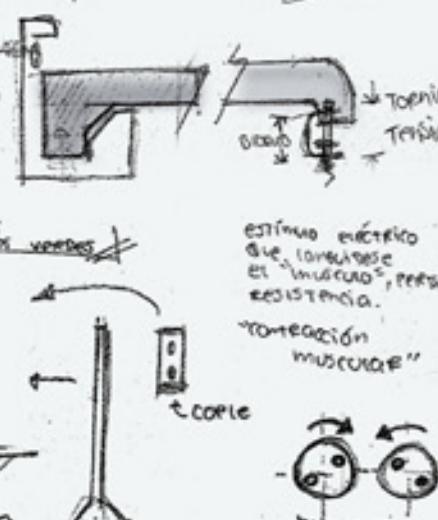
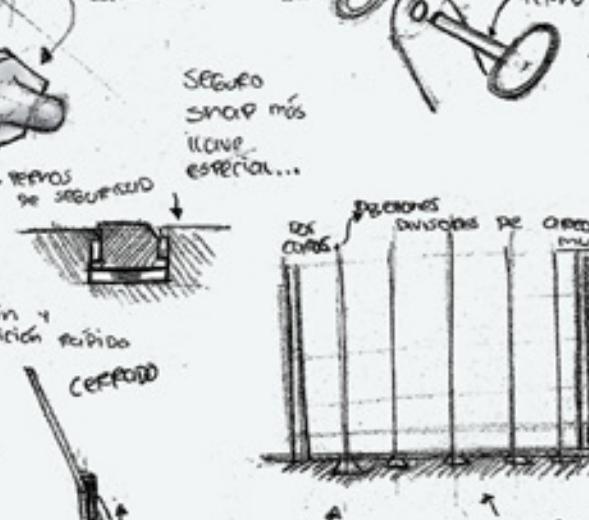
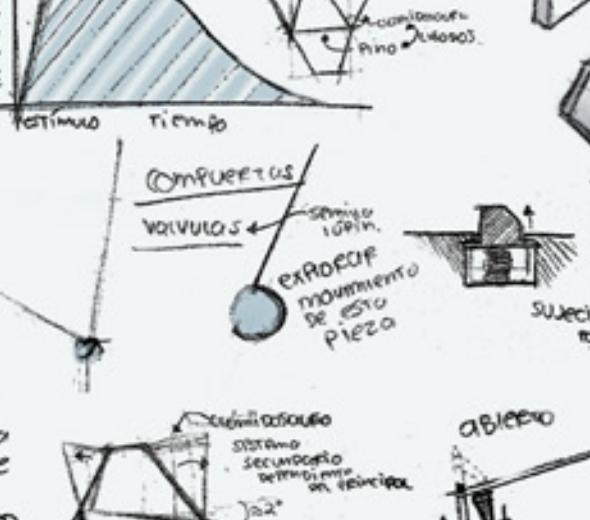
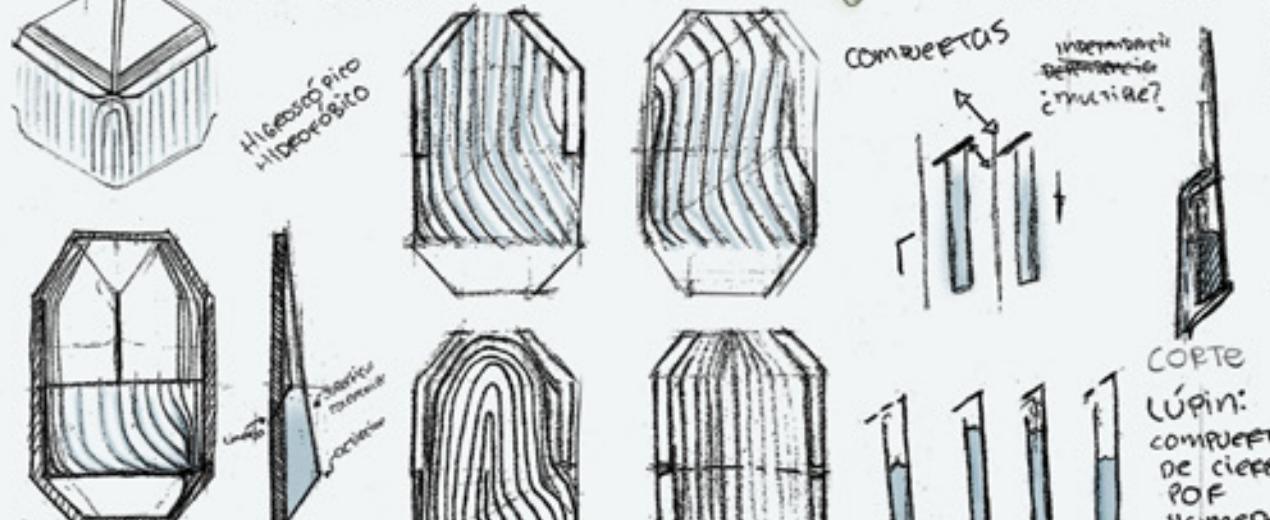
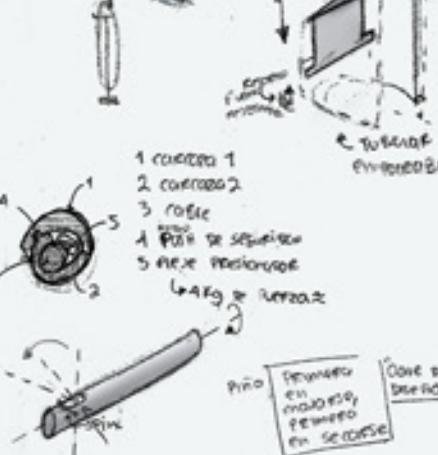
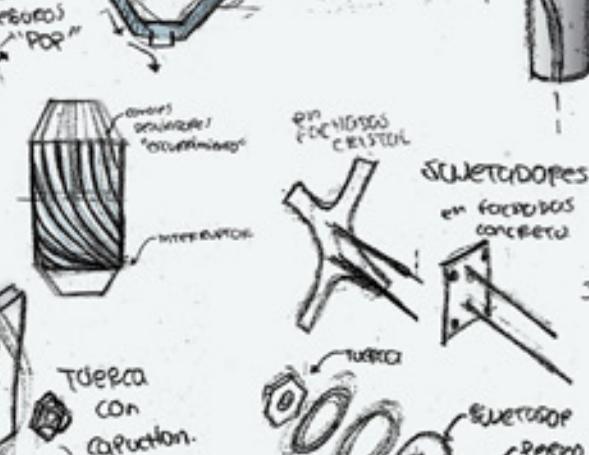
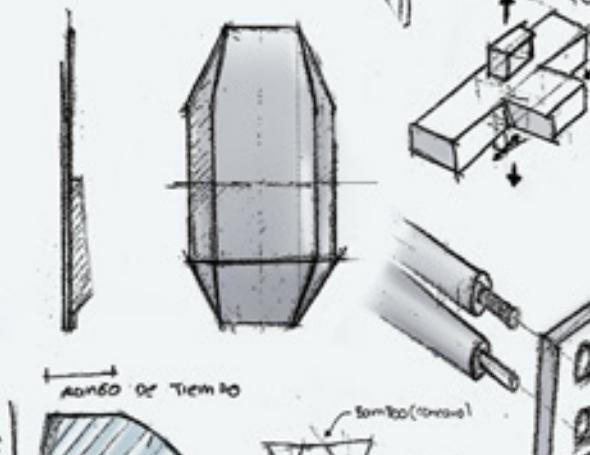
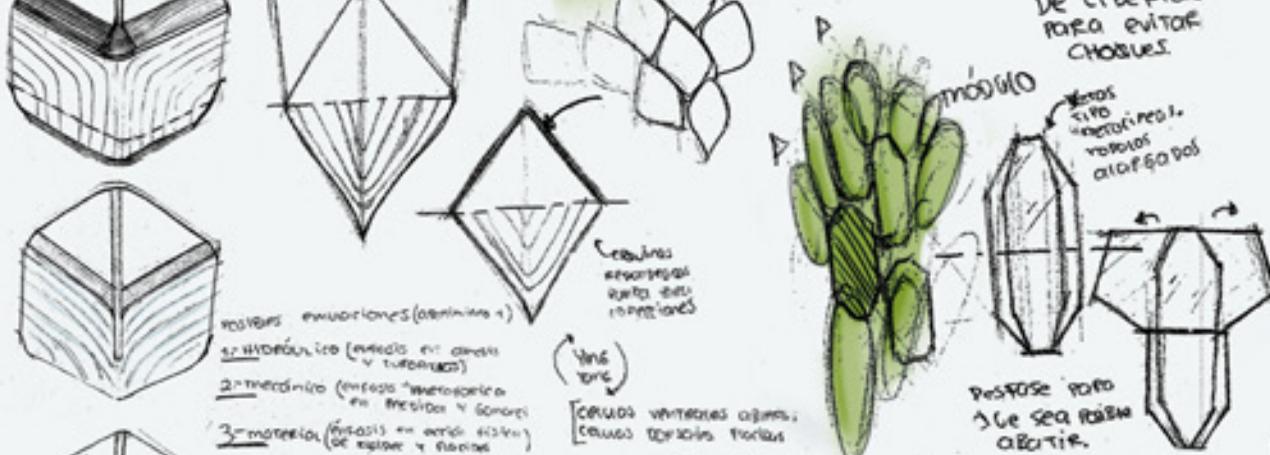
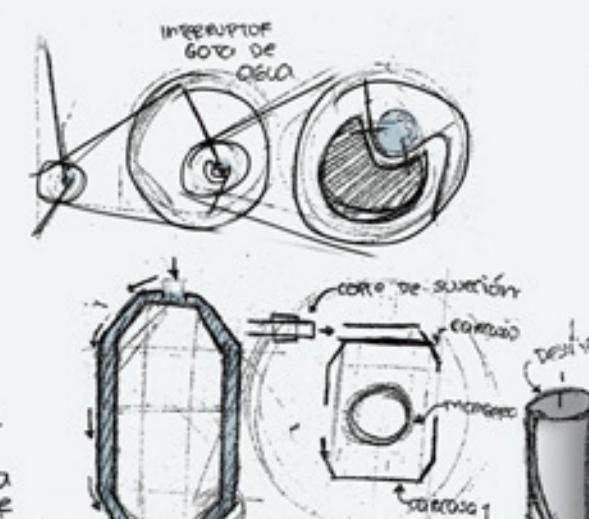
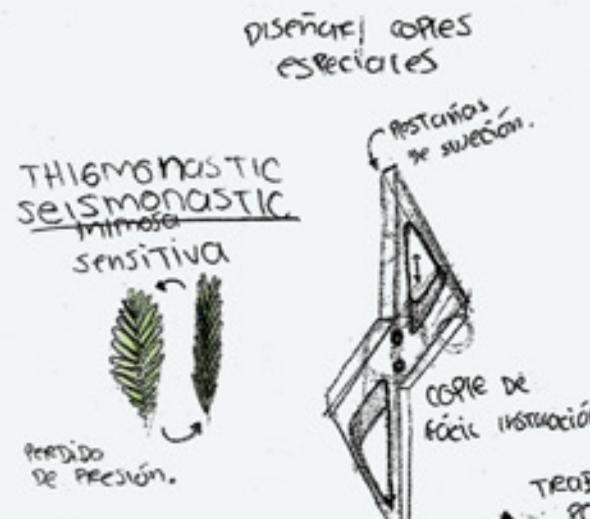
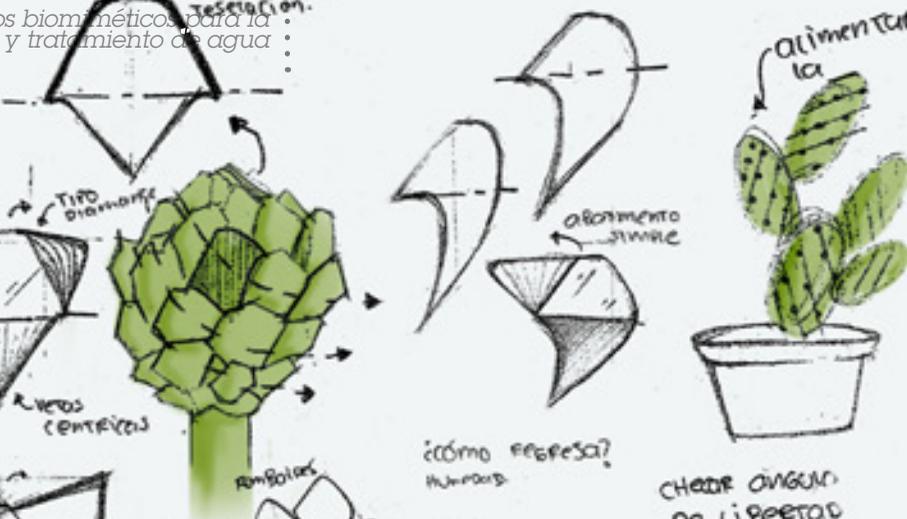


Fig. 56





Primera iteración: Planteamiento

¿Qué se buscó en la iteración?

- ~Encontrar métodos de empotramiento para dobles fachadas.
- ~Tuberías para bajadas de agua, conectores y coples existentes en el mercado.

- ~Materiales absorbentes y materiales translucidos.
- ~Recubrimientos y materiales con propiedades hidrofílicas e hidrofóbicas.

¿Cuál es el motivo principal de la iteración?

- ~Abstractar estrategias biológicas. Emular principios de diseño.
- ~Investigación de campo. Investigación de sistemas existentes.
- ~Bocetaje y modelado virtual.

¿Cuáles especies se emularon?

Piña de pino / Cactáceas / Escarabajo de Namibia / Lupín / Hojas corazón.

¿De qué manera se llevó a cabo?

Usando como referencia las teselaciones de Penrose, se creó una silueta esquemática que contemplaba de manera muy superficial los atributos funcionales de las especies a emular, se pensó a manera de esbozo como comunicar a forma de sistema todos los módulos entre sí. Se buscaron métodos industriales para empotrar cristalería y dobles fachadas y análogos operativos del concepto. Maquetas de trabajo 3d.

¿Qué hallazgos arrojó la iteración?

- ~La terminación en punta impide una distribución homogénea del fluido y exige varias piezas especiales como coples y conectores.
- ~Se pretendía emular el tejido parenquimal de las cactáceas, conservando el líquido dentro del objeto al espesarlo y darle estabilidad, sin embargo hay pocos materiales existentes o procesos de producción para su creación. Sin sustento teórico.
- ~Las teselaciones matemáticas de Penrose son conflictivas para el propósito del objeto.

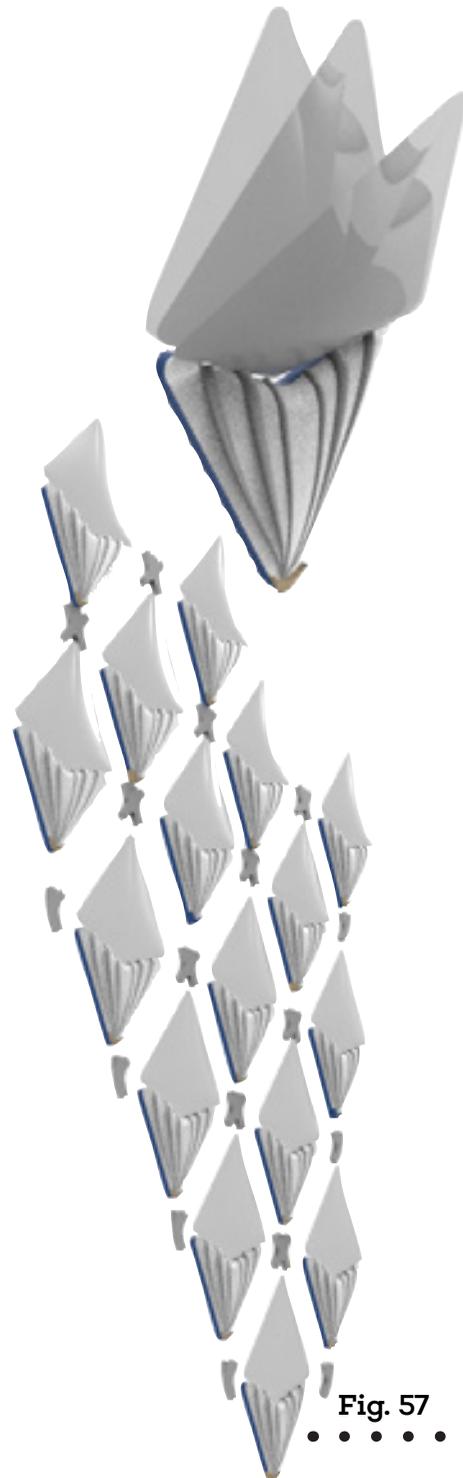


Fig. 57

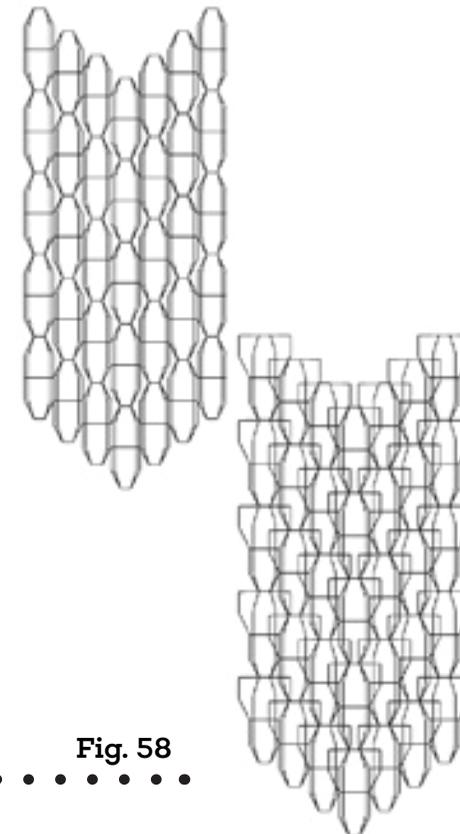


Fig. 58

Segunda iteración: Aterrizaje

¿Qué se buscó en la iteración?

- ~Piezas comerciales para empotramiento y/o sujeción.
- ~Lonas o textiles impermeables.
- ~Sistemas abisagrados.
- ~Materiales flexibles.

¿Cuál es el motivo principal de la iteración?

- ~Identificar nuevas funciones biológicas.
- ~Abstractar estrategias biológicas y emular sus principios de diseño.
- ~Búsqueda de análogos funcionales (objetos contenedores de agua)

¿Cuáles especies se emularon?

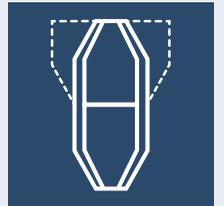
Piña de pino / Cactáceas / Escarabajo de Namibia / Lupín / Hojas corazón / Asphodelus Albus

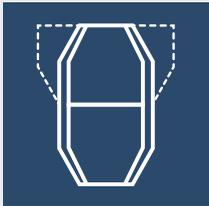
¿De qué manera se llevó a cabo?

- ~Se exploraron siluetas que crearan teselaciones que aprovechen toda el área en la que se colocan por medio de styleboards sobre patrones geométricos en animales y flores.
- ~Se bocetaron y trazaron varios patrones por computadora para explorar la coherencia geométrica -como modulo y como sistema- de las líneas y siluetas del concepto.
- ~Se crearon pequeños modelos de cartón para visualizar e inferir cuales eran los errores operativos que esta etapa temprana de diseño tenía.

¿Qué hallazgos arrojó la iteración?

- ~Esta iteración tenía tres ejes de abatimientos dependientes pero distintos usados para expandir el área de recaudación pluvial. Esto se volvía complejo y exigía tolerancias mínimas pues la superficie debía evitar fugas del líquido.
- ~Su forma era demasiado alargada por lo que se necesitaba un gran número de módulos para un área relativamente pequeña.
- ~La envolvente del objeto debía tener varios juegos de planos inclinados para usar los factores abióticos a su favor.





Tercera iteración: Redimensión

¿Qué se buscó en la iteración?

~Calculadoras de volumen de recolección pluvial y/o fórmulas para hacerlo manualmente.

~Historiales de pluvialidad en áreas

aleatorias de la ZMVM.

~Búsqueda de criterios para el uso de agua de lluvia, niveles de pureza, litros por persona por día.

¿Cuál es el motivo principal de la iteración?

~Integrar principios de vida, definir contexto.

~Investigación sobre uniones semipermanentes, sistemas de bisagras y fenómenos abióticos que propician precipitación.

¿Cuáles especies se emularon?

Piña de pino / Cactáceas / Escarabajo de Namibia /Lupín / Clamidosaurio de King / Asphodelus Albus

¿De qué manera se llevó a cabo?

~Trazos 1:1 para dimensionar el objeto y cotejar que las medidas propuestas fueran factibles, tanto para su maniobrabilidad como para su función en sí.

~Se hicieron esquemas tridimensionales para visualizar la forma de las piezas con las que se debería contar así como el área muerta/útil.

~Bocetaje y modelado virtual.

¿Qué hallazgos arrojó la iteración?

~Se necesitaba optimizar el área de recolección de agua pues no parecía ser suficiente.

~Habían problemas sobre la activación del sistema ya que tenía mucha palanca el área, esto suponía mucha fuerza en la bisagra, se dudaba sobre su durabilidad y se evidenciaban fallas en los sistemas abisagrados propuestos.

~El método de empotramiento propuesto hasta ese entonces exigía mucha fortaleza estructural en ciertas áreas además de que entorpecía la distribución del fluido.

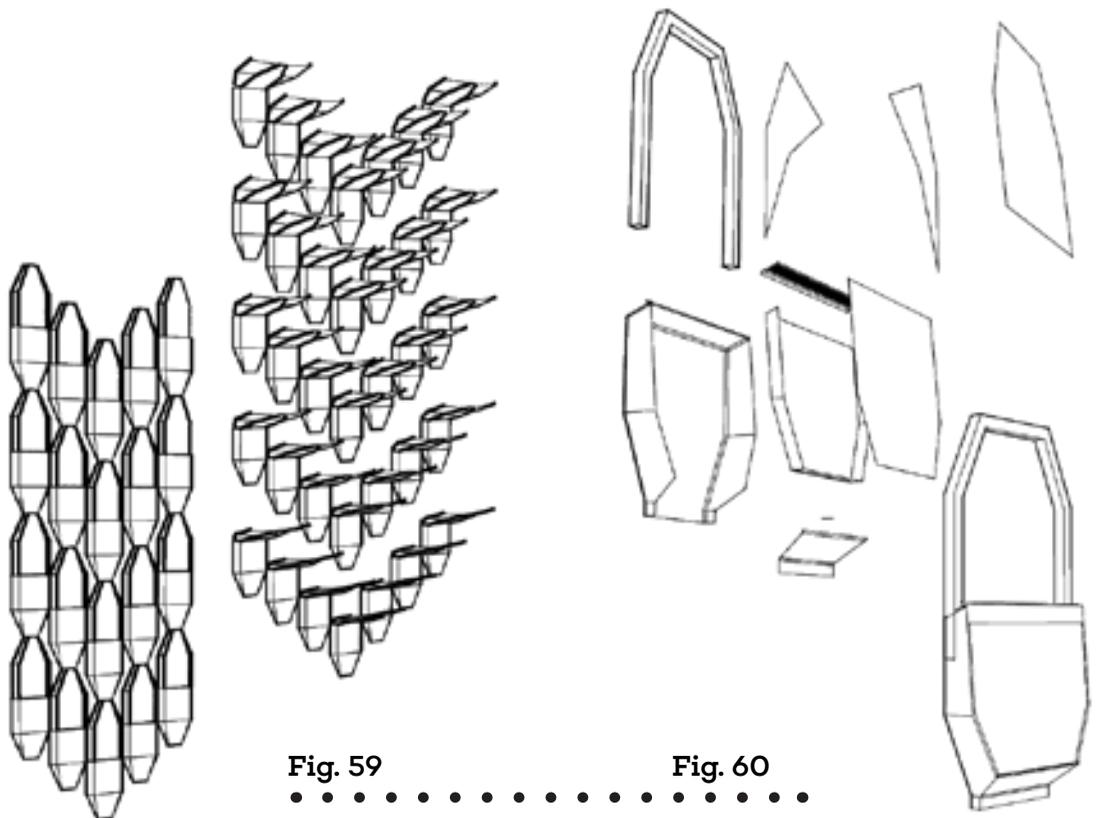


Fig. 59

Fig. 60

Cuarta iteración: Accionamiento

¿Qué se buscó en la iteración?

~Optimización de superficies.

~Integración de recursos tecnológicos.

~Modificación de respuesta de apertura para superficie captadora.

~Ósmosis artificial.

¿Cuál es el motivo principal de la iteración?

~Replanteamiento del sistema de apertura

~Identificar nuevas funciones biológicas y abstraer sus estrategias.

~Emular principios de diseño y medirlos con los principios de vida.

¿Cuáles especies se emularon?

Reino Plantae / Escarabajo de Namibia / Lupín / Asphodelus Albus / Clamidosaurio de King / Mimosa Púdica.

¿De qué manera se llevó a cabo?

~Buscando resolver la apertura del área de recolección de agua se dio un giro al producto agregando más fichas de modelos naturales y nuevos términos biológicos.

~Se investigó sobre nastias¹⁶ (con particular interés en las sismonastias) y su aplicación dentro de la investigación.

~Se realizó un despiece del objeto y se hicieron modelos rápidos relativos a la función del objeto.

~Investigación sobre circuitos de bajo requerimiento energético, transmisores de información y métodos de activación de circuitos por medio de NFC.

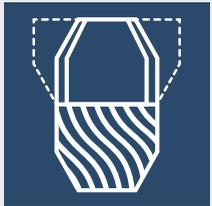
~Bocetaje, modelado 3d, visualización 1:1

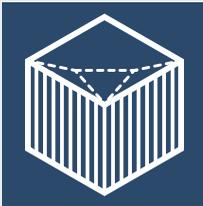
¿Qué hallazgos arrojó la iteración?

~La integración de estímulos eléctricos y rotomotores facilitarían el sistema de apertura pero lo volverían dependiente a circuitos y requeriría mayor cantidad de mantenimiento, esto sin mencionar el aumento del costo final del producto.

~ Una sutil textura en el cuerpo puede favorecer la maximización de superficie sin la necesidad de hacer un objeto más grande.

~ Había canibalización de superficie, esto es, los módulos superiores entorpecían el funcionamiento de los inferiores.





Quinta iteración: Simplificación

¿Qué se buscó en la iteración?

- ~ Contemplar la dirección de la lluvia.
- ~ Evitar la canibalización de captura de agua.
- ~ Simplificar la apertura de la superficie captadora y favorecer la comunicación entre módulos.

~ Favorecer la evapotranspiración e incorporar membranas de filtración.

¿Cuál es el motivo principal de la iteración?

- ~ Abstractar estrategias biológicas y emular principios de diseño.
- ~ Investigación de campo.
- ~ Optimización de la superficie de colecta.

¿Cuáles especies se emularon?

Reino Plantae / Escarabajo de Namibia / Lupín / Abeja común / Clamidosaurio de King / Piña de Pino / Uloborus Walkenarius.

¿De qué manera se llevó a cabo?

- ~ Se buscaron sustentos científicos que fundamentaran de manera más concisa la disposición de los módulos (vertical).
- ~ Con ayuda de modelos físicos y tridimensionales se afinaron detalles de función y se encontraron errores operativos.
- ~ Vistazo a tendencias arquitectónicas y búsqueda de posibles compradores.
- ~ Bocetaje, modelos de trabajo escala 1:1, modelado virtual, renderizado.

¿Qué hallazgos arrojó la iteración?

- ~ La forma hexagonal favorecía el uso del espacio y el anclaje de los módulos a su sistema de empotramiento.
- ~ Al generar una apertura en dos direcciones independientes se evitan los problemas de abatimiento.
- ~ La superficie que une a ambas superficies abisagradas brinda fortaleza a la superficie captadora, direcciona el fluido y proporciona un límite de abatimiento.
- ~ El uso de planos inclinados facilita el manejo del líquido pero parece dificultar la producción.
- ~ El modelo de cartón ofrecía una comprensión tridimensional de la propuesta y hacía evidente la complejidad de sus compartimentos internos.

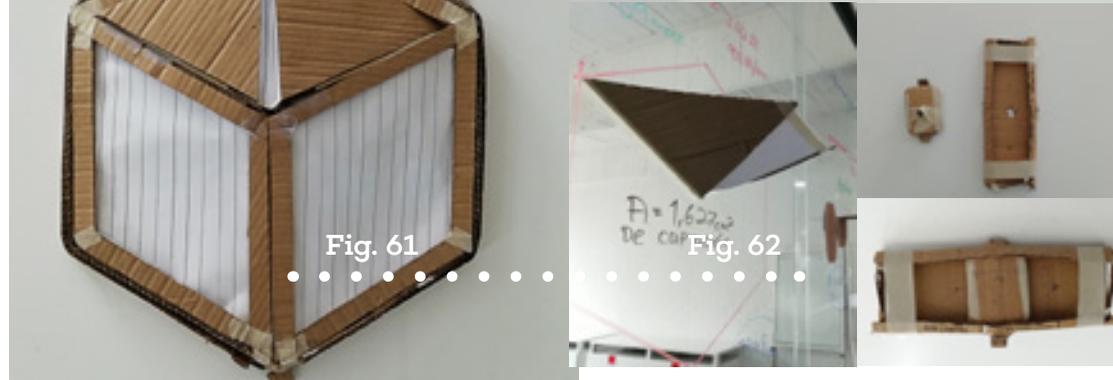
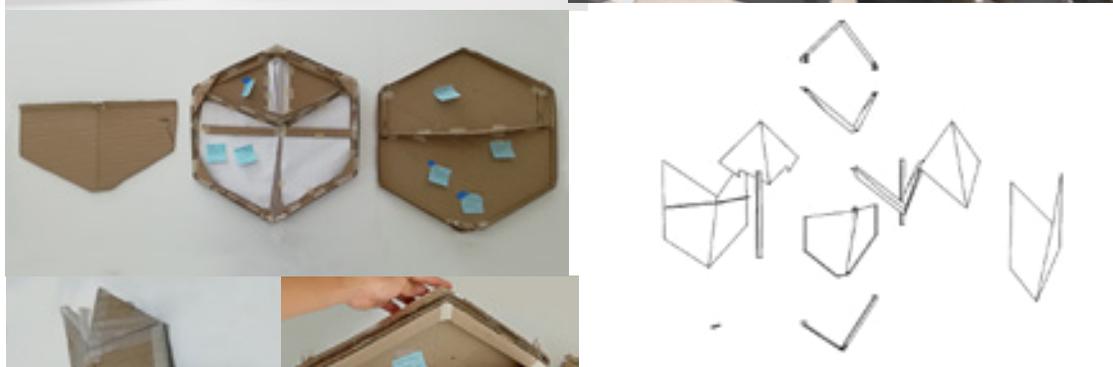
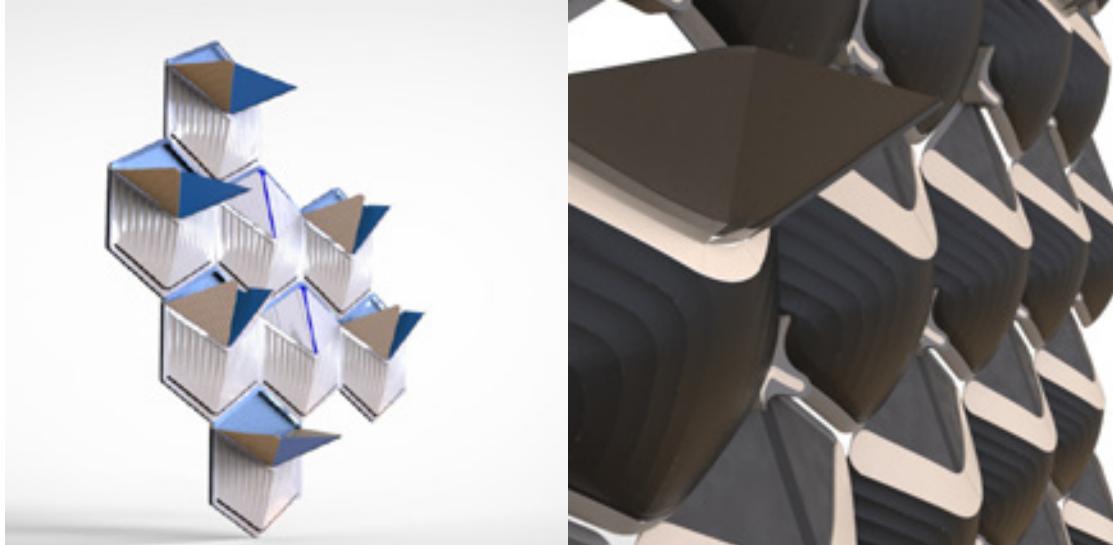


Fig. 61

Fig. 62

Sexta iteración: Productividad

¿Qué se buscó en la iteración?

- ~ Favorecer la evapotranspiración e incorporar membranas de filtración.
- ~ Esquemmatizar todas las piezas que componen el sistema, desde los compartimentos internos, su sujeción a las fachadas, la interacción entre cada módulo y la interacción entre subsistemas.
- ~ Redefinición estética, coherencia formal del objeto.

¿Cuál es el motivo principal de la iteración?

- ~ Abstractar estrategias biológicas y emular principios de diseño.
- ~ Investigación de experimentos científicos sobre la creación de materiales sensibles a la humedad.
- ~ Comprensión de las posibles piezas que componen el sistema.

¿Cuáles especies se emularon?

Reino Plantae / Escarabajo de Namibia / Lupín / Abeja común / Clamidosaurio de king. / Piña de Pino / Uloborus Walkenarius / Tunicados.

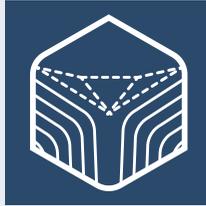
¿De qué manera se llevó a cabo?

- ~ Modelos de papel y cartón a distintas escalas y de distintas piezas.
- ~ Se maquetaron todas las ideas obtenidas hasta ese entonces para crear convergencia entre ellas mismas y afinar detalles funcionales, estéticos y operativos
- ~ Bocetaje, modelos de trabajo escala 1:1, modelado virtual, renderizado.

¿Qué hallazgos arrojó la iteración?

- ~ Los colores oscuros favorecen la absorción de calor y por ende, la purificación del agua acida recolectada.
- ~ Los materiales tradicionales obligan a crear múltiples uniones lo que repercute directamente a mucha mano de trabajo y aumenta la posibilidad de fugas.
- ~ Se encontraron sistemas de empotramiento comerciales que parecen ser eficientes y no interfieren ni funcionalmente ni con la aplicación de la metodología.





Séptima iteración: Consolidación

¿Qué se buscó en la iteración?

- ~Definición final del concepto en lo que respecta a su operación y función.
- ~Acotación de especies a emular.
- ~Exploración más profunda de los sistemas de empotramiento.

¿Cuál es el motivo principal de la iteración?

- ~Consolidar y aclarar cada una de las fases y funciones que el objeto-sistema-servicio debe realizar.

¿Cuáles especies se emularon?

Reino Plantae / Escarabajo de Namibia / Abeja común / Clamidosaurio de King / Piña de Pino / Uloborus Walkenaeus / Tunicados / Amapola.

¿De qué manera se llevó a cabo?

- ~Se profundizó en la investigación de materiales ya que estos eran un punto debil del concepto.
- ~Se valoraron las tolerancias geométricas.
- ~ Se buscaron y encontraron nuevos materiales conductores de calor que permitieron simplificar el número de piezas, disminuyendo la posibilidad de fallos en el sistema.
- ~Se buscó un mayor número de objetos análogos para recabar mayor fundamentación teórica-científica, para evitar la generación de prototipos que comprobaran algunas funciones del objeto.
- ~Bocetaje, modelos de trabajo escala 1:1, modelado virtual, renderizado.

¿Qué hallazgos arroja la iteración?

- ~ El empleo de nuevos materiales favorecen la realización de las tareas del objeto mientras que disminuye el número de uniones y evita la aparición de fugas.
- ~La comunicación entre módulos parece ser simple si se incorporan válvulas que usen la gravedad a su favor y que sean sensibles a la existencia de módulos vecinos.
- ~Los distintos objetos que componen el sistema pueden ser hermanados usando los mismos atributos funcionales, fruto de la evolución de las iteraciones anteriores.

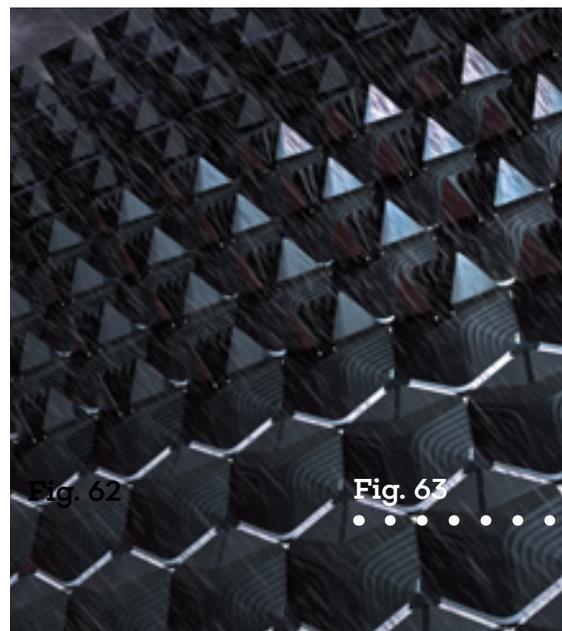
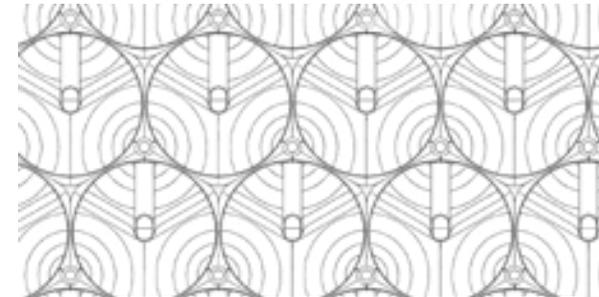
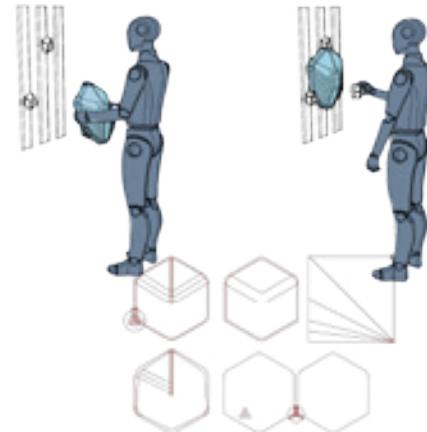


Fig. 62

Fig. 63

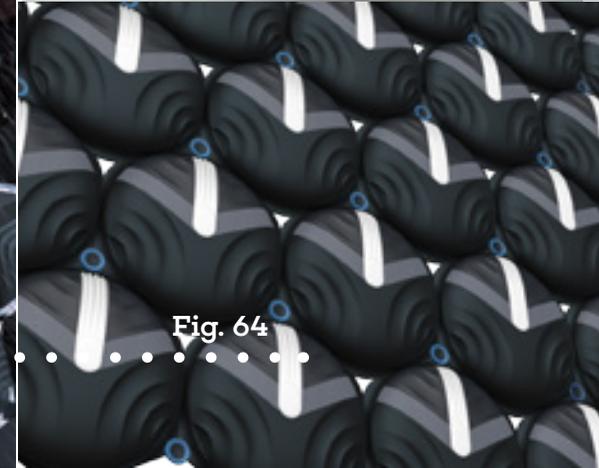


Fig. 64

Octava iteración: Optimización

¿Qué se buscó en la iteración?

- ~Recalcular el equilibrio "Instalación-producción-mantenimiento".
- ~Discutir la funcionalidad del objeto con científicos especializados en la purificación y tratamiento de agua.
- ~Esbozar la estética final del objeto.
- ~Facilitar la instalación del mismo.

¿Cuál fue el proceso de diseño?

- ~Moodboards.
- ~Análisis estético.
- ~Análisis configurativo.
- ~Análisis dimensional.

¿Cuáles especies se emularon?

Reino Plantae / Escarabajo de Namibia / Lupín / Abeja común / Clamidosaurio de king. / Piña de Pino / Uloborus Walkenaeus / Tunicados.

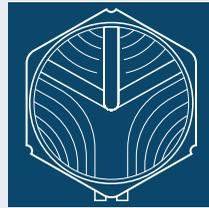
¿De qué manera se llevó a cabo?

- ~Por medio de moodboards arquitectónicos y de productos "actuales".
- ~Se realizó un intercambio académico dentro de la Freie Universität Berlin donde se expuso la factibilidad del objeto en términos de calidad del recurso hídrico, buscando mejorar y retroalimentar la investigación.
- ~ Maquetas explicativas sobre la instalación de objeto.
- ~Bocetaje, modelado virtual, renderizado.

¿Qué hallazgos arroja la iteración?

- ~La dimensión del objeto causaba un mantenimiento, costo de producción e instalación altos. Aumentando su escala los costos, esfuerzo y tiempos requeridos para las acciones anteriores disminuía sin comprometer su capacidad de captación.
- ~El objeto podría resultar más eficiente con pequeños cambios en la distribución interna de sus elementos y la aplicación de nuevos materiales.





Novena iteración: Nuevos materiales

¿Qué se buscó en la iteración?

~Cambiar la sensación "plana" del objeto al agregarle mayor volumen a su cuerpo y jugar con los reflejos de su superficie.
~ Síntesis de materiales dentro de la Freie Universität Berlin.

~Re-cotejar los esfuerzos mecánicos sobre las piezas de unión.

¿Cuál fue el proceso de diseño?

~Reformulación de las proporciones del objeto con el objeto mismo.
~Creación de detalles estéticos usando la configuración de sus aristas, vértices y volumetrías.
~Ingeniería del producto, uniendo y separando piezas nuevamente para que respondieran de la mejor manera a lo "técnico- estético".
~Capacitación sobre el uso de laboratorios para el conteo de patógenos (imagen inferior de Fig.65).

¿Cuáles especies se emularon?

Reino Plantae / Escarabajo de Namibia / Lupín / Abeja común / Clamidosaurio de king. / Piña de Pino / Uloborus Walkenaerius / Tunicados.

¿De qué manera se llevó a cabo?

~Dentro de las instalaciones de la Freie Universität Berlin se sintetizaron los nuevos materiales que darían origen a la fabricación del objeto.
~Análisis de superficies y continuidad de curvas "envolvente del objeto"
~Aplicación de CMF (colores, materiales y acabados)
~Bocetaje, modelado virtual, renderizado.

¿Qué hallazgos arrojó la iteración?

~ Nuevos materiales favorecían la purificación del agua contenida dentro de cada módulo sin comprometer su eficiencia sino por el contrario, aumentándola.
~La geometría del objeto volvía complicada la integración de elementos de la vista posterior del objeto
~El espesor del modelo dificultaba la instalación del mismo pues exigía un esfuerzo en el agarre fino del usuario-instalador.

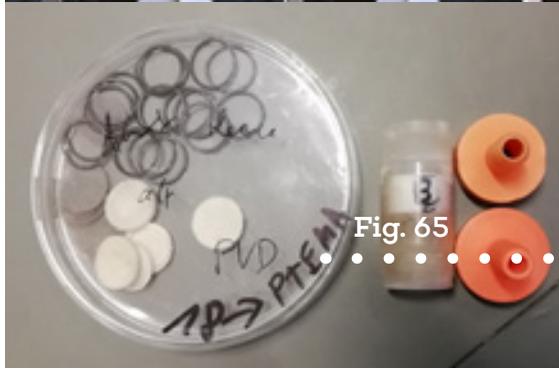
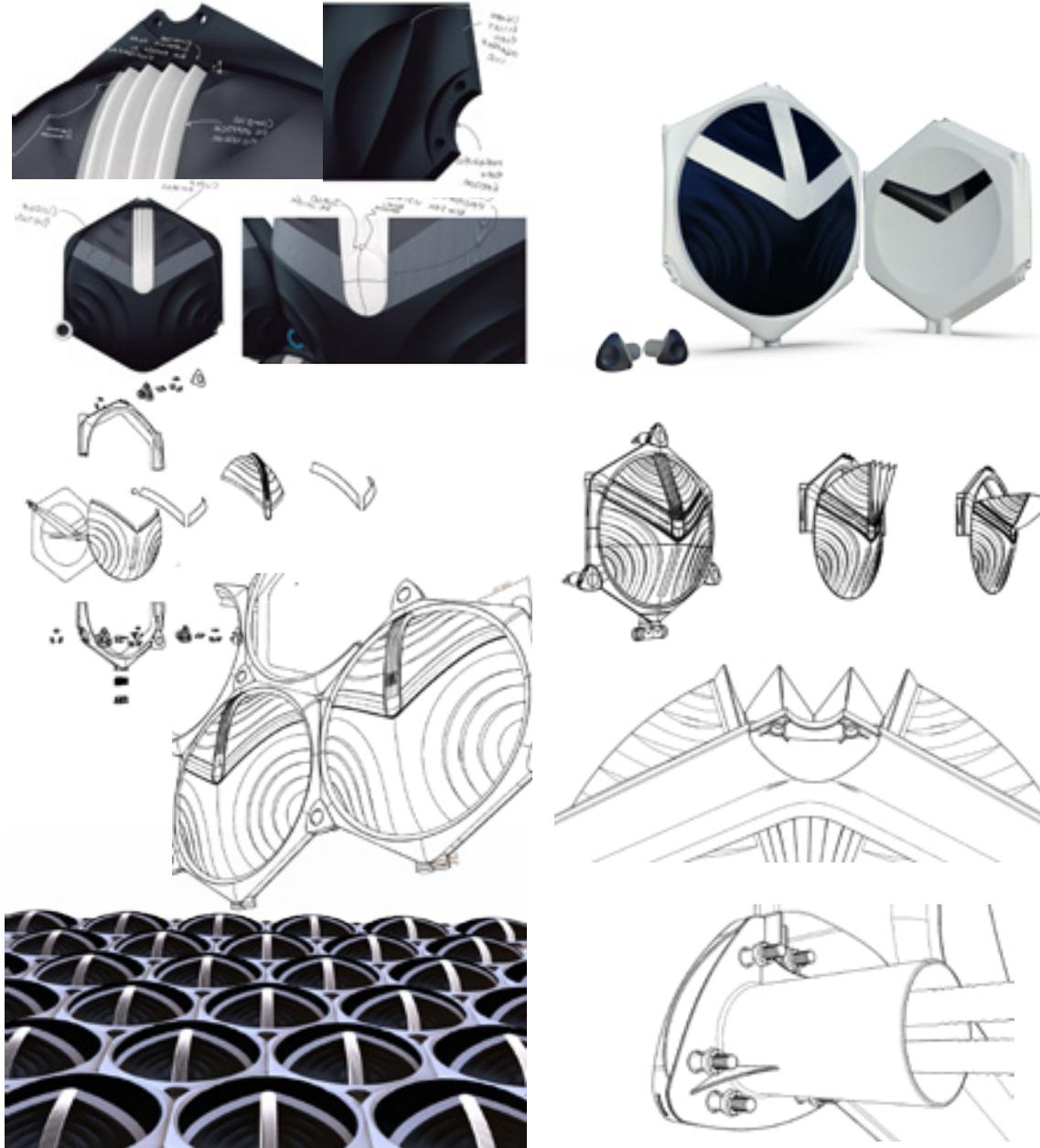


Fig. 65

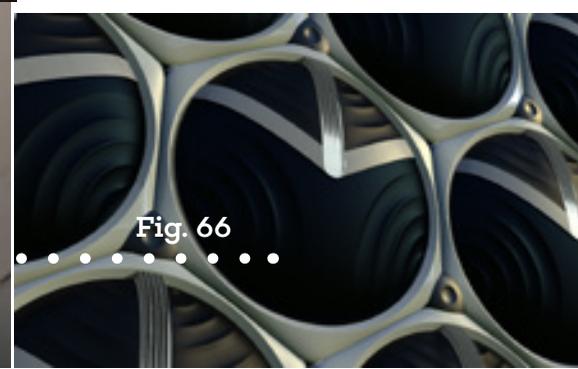
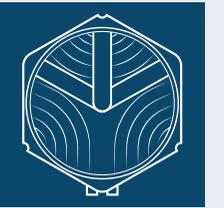


Fig. 66

Décima iteración: Concepto final

¿Qué se buscó en la iteración?

~Consolidar una propuesta de diseño que conjuntara todos los conocimientos anteriores y representara una opción factible de producir e instalar y que funcionara de manera adecuada y responsiva con su entorno



¿Cuál fue el proceso de diseño?

~Se expuso el concepto final con el comité evaluador PhD de la Freie Universität Berlin para tener retroalimentación puntual sobre el concepto
~Se buscaron medidas de piezas comerciales y se hizo un estimado de diámetros necesarios dentro de los compartimentos internos para facilitar la distribución del líquido.
~Aunque poco evidente con el concepto anterior, se cambió el centro del objeto pues el de la versión pasada contenía geometrías que dificultaba la apertura del sistema de bisagras.

¿Cuáles especies se emularon?

Reino Plantae / Escarabajo de Namibia / Lupín / Abeja común / Clamidosaurio de king. / Piña de Pino / Uloborus Walkenaerius / Tunicados.

¿De qué manera se llevó a cabo?

~Exposición y retroalimentación con miembros del comité evaluador PhD FU Berlin.
~Investigación documental.
~Bocetaje, modelado virtual a detalle, renderizado.

¿Qué hallazgos arrojó la iteración?

~La geometría del centro del objeto debía ser de sección piramidal como en la iteración 7, y no "abovedada" como en la iteración 8 y 9 pues esto entorpecía el sistema de apertura del objeto.
~Era necesario el empleo de sistemas de sello que ayudaran a la distribución del líquido sin fugas.
~ Los módulos inferiores tendrían que soportar mayor peso y flujo de agua por lo que debería existir algún sistema que evite el golpe de ariete en los coples y uniones inferiores.

¹⁶Nastias: Dentro del mundo vegetal, las nastias son respuestas en forma de movimientos activos y reversibles causados por estímulos externos como la luz, el contacto directo, la humedad, agentes químicos, etc.

Fig. 57-66: Fotografías, renders e imágenes de algunas de las actividades realizadas en cada iteración del diseño

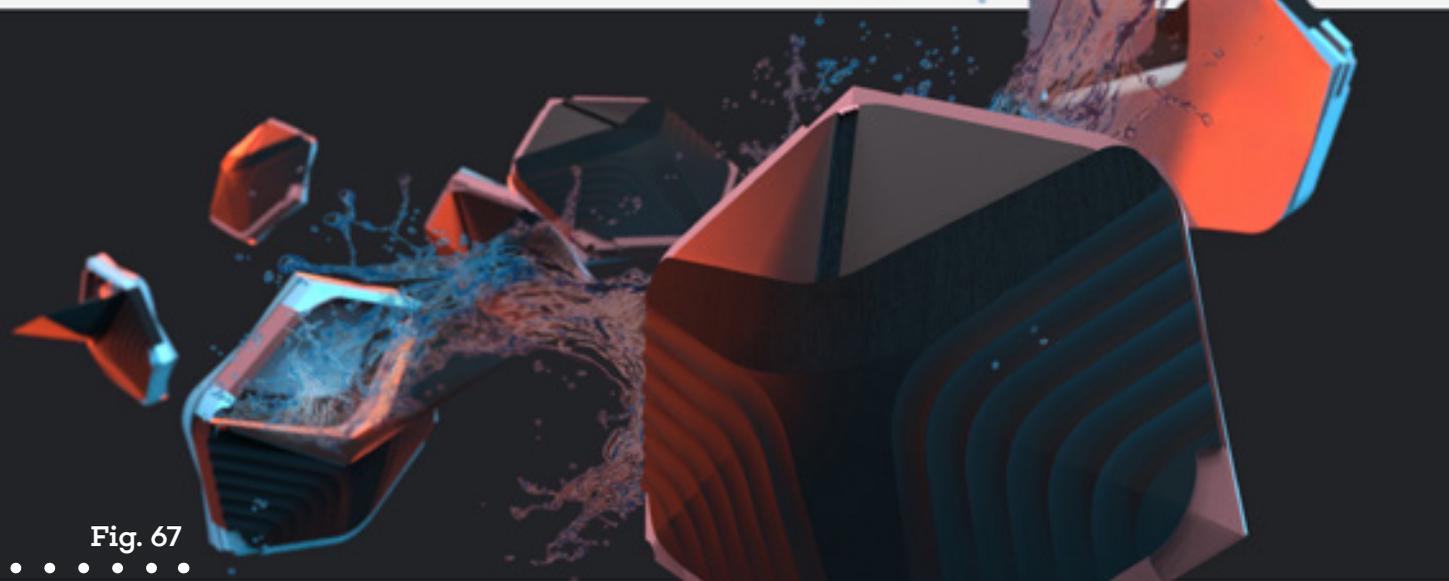


Fig. 67

Fig. 67: Imagen representativa del concepto (iteración 7). Objeto-sistema-producto que responde al estrés hídrico causado por el cambio climático

Fig. 68: Módulo principal -iteración 7- (abierto y cerrado) con las 8 especies a las que emula en el fondo.

Fig. 69: Interacción sistemática del objeto "módulo principal".



5.3 Sobre su OPERACIÓN EN SISTEMAS y las ESPECIES EMULADAS.

El pensamiento sistémico y el holismo – términos abarcados durante el capítulo dos – no solo fungen como fundamentos teóricos sino también se encuentran presente en la manera en la que el concepto opera. El sistema general se conforma por cuatro objetos diseñados, más una serie de objetos agregados (existentes e industrializados) tales como tornillería, perfiles tipo P.T.R., cisterna, coples y tuberías. Los objetos diseñados son:

- ~ Módulo principal
- ~ Nodos de empotramiento
- ~ Protectores de nodos de empotramiento
- ~ Salidas de agua o TEE doble.

En este apartado se hará mención de las especies elegidas como "las campeonas", de las cuales se abstraieron y emularon estrategias exitosas en el mundo natural, se explicara con ayuda de esquemas como es que los sistemas y subsistemas del concepto interactúan entre sí y se introducirá a la descripción detallada de su operatividad, función, e interacción con su entorno así como consigo mismo.

Pese a que se buscó simplificar la información descrita mediante esquemas gráficos y diagramas, se recomienda (re)leer el capítulo 2 para familiarizarse con la manera en la los sistemas operan, así se facilitara la

comprensión del funcionamiento del sistema en sus diferentes escalas. Para fines prácticos, se comienza por describir los sistemas de menor escala hasta llegar a la descripción del sistema como "ecosistema"

Subsistema 1: Módulo Principal.

Cuenta con dos ciclos (cerrados y retroalimentativos) y una ruta abierta, cuya retroalimentación la obtiene del entorno. Entiéndase por "entorno" a su contexto y los demás módulos del nombrado "muro hídrico". Los elementos que interactúan son representados por círculos, estos cuentan con la descripción de su propósito particular junto con la especie natural que favorece dicho propósito (en los casos que aplica). Los stocks, representados en el esquema por puntos azul claro, son el agua capturada en proceso de purificación y el agua condensada en espera de ser comunicada al siguiente modulo. (Fig.69)

A continuación se describe el aporte de cada especie al sistema.

Fig. 70-76: Fichas condensadas para emulación.

En ellas se muestra el nombre de la especie, función específica, estrategia y principio de diseño. Omittiendo las ilustraciones de autoría propia que ejemplifican el principio de diseño todas las demás imágenes son recursos ajenos. Créditos a quien corresponda.



Fig. 68

Reino Plantae:

Maximización de superficie. Aprovecha el efecto evaporativo para purificar la primera agua colectada dentro de un compartimento interno en el módulo.

Amapola:

Válvula de apertura. Esta se abre cuando las condiciones de su entorno le favorecen (existencia de un módulo vecino o salida de agua) permitiendo el paso de líquido, comunicando al sistema.

Escarabajo de Namibia/ Uloboridae

Combinación selectiva de propiedades hidrofóbicas e hidrofílicas. Cada módulo es capaz de condensar humedad sobre su superficie cuando no es temporada de lluvia.

Abejas:

Retícula hexagonal. Brinda fortaleza y estructura, permite un uso eficiente de la superficie que cubre.

Piña de Pino:

Material sensible a la humedad de tipo "shape-shifting-polymer". Cuando este se moja o se encuentra en un entorno lo suficientemente húmedo, se curva a sí mismo permitiendo la entrada del agua al sistema.

Clamidosaurio de King:

Superficie plegadiza. Cuando el material que emula a la piña de pino se abre, su superficie se despliega maximizando el área de captación de lluvia, ofreciendo estructura límite de apertura al "shape-shifting-polymer".

Ascidias:

Malla metálica multi-perforada. Permite la entrada selectiva de agentes según el tamaño de sus partículas, deshaciéndose de aquellas que no son capaces de atravesar sus orificios gracias a la pendiente de su configuración.

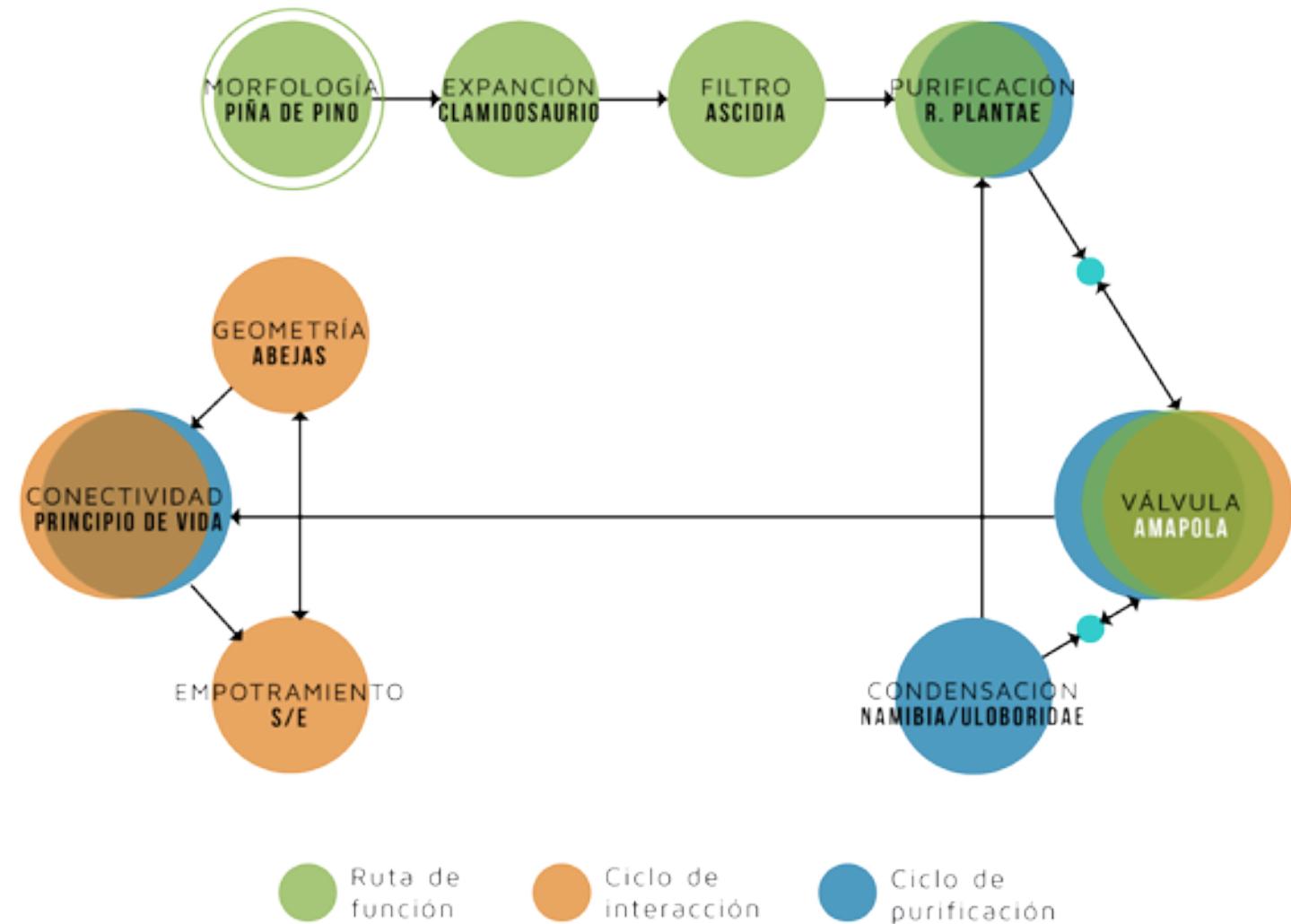


Fig. 69

Haciendo un recuento, se seleccionaron cuatro especies específicas: Escarabajo de Namibia (*Stenocara gracilipes*), Araña Uloborus walkenae, Amapola (*Papaver rhoeas*), Clamidosaurio de King (*Chlamydosaurus kingii*). Tres órdenes o familias: Abejas, Piñas de Pino y Ascidias, y un reino (Plantae), dando un total de 8 inspiraciones biológicas divididas en 7 emulaciones de las cuales cuatro son de proceso, cuatro de

forma y ninguna emulación pertenece a la clasificación "ecosistema" quedando desierta dicha categoría.

A continuación se muestra un condensado de las fichas que apoyaron la creación del concepto final, específicamente hablando del objeto "módulo principal". para mayor información se invita al lector a revisar los anexos del documento.



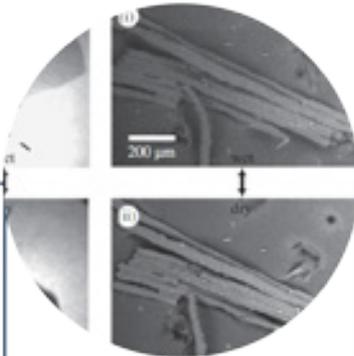
PIÑA DE PINO

*Imagen de experimentos realizados por E. Reyssat y L. Mahadevan

Fig. 70

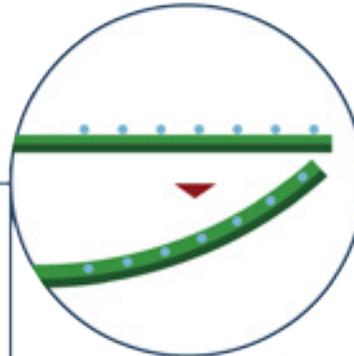
Función Modificación de posición y forma.

Emulación de proceso.

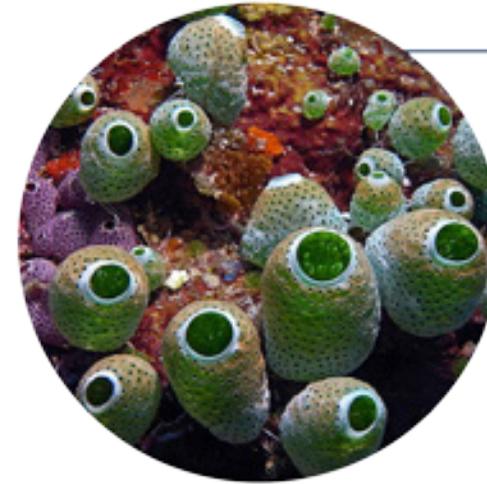


ESTRATEGIA*:

Estructuras hidromórficas compuestas por dos materiales con distintos índices de sensibilidad a la humedad (Reyssat, 2009, pp.951-957)



PRINCIPIO DE DISEÑO: Placas compuestas de dos materiales semi-flexibles y elongables (principalmente fibrosos) que respondan de manera diferenciada a la humedad

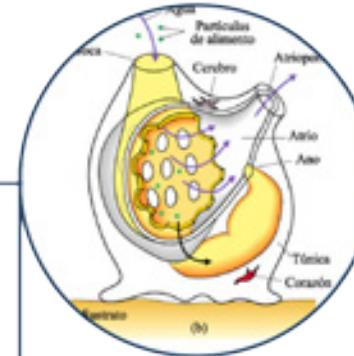


ASCIDIAS

Fig. 72

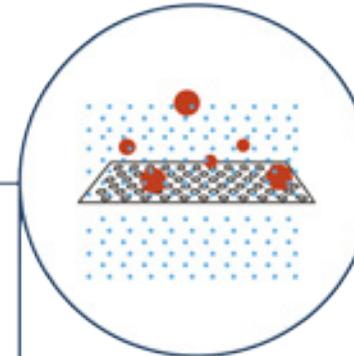
Función Filtrar líquidos.

Emulación de forma.



ESTRATEGIA:

Filtración por tamaño de partículas en medio acuoso por medio de tejido multiperforado (Menéndez, s.1.)



PRINCIPIO DE DISEÑO: Malla multiperforada cuyos orificios serán mayores a las partículas de agua y menores al de las partículas que se desea retener



CLAMIDOSAURIO DE KING

Fig. 71

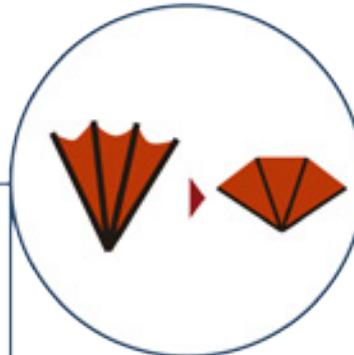
Función Modificación de tamaño y volumen.

Emulación de proceso.



ESTRATEGIA:

Extensión de pliegues por soportes secundarios, accionados tras cierto grado de abatimiento de un sistema primario (mandíbula.) (Shine, 1990, pp.11-20)



PRINCIPIO DE DISEÑO: Soportes con ejes de giro dependientes a la apertura de un sistema principal, unidos por una superficie flexible

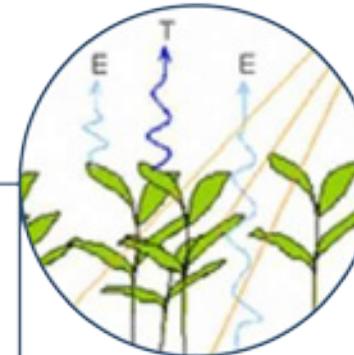


REINO PLANTAE

Fig. 73

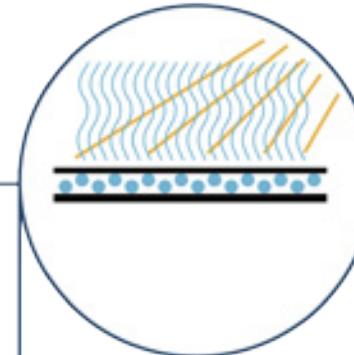
Función Regular ciclos hidrológicos.

Emulación de proceso.

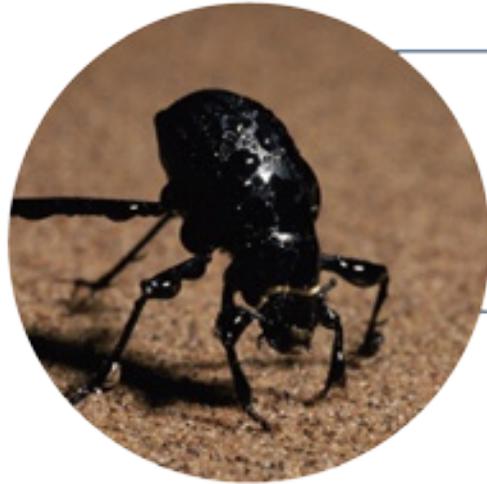


ESTRATEGIA:

Vaporización de agua contenida en compartimentos internos usando la radiación solar, temperatura, viento y superficie a su favor. (Peluffo et. al. 2017)



PRINCIPIO DE DISEÑO: Superficies amplias en contacto directo con agentes como radiación solar, viento, temperatura ambiente, etc., que favorezcan la evaporación del líquido.

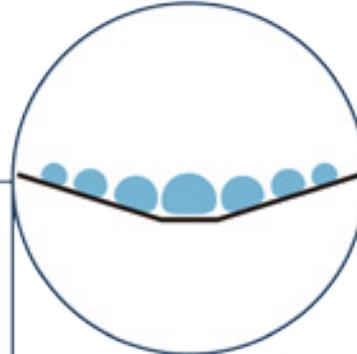


**ESCARABAJO DE NAMIBIA/
ULOBORIDAE**
Patrón profundo

Fig. 74

Función Capturar agua.

Emulación de proceso.



PRINCIPIO DE DISEÑO:

Uso de propiedades hidrofóbicas e hidrofílicas para favorecer la condensación de humedad en áreas estratégicas (valles y crestas)

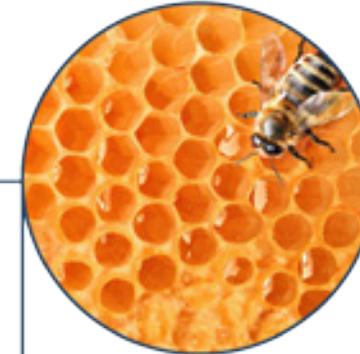


ABEJA COMÚN

Fig. 76

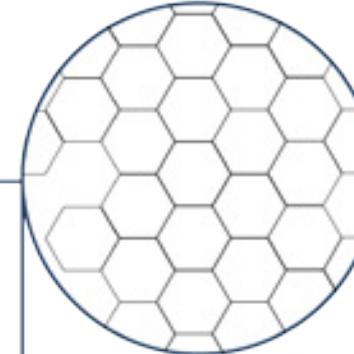
Función Brindar fortaleza estructural.

Emulación de forma.



ESTRATEGIA:

Distribución de cargas homogéneamente por medio de una red de hexágonos basado en el principio de la triangulación.



PRINCIPIO DE DISEÑO:

Construcción modular por patrones hexagonales repetitivos



AMAPOLA

Fig. 75

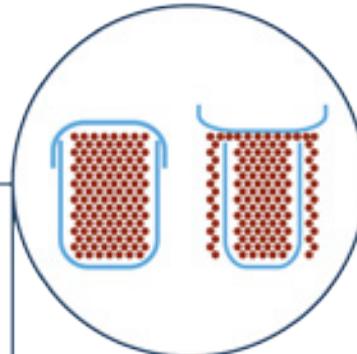
Función Proteger contra pérdida de partículas.

Emulación de forma.



ESTRATEGIA:

Cápsulas protectoras de partículas internas, capaz de abrirse cuando las condiciones de su entorno le son favorables. (Mahr, 2017)



PRINCIPIO DE DISEÑO:

Estructura cilíndrica con ventilas herméticas que se abren al reaccionar a estímulos externos

El siguiente subsistema por orden de jerarquía (Fig.77) es el que comprende la interacción de los cuatro objetos diseñados. Cada módulo principal tiene la capacidad de comunicarse directamente con dos módulos más, o bien, con una salida de agua. Cada módulo se comunica con tres nodos de empotramiento y cada nodo con su respectiva tapa. Cada nodo empotra hasta tres módulos. Las salidas de agua se comunican entre sí y hacia los módulos inmediatos superiores a estos, dirigen el agua limpia (*stock*) hacia la cisterna que es en sí, el contenedor del *stock* final (agua total cosechada). En este nivel de jerarquía, existe un *stock* más, nuevamente, el agua ácida que se encuentra al interior de cada uno de los módulos principales

En la siguiente escala se esquematiza la totalidad de los elementos diseñados para el concepto (Fig.78). Comprende nuevamente los cuatro objetos pero esta vez, también los intangibles que lo rodean es decir, su mantenimiento y los diferentes servicios (instalación, factibilidad, plataforma digital, seguimiento). En este caso, la esfera titulada "servicio" pretende enfatizar el hecho de que este se enfoca principalmente a los módulos principales y salidas de agua, pues los nodos y sus tapas prácticamente prescinden de mantenimiento y los demás servicios. La esfera "sistema" solo busca esquematizar la escala que falta por explorar.

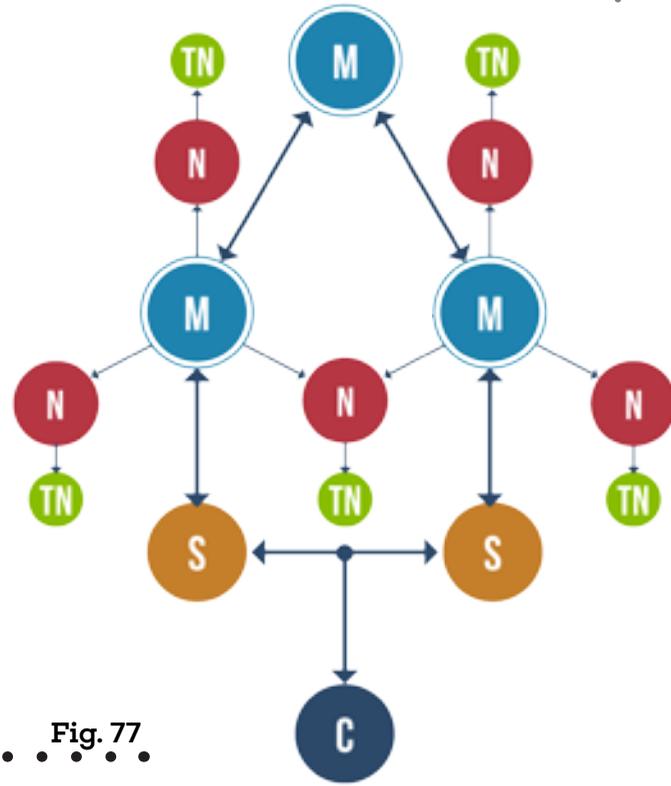


Fig. 77

Finalmente se describe el sistema general desglosado (Fig.80). En este aparecen tanto los elementos tangibles como intangibles, los objetos diseñados y la infraestructura existente. Se hace mención de la necesaria existencia de objetos comerciales pues estos comunican la infraestructura con el concepto diseñado.

Nomenclatura:

- M= Módulo Principal
- N= Nodo de empotramiento
- TN= Tapa de nodo de empotramiento
- S= Salida de agua
- C= Cisterna
- F= Fachada
- TO= Tornillería
- TUE= Tuercas o sujetadores
- PO= Postes o perfiles
- TU= Tuberías o ductos
- CO= Coples o conectores
- UN= Uniones hidráulicas

Seguido a esto, se muestra una simplificación del sistema general (Fig.79), en este se muestran todos los elementos que interactúan en el sistema completo. Aparece por primera vez la esfera de "factores abióticos", que pese a su tamaño con relación al sistema en general, es esta la que afecta en mayor medida el funcionamiento del sistema. En este esquema se muestran las tres disciplinas indisolubles al concepto -biología, diseño industrial y arquitectura. La ruta descrita por las líneas de flujo que conectan el sistema buscan ejemplificar que el sistema empieza en la arquitectura al usar como soporte las edificaciones, se desarrolla en el diseño industrial, se ayuda de la biología, y finaliza en un elemento arquitectónico nuevamente (cisterna).

Fig. 77: Sistema compuesto por los cuatro objetos diseñados.

Fig. 78: Interacción del sistema, compuesto por objetos (módulos, nodos, tapas y salidas) e intangibles (servicio y mantenimiento).

Fig. 79: Sistema general simplificado. Aparición intencional de categorización de los elementos que intervienen en el campo del diseño industrial y la arquitectura.

Fig.80: Sistema general desglosado, recordando que la esfera constituida por "objetos diseñados" puede ser sustituida por el sistema expuesto en la figura 77.

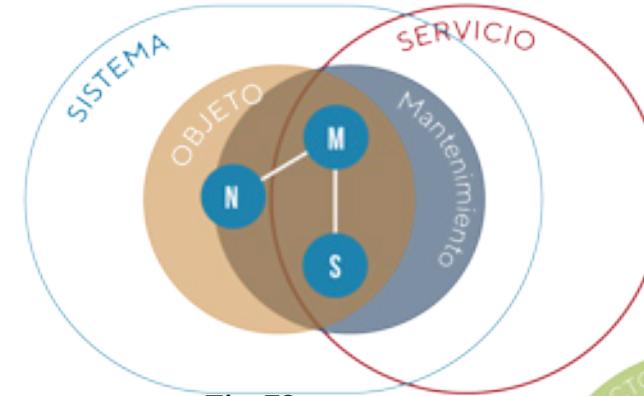


Fig. 78

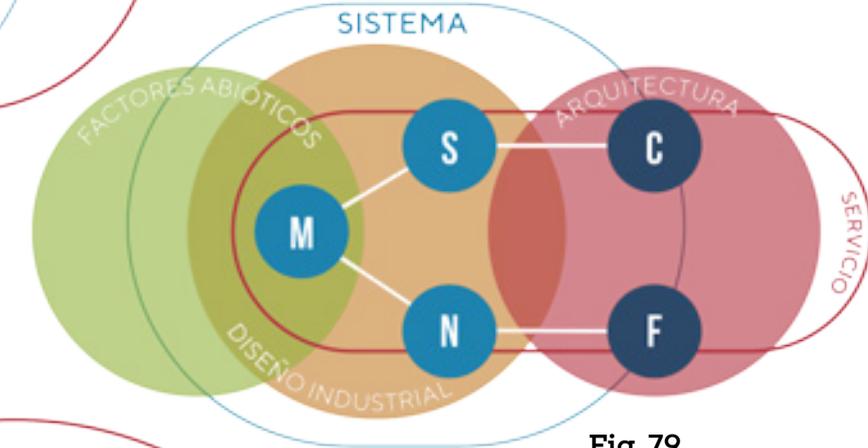


Fig. 79

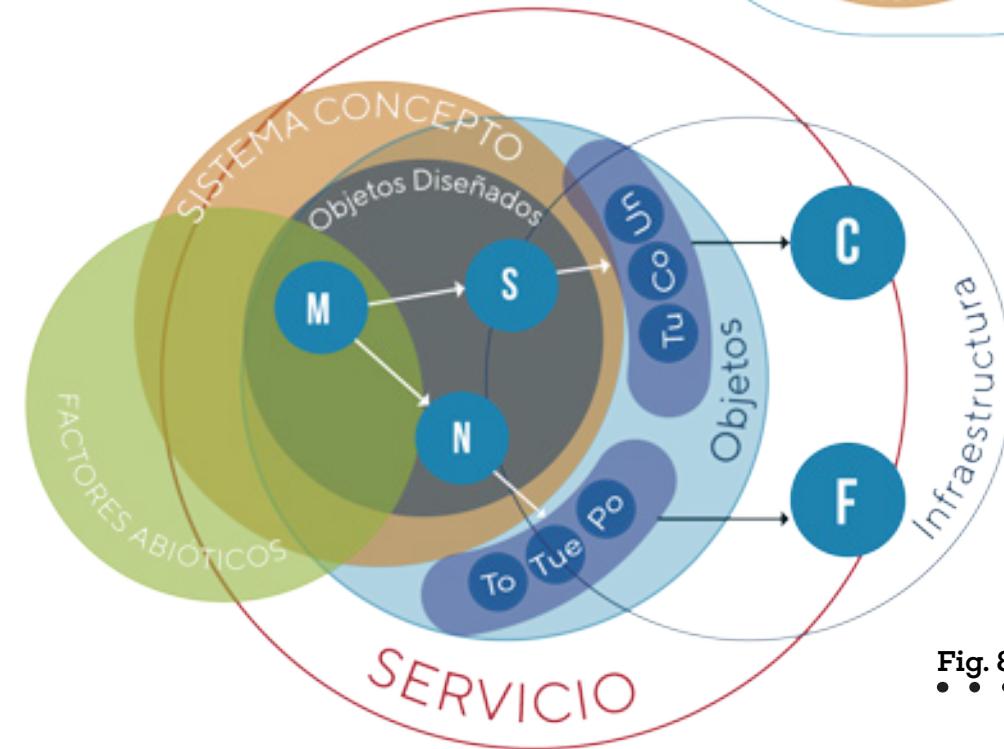
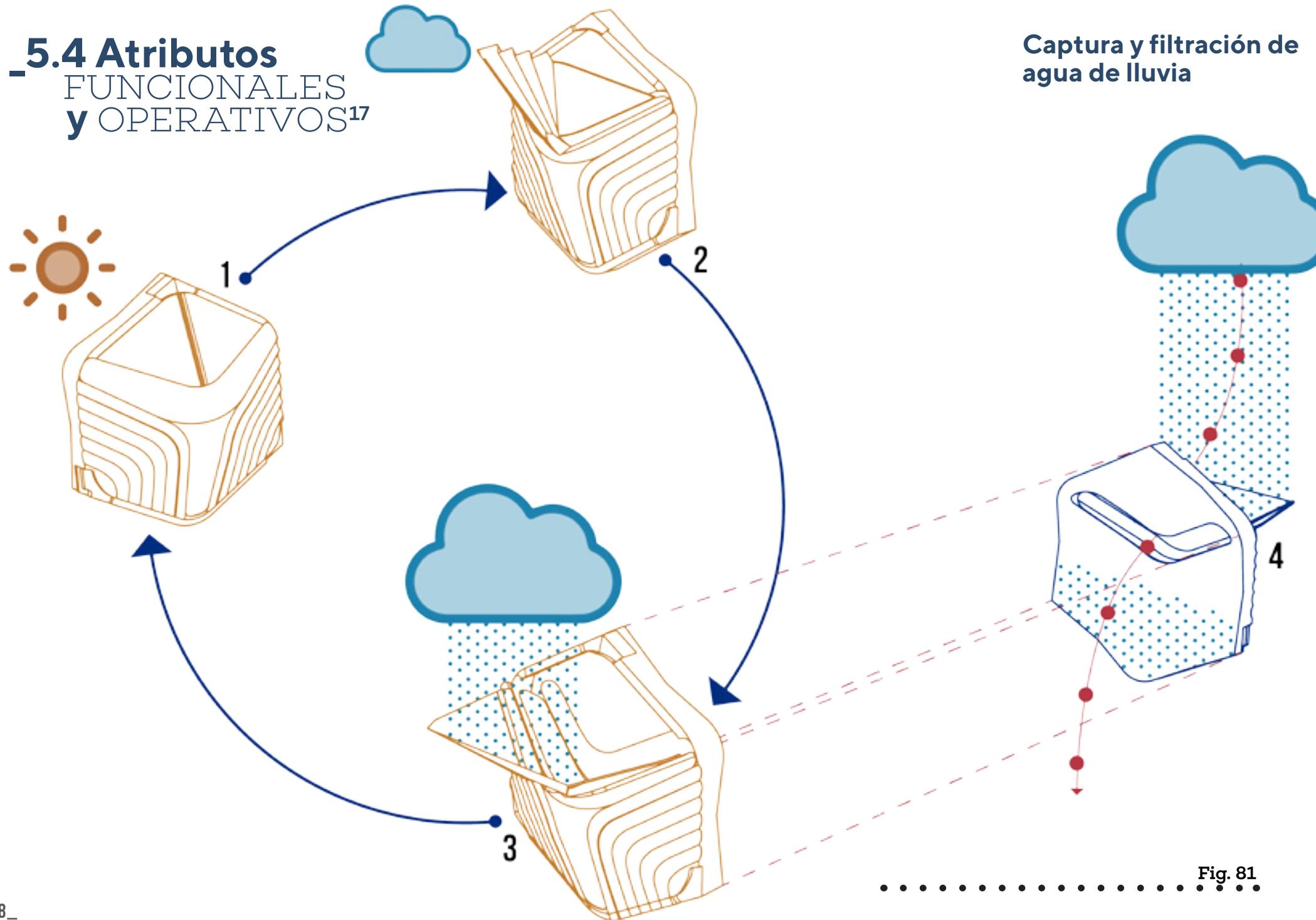


Fig. 80

5.4 Atributos FUNCIONALES y OPERATIVOS¹⁷



1.-Módulo en reposo:
Cuando el módulo se encuentra en ausencia de humedad este permanece cerrado por lo que la entrada de cualquier tipo de partícula es improbable al conservar la superficie de captación intacta, incrementando la calidad del agua captada.

2.- Módulo en apertura:
Ya sea por un alto grado de humedad en el ambiente o contacto directo con agua, la superficie captadora se abre y extiende, preparándose para la cosecha pluvial.

3.-Módulo abierto:
Una vez abierto, el módulo está listo para recibir toda el agua que su superficie toque. Los módulos no solo captan el agua que toca el área abatible, sino que también captan el agua que toca cualquier parte de su superficie al mandarla por escurrimiento a la superficie captadora inferior inmediata.

4.- Desecho de contaminantes de gran tamaño:
Cada módulo cuenta con mallas multi-perforadas que permiten selectivamente el paso del agua. Cualquier contaminante que no se encuentre diluido en la lluvia, es desechado por la parte posterior de cada módulo, esto se logra por las inclinaciones y aberturas que el diseño posee.

Especies emuladas:
Piña de pino¹⁸ en 1, 2 y 3
Clamidosaurio de king en 2 y 3
Ascidias en 4

¹⁷Todas las ilustraciones que se muestran en el capítulo 5.4 responden a la séptima iteración pues fue en esta donde se concretó el funcionamiento general del concepto como se menciona en la página 94

Fig. 81

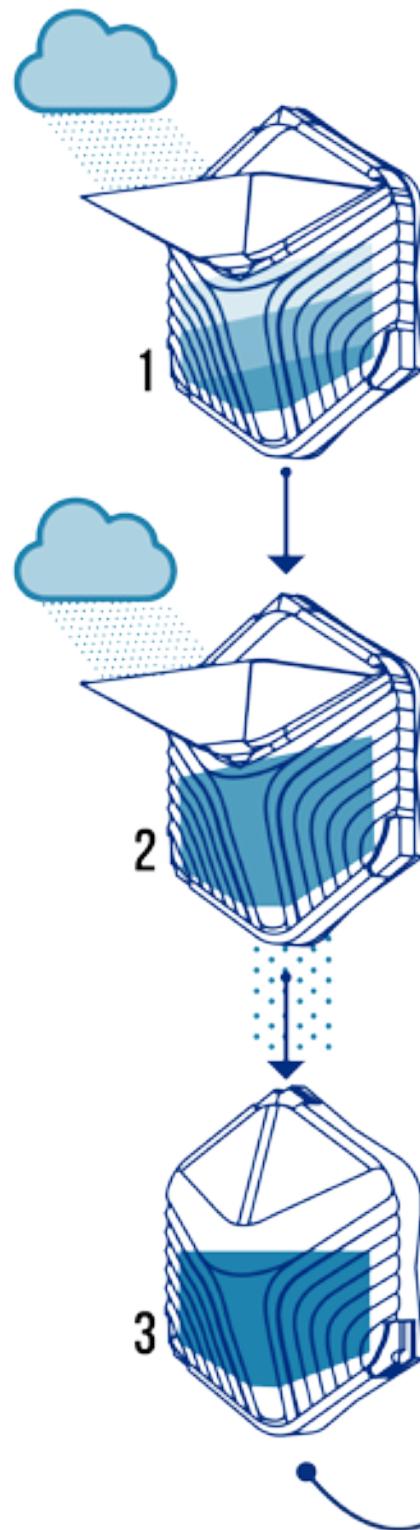
¹⁸ El material propuesto para la emulación de la piña de pino no es una invención propia. Se sustenta en investigaciones hechas por entidades externas entre las que destacan los múltiples trabajos y aplicaciones realizados por el "Institute for computational Design and Construction, University of Stuttgart. Dicho sustento puede ser encontrados en el listado de referencias como: (Menges, et.al., 2006), (Menges, et.al., 2012), (Menges, et.al., 2013), (Reyssat, Mahadevan, 2009).

Estos materiales (Fig. 82) poseen la desventaja de ser poco factibles para su industrialización. Investigaciones más recientes como la del investigador Chino Tao Xie dan pauta a la implementación de materiales poliméricos sensibles a la humedad capaces de cambiar su forma y regresar a su estado original (The Wall Street Journal, 2016). La prospección de estos materiales es la que se emplea para este proyecto por tener un sustento teórico factible y responder de mejor manera a la propuesta de diseño.

Fig. 82: Experimentación en la formulación de materiales higromórficos desarrollados por Chao Chen. Imagen extraída de reporte sobre su tesis de maestría en DesignBoom.



Fig. 82



Purificación de agua de lluvia ácida.

1.- Separación de primeras lluvias: Aproximadamente los primeros 10 minutos de lluvia se separan en contenedores internos a cada módulo. El tiempo en el que se llene dicho contenedor depende de la intensidad de la lluvia.

2.-Desvío de segundas lluvias: Cuando el contenedor interno se encuentra lleno, una válvula flotadora cierra el compartimento interno desviando el agua captada al siguiente módulo. En caso de que el módulo inferior aun no tenga su compartimento lleno, este se llena antes de avanzar al siguiente módulo y así sucesivamente.

3.- Purificación bio-activa/catalítica: Al interior de cada módulo se encuentran piezas plásticas con un recubrimiento llamado AGXX (del cual se hablara dentro de la memoria descriptiva) el cual inhibe la proliferación de bacterias y mata los posibles patógenos existentes sin necesidad de ningún gasto energético

4.- Purificación física: Conforme el sol calienta la superficie del módulo principal, este favorece la evaporación del líquido que, al chocar con una pared superior, se vuelve a condensar y escurre en forma de gotas, deshaciéndose así de los agentes contaminantes restantes.

5.- Comunicación al siguiente módulo: El agua purificada cae directamente al módulo inferior hasta que este llegue a la salida de agua que lo guiara hacia la cisterna.

Especies emuladas:
Reino Plantae en 4 y 5

Fig. 83

Condensación de humedad.

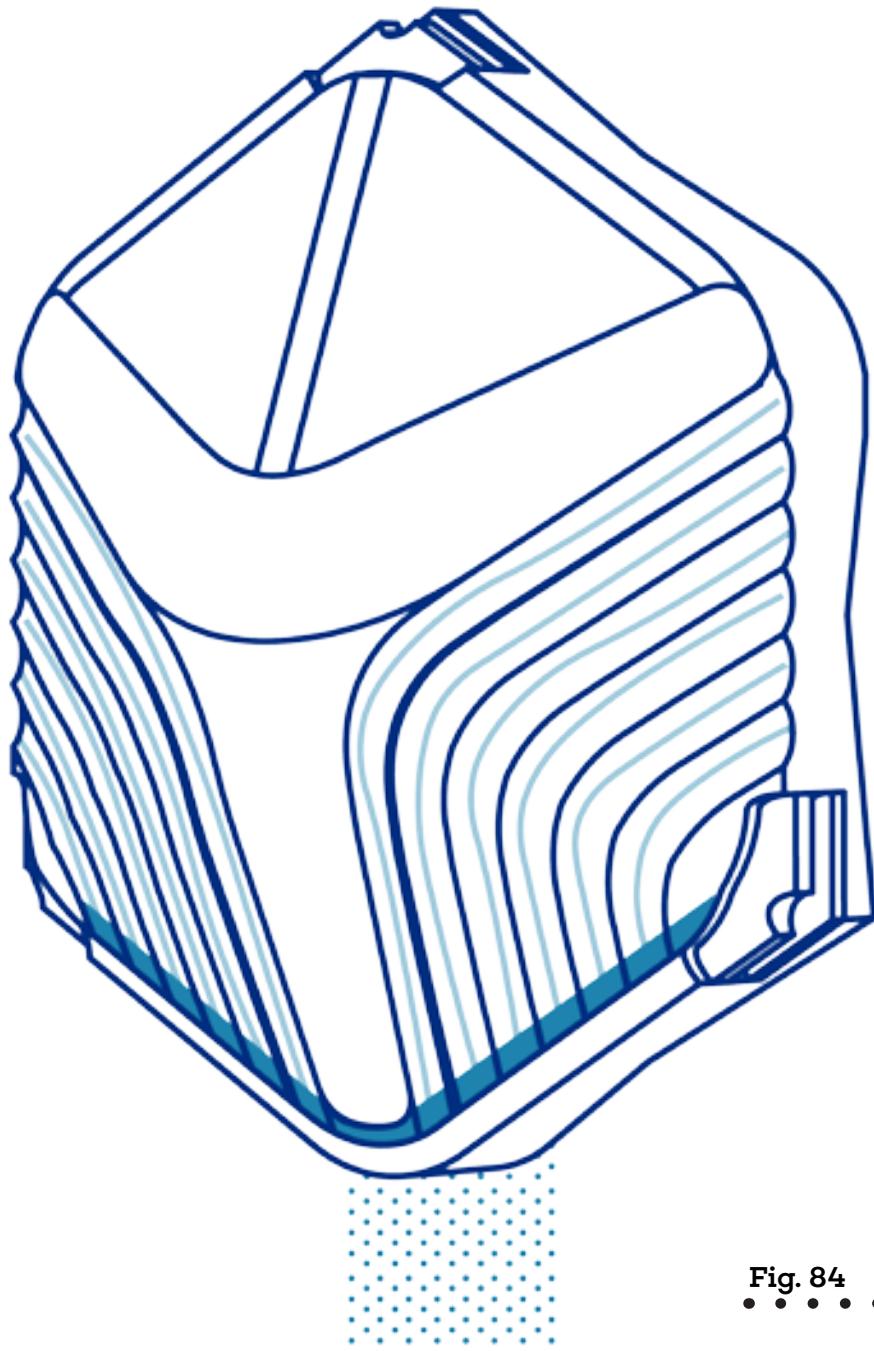
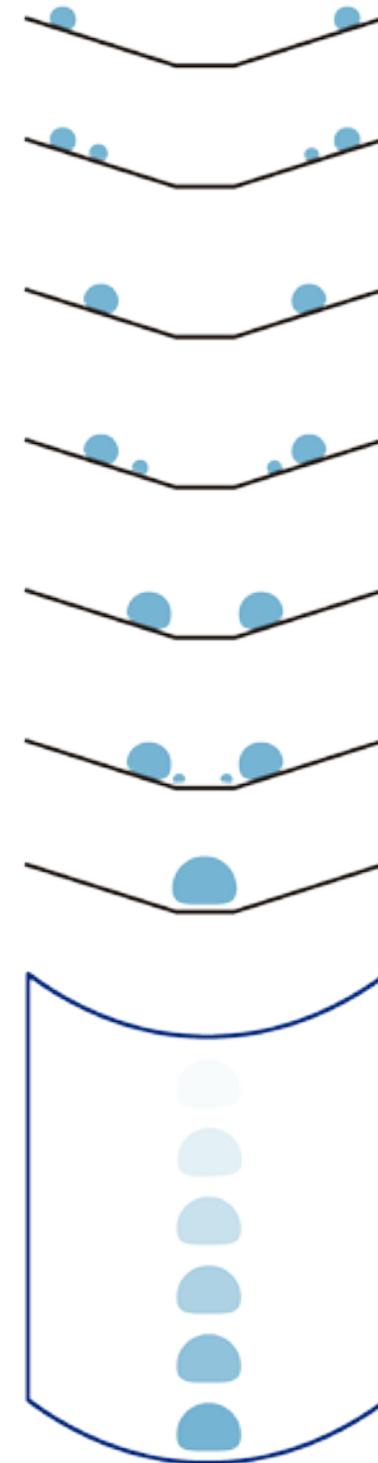


Fig. 84



Especies emuladas:
Escarabajo de Namibia¹⁹ y *Uloborus walkenraerius*

La cosecha de humedad tiene como fundamento los patrones profundos de las especies mencionadas.

Se usa una mezcla de ambas estrategias al crear una superficie capaz de cosechar humedad gracias a sus particularidades hidrofóbicas e hidrofílicas y a su geometría.

Las crestas de cada una de las canaletas son rugosas, atribuyéndoles características hidrofílicas al permitir que gotas de tamaño despreciable se formen en la superficie, la geometría de las canaletas obliga a las gotas a caer y, ocasionalmente, juntarse con más gotas micro-condensadas creando unas de mayor tamaño. El valle de las canaletas es muy liso, atribuyéndole propiedades hidrofóbicas. Cuando las gotas micro-condensadas llegan al valle de las canaletas, adquieren el tamaño suficiente para que, por geometría, estas escurran hasta la parte inferior de cada módulo donde existen pequeñas aberturas que permiten el paso de estas gotas al interior.

Una vez que el líquido se encuentre al interior del módulo, el tratamiento del fluido es exactamente el mismo que el que se realiza para el agua cosechada por lluvia.

Fig. 85: Imagen ilustrativa sobre la estrategia del Escarabajo de Namibia realizada por Roberto Osti, encontrada en el portal AskNature.com

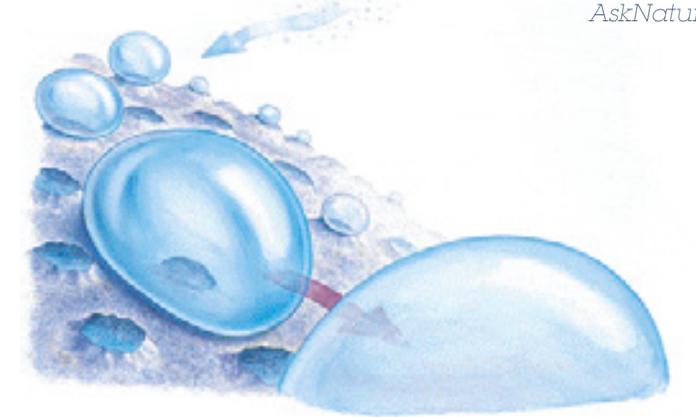


Fig. 85

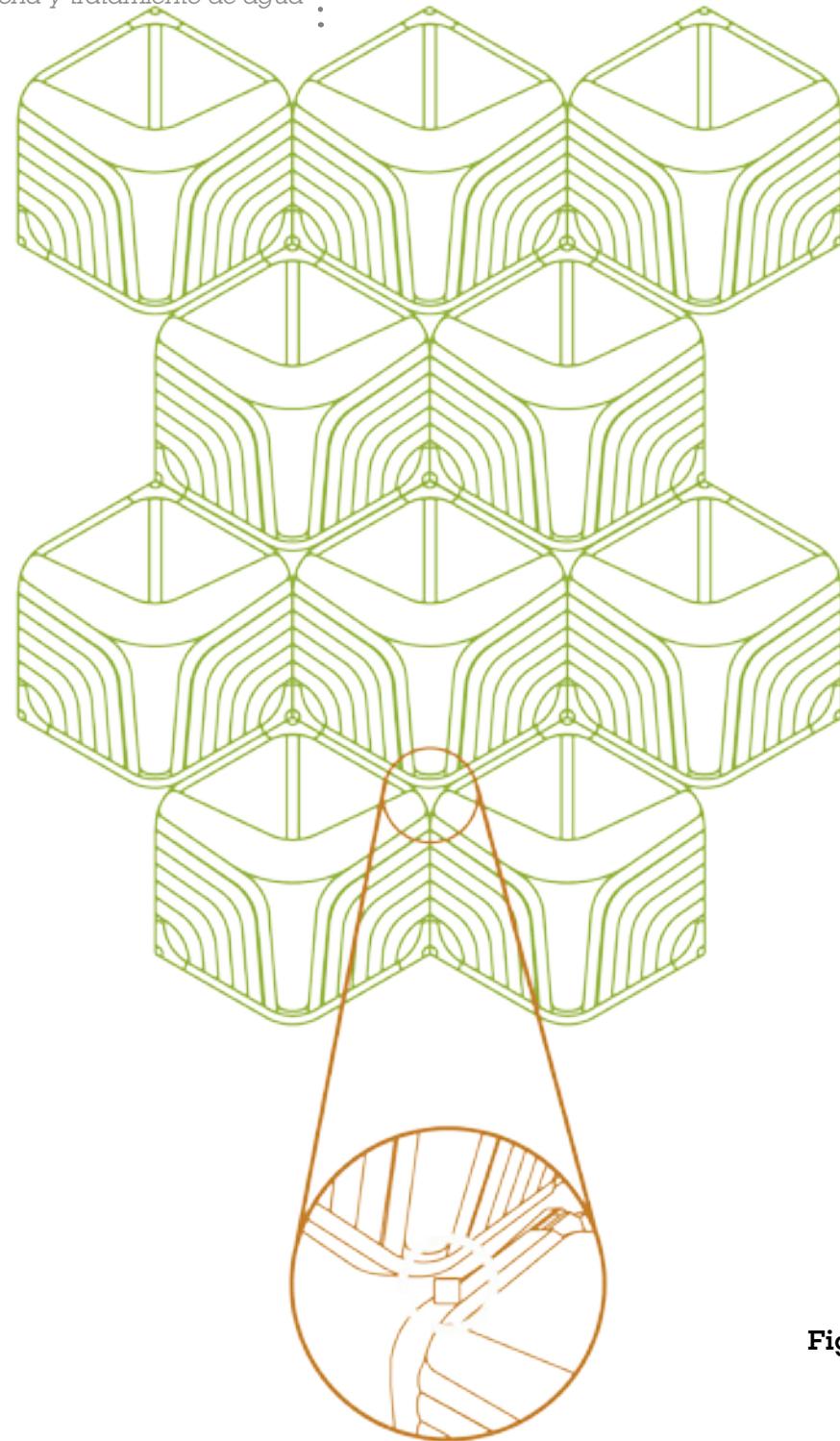


Fig. 86

Comunicación entre módulos.

Los módulos se comunican entre ellos por medio de aditamentos tipo macho-hembra, contando con dos aditamentos hembra en la arista inferior y dos machos en las aristas medias superiores.

Cuando el macho de un módulo inferior entra en el compartimento hembra de uno superior, se abren válvulas herméticas que impiden el paso del agua cuando estas están inactivas. Las válvulas son independientes por lo que no hay riesgos de fugas de ningún tipo.

En el caso de que el módulo en cuestión no tenga algún otro módulo de orden inferior interviene el objeto "salida de agua/Tee doble". Esta pieza especial comunica el agua cosechada por el sistema diseñado hacia el sistema de cisterna.

Especies emuladas:
Vaina de semilla de Amapola



Fig. 87

¹⁹ Esta es una de las especies más exploradas por los practicantes de la Biomimética gracias al éxito de su estrategia. Se cuenta con innumerables recursos científicos que sustentan la factibilidad de esta parte específica del proyecto. Si así se desea se recomienda visitar el banco de datos de AskNature en la página: <https://asknature.org/strategy/water-vapor-harvesting>

Fig. 87: Fotografía ilustrativa de Susan Mahr encontrada en el portal del "Master Gardener Program" de la Universidad de Wisconsin.

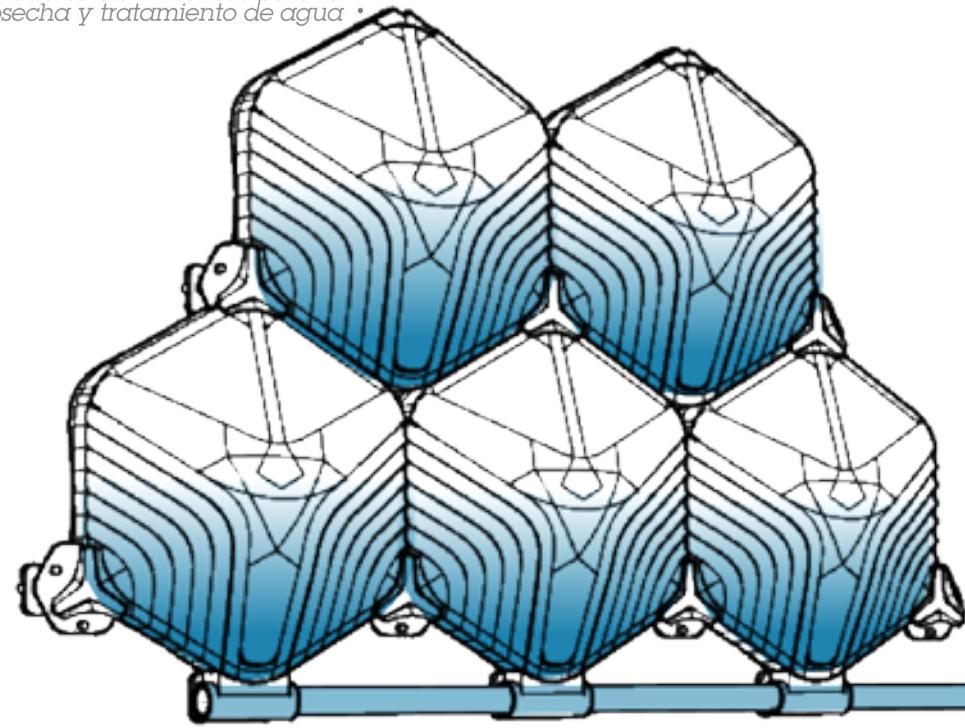


Fig. 88

Comunicación de agua hacia la cisterna.

El destino final de toda el agua colectada por las diversas formas en las que el módulo es capaz de cosecharla, es una cisterna de almacenamiento. Cada cisterna puede ser diseñada y fabricada de distintas maneras. En caso de no querer una cisterna como tal, algún contenedor, tal como un tinaco, puede suplir su construcción, sin embargo se recomienda ampliamente la instalación de una cisterna por los atributos con los que cuenta dicha infraestructura entre los que se encuentran el sistema de clorado, pichanchas y el doble flotador.

Todos los módulos que se encuentren más cercanos al piso, o en su defecto, todos los módulos que por las condiciones de la retícula creada no sean capaces de pasar el agua a otro módulo, deben contar con una "salida de agua/ TEE doble". Esta se acopla a tuberías comerciales para dirigir el fluido a su contenedor final.

El diseño del sistema de tuberías dependerá completamente de la morfología del edificio y la retícula del muro hídrico instalado por lo que cada uno será diseñado a la medida. Las condicionantes de instalación para dicha tubería son exactamente las mismas que para cualquier tubería que maneje la distribución de agua por lo que cualquier plomero capacitado podría diseñar el sistema de distribución final del muro hacia la cisterna.

Figuras 81, 83, 84, 86 y 88: Diagramas ilustrativos de cada una de las fases/operaciones que el concepto lleva a cabo.



5.5 Evaluación según los PRINCIPIOS DE VIDA.

Antes de dar por terminado el entendimiento del desarrollo del concepto se considera necesario mencionar cómo es que la idea generada cumplió o no con el *Brief* inicial, específicamente con lo referente a la metodología pues en el siguiente capítulo se desarrolla la memoria descriptiva del producto, donde se vislumbra el cumplimiento del *Brief* según las demás acotaciones del proyecto.

Para evaluar el cumplimiento del *Brief* se usan nuevamente los principios de vida, termino ocupado extensivamente a lo largo del documento. Si se considera necesario y para dar entendimiento a lo descrito en el presente punto, se invita al lector a retomar la lectura en la página 47 donde se menciona a qué se refieren los principios de vida, sus particularidades, cuáles son y qué involucra cada uno y/o visitar el QR de la página 4 para acceder a la herramienta en línea "*Life's Principles: Biomimicry DesignLens*".



Construir con un bajo número de elementos:

El concepto ensambla relativamente pocos elementos con soluciones simples y elegantes comparado con la complejidad de sus operaciones.

Desarrollar química en agua:

El material AGXX utiliza el agua como solvente para poder erradicar la proliferación de bacterias.



Mantiene Integridad:

Añade constante energía (calor y humedad) y materia (agua).

Resiliencia por variación, descentralización y redundancia:

Posee una variedad de funciones específicas que no dependen exclusivamente una de otra.



Influencia de procesos cíclicos:

Tomar ventaja de fenómenos que se repiten.

Implementación de energía disponible:

Hace uso de energías disponibles en su entorno (factores abióticos).



Replica estrategias que funcionan:

Emula procesos exitosos dentro del mundo natural.

Reajuste de información:

Intercambia información que permite crear nuevas opciones.



Auto-organización:

Crear condiciones que permitan que los componentes interactúen entre sí y enriquezcan al sistema.

Construcción de menos a más:

Añade componentes una unidad a la vez, sin límites ni restricciones fijas.

Combinar componentes anidable y/o modulares:

El concepto se compone de múltiples unidades que progresivamente van de lo simple a lo complejo.



Uso de diseño multifuncional:

Los objetos satisfacen múltiples necesidades ejecutando soluciones simples en comparación.

Materiales reciclables:

Permitir que los materiales puedan ser reinsertados a sus propios ciclos cerrados, es decir, los componentes del concepto pueden gestionarse después de su vida útil de manera responsable.

Forma sigue a la función:

Selección de formas y patrones basados en necesidades más allá que en apariencia.

El concepto logró abarcar todos los principios de vida en mayor o menor medida lo que califica a la idea como "exitosa" según los parámetros de la vida sobre la tierra. Esto implica que, de poderse construir, la adecuación del concepto con su entorno sería fructífera y satisfactoria desde el punto de vista de la metodología.

EL DISEÑO
ES UN PLAN PARA
ORGANIZAR ELEMENTOS
DE LA MEJOR MANERA,

PARA CONSEGUIR
UN PROPÓSITO
PARTICULAR

- Charles Eames



6 Dzahui: PROPUESTA DE DISEÑO.



Dzahui o *Dzarvui* es el nombre del dios mixteco de la lluvia. Mixteco en su propio idioma se dice ñuu dzarvui o ñuu dzahui que traducido al español significa literalmente: el pueblo de la lluvia (INAH, 2018). Su homólogo directo en la cultura mexicana, misma que se asentó en la actual ZMVM es *Tláloc*. Aunque la cultura mixteca no se encontraba asentada en la ZMVM se decidió adoptar el nombre de *Dzahui* para este proyecto por la auto denominación de la cultura misma y la importancia del recurso en su vida diaria.

La etapa de “desarrollo técnico” (Capítulo anterior) comprende tres iteraciones. Dentro de estas iteraciones se hicieron todos los esfuerzos necesarios para convertir un concepto posible en un producto factible.

En el presente capítulo se esbozan las peculiaridades del concepto como producto, todas aquellas determinantes estéticas, ergonómicas, antropométricas, productivas, de instalación, y mantenimiento. También se hará mención de aquellos materiales que permiten que este concepto fuese ideado al cubrir las funciones más críticas del concepto.

Aunque mencionado anteriormente, se resumen a continuación las peculiaridades del proyecto para el entendimiento de los nuevos lectores. Para aquellos que han seguido la lectura hasta este capítulo se les invita a continuar la lectura en el siguiente subcapítulo.

Se trata de un Objeto-Sistema-Servicio formado principalmente por módulos sensibles a la humedad, a la radiación de calor y que aprovechan la gravedad, las cargas eléctricas de las bacterias y los planos inclinados para la recolección y purificación de agua.

La configuración del objeto y de sus componentes son los encargados de gestionar los recursos abióticos a su alcance, siendo estos los accionadores de las distintas funciones concepto. Sus funciones son: recaudación, distribución, purificación y almacenamiento de agua, las cuales se llevan a cabo sin hacer uso de ningún tipo de energía eléctrica, aprovechando únicamente la orientación de su colocación, los factores operantes para la vida sobre la tierra (según la metodología) y las cualidades de los materiales con los que se construye.

Este proyecto fue desarrollado dentro del Centro de Investigaciones de Diseño Industrial (CIDI-UNAM), con la colaboración de BiomimicryMex, representante global del Biomimicry Institute, el instituto de Química y Bioquímica de la Freie Universität Berlin (Universidad Libre de Berlín, Alemania) y por medio de la plataforma de talleres y Conferencias de la World Design Organization WDO dentro de la Universidad CENTRO bajo el nombre "Diseñando los futuros del agua en la CDMX".



6.1 Aplicación de NUEVOS MATERIALES

Uno de los grandes retos del proyecto fue el encontrar materiales capaces de favorecer que las estrategias que se buscaban emular se llevaran a cabo. Los materiales convencionales no ofrecían soluciones atractivas para el concepto por lo que se tuvo que acudir con especialistas en el tema de tratamiento de aguas desde el punto de vista de la química y la ingeniería de materiales.

Gracias al programa de la UNAM de reciente apertura: "Programa de titulación para egresados de la UNAM a través de estancia académica en el extranjero (TEE)" se realizó una *Ausbildung* (formación profesional) en el Instituto de Química y Bioquímica dentro de la *Freie Universität Berlin*, Alemania. Esta estancia fue liderada por el Dr. Olaf Wagner, a cargo del Prof. Dr. Rainer Haag. La misma comprendió un periodo de 5 meses donde se recibió asesoría sobre el desarrollo del proyecto y se colaboró con los miembros del grupo de trabajo "Haag". Durante la estancia

se acudió a los laboratorios de la universidad donde sintetizaban, producían y diseñaban nuevos materiales, procesos y aplicaciones químicas.

Así pues, el primer gran material que apoya a la tesis responde al nombre de AGXX® desarrollado por la empresa *Largentec Vertriebs GmbH* liderado nuevamente por el Dr. Olaf Wagner y el Dr. Carsten Mayer. Se trata de un recubrimiento aplicable a distintos materiales, en el caso de este proyecto, polímeros comerciales. La aplicación del recubrimiento se hace por medio de deposición física de vapor PVD (por sus siglas en inglés: *Physical Vapor Deposition*) y garantiza un efecto antimicrobiano en las superficies recubiertas. Los componentes del recubrimiento se encuentran protegidos por la empresa, sin embargo es posible publicar sus peculiaridades y Beneficios

AGXX® es un sistema antimicrobiano catalítico altamente eficiente basado en reacciones redox (oxido-reducción) y efectos de campo micro-eléctrico. Los materiales

mejorados con AGXX® evitan efectivamente la formación de bio-películas y matan las bacterias, virus y hongos dañinos, libres de productos farmacéuticos y biocidas nocivos. Este recubrimiento es capaz de erradicar a más de 130 microorganismos incluyendo las super-bacterias existentes en la ISS (estación espacial internacional por sus siglas en inglés).

El agente funciona al envolver a las bacterias, evitando que estas se reproduzcan, alimenten

y crezcan hasta el punto de sofocarlas. Esto se logra por medio de un intercambio de cargas eléctricas. La membrana molecular de las bacterias generalmente posee cargas negativas. El recubrimiento posee cargas positivas. Al entrar en contacto, el recubrimiento actúa, atrayendo las bacterias provocando que estas perezcan. Cuando la bacteria es erradicada pierde su carga eléctrica, lo que permite que el recubrimiento pueda actuar sobre más bacterias indefinidamente.

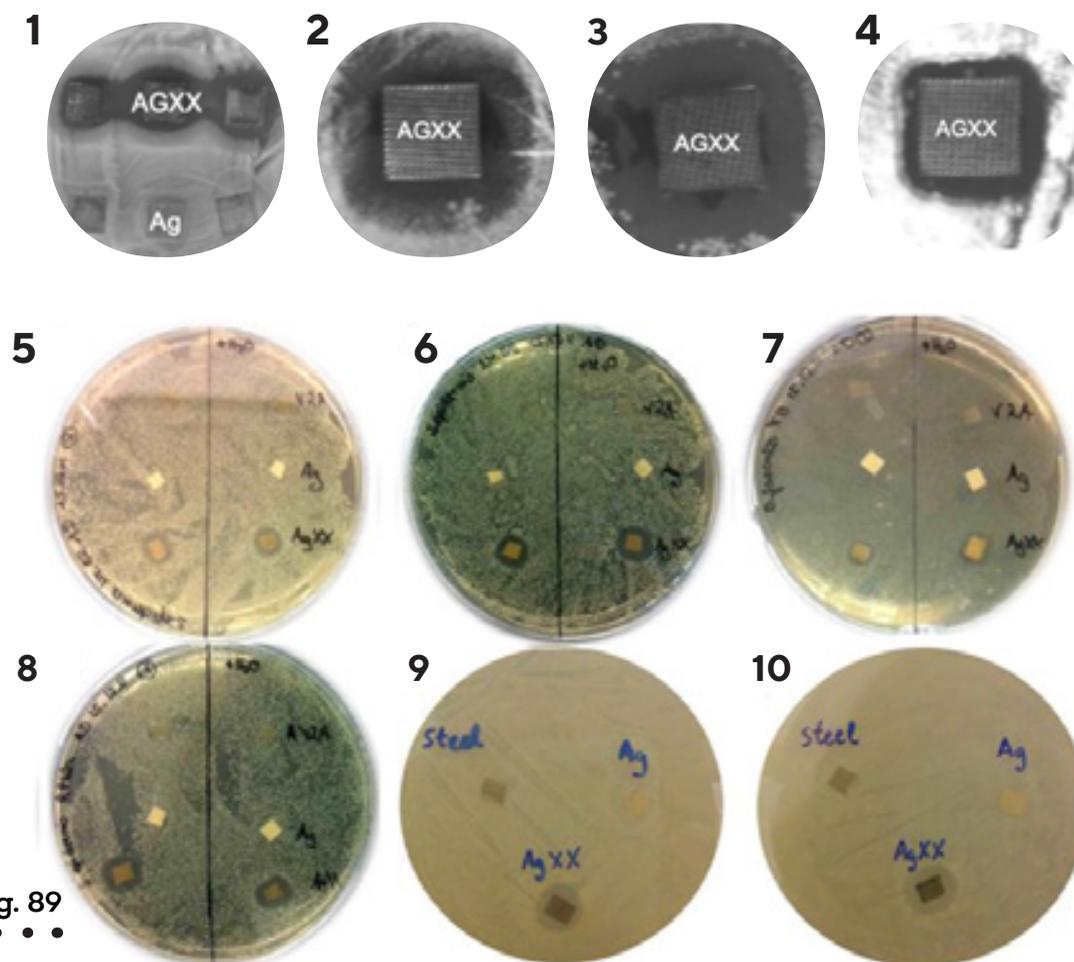


Fig. 89

Entre los 130 microorganismos que esta tecnología erradica se encuentran (Fig.89):

- 1) E. Coli RR1
- 2) Candida parapsilosis
- 3) Escherichia coli
- 4) Penicillium notatum
- 5) S. epidermidis No.52
- 6) S. epidermidis No. 58
- 7) E. faecalis T9
- 8) S. epidermidis RP62-α
- 9) S. epidermidis 239891
- 10) S. epidermidis 214627-A

El recubrimiento AGXX posee la desventaja de ser fabricado con Plata y Rutenio, elemento químico poco abundante en el mundo, esto encarece su precio, sin embargo, la misma empresa se encuentra desarrollando materiales que cumplen con la misma función pero con elementos más accesibles en la naturaleza, en este caso, mallas de carbono con cadenas poliméricas injertadas. El polímero en cuestión responde al nombre de "PTEMA" (poly(2-(thiophen-3-yl) ethyl methacrylate) y la nueva tecnología es conocida como GOX® (Fig. 90 y Fig. 91)

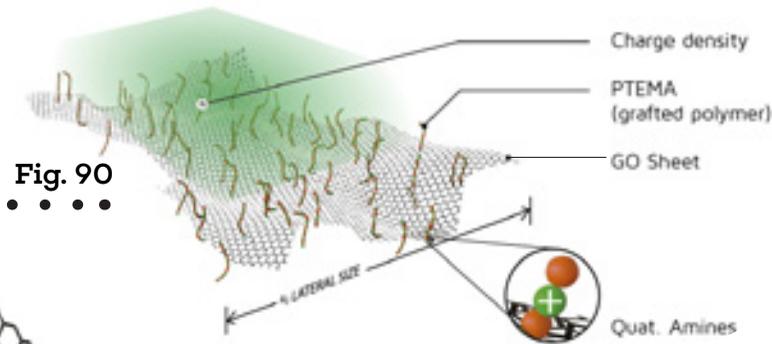


Fig. 90

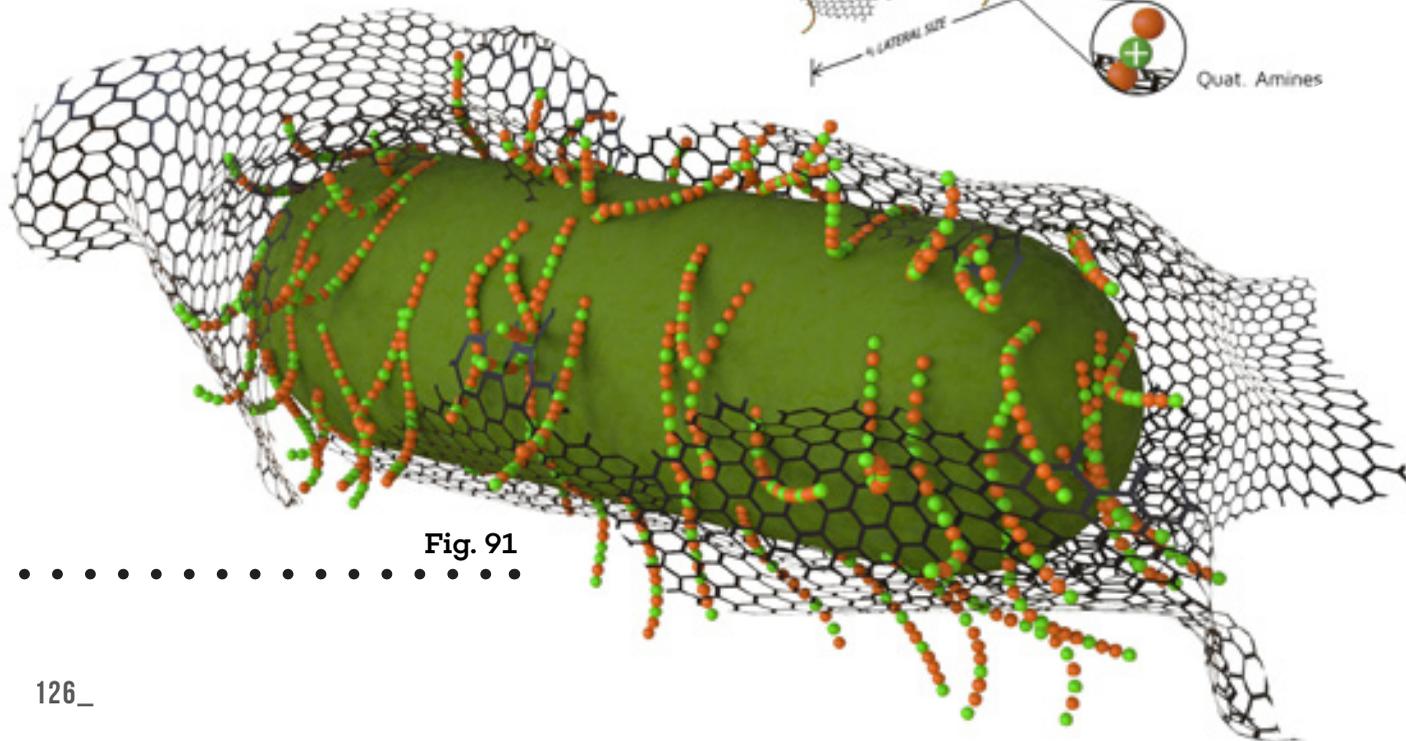


Fig. 91

Entre los beneficios que AGXX® y GOX® tienen frente a otros sistemas de purificación, fungicidas, biocidas y antibióticos, se encuentran (AGXX, 2020):

- Amigable con el ambiente.
- Previene la formación de biofilms.
- No genera resistencia patógena, antimicrobiana o anti fúngica alguna.
- No necesita fuentes de energía externa.
- Su manejo y guardado no representa ningún peligro
- Bajo peso
- De fácil reciclaje y mantenimiento
- No es tóxico en humanos, animales ni el ambiente.
- Trabaja sin dejar residuo peligroso alguno en el ambiente.
- Es un material de larga duración con un continuo efecto antimicrobiano que no se degrada.
- Amplio espectro de actividad contra bacterias, virus, hongos y algas.

En la sección de anexos se puede encontrar un QR para acceder al *paper* original de la invención, para mayor información, se le invita al lector a visitar la página de internet agxx.de donde se desglosan las aplicaciones de la invención y publicaciones de interés.

La investigación por parte de Largentec Vertriebs GmbH sigue en constante desarrollo. Actualmente la tecnología ha logrado crear

un material con la misma operatividad pero formulada a base de quitina (uno de los materiales más abundantes de la naturaleza) y celulosa, sin embargo esta aún se encuentra en fase de prueba pues presenta una baja estabilidad. Para fines documentarios se considera el material AGXX® al ser el que se encuentra actualmente en el mercado, sin embargo no se descarta el poder implementar los nuevos descubrimientos de la empresa por sus grandes beneficios económicos y al medio ambiente al no hacer uso de elementos poco abundantes.

La aplicación de este recubrimiento se da en zonas específicas y estratégicas, las más propensas a la proliferación de bacterias y aquellas que tienen contacto directo y constante con el agua. Las piezas donde se aplica el recubrimiento AGXX® es descrito en la memoria descriptiva, presente en el siguiente capítulo.

Fig.89: Cajas de Petri con cosechas bacterianas y una rejilla metálica cubierta con AGXX®, el aro oscuro que se ve alrededor de cada rejilla es el campo de acción del recubrimiento pues en ese rango las bacterias perecen. Todos los derechos de las imágenes para Largentec Vertriebs GmbH.

Fig. 90: Componentes de Tecnología GOX®. Imagen de creación propia para Largentec Vertriebs GmbH.

Fig. 91: Modo de operación de GOX®. Al centro se observa una bacteria de tipo e.coli. Al entrar en contacto con GOX® sus cadenas de PTEMA se ven atraídas por la carga eléctrica de la bacteria, sofocándola hasta que perezca. Imagen de creación propia para Largentec Vertriebs GmbH.

El segundo material en cuestión se trata de un *shape shifting polymer* sensible a la humedad o al contacto con el agua. En la actualidad existen muchos materiales dentro de esta categoría, sin embargo la mayoría se encuentran aún en desarrollo.

Estos materiales se caracterizan por tener la capacidad de tener "memoria plástica programable", es decir, que cambian de forma al recibir ciertas señales de su entorno.

Los materiales más explorados son aquellos que utilizan el calor como agente abiótico de cambio, estos no solo pueden cambiar su estado físico sino que también cuentan con una fuerza similar a cargar 1,000 veces su propio peso como es el caso del proyecto desarrollado por la Universidad de Rochester (Nield, 2016).

En otras ocasiones, se hace uso de una combinación de materiales con distintos índices de contracción. La disparidad de sus índices favorecen la creación de un metamaterial, como es el caso del ya citado estudio de Chao Chen (Fig.82) (Chen, 2015) o como el caso de la investigación de S.Janbaz del departamento de ingeniería Biomecánica de TU Delft (Fig.92)(Universidad tecnológica de Delft)(Janbaz,2016).

Para fines del proyecto se propone el uso de materiales basados en hidrogeles. Los hidrogeles son polímeros basados en una red tridimensional de cadenas flexibles constituida por elementos conectados de tal manera que son capaces de hincharse o cambiar de estado físico gracias a la presencia de líquido. Esta hinchazón o cambio de estado se debe directamente a la tacticidad y la cristalinidad del polímero (Elisseeff, 2008) y gracias a su bio-compatibilidad, su estructura y propiedades, son cada vez más utilizados como biomateriales (Jindrich, 2007).

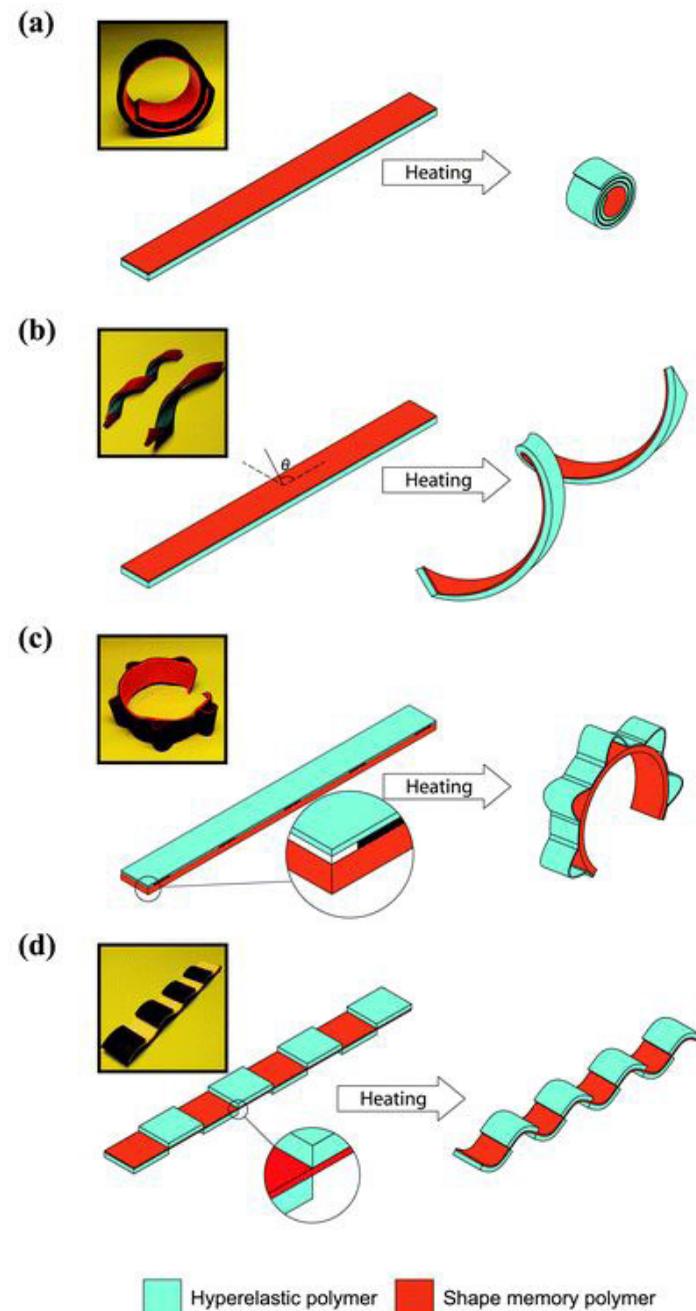


Fig. 92

Entre los proyectos más destacados de aplicación de hidrogeles de tipo *shape shifting polymer* se encuentra la investigación del Dr. Qian Zhao y el Dr. Tao Xie de la Universidad de Zhejiang, China quienes buscaron manipular la elasticidad y plasticidad del polímero y asegurar la recuperación del material a su estado inicial (Fig.93) (Zhao, 2016), así como la investigación del equipo de científicos del Instituto Wyss de la Universidad de Harvard, quienes buscaban crear tejidos impresos en lo que llaman 4D, emulando los movimientos y formas de las plantas al emular microestructuras orgánicas por medio de fibrillas de celulosa derivadas de la madera (Fig.94) (Wyss Instituted, 2016).

Este material se propone para las juntas abisagrantes que unen la carátula principal con las alas abatibles, de esta forma, estas últimas adquirirían la capacidad de abrirse de forma automática sin necesidad de energía eléctrica o de algún otro tipo, solo respondiendo a los estímulos de su entorno

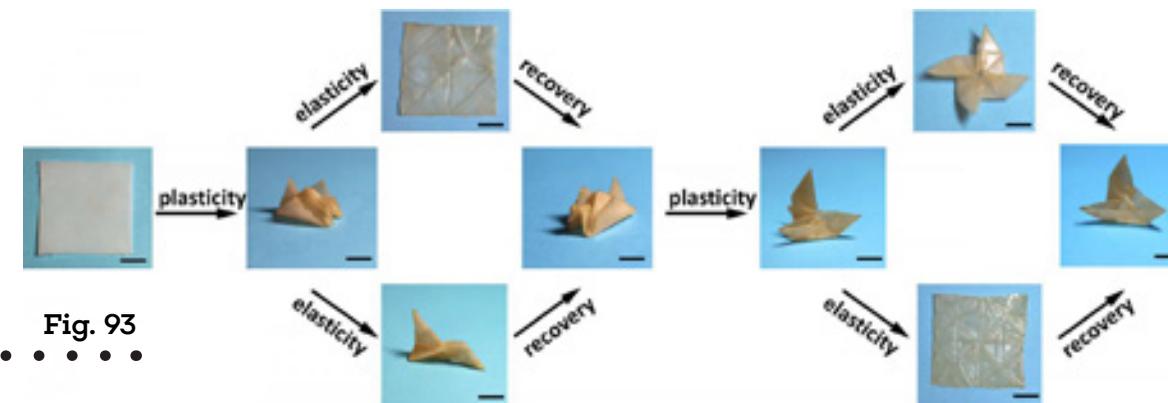


Fig. 93

Fig. 94

Fig.92: Créditos para el departamento de Ingeniería Biomecánica, Universidad tecnológica de Delft

Fig. 93: Figura obtenida del paper "Shape memory polymer network with thermally distinct elasticity and plasticity". Créditos a quien corresponda.

Fig. 94: Imágenes obtenidas del portal del Wyss Institute, Boston. Novel 4d printing method blossoms from botanical inspiration



6.2 Memoria DESCRIPTIVA



Vistas de los objetos.

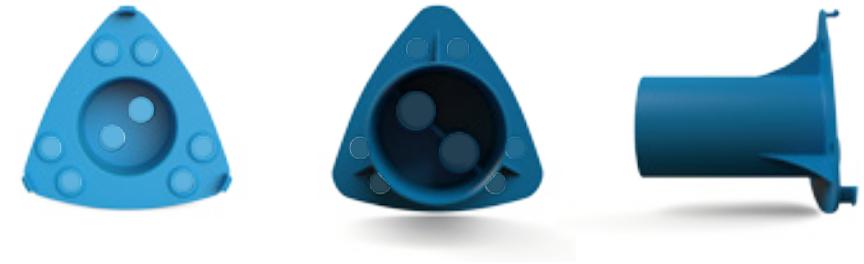
Modulos principales.

Dimensiones:
70 x 60 x 17



Nodos de empotramiento.

Dimensiones:
8.5 x 8.5 x 8



Tapa de nodos de empotramiento.

Dimensiones:
8.5 x 8.5 x 2

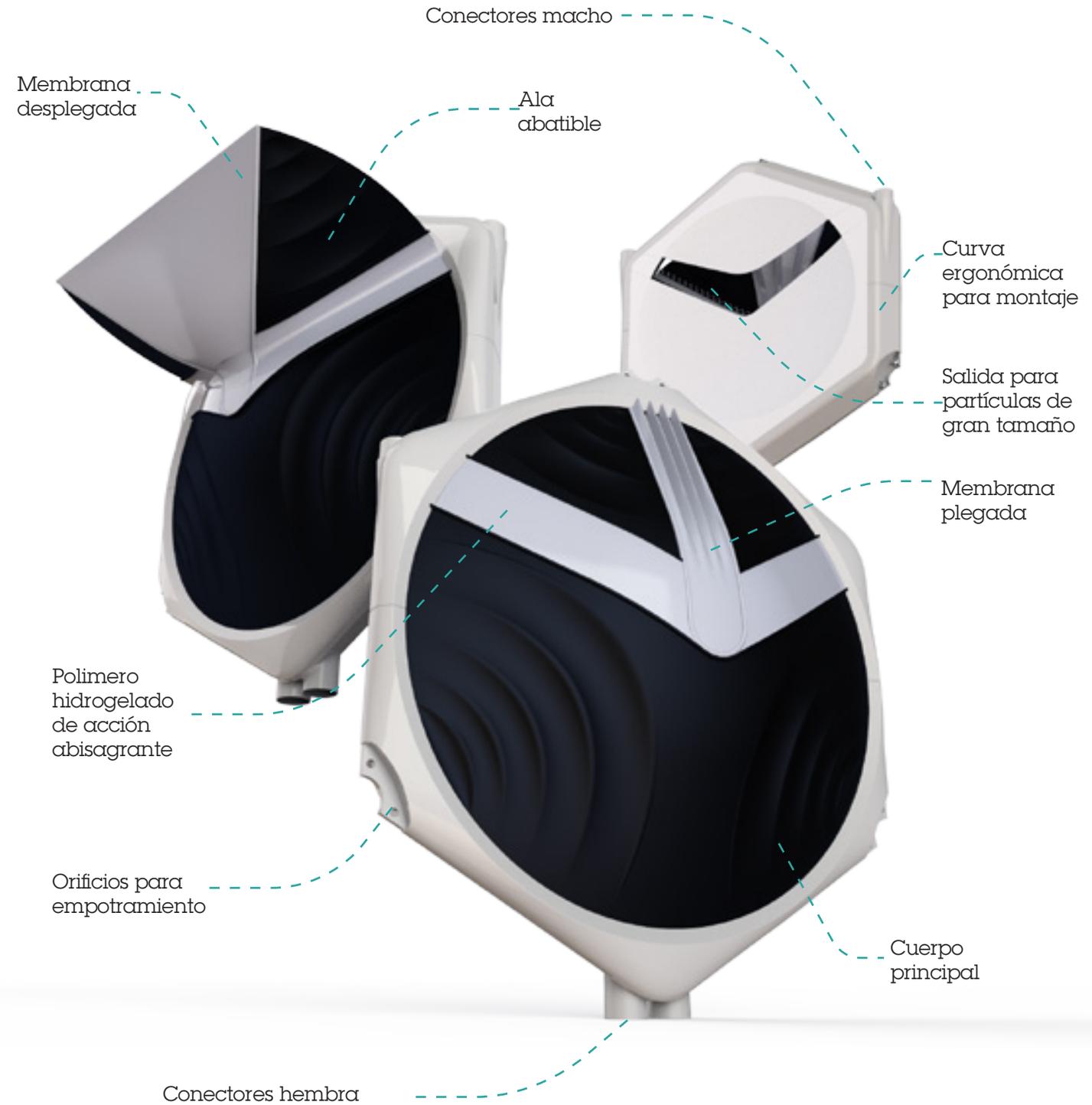


Salida de agua "Doble TEE".

Dimensiones:
6 x 13 x 4.5



Generalidades de los productos.



Captación de agua...

...De lluvia.

1.- Módulo en reposo:

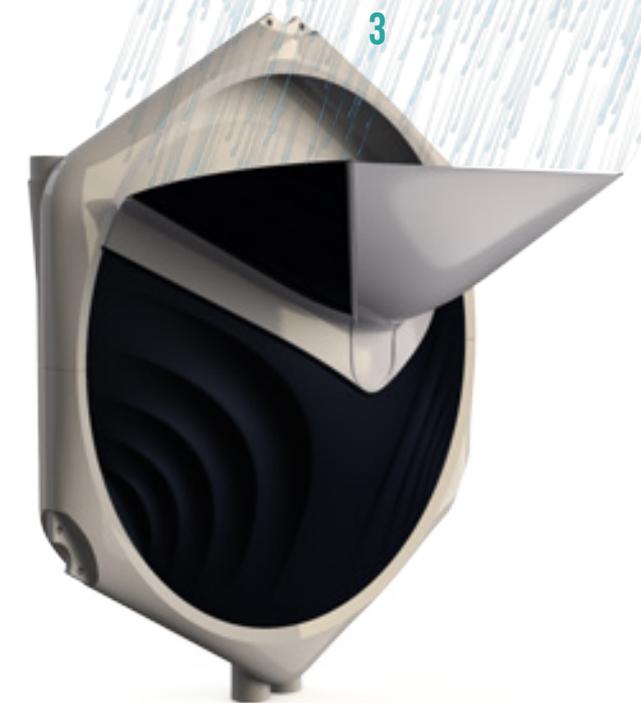
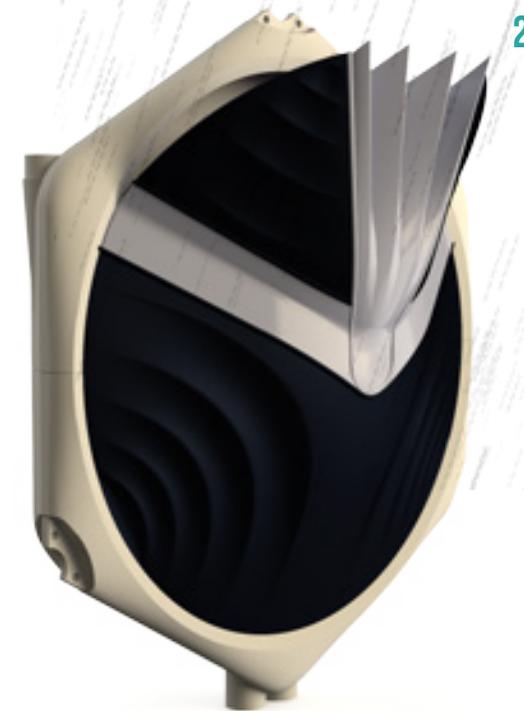
El módulo permanece cerrado cuando no hay agente abiótico que active su apertura.

2.-Apertura de módulo:

A la mínima presencia de agua, ya sea por acción del hombre o por lluvia, el polímero hidrogelado de acción abisagrante localizado al centro de su caratula principal se activa. La orientación de las cadenas moleculares del plástico permite que se hinche al incorporar a su estructura el agua que lo toca provocando la apertura del módulo.

3.- Captación de lluvia:

La membrana plegadiza que une ambas alas abatibles sirve como tope para detener la expansión del polímero hidrogelado, a su vez funciona como superficie de captación junto con las alas abatibles. Cuando la lluvia cesa, el agua dentro del polímero se reincorpora al ambiente regresando a su estado original y cerrando al módulo.



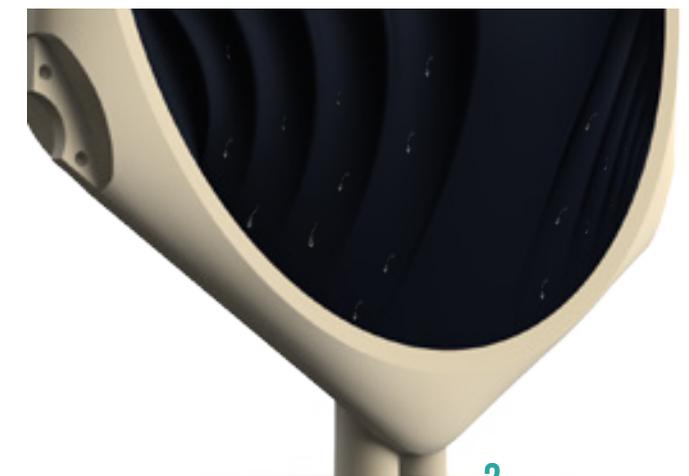
...De humedad atmosférica.

1.- Condensación de humedad:

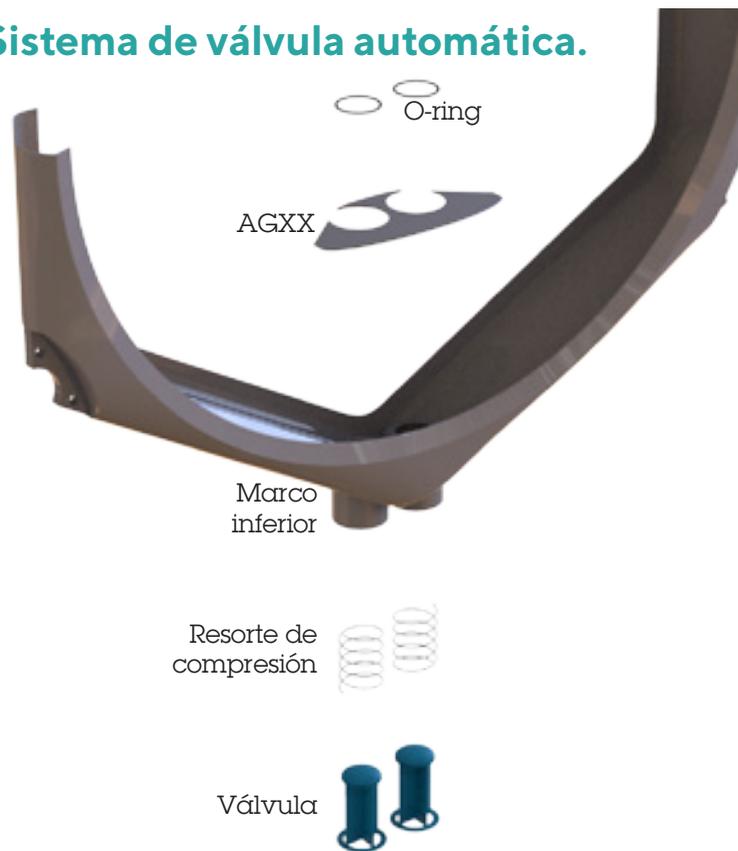
La combinación de propiedades hidrofóbicas e hidrofílicas favorece la condensación de la humedad del ambiente, captando pequeñas partículas de agua en la superficie hidrofílicas y provocando que esta se deslice por geometría a lo largo de las superficies hidrofóbicas. Este proceso ocurre durante las mañanas calurosas pues durante la noche el objeto guarda frío dentro de su superficie, el aire caliente al tocar la superficie, tiende a condensarse.

2.- Entrada al sistema:

Cuando las micro gotas condensadas se unen las unas a las otras el tamaño de las mismas aumenta hasta que la tensión superficial se rompe y se deslizan por los valles de las crestas. Al final del camino existen micro aberturas en los módulos que permiten el paso del agua dentro del sistema.



Sistema de válvula automática.

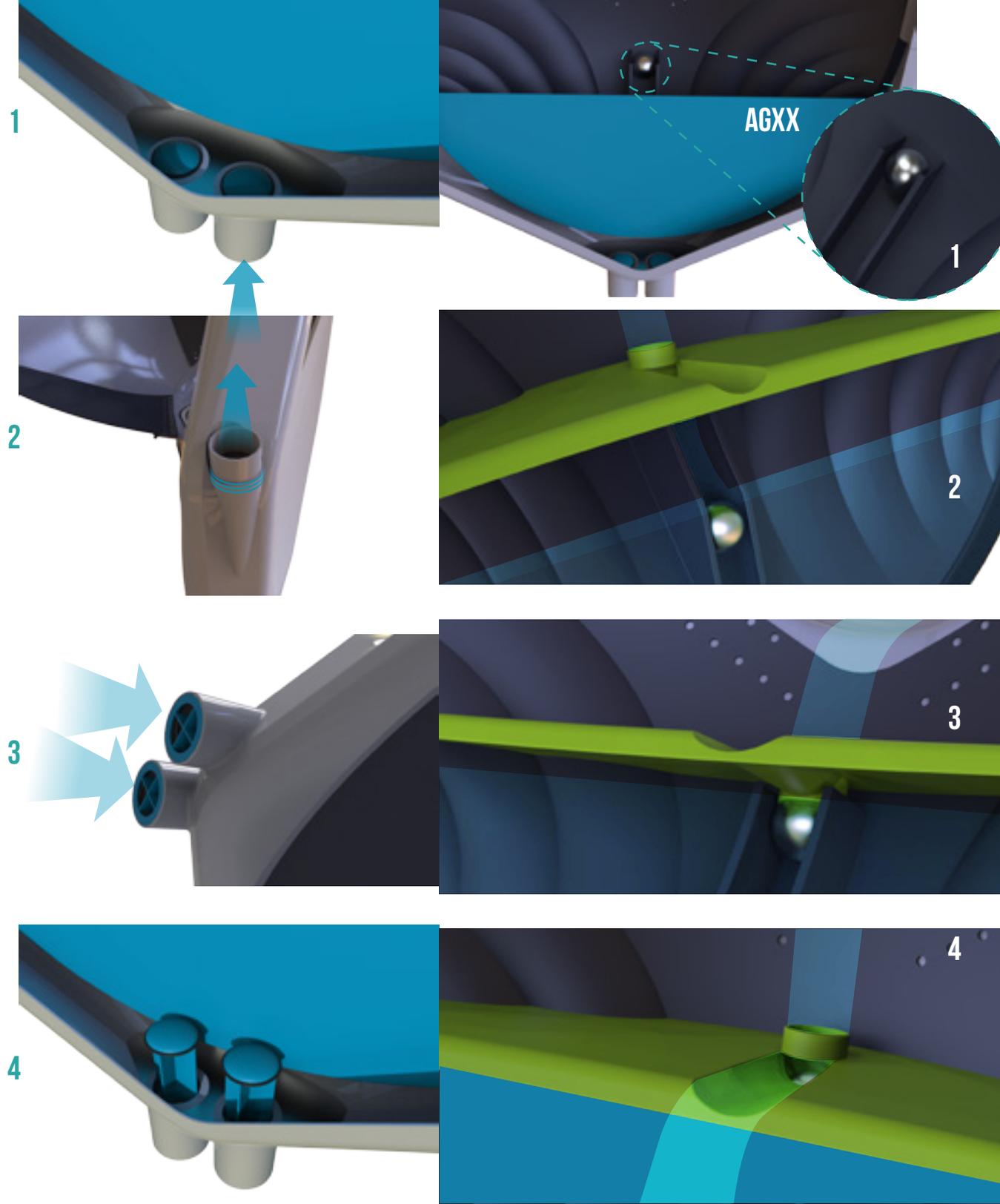


El resorte de compresión mantiene cerrada la válvula gracias a la presencia de o-rings en la cabeza de la misma.

Cuando un segundo módulo es conectado, el conector macho (entrada de agua) empuja la válvula comprimiendo el resorte y permitiendo el paso del agua (conector hembra).

Las salidas y entradas de líquido están diseñadas con un sistema de doble pared con tolerancias mínimas para minimizar la posibilidad de fugas por unión.

Antes de que el agua salga de cada módulo pasa por una pieza final con recubrimiento AGXX²⁰ para garantizar la inocuidad del fluido



Sistema de llenado y bloqueo de contenedor interno.

1.- En la parte posterior de la carátula principal hay una canaleta, habitáculo para una pelota flotadora con recubrimiento AGXX²⁰, con una fina pared que evita que la esfera se salga de su lugar; esta se encargará de regular el paso del agua dentro del contenedor y de ser el primer filtro bacteriano para el líquido que entra al sistema.

2.- Cuando el nivel del agua empieza a subir la pelota sube igualmente siendo guiada por la canaleta donde se encuentra.

3.- Cuando el contenedor se encuentra completamente lleno la pelota flotadora chocará con la tapa desviadora. Al momento de que esto suceda el contenedor se cerrará.

4.- La tapa desviadora posee a su vez una abertura que redirige el fluido por detrás del contenedor y hacia el siguiente módulo.

²⁰AGXX es un recubrimiento especial que mata e inhibe la proliferación de bacterias y otros patógenos. Si no se está familiarizado con el termino se recomienda ver el capítulo 6.1.

+Para fines de visualización en los recursos gráficos de la izquierda se omite una pieza intermedia entre la captación de agua y el ingreso de la misma al contenedor, en la siguiente página se muestra un corte donde se aprecia el interior del objeto.

Sistema de filtración y purificación.

1.- Una vez abierto el módulo, el primer filtro con el que se encuentra el agua es una rejilla multiperforada que forma parte de la tapa trasera del objeto, esta rejilla sirve de "coladera" para separar y deshacerse de las partículas de gran tamaño como piedras y hojas.

El paso del agua es posible gracias a los orificios de la superficie y a la longitud de la misma (15cm de ancho), deshaciéndose de los primeros entes no deseados y permitiendo la siguiente fase del proceso.

2.- El agua es dirigida hacia el frente del objeto por una segunda superficie, esta es sólida con una única abertura en el centro, a través de ella el agua ingresa a la cavidad interior siendo una pelota flotadora con recubrimiento AGXX²⁰ lo primero que toca. Entre otras cosas, la función de la pelota es ser el primer agente que se deshaga de bacterias (ver Cap. 6.1).

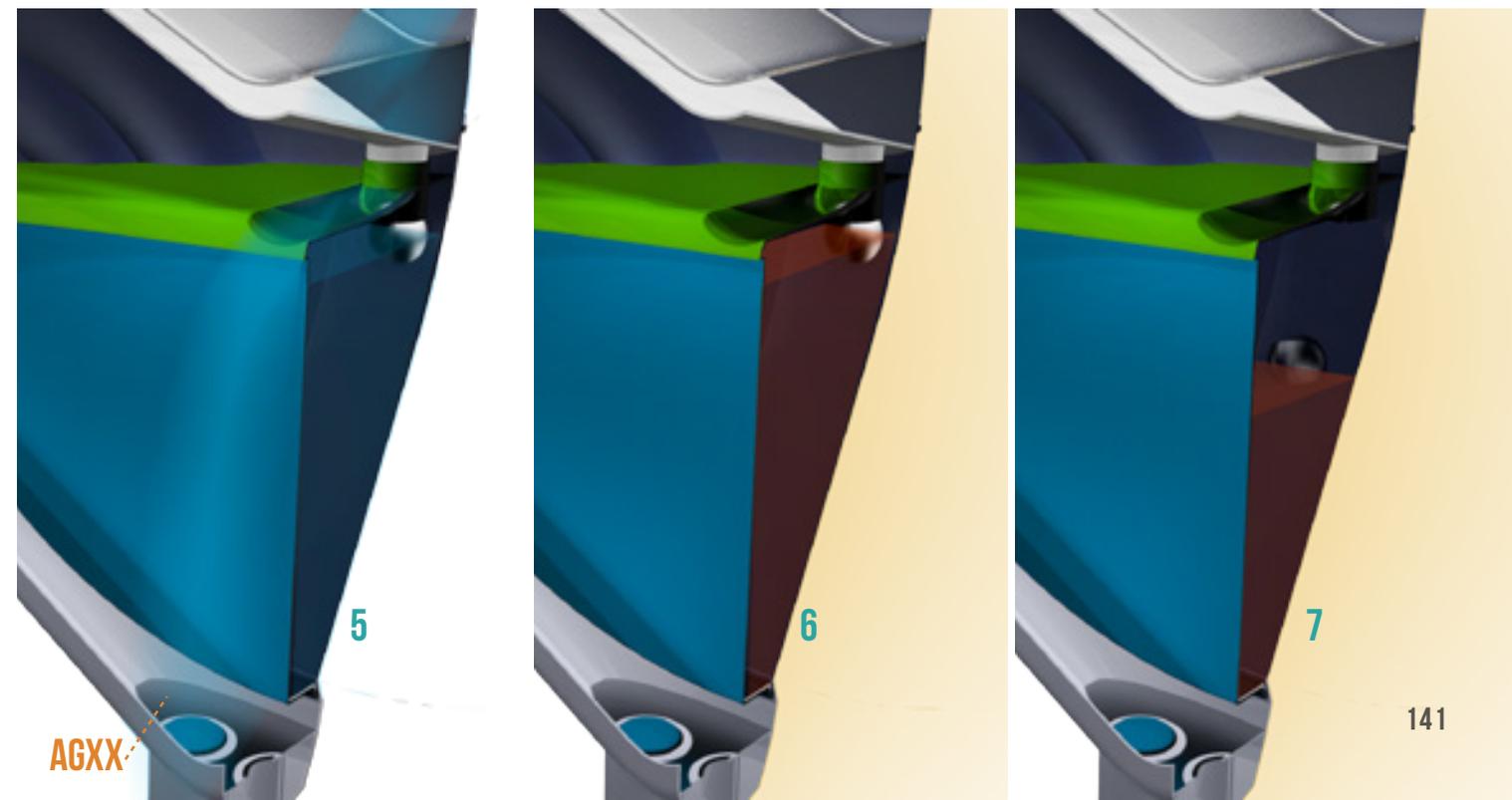
3.- Mientras el nivel de agua sube la pelota flotadora lo hace igualmente al continuar siendo la primera cosa al ser tocada por el líquido. En la periferia del contenedor interno hay un empaque que tiene la doble función de evitar fugas y fungir como el segundo filtro de purificación de agua pues cuenta también con un recubrimiento AGXX²⁰.

4.- Cuando el agua alcanza su punto máximo la pelota flotadora bloquea el paso de agua desviándola hacia la parte trasera del objeto donde se comunica al siguiente módulo. El agua que permanece dentro del compartimento es continuamente purificada por acción del recubrimiento.

5.- Finalmente, el tercer y último filtro AGXX²⁰ se encuentra presente antes de comunicar el agua de un módulo al otro por medio de una plaqueta con este recubrimiento.

6.- Cuando deja de llover y el sol sale, este calienta la superficie del objeto provocando que el agua al interior tienda a evaporarse.

7.- Cuando el agua se evapora y choca con la pared de la tapa desviadora esta se condensa y se dirige hacia la parte trasera del módulo gracias a la pendiente de esta pieza. Paulatinamente el líquido pasará al siguiente módulo donde el mismo proceso será repetido indefinidamente hasta llegar a la salida de agua, quien la comunica a la cisterna donde es recolectada para su uso posterior.



Instalación en muros.

1.- Instalación de perfiles:

Los módulos pueden instalarse directamente a las fachadas, sin embargo se recomienda el montaje de perfiles tipo PTR previo a la instalación del sistema, estos deben ser equidistantes entre si y alineados en plomada con 30cm de separación de eje a eje.

2.- Instalación de nodos inferiores:

Cada nodo requiere de 2 barrenos sobre los perfiles, cada módulo requiere de 3 nodos. Por las cualidades del sistema debe instalarse primeramente los dos nodos inferiores de cada módulo con ayuda de tornillería autoenroscada comercial y desarmador eléctrico.

3.- Sobreposición de módulo:

Los nodos están diseñados para que el módulo descansa sobre los dos puntos de sujeción inferiores sin que este se caiga ni voltee, pues su bajo peso (1.075 kg) y su centro de masa por debajo del centro, ayudan a que esto suceda. La silueta de los laterales del objeto tiene un ángulo de 60°, lo que responde al rango de apertura natural de la mano en flexión.

4.- Fijación del módulo:

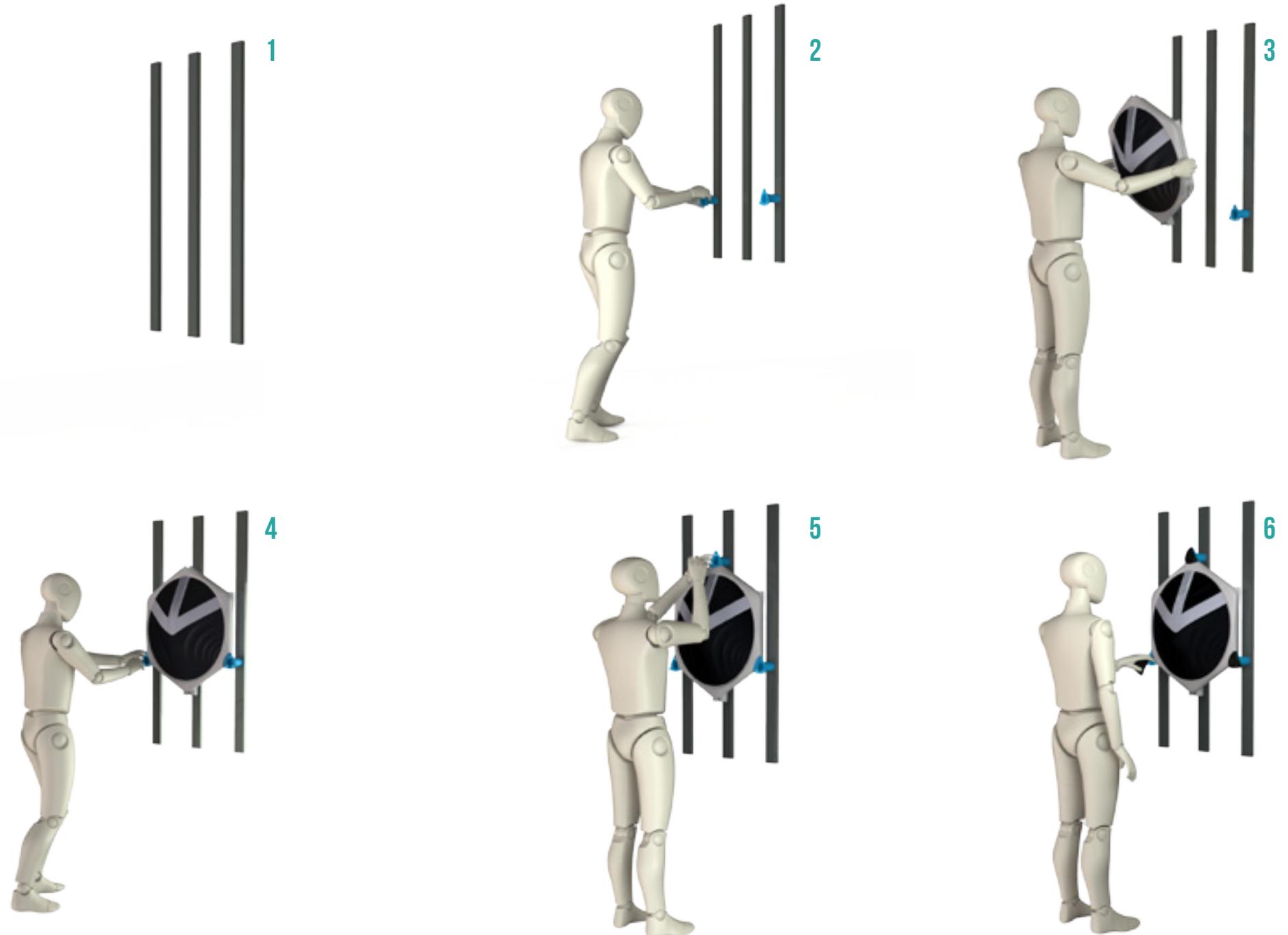
Una vez que el módulo descansa sobre los nodos inferiores se procede a unirlos a los nodos con ayuda de tornillería autoenroscante comercial. Cada punto de sujeción requiere 2 tornillos autoenroscantes (pijitas) para brindarle estabilidad.

5.- Instalación de nodo superior:

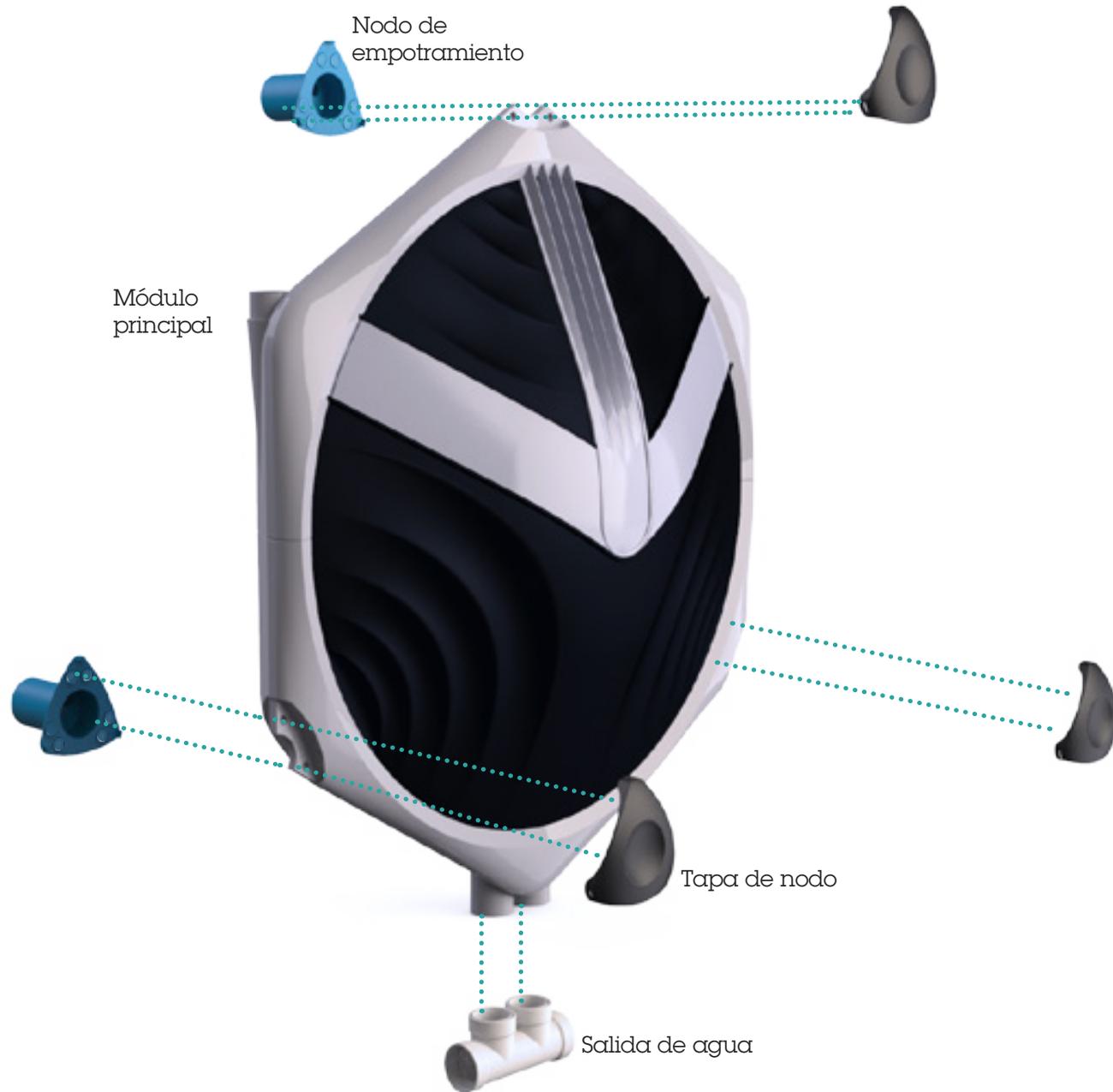
Posteriormente se repiten los pasos 2 y 4 para el tercer nodo. Una vez fijado este, el módulo permanecerá inmóvil y bien sujeto.

6.- Tapa de nodos:

Cada nodo sirve como punto de anclaje para 3 módulos simultáneamente. La instalación de la tapa de seguridad evita el vandalismo sobre las piezas y aporta un acabado más estético. Al ser una tapa con sujetadores tipo snap, el posible remplazo de piezas se convierte en una tarea sencilla.



Ensamble de piezas.

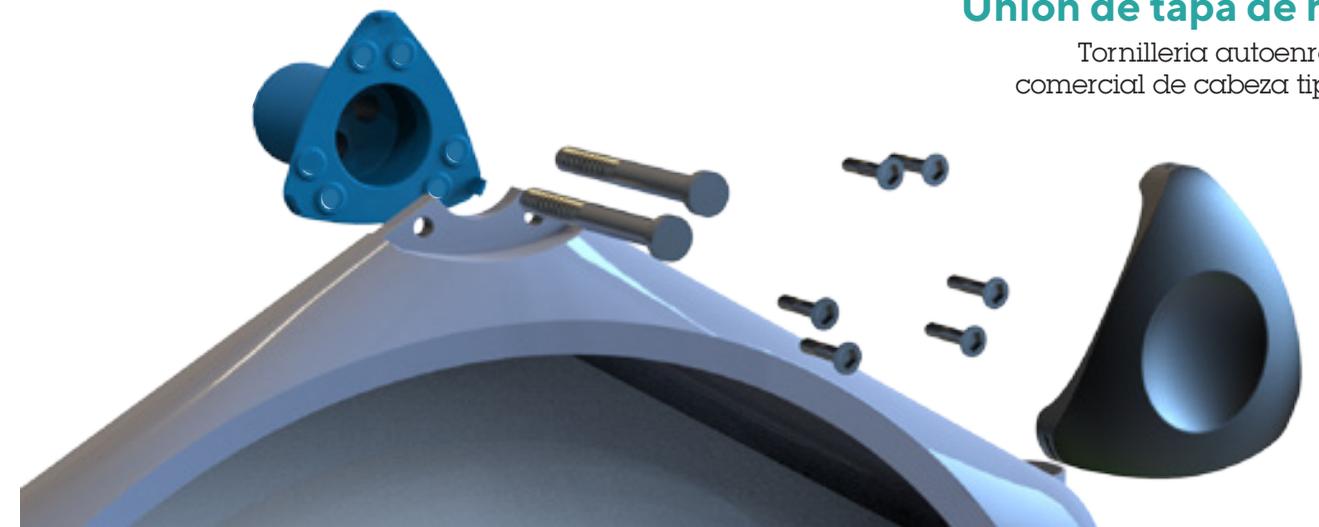


Unión de tapa de nodo.



Unión de tapa de nodo.

Tornillería autoenroscante comercial de cabeza tipo allen



Centro de masa.



Su centro de masa ligeramente por debajo del centro geométrico y sobre el plano sagital le da estabilidad durante su instalación, evitando que este se voltee y facilitando su maniobrabilidad.

Masa por volúmen de agua máximo.

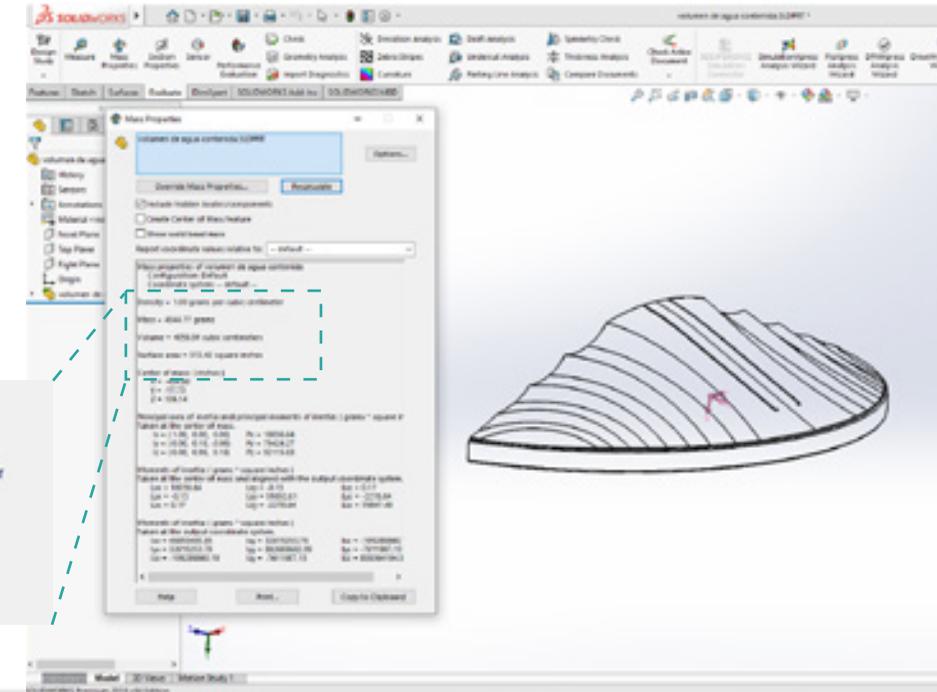
$$m = \rho \cdot V$$

$$\rho_{\text{agua}} = 997 \text{ kg/m}^3$$

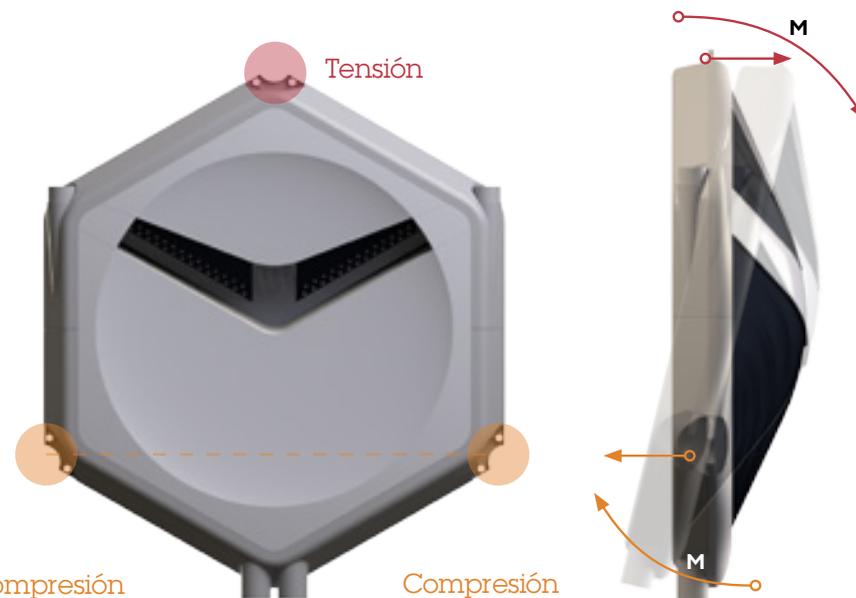
$$V_{\text{contenedor}} = 0.004056 \text{ m}^3$$

$$m \approx 4 \text{ kg}$$

Density = 1.00 grams per cubic centimeter
 Mass = 4044.77 grams
 Volume = 4056.94 cubic centimeters



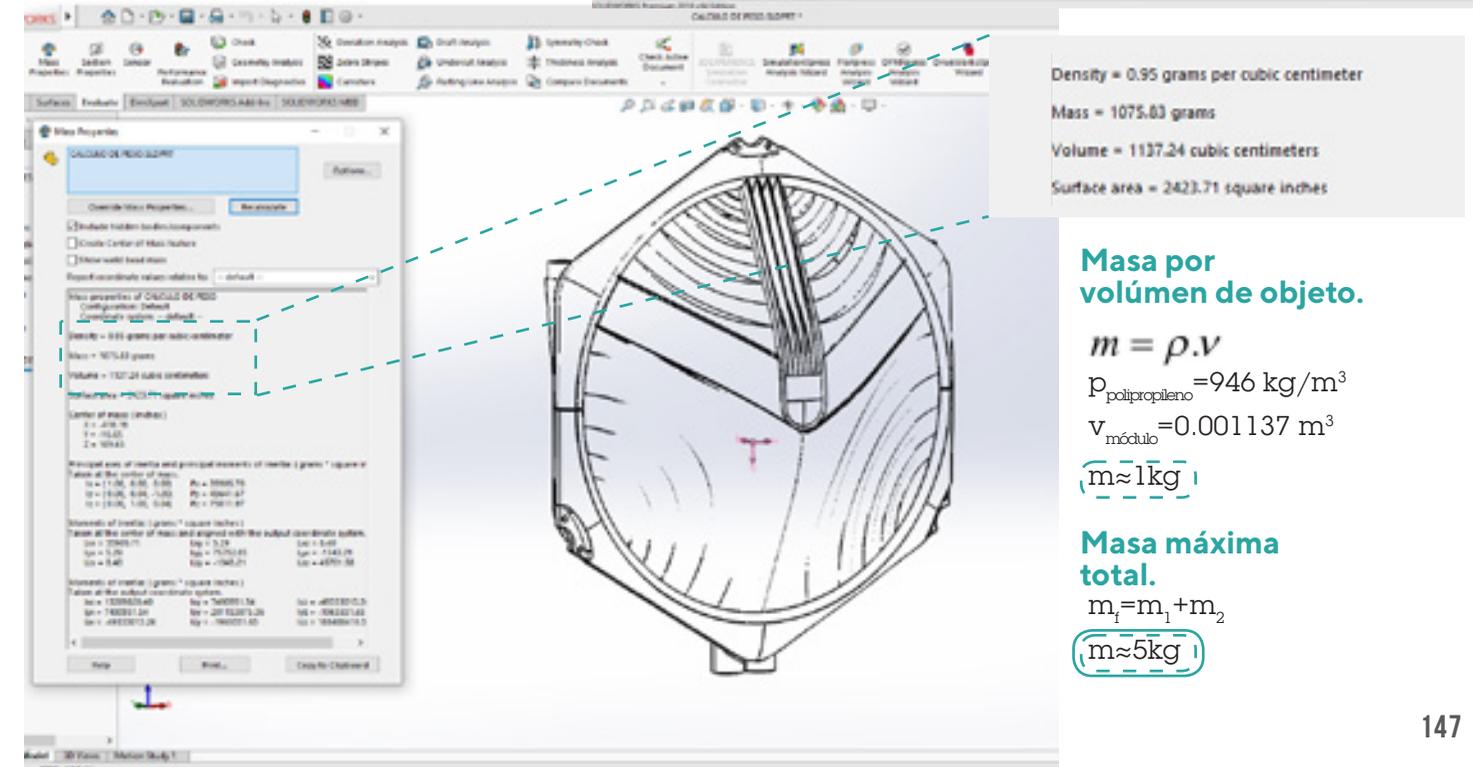
Trabajo mecánico en cada nodo.



En la ilustración de la izquierda se muestra una exageración en el momento del objeto para mostrar el movimiento del mismo.

Así pues los nodos inferiores trabajan a compresión, al ser empujados hacia la pared y el superior a tensión, al tender a irse hacia el frente.

El eje de giro de dicho movimiento se sitúa aproximadamente en el centro de masa



Density = 0.95 grams per cubic centimeter
 Mass = 1075.83 grams
 Volume = 1137.24 cubic centimeters
 Surface area = 2423.71 square inches

Masa por volúmen de objeto.

$$m = \rho \cdot V$$

$$\rho_{\text{polipropileno}} = 946 \text{ kg/m}^3$$

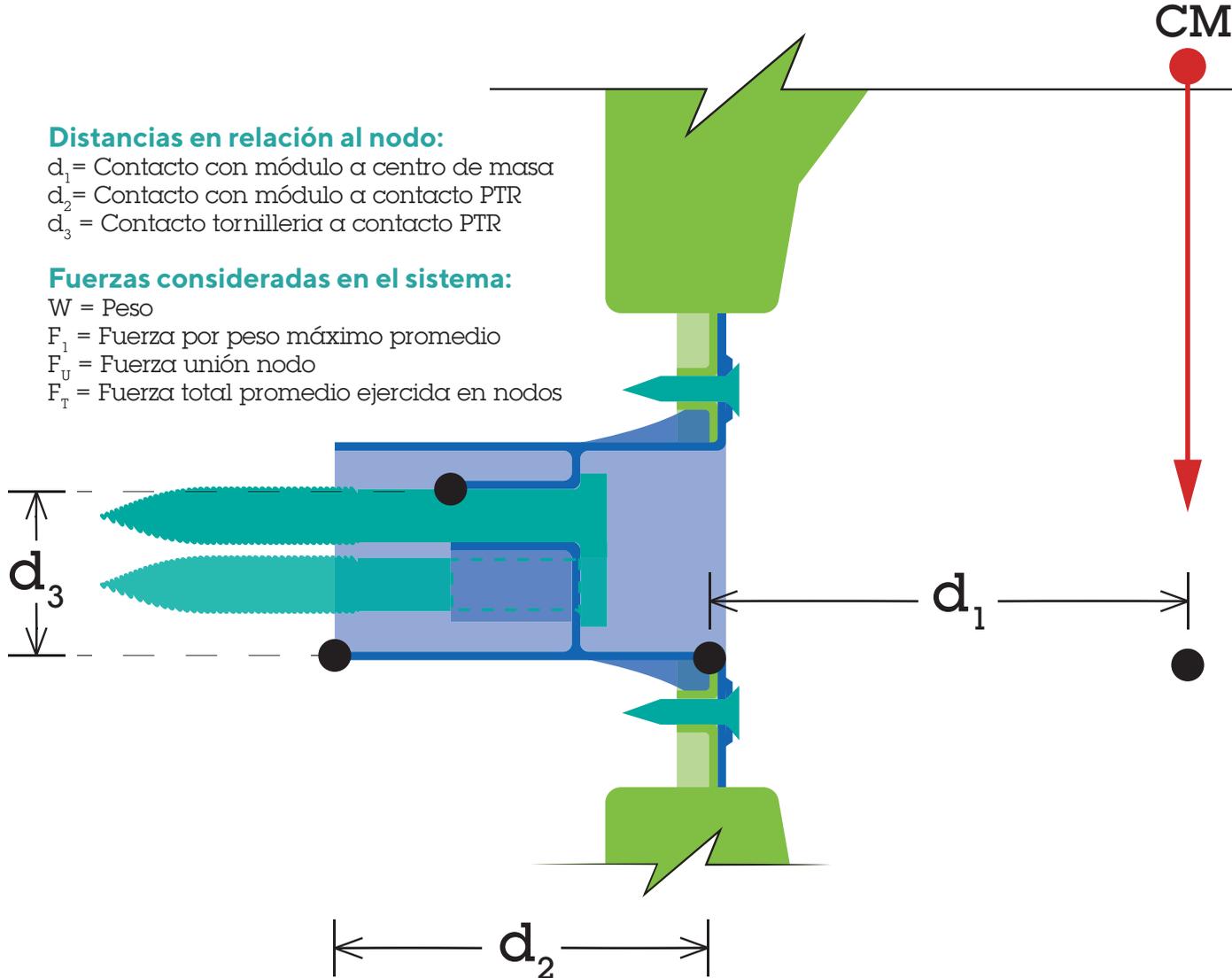
$$V_{\text{módulo}} = 0.001137 \text{ m}^3$$

$$m \approx 1 \text{ kg}$$

Masa máxima total.

$$m_t = m_1 + m_2$$

$$m \approx 5 \text{ kg}$$



Distancias en relación al nodo:

- d_1 = Contacto con módulo a centro de masa
- d_2 = Contacto con módulo a contacto PTR
- d_3 = Contacto tornillería a contacto PTR

Fuerzas consideradas en el sistema:

- W = Peso
- F_1 = Fuerza por peso máximo promedio
- F_U = Fuerza unión nodo
- F_T = Fuerza total promedio ejercida en nodos

- Módulo
- Nodos de empotramiento
- Tornillería autoenroscante

$$w = g \cdot m$$

$$w = (9.8 \text{ m/s}^2)(5 \text{ kg})$$

$$w = 49 \text{ N}$$

$$F_1 = (w/3)$$

$$F_1 = (49 \text{ N}/3)$$

$$F_1 = 16.33 \text{ N}$$

El peso de cada módulo se reparte de manera muy similar en cada uno de los tres nodos que lo sujetan.

$$F_U \cdot d_3 = F_1 (d_1 + d_2)$$

$$F_U = \frac{F_1 \cdot (d_1 + d_2)}{d_3}$$

$$F_U = \frac{16.33 \text{ N} \cdot (0.08 \text{ m} + 0.075 \text{ m})}{0.05 \text{ m}}$$

$$F_U = \frac{2.5311 \text{ Nm}}{0.05 \text{ m}}$$

$$F_U = 50.62 \text{ N}$$

$$F_T \approx F_U \cdot 3$$

$$F_T \approx 151.86 \text{ N}$$

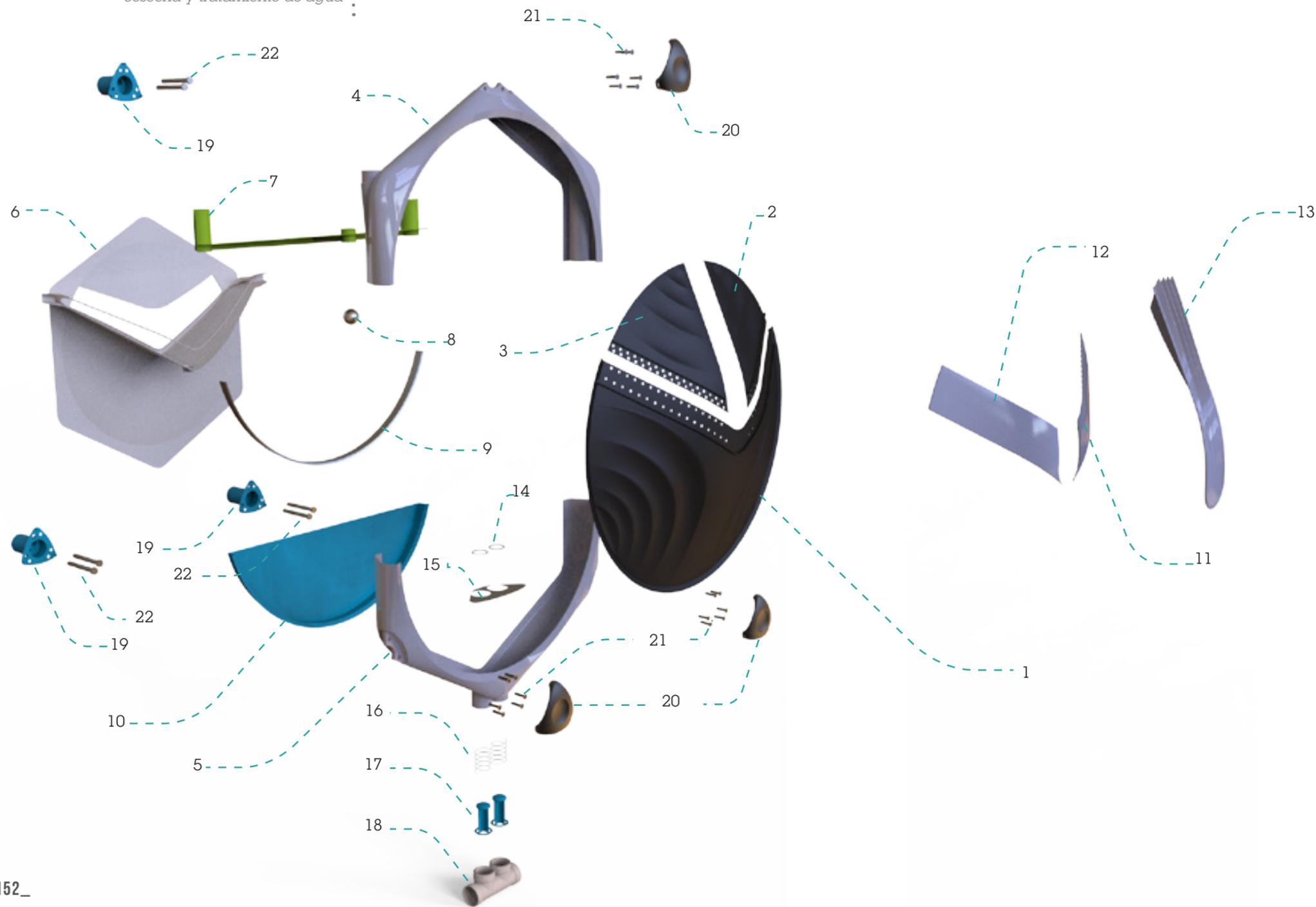
El valor de este número va en relación al número de módulos que sujeta cada nodo, siendo 3 el valor máximo.

Valores:

- $d_1 = 0.08 \text{ m}$
- $d_2 = 0.075 \text{ m}$
- $d_3 = 0.05 \text{ m}$

- $W = 49 \text{ N}$
- $F_1 = 16.33 \text{ N}$
- $F_U = 50.62 \text{ N}$
- $F_T = 151.86 \text{ N}$





Pieza N°.

Nombre.

- 1 Caratula principal
- 2 Ala abatible izquierda
- 3 Ala abatible derecha
- 4 Marco superior
- 5 Marco inferior
- 6 Tapa trasera con rejilla micro-perforada
- 7 Tapa desviadora
- 8 Pelota flotadora (AGXX)
- 9 Sello interno y purificador (AGXX)
- 10 Contenedor interno
- 11 Bisagra hidrogelada derecha
- 12 Bisagra hidrogelada izquierda
- 13 Membrana abatible
- 14 O-ring
- 15 Base purificadora (AGXX)
- 16 Resortes de compresión
- 17 Válvulas
- 18 Salida de agua "TEE doble"
- 19 Nodo de empotramiento
- 20 Tapa de nodo de empotramiento
- 21 Tornillería autoenroscante nodo-módulo
- 22 Tornillería autoenroscante nodo-perfil PTR

Material.

- Poliétileno lineal de baja densidad (PELBD)
- Poliétileno de alta densidad (HDPE)
- Polipropileno (PP)
- Poliétileno (PE)
- Polipropileno (PP)
- Polipropileno (PP)
- Hidrogel 4D "Wyss"
- Hidrogel 4D "Wyss"
- Poliuretano termoplástico (TPU)
- Pieza comercial
- Polipropileno (PP)
- Pieza comercial
- Polipropileno (PP)
- Copolímero Aleatorio de Polipropileno (PP-R)
- Polipropileno (PP)
- Copolímero Aleatorio de Polipropileno (PP-R)
- Pieza comercial
- Pieza comercial

Proceso.

- Inyección plástica
- Moldeo por soplado + PVD
- Inyección plástica +PVD
- Inyección plástica
- Por definir
- Por definir
- Inyección plástica
- Pieza comercial
- Inyección plástica +PVD
- Pieza comercial
- Inyección plástica
- Inyección plástica
- Inyección plástica
- Inyección plástica
- Pieza comercial
- Pieza comercial



6.3 Análisis ESTÉTICO

Dzahui es un proyecto complejo no solo desde su punto de vista operativo sino también desde el punto de vista estético pues el objeto posee múltiples determinantes operativas que impiden la creación de formas orgánicas, atrevidas, intrincadas, etc. Partiendo del hecho de que Dzahui es un objeto de diseño industrial que habita permanentemente sobre los edificios, se estudiaron ambos contextos: el contexto objeto, cuando los módulos se encuentran de forma individual y el contexto fachada cuando los módulos se unen a manera de panel o doble fachada.

En las siguientes páginas se pueden apreciar los *moodboards* que se usaron para abstraer los atributos específicos de los módulos al igual que la imagen a proyectar y el carácter de su envolvente, empezando por un conjunto de productos contemporáneos, seguido de una serie de fachadas de esta época. Se enlistaron todos los atributos y conceptos estéticos de ambos *moodboards* dejando únicamente aquellos que no eran contradictorios entre sí pues estos representan.

Conceptos estéticos:

Pureza

- líneas que tienden a lo circular o a lo cíclico.
- Colores neutrales.
- Inexistencia de ortogonalidad dentro de la composición.
- Formas bien definidas.

Modernidad

- Entrecalles integradas dentro de la composición.
- Texturas o patrones repetitivos.
- Cambios de plano.
- Elementos que jerarquicen información mediante profundidad o altura.
- Radios G3 (que ofrecen una continuidad perfecta entre superficies).

Amabilidad

- Aristas redondeadas y dobles curvaturas.
- Envoltentes convexas.
- CMF (colores, materiales y acabados) que evoque a suavidad.

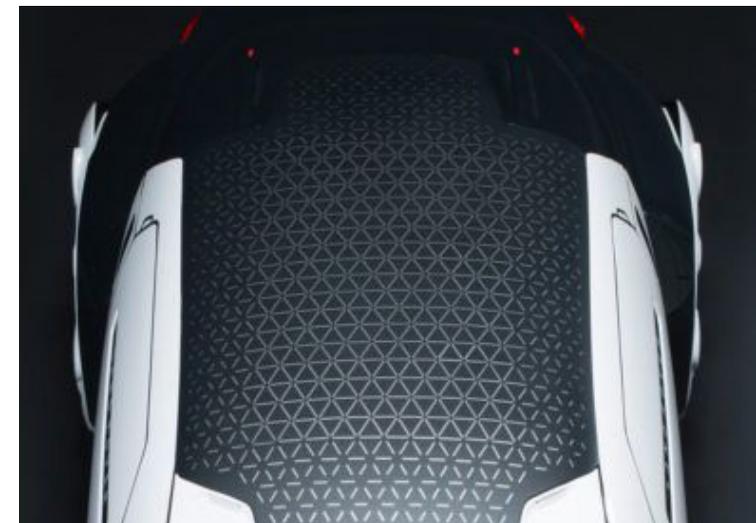
Sofisticación

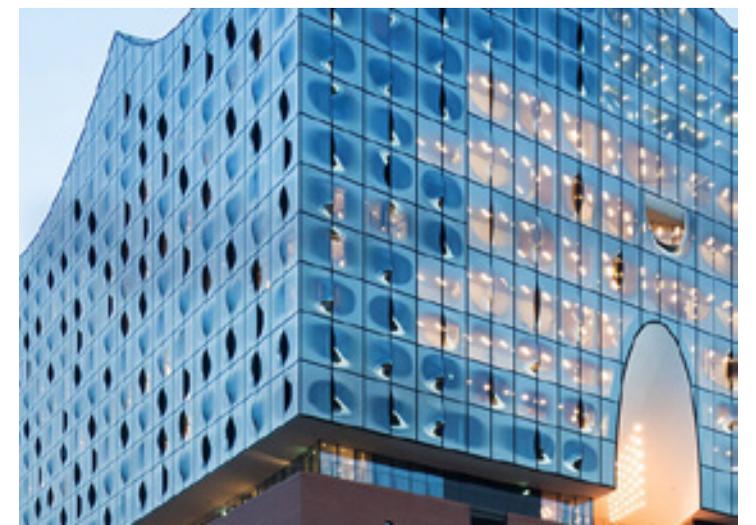
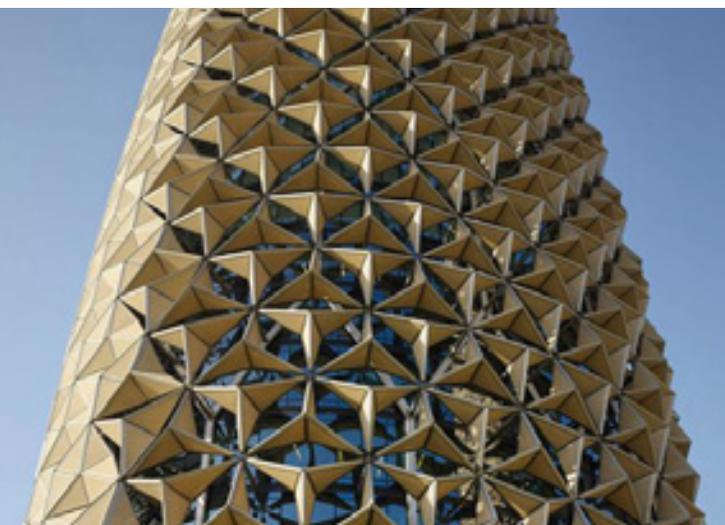
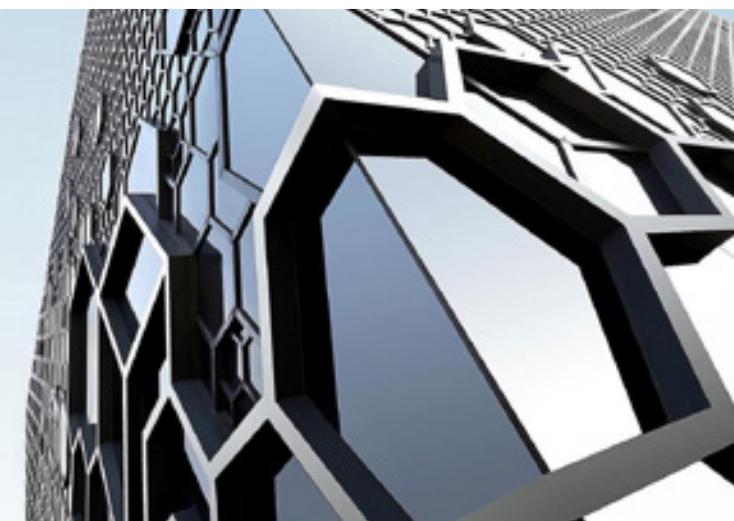
- Refinamiento y sutileza en las líneas que crean cambios de plano dentro del objeto.
- Elección de CMF que favorezcan un contraste en piezas y acabados.
- Continuidad en las superficies.

Dinamismo

- Líneas con dirección marcada que evoquen al movimiento.
- Juegos de luces y sombras que creen paletas de colores amplias por metamerismo.
- Curvas tangentes.







Rasgos estéticos.

1.- Cambios de plano:

Estos crean tensión visual en las superficies y otorgan brillo a las mismas al reflejar la luz de distinta manera.

2.- Superficies continuas.

Cada una de las piezas visibles tiene un grado de geometría con curvas tipo G3 por los que sus reflejos son continuos e interrumpidos. Esto le proporciona una sensación de limpieza y movimiento.

3.- Evocación al agua.

Uno de sus atributos más claros es la formación de ondas concéntricas por medio de las estrías. Estas fueron pensadas tomando como concepto una gota (la unión) cayendo sobre un cuerpo de agua (el módulo principal)

4.- Forma abovedada.

Otorga la sensación de amabilidad al objeto.

5.- Aristas boleadas.

Estas reafirman la amabilidad del objeto. Al ser curvas tipo G3 reflejan la luz de manera continua e imprimen una imagen de modernidad.

6.- Entrecalles marcadas.

Al ser un objeto con múltiples piezas y requisitos funcionales, en lugar de esconderlos se hizo uso de las uniones y detalles como parte de la imagen del producto.

7.- Parte trasera convexa.

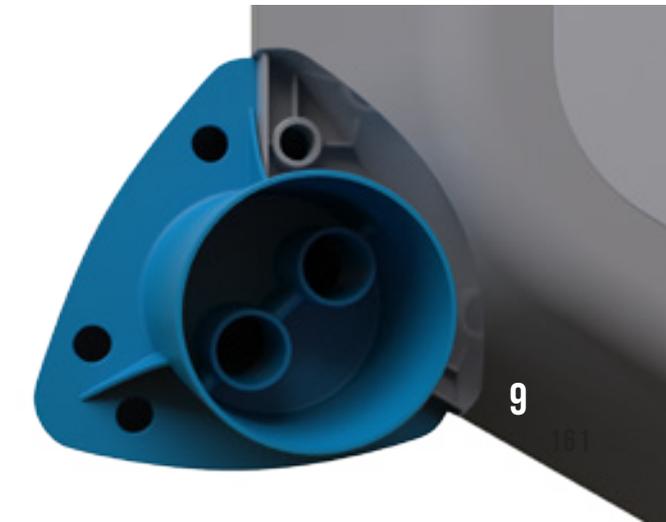
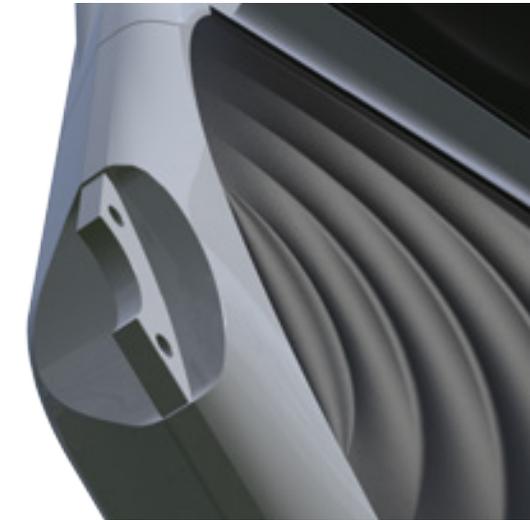
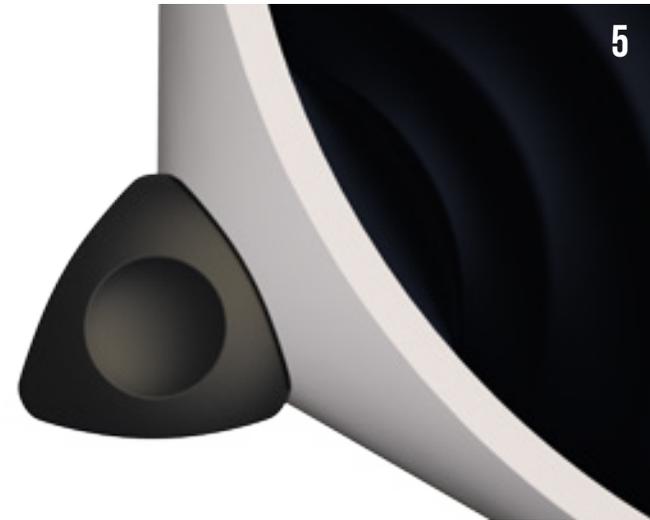
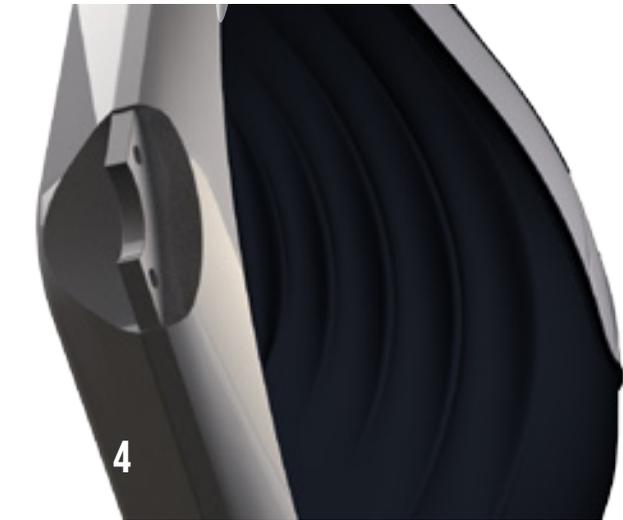
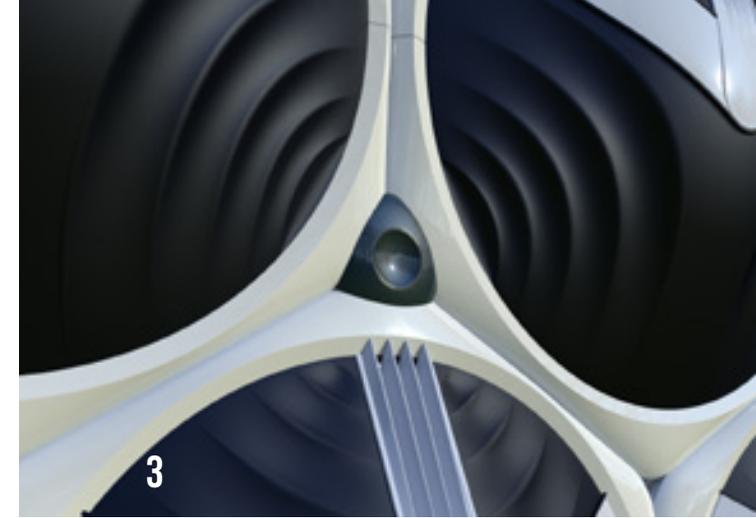
Además de propiciar juegos de luz, esta superficie separa más al objeto de la pared y permite el paso de basurillas directamente hasta el piso.

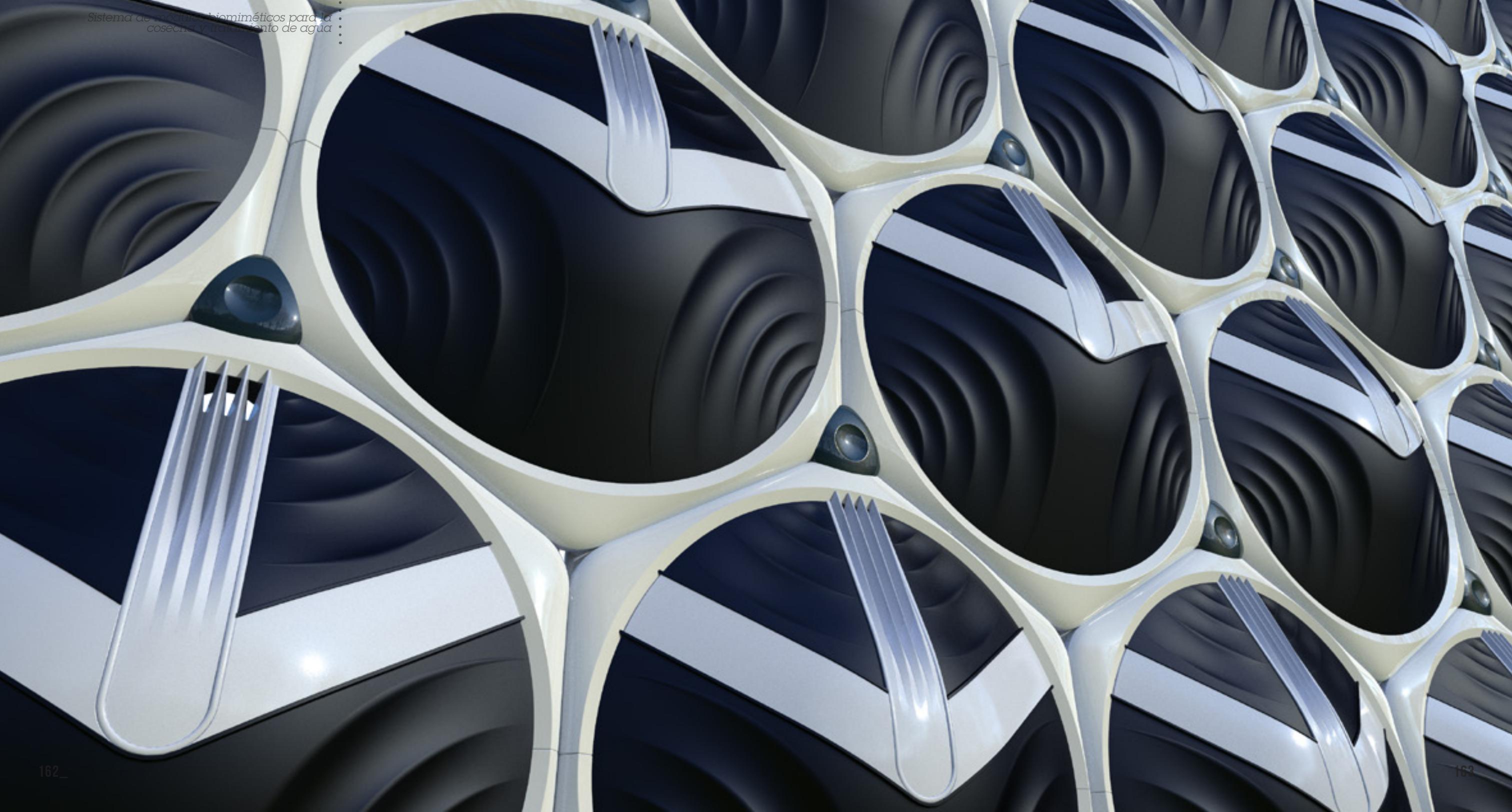
8.- Uniones booleanas.

Cuando la integración de las formas no fue posible estas fueron expuestas de manera honesta con su función.

9.- Nervaduras.

A pesar de ser un objeto ligero, las nervaduras en las uniones dan una sensación de robustez por lo que se convierte en un objeto semióticamente seguro.





6.4 Descripción DEL SERVICIO

Finalmente, el concepto no comprende únicamente productos físicos o de diseño industrial sino también la creación de un servicio que comprende desde el lanzamiento hasta el mantenimiento del muro, este es de vital importancia para el éxito del concepto (Fig.88)

En la pre-venta se contemplan los medios de comunicación por los cuales el producto llegara a los oídos de posibles compradores. El mercado meta del producto son principalmente edificios gubernamentales y edificios de zonas habitacionales.

Para la etapa de venta se proponen tres sub-etapas: factibilidad de compra, corroboración de factibilidad y compra del producto.

La factibilidad se hace por medio de una *webpage* donde se ingresan datos relevantes del edificio que pretende adquirir el producto; entre estos datos se encuentran las coordenadas del edificio (con lo que se conocerá el índice de pluvialidad de la zona), orientación y dimensión de la fachada que se desea cubrir, e información sobre el contexto como edificaciones vecinas y vegetación perimetral. Estos datos serán computados por un *software* similar al del proyecto Kak-Tos (Beorkrem, 2017) y la calculadora para el aprovechamiento de la fundación Cantaro azul (disponible en su sitio web: capitalsustentable.shinyapps.io/calculadora/).

EL propósito de la *webpage* es tener una plataforma capaz de arrojar datos estimados cosecha de lluvia y un estimado del precio al que su instalación y compra equivaldrían.

Posteriormente, en caso de que el posible usuario así lo desee, se pasa a la siguiente sub-etapa: corroboración de factibilidad. Esta se hace InSitum. Un técnico capacitado cotejará que los datos arrojados por el *software* sean correctos. Él inspeccionará más detalladamente todas las variables que podrían llegar a afectar la operación del muro para recalcular los datos ingresados. Estos datos serán mostrados al cliente en potencia y el técnico explicará toda la información de interés al posible comprador. Estos datos actualizados se subirán a la misma plataforma en línea en la que se hizo el primer análisis de factibilidad. Si las cifras, tanto de litros captados como de precio esperado concuerdan con las expectativas del posible cliente, entonces la compra se efectúa. Todo esto se realiza por medio de un código único que el primer *software* realiza, mismo que será el futuro número de cliente con el que el posible comprador podrá efectuar todas las modificaciones, solicitudes o peticiones pertinentes relacionadas al sistema de captación que se oferta.

Si se acepta el pedido, se agenda una fecha de recibo y envío de piezas. Esta logística dependerá del volumen del pedido. Las cualidades del objeto-sistema permiten que cualquier instalador con conocimiento en el montaje de dobles pieles pueda realizarlo, sin embargo también es posible (y recomendable) que profesionistas pertenecientes a la empresa que gestione

la compra-venta del objeto-sistema lo hagan, pues esto supone que los profesionistas contarán con herramientas suficientes y conocimiento específico que agilizará el montaje del muro.

Finalmente en la post-venta. El mantenimiento puede ser, igual que la instalación, ejecutado por cualquier tipo de fontanero o profesión similar, sin embargo el servicio, al ser integral, también comprende la limpieza semestral del sistema de captación completo. Los técnicos en mantenimiento que realicen la limpieza del muro harán también el mantenimiento de la cisterna y, en caso de ser necesario, el reemplazo o reparo de piezas dañadas en el muro.

Fig.95: Diagrama condensado del servicio integral que envuelve al concepto.

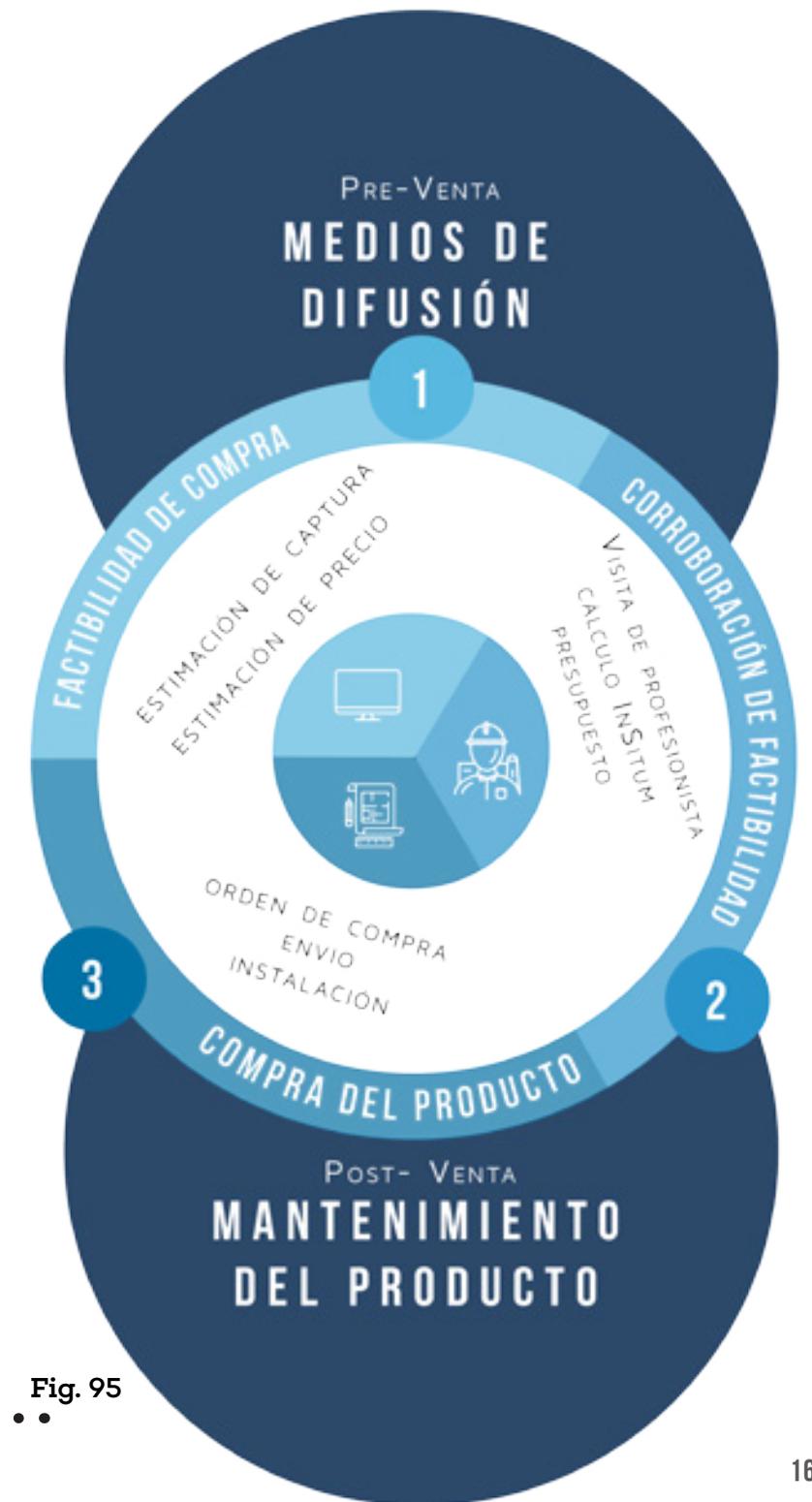


Fig. 95



_6.5 Preguntas FRECUENTES

Para cerrar con el desarrollo del concepto se enlista una serie de preguntas cuyas respuestas puedan haber resultado vagas hasta este punto con el objetivo de esclarecer todas las dudas posibles antes de proseguir con el aspecto técnico y estético del proyecto.

¿Existe alguna ventaja en tanto a calidad de agua se refiere entre este concepto y los sistemas de cosecha tradicionales?

¡Sí! La superficie captadora en los sistemas tradicionales se encuentra expuesta a contaminantes externos como polvo, hojas e insectos. Este concepto tiene la cualidad de abrirse selectivamente cuando capta agua por lo que su superficie es notoriamente más apta para recibir la pluvialidad sin comprometer la pureza del líquido por contaminantes en la superficie de captación.

¿Cuál es el área de captación de cada módulo?

Contando la captación directa (área abatible) y la captación por escurrimiento (superficie principal) cada módulo cuenta con 2,386 cm² de captación.

¿Cuántos litros de agua es posible cosechar?

Es un dato inexacto pues depende de cada situación. Recordemos que el objeto responde a su entorno por lo que es este el principal dictaminador de la eficiencia del concepto. La cantidad de litros depende directamente del número de módulos instalados, la orientación de la fachada y el índice de pluvialidad del lugar en donde se monta.

¿Cuántos litros de agua es posible cosechar con cada módulo al año?

En condiciones óptimas, cada módulo puede llegar a cosechar hasta 1,437lt por año solo de agua de lluvia, más el agua cosechada por humedad en temporadas secas. Datos calculados usando la superficie de captación y la calculadora para el aprovechamiento de lluvia, propiedad de Isla Urbana.

¿Cuántos litros de agua es posible cosechar con cada módulo al día?

Esto depende de la temporada en la que se encuentre. En temporada de lluvias puede llegar a coleccionar hasta 9.98 litros cada módulo con un promedio de colección diaria de 3.82 litros por módulo.

¿Por qué se separan las primeras lluvias?

Para mejorar la calidad del agua cosechada. La primera lluvia siempre posee un grado alto de contaminantes atmosféricos que la lluvia barre al tocar el aire, es por eso que, antes de mandar el agua a la cisterna, se purifica dentro de cada módulo previamente gracias a un sistema separador de primeras lluvias.

¿El contenedor interno de agua ácida se evapora y rellena en cada lluvia?

No. El contenedor de lluvia ácida tiene un límite fijo, su evaporación depende directamente de la radiación solar, no se asegura la evaporación de todo el líquido en cada lluvia. Sin embargo, lo anterior no compromete la pureza del agua cosechada, pues mientras más llueva, los agentes acidificadores en el aire son menores por lo que la primer lluvia -que es la que se encuentra en los contenedores internos- es la que contiene el mayor número de agentes contaminantes.

¿Cuánta agua es posible capturar por la humedad?

Es una respuesta incierta, ya que todo se fundamenta por proyectos existentes y reportes científicos externos. Se estima una cantidad de 200ml por unidad al día usando como referencia el análogo más próximo a esta función, DewBank.

¿Cómo se atribuyen las propiedades hidrofílicas e hidrófobas a las paredes exteriores del objeto?

Esta es quizá una de las partes menos exploradas del producto al no contar con el material físicamente por el alto costo de prototipado, sin embargo se propone que esto suceda gracias a la calidad del molde donde se inyecten las piezas plásticas y la textura del mismo. En las crestas de cada canaleta se aplicara una textura porosa, otorgando la propiedad hidrófoba mientras que en el valle de la cresta el molde será pulido con hoja diamante. La fineza del acabado proporcionara un acabado con propiedades hidrófobas.

¿El agua cosechada por humedad es limpia?

Sí, sin embargo al deslizarse sobre la superficie del módulo es posible que se adhiera de contaminantes (polvo), es por eso que el módulo inferior a quien se confiera el agua cosechada por humedad será el encargado de volver a purificarla.

¿Los módulos los puede instalar cualquier persona?

En principio sí pues todos los objetos diseñados cuentan con guías que impiden la mala colocación. Sin embargo, ya que los módulos se instalan sobre fachadas, dependiendo de la altura es necesario usar andamios y escaleras por lo que es necesario personal capacitado, más que por la instalación, por las circunstancias de la misma.

Si las estrategias de captación por humedad son muy exploradas ¿No hay riesgo de interferir con una patente?

No. Las soluciones son distintas las unas de las otras aunque se sustenten en los mismos principios. Las soluciones, en tanto a empleo de materiales, geometría, etc., difieren en todos los casos.

¿La cisterna debe tener cuidados extras?

No. la cisterna operará como cualquier otra, su conexión con el muro hídrico no afecta ni modifica de ninguna manera su funcionamiento.

¿Los nodos son de fácil instalación?

¡Sí!. La geometría de los nodos es tal que caben en la mano de cualquier persona adulta, además su forma triangular se amolda a la forma de la mano. En la parte posterior de cada nodo existen pequeñas guías que facilitan la colocación de tuercas y tornillos. De igual manera, la instalación de la tapa de cada nodo se hace por medio de *easy snaps* por lo que solo es necesario colocar y ejercer presión.

¿Cómo se purifica el agua dentro de cada módulo?

Principalmente gracias a la aplicación de recubrimientos catalíticos de patente. El material empleado en esta tesis (llamado AGXX), fue desarrollado dentro de la *Freie Universität Berlin*, Alemania. Se trabajó con el equipo de científicos que crearon este recubrimiento llegando a la conclusión que era posible aplicarlo para inhibir la proliferación de bacterias. Este material se profundizara en el capítulo siguiente, sin embargo se adelanta que funciona sin energía de ningún tipo y que garantiza totalmente la inocuidad del fluido frente a las bacterias y patógenos más comunes en el ambiente.

¿Toda la instalación se ejecuta sobre la fachada?

No necesariamente, depende de las cualidades arquitectónicas de cada edificación, para superficies de gran extensión es posible pre-ensamblar los módulos sobre perfiles tipo P.T.R. y posteriormente montar los paneles pre-ensamblados sobre la fachada con la única limitante que, para esto, es necesario el empleo de maquinaria especializada como grúas.

¿Es posible desmontar módulos individuales?

En caso de que algún módulo se descomponga, rompa, o tenga algún desperfecto, solo es necesario quitar la tapa de los tres nodos de empotramiento que sostengan dicho módulo para poder liberarlo.

¿Qué es lo que permite que la válvula sea hermética?

El uso de empaques y resortes mantienen la válvula cerrada. Solo cuando el macho de otro módulo acciona este seguro el agua puede fluir libremente.

¿Qué medidas se deben tener para el mantenimiento del muro hídrico?

Las mismas que para el mantenimiento de las cisternas. Una vez cada 6 meses -en temporada de sequía- se debe vaciar la cisterna, hacer correr agua clorada por los módulos y limpiar la cisterna con el agua que llega a ella vía el muro.

PRODUCE
UNA INMENSA TRISTEZA
PENSAR QUE

LA NATURALEZA HABLA
MIENTRAS EL GÉNERO
HUMANO NO LA ESCUCHA
- Victor Hugo



7 Conclusiones GENERALES

La vida moderna necesita de soluciones innovadoras que se centren en lo que ofrecen para la sociedad y para el mundo, más allá que en un simple valor numérico, atributo directo del sistema económico en el que vivimos. El agua, hasta el día de hoy, no es valorada como el recurso vital que es, pues el símbolo económico que se le atribuye es bastante bajo, sin embargo muchas localidades, pueblos, ciudades e incluso países enteros se ven cada vez más amenazados por la poca o nula accesibilidad a agua dulce.

Este proyecto presenta una alternativa más amigable con el mundo, que escucha y aprovecha al entorno en el que se encuentra insertado, que usa a la naturaleza como mentor y que pretende disminuir las afecciones antropogénicas sobre la gestión actual del agua dentro de la ZMVM.

A manera de cierre, a continuación se enlista una serie de conclusiones sobre distintos puntos que se tocan en el documento, aportando una visión más generalizada que las conclusiones y hallazgos específicos mencionados en cada parte de la documentación del proyecto (en los casos que aplica).

La naturaleza posee un banco de soluciones eficientes y eficaces, accesible para todo aquel que se aventura a querer comprenderla.

La metodología de la biomimética ofrece una visión bastante interesante sobre la solución de problemas. La realidad es que los organismos naturales ofrecen respuestas a casi todas las preguntas posibles de formular.

Estas respuestas son sencillas en esencia pero complejas de desarrollar puesto que la lógica de lo natural no es del todo compatible con la lógica de lo artificial. Mientras que la primera se enfoca en resolver bajo la premisa de la optimización, la segunda se enfoca en resolver bajo la premisa de la inmediatez.

Desarrollar un proyecto que conjuntara lo natural y lo artificial en una sola respuesta fue un reto en toda la extensión de la palabra. Para poder ejecutarla se requirió hacer una profundización no solo en lo material sino también en lo social, operativo, ecológico, ético, estético y en la repercusión a corto, largo y mediano plazo de una idea que busca contrarrestar un problema de tal magnitud.

La multidisciplinaria ofrece un cruce de información que propicia la innovación.

Este proyecto fue intervenido por especialistas de diversas áreas más allá que solo de diseño industrial, esto favoreció el pensamiento disruptivo y la combinación de conocimientos específicos. El resultado de esta tesis es un ejemplo de lo que es posible lograr cuando los proyectos se descentralizan bajo el quehacer de una sola disciplina.

El mapeo de información ofrece una mayor comprensión de las problemáticas y reduce la posibilidad de actuar sin juicio de consecuencia:

Las soluciones radicales no siempre se encuentran en la intervención más próxima, esto es lo que dice el pensamiento sistémico. Mapear información ofrece una apertura en el panorama que se estudia, por ende un análisis más profundo que permite tomar decisiones mejor pensadas.

Existen un sinnúmero de ideas que pretenden solucionar fenómenos de manera local y bastante puntual que no comprenden la totalidad del sistema en el que se insertan, por poner un breve ejemplo la creación de segundos pisos que solo fortalecen la dependencia del automóvil en una ciudad de escalas y trayectos exorbitantes como en la nuestra, en vez de intentar disminuir distancias por medio de políticas públicas y re-planeación urbana-social. Mapear información en sistemas permite arrojar soluciones que no perjudiquen áreas del sistema mismo en vísperas de solucionar algunas otras, sino que por el contrario, ofrece alternativas resilientes, como el caso del concepto desarrollado en este documento.

La emulación de agentes naturales predispone al pensamiento disruptivo.

Como se mencionó en puntos anteriores, los enfoques de lo que hasta el día de hoy se ve como "mundo humano" y "mundo natural" no comparten puntos de vista similares. Al crear un producto dentro del "mundo humano" bajo las premisas del "mundo natural", se propicio una solución con un nivel de innovación tal que no existen productos con características similares en la actualidad.

La globalización en principio ofrece soluciones universales cuando estas deberían ser locales:

Uno de los problemas más grandes de la globalización es la estandarización de soluciones específicas. La replicación de proyectos sin que estos sean previamente tropicalizados a la sociedad, entorno, y cualidades espaciales donde se pretende insertar, trae como consecuencia un desequilibrio o una baja adaptabilidad de la estrategia. Por ejemplo, los sistemas de bombeo universales (como los que se utilizan en la CDMX) funcionan en lugares con cuerpos de agua cercanos y de suficiente extensión de donde se puede disponer del recurso.

En el caso de la CDMX, la replicación de este sistema lejos de favorecer entorpece el suministro de agua pues no responde a las cualidades geográficas del lugar.

El mundo actual no cuenta con suficiente investigación en materiales que favorezcan el desarrollo de este tipo de proyectos.

Al momento de emular especies naturales uno de los puntos más críticos es la elección de materiales pues estos fueron diseñados fuera del pensamiento de la metodología, esto entorpece, inhibe o dificulta la solución de las problemáticas planteadas. Esta solución se limita por la existencia de investigaciones y de procesos de producción actuales y no prospecta en estas áreas, sin embargo cada día hay más instituciones, programas y asociaciones de carácter científico, educativo, entre otras, que apoyan este tipo de iniciativas con recursos, equipos y un vasto conocimiento específico.

Los materiales existentes que sí favorecen a este tipo de proyectos suelen ser caros por sus tiempos de síntesis y/o producción.

Con una explicación similar al del punto anterior. Los nuevos procesos de producción que permiten la síntesis de materiales orgánicos o responsables con su entorno suelen ser más inestables, tardados, o difíciles de procesar bajo los estándares de fabricación actuales.

No se invierte dinero en infraestructura que no es visible:

Las políticas públicas no suelen enfocarse en el mejoramiento, mantenimiento y modernización de infraestructura que no puede ser "admirada" por las personas. Por ejemplo, se prefiere invertir dinero en la (insuficiente) reparación de vialidades al ser algo inmediatamente tangible y visible, que en solucionar el problema raíz que propicia su deterioro, pues esto último suele ser suponer un cambio paulatino. Esto se menciona por el evidente desinterés sobre un cambio en el sistema de suministro de agua en la ZMVM a pesar de que se desperdicia la mayor cantidad del agua que entra a las tuberías, pues estos cambios no visibilizan de manera obvia la inversión hecha, sino que brinda una mejora cualitativa y paulatina al sistema.

El concepto de este proyecto visibiliza la inversión hecha y aporta a la modernización y mejoramiento del sistema mismo, esto es importante porque ataca ambos aspectos mencionados con anterioridad, ofreciendo una solución que encaja con aspectos sociales e idiosincráticos e impacta en las áreas de lo económico, ecológico y calidad de vida.

El diseño de productos no es suficiente en tiempos modernos. La imperiosa necesidad de un servicio que envuelva a los productos es cada vez más evidente.

Gran parte del éxito de este concepto recae en la existencia del servicio que lo rodea (pag. 164), pues es necesario cotejar variables que aseguran la factibilidad de instalación del sistema, sin este, la viabilidad del producto se ve limitada. Por las peculiaridades del proyecto no se profundizó en el desarrollo del servicio y la estrategia comercial, dejando solo el esbozo general de su funcionamiento.

Se invita de manera encarecida a futuros tesisistas, académicos o emprendedores a desarrollar el servicio de manera profunda como un área de oportunidad para retroalimentar y fortalecer la idea del concepto.

²¹Termino popularizado por Clayton Christensen, conocido por sus estudios en innovación y profesor de administración en Harvard Business School, usado ampliamente en la industria, marketing, diseño de servicios, entre otros. Este hace referencia a los puntos que cubre un producto o servicio más allá de lo evidente. Se centra en comprender las necesidades reales del mercado meta/usuarios en 3 niveles: funcional, social y emotivo.

²²Cita traducida del inglés. Discurso de cierre en la serie "Explained" capítulo "The World's water crisis."

Uno de los mayores retos a los que se enfrentan este tipo de proyectos es el cambio de paradigma:

Este punto engloba la mayoría de los inconvenientes con los que se topó a lo largo del desarrollo. Hoy día se da valor al capital, inmediatez, perpetuidad, entre otros conceptos que no causan más que un desequilibrio en la forma en la que el mundo operaría de manera natural.

Desafortunadamente deshacerse de ellos resulta ser una tarea laboriosa pues estos constructos se han vuelto "inherentes al hombre". Cambiar dichos constructos llega a ser incluso un tema de "predicación" que sale de los quehaceres habituales de un diseñador.

Reflexión final: Sobre su factibilidad en el futuro cercano.



El proyecto se encuentra sustentado de manera científica, funcional y productiva además responde a los siguientes Jobs to be done (JTBD) ²¹:

- 1.- Asegurar el acceso a agua dulce independientemente del suministro de la red.
- 2.- Contar con infraestructura moderna y de calidad.
- 3.- Ser personas responsables con los recursos y con el medio ambiente.

Su sustento metodológico es robusto y fue creado dentro de una red de conocimientos múltiples (multidisciplina) lo que supone una correcta ejecución en su ideación y conceptualización, sin embargo, el reto más

grande al que se enfrenta este concepto no está en su producción, aceptación por el mercado u operatividad, sino en la monetización del producto.

Actualmente el costo del agua es excesivamente económico en la ZMVM (aprox. 25\$/m³), sin embargo su escasez es cada vez más común y los problemas sanitarios relacionados a la falta de agua incrementan también.

Este producto-sistema-servicio, de quererle así, podría empezar a ser producido en el presente lustro, sin embargo no es económicamente asequible.

En la actualidad el costo de producción sería mayor a la relación costo-beneficio del ahorro producido por el agua colectada y purificada. Esto es un problema, no para el proyecto en sí, sino para la población mundial.

El agua es un recurso que siempre ha estado presente en nuestras vidas. Se encuentra en todos lados y a todas horas, al grado que ha sido desvalorizada brutalmente. Su valor solo es notorio cuando no tenemos acceso a la misma siendo esta la paradoja en la que se encuentra inmerso este concepto.

El acceso al agua, al ser un derecho humano supone costos bajos, pero a su vez, estos costos bajos disminuyen el interés de las compañías en realizar acciones a favor de ella. Las pocas acciones existentes se centralizan sobre todo en zonas rurales con estrés hídrico evidente, ofreciendo soluciones correctivas más no preventivas.

Cuando se creó este proyecto este problema paradójico siempre estuvo presente, sin embargo no fue considerado como un punto

detractor para cambiar la investigación de rumbo, sino por el contrario, fue tomado como un agente catalizador para atacar un área de oportunidad relevante desde un punto de vista ético (recordemos que este es el primer paso de la metodología de la biomimética).

El estrés hídrico, el calentamiento global y el cambio climático (términos mencionados con regularidad en el planteamiento del problema) son conceptos de suma importancia y relevancia social y ambiental.

Urgen iniciativas que hagan notar la obsolescencia del carácter económico que se le da a los recursos renovables y no renovables. Urge revalorizar nuestro planeta, y sobre todo, urge tomar cartas en el asunto.

Para las últimas líneas del documento me gustaría citar las palabras de Arnoldo Matus Kramer, ex director de resiliencia de la CDMX y actual co-fundador y socio de Ithaca Environmental:

"La ciudad de México fue fundada sobre un lago pero nuestra relación actual con el agua es muy distante (y) es muy importante recuperar nuestra conciencia histórica con ella.

*Hay varias acciones que las personas pueden hacer para ahorrarla y protegerla, pero también para ser conscientes de que el agua tiene un valor."*²²



_8 Referencias

- AGXX, (2020) A break-through antimicrobial technology (Una tecnología antimicrobiana innovadora). Recuperado de: <https://agxx.de/>
- Baumeister, D., Tocke, R., Dwyer, J., Ritter, S. & Benyus, J. (2013). Biomimicry Resource Handbook. A seed bank of best practices (Manual de recursos de biomimética. Un banco de semillas de las mejores prácticas) Misoula, MT, USA: Biomimicry 3.8
- Benavides, Oscar (2017) *La inevitable globalización: Enfoque cultural y económico del escenario mundial*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas
- Beorkrem, C., Damiano, A., (2017) (Kak-Tos): A Tool for Optimizing Conceptual Mass Design and Orientation for Rainwater Harvesting Facades. Humanizing Digital Reality. Springer, Singapore. Recuperado de: https://descomp.uncc.edu/sites/descomp.uncc.edu/files/fields/presentations/field_presentations_file/KAKTOS-Final.pdf
- CGER, NRC, ANIC, ANI (1995) Mexico City's Water Supply: Improving the Outlook for Sustainability. Recuperado de: www.nap.edu/read/4937
- Chen, Ch., (2015) Water-reacting architectural skin. Tesis de Maestría por el Royal Collage of Art. Recuperado de: <https://www.rca.ac.uk/students/chao-chen/>
- Climate Central (18 de Enero del 2017) 2016 Officially Declared Hottest Year on Record Recuperado de: <http://www.climatecentral.org/news/2016-declared-hottest-year-on-record-21070>
- Comisión de derechos humanos del distrito federal (2013) Informe especial sobre el derecho a la movilidad en el Distrito Federal
- Comisión Nacional del Agua (2010) Estadísticas del agua en México. "Situación de los recursos hídricos", pp.21. Recuperado de: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/EAM2010-16Junio2010.pdf>
- Consejo Consultivo del Agua. (s.f.) Situación y contexto de la problemática del agua en México. Recuperado de: <http://www.aguas.org.mx/sitio/publicaciones/agua-en-mexico/agua-en-mexico.pdf>
- Cruz de la, E (16 de Octubre de 2014). La necesidad de acumular bienes. Recuperado de: <https://thesauro.wordpress.com/2014/10/16/la-necesidad-de-acumular-bienes/>
- De Rycke, K., Gengnagel, C., Baverel, O., Burry, J., Mueller, C., Man Nguyen, M., Rahm, P., Ramsgaard, T., (2017) Humanizing Digital Reality: Design Modelling Symposium Paris 2017 Springer, p.p.603-612. Recuperado de: https://books.google.com.mx/books?id=fvslDwAAQBAJ&dq=KAK.TOS+PROJECT+WIND+DRIVEN+RAIN&source=gbs_navlinks_s
- Elisseeff, J., (2008). Hydrogels: Structure starts to gel. (Hidrogeles: la estructura comienza a gelificarse). Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/5498874_Hydrogels_Structure_starts_to_gel
- Escamilla, I. (7 al 11 de mayo 2012) La Zona Metropolitana del Valle de México: transformación urbano-rural en la región centro de México. XII Coloquio de Geocritica 2012. pp.2. Recuperado de: <http://www.ub.edu/geocrit/coloquio2012/actas/07-I-Escamilla.pdf>
- Fideicomiso para el Mejoramiento de las Vías de Comunicación del Distrito Federal (s.f.) Diagnóstico de la movilidad de las personas en la Ciudad de México. 1.5 Una cazuela que retiene aire y concentra población. Recuperado de : <http://www.fimevic.df.gob.mx/problemas/1diagnostico.htm>
- INAH (2018). Mixtecos. Ñuu dzahui, señores de la lluvia llega a palacio nacional. Recuperado de: <https://arqueologiamexicana.mx/mexico-antiguo/mixtecos-ñuu-dzahui-señores-de-la-lluvia-llega-palacio-nacional>
- Instituto de Información e Investigación Geográfica, Estadística y Catastral del Estado de México (2007) Encuesta Origen - Destino 2007. Principales resultados. Recuperado de: <http://www.igecem.edomex.gob.mx/descargas/estadistica/ENCUESTADEORIGEN/EOD2007.pdf>
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (10 de noviembre de 2016) Efectos del cambio climático. Recuperado de: <https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/efectos-del-cambio-climatico>
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (2016) Efectos del cambio climático. Recuperado de: <https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/efectos-del-cambio-climatico>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2005) Estadísticas del medio ambiente del Distrito Federal y zona metropolitana 2002. Recursos naturales y servicios ambientales. Recuperado de: http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825480509/702825480509_7.pdf
- IPCC (2007): Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)). IPCC, Geneva, Switzerland. pp.10 Recuperado de: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4_syr_full_report.pdf

- Janbaz, S., Hedayati, R., Zadpoor, A., (2016) Programming the shape-shifting of flat soft matter: from self-rolling/self-twisting materials to self-folding origami (Programación de cambio de forma en materiales blandos y planos: desde materiales auto-enrollables / auto-retorcibles hasta origami auto-plegable) Recuperado de: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2016/mh/c6mh00195e>
- Jindrich, K., (2007). Hydrogel biomaterials: A smart future? (Biomateriales de hidrogel: ¿un futuro inteligente?). Recuperado de : https://www.researchgate.net/publication/6141378_Hydrogel_Biomaterials_A_Smart_Future
- Ludwing, Karl (1993) Teoría general de los Sistemas: Fundamentos, Desarrollo, Aplicaciones. Fondo de Cultura Económica de España.
- Mahr, S. (12 de Junio 2017) "Breadseed or opium poppy, Papaver somniferum" University of Wisconsin. Recuperado de: <https://wimastergardener.org/article/breadseed-or-opium-poppy-papaver-somniferum/>
- Meadows, D. (2008) Thinking in Systems (Pensando en Sistemas) London, UK. Sustainability Institute.
- Menéndez, J. (s.f.) "Ascidias, características generales" Asturnatura(en línea) Num 120 . Recuperado de: <https://www.asturnatura.com/articulos/tunicados/ascigen.php>
- Menges, A., Krieg, O., Reichert, S., Burggraf, N., et.al (2013) Hygroskin-Metereosensitive Pavilion. Institute for Computational Design and Construction. Permanent Collection, FRAC Centre Orleans, France. Recuperado de: <http://icd.uni-stuttgart.de/?p=9869>
- Menges, A. Reichert, S., Correa, D.,(2006) Biomimetic Responsive Surface Structures, Institute for Computational Design and Construction. Recuperado de <http://icd.uni-stuttgart.de/?p=5655>
- Menges, A. Reichert, S., Mihaylov, B.,(2012) Hygroskin-Metereosensitive Morphology. Institute for Computational Design and Construction. Centre Pompidou, Paris. Recuperado de: <http://icd.uni-stuttgart.de/?p=7291>
- National Aeronautics and Space Administration, (2018) The consequences of climate change. Recuperado de : <https://climate.nasa.gov/effects/>
- Nelson, S. (2015) Glaciers and Glaciation (Glaciares y glaciación) "Causes of Glacial Ages" (Causas de las eras Glaciales). Parr. 4 Recuperado de: <https://www.tulane.edu/~sanelson/eens1110/glaciers.htm>
- Nield, D., (2016) Science alert. This new shape-shifting polymer can lift 1,000 times its own weight. (Este nuevo polímero que cambia de forma puede levantar 1,000 veces su propio peso) Recuperado de: <https://www.sciencealert.com/this-new-shape-shifting-polymer-can-lift-1-000-times-its-own-weight>
- ONU, (2020) Objetivo 11: Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles recuperado de, <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/cities/>
- Organización Mundial de la Salud (2003) Agua, Saneamiento y Salud (ASS). La cantidad de agua domiciliaria, el nivel del servicio y la salud. Recuperado de: https://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/wsh0302/es/
- Peluffo, D., Anaya, A., Ivan, J., Castro, J., Carvajal, D., Espinosa, L. (2017) Sistema de Riego Basado En La Internet De Las Cosas (IoT) Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/315793360_Sistema_de_Riego_Basado_En_La_Internet_De_Las_Cosas_IoT
- Perló, Manuel. & González, Ernesto. (2005). «1. El exceso de agua que se transformó en escasez». ¿Guerra por el agua en el Valle de México? p.p. 37
- Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial. (2006) Elementos para una gestión adecuada del Suelo de Conservación del Distrito Federal. Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del Distrito Federal. Recuperado de: <http://www.paot.org.mx/centro/paot/suelodeconservacion06.pdf>
- Reyssat, E., & L. Mahadevan. (2009) "Hygromorphs: from pine cones to biomimetic bilayers." Journal of The Royal Society Interface (Higromorfos: de conos de pino a biomimética bi-capa), pp. 951-957. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/26334411_Hygromorphs_From_pine_cones_to_biomimetic_bilayers
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Consejo consultivo del agua. (2011) Diagnóstico del agua. Perspectivas a futuro para 2030. Recuperado de: <http://www.aguas.org.mx/sitio/index.php/panorama-del-agua/diagnosticos-del-agua>
- Sesento, L. (2008) Modelo sistémico basado en competencias para instituciones de nivel superior. Cap 1.2: Teoría general de sistemas. Recuperado de: http://www.eumed.net/tesis-doctorales/2012/lsg/teoria_sistemas.html

- Silva, S. (25 de Julio del 2017). La ciudad de México no estaba sobre un lago. El Universal. Recuperado de: <http://www.eluniversal.com.mx/entrada-de-opinion/colaboracion/el-punte/2017/07/25/la-ciudad-de-mexico-no-estaba-sobre-un-lago>
- Shine, R (1990) "Function and evolution of the frill of the frillneck lizard, *Chlamydosaurus kingii*" Biological Journal of the Linnean Society, Volume 40, Issue 1, May 1990, Pages 11–20, <https://doi.org/10.1111/j.1095-8312.1990.tb00531.x> Recuperado de: <https://academic.oup.com/biolinnean/article-abstract/40/1/11/2654260?redirectedFrom=fulltext>
- Smuts, H. (1927) Holism And Evolution. (Holismo y evolución). St Martin street, London. Macmillan And Company Limited
- The Wall Street Journal, (2016) Researchers Unveil Experimental Shape-Shifting Material. (Investigadores revelan material experimental de cambio de forma.). Consultado el 26/02/20. Recuperado de: <https://www.wsj.com/articles/researchers-unveil-experimental-shape-shifting-material-1452280481>
- Universidad Nacional Autónoma de México (2020) Estromatolitos. Consultado el 18.02.20. Recuperado de: <http://www.geologia.unam.mx:8080/igl/index.php/difusion-y-divulgacion/temas-selectos/571-estromatolitos>
- Yayí, C. (23 de Junio del 2015) Estrés hídrico: un problema ambiental contemporáneo y su situación en México. Twenergy. Recuperado de: <https://twenergy.com/mx/a/estres-hidrico-un-problema-ambiental-contemporaneo-y-situacion-en-mexico-1770>
- World Design Organization (2015) Definition of Industrial Design. Recuperado de: <http://wdo.org/about/definition/>
- WYSS Institute. (2016) Novel 4D printing method blossoms from botanical inspiration. (Nuevo método de impresión 4D que florece a partir de la inspiración botánica). Recuperado de: <https://wyss.harvard.edu/news/novel-4d-printing-method/>
- Zhao, Q., Zou, W., Luo, Y., Xie, T., (2016). Shape memory polymer network with thermally distinct elasticity and plasticity. (Red polimérica con memoria de forma con distinta elasticidad y plasticidad térmica) Science Advances 08 Jan 2016; Vol. 2, no. 1, e1501297. DOI: 10.1126/sciadv.1501297. Recuperado de: <https://advances.sciencemag.org/content/2/1/e1501297>



_9 Anexos

A Continuación se encuentran tres códigos QR para documentos de interés.

El primero de creación propia donde se puede encontrar parte de las fichas completas de modelos naturales desarrolladas para el taller de Biobrainstorming (Imagen a la derecha).

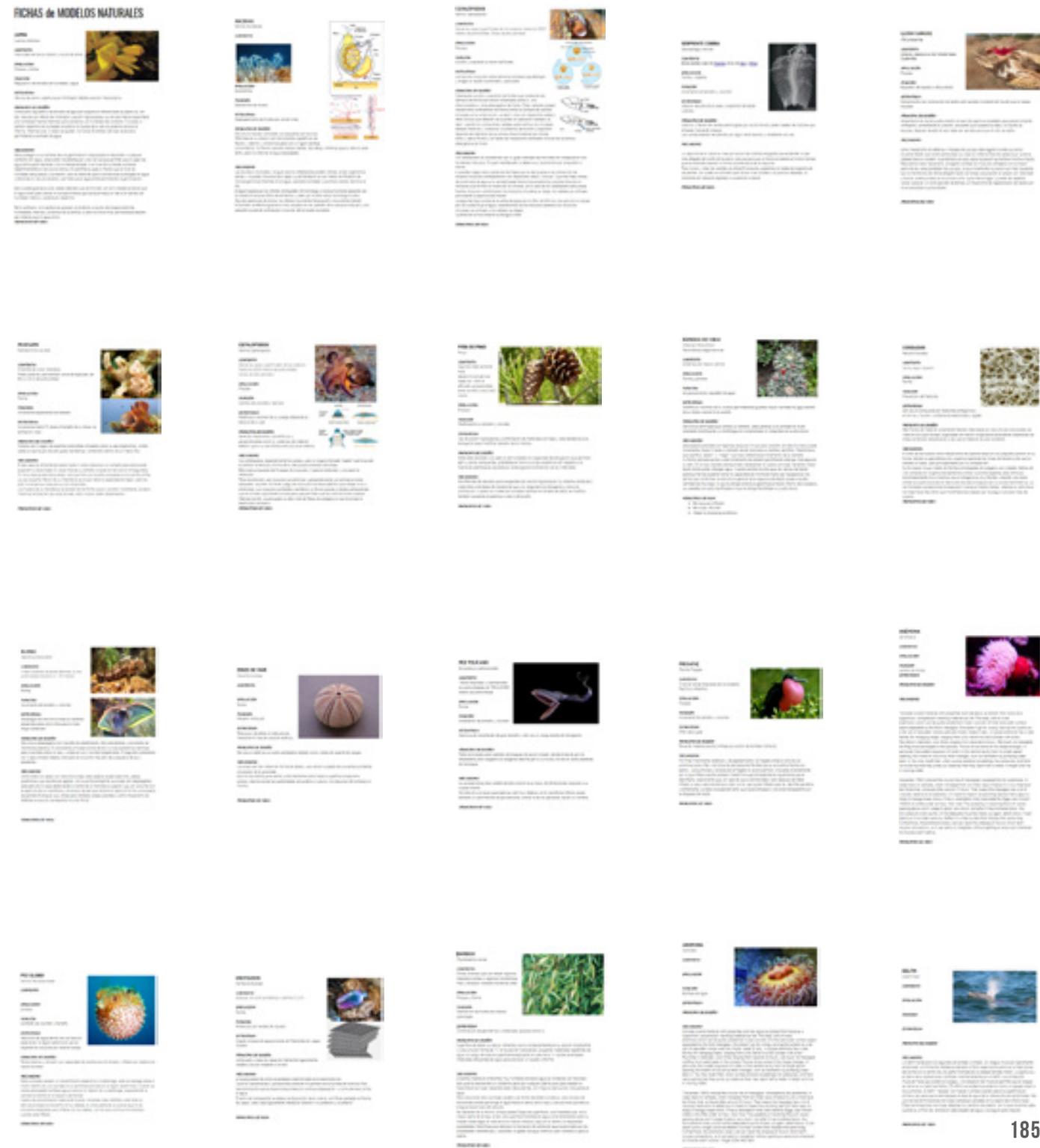
El segundo es un extracto del libro "Humanizing Digital Reality: Design Modelling Symposium Paris 2017" donde se encuentra la investigación completa sobre el fundamento teórico para la captación de agua en superficies verticales.

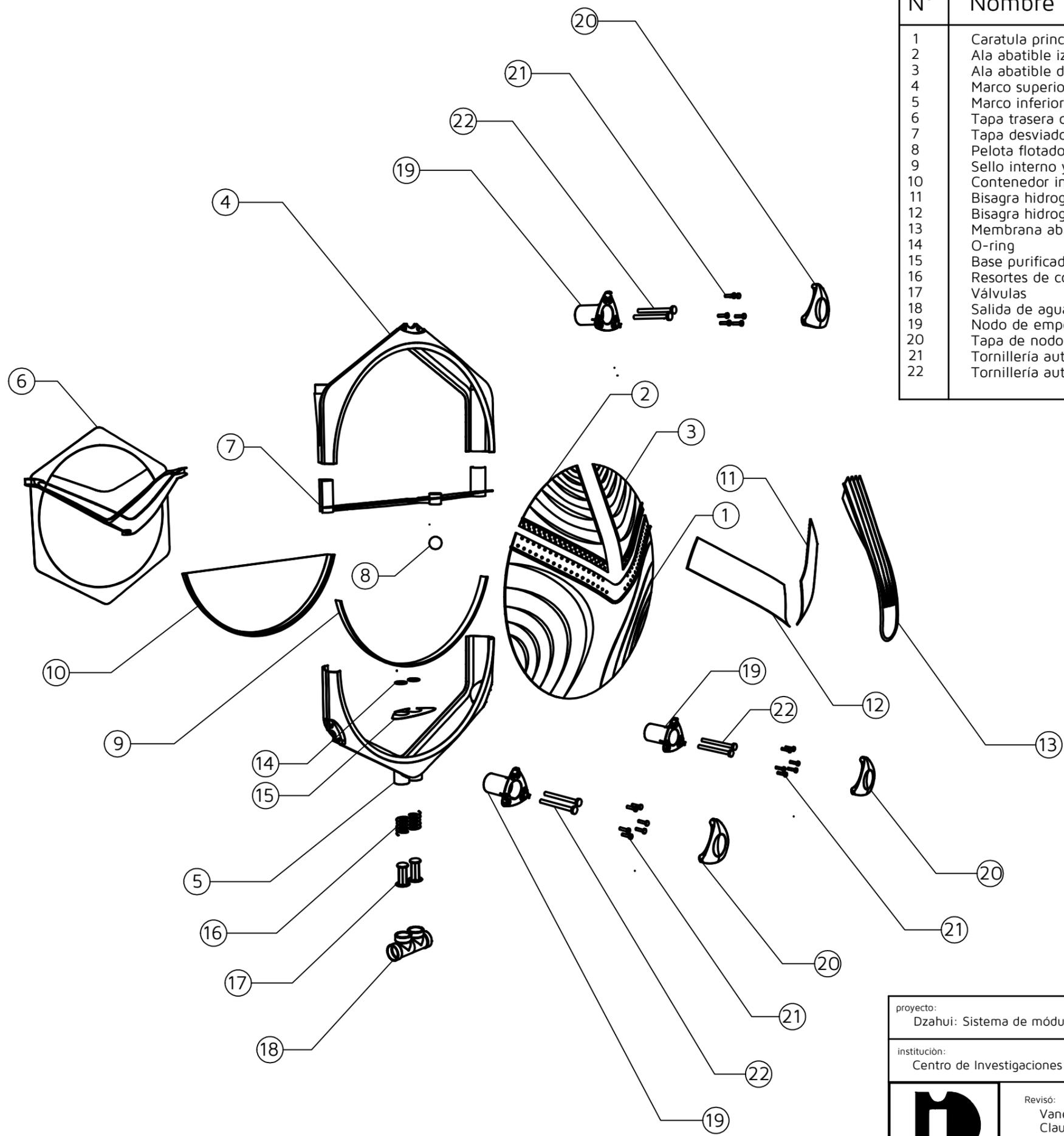
Finalmente el tercero es el primer paper de la publicación relativa a los recubrimientos AGXX cortesía de Dr.Olaf Wagner, Alemania.

Ingresar a
MODELOS NATURALES

Ingresar a
INVESTIGACIÓN
KAK-TOS

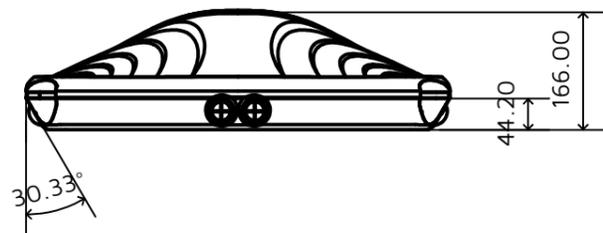
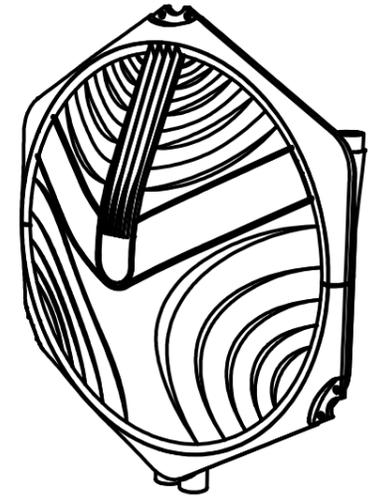
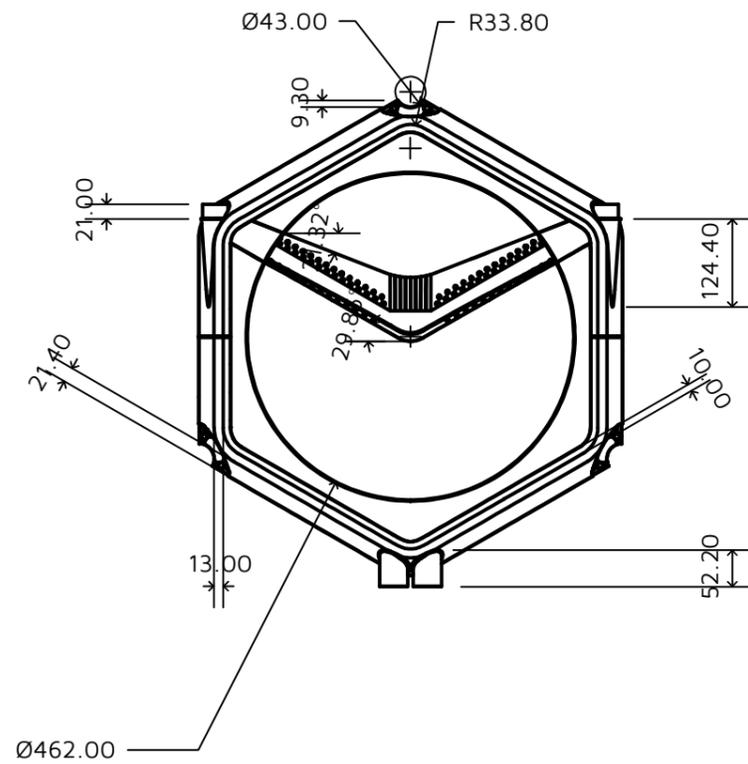
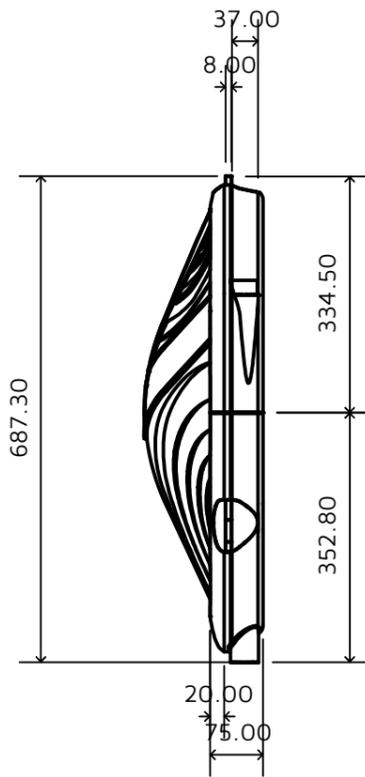
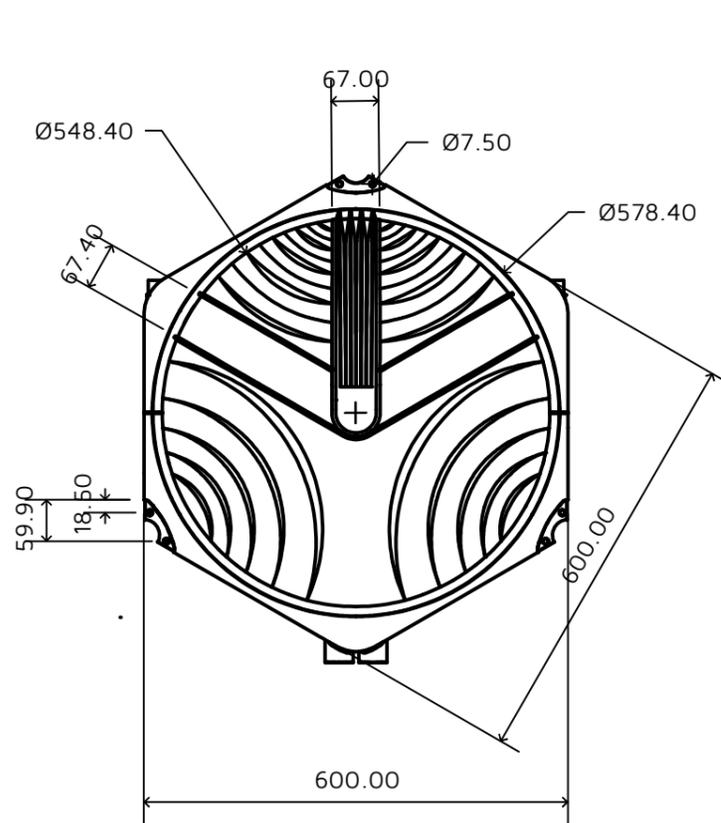
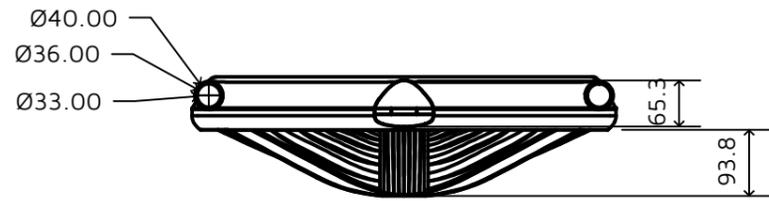
Ingresar a
PAPER AGXX



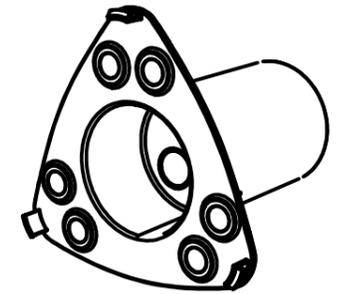
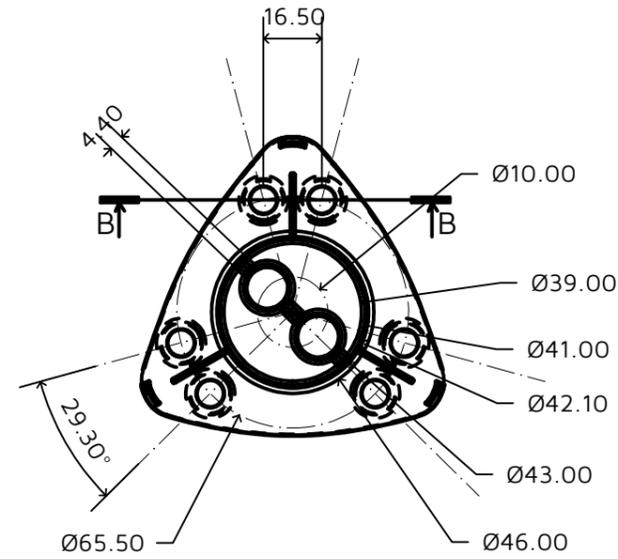
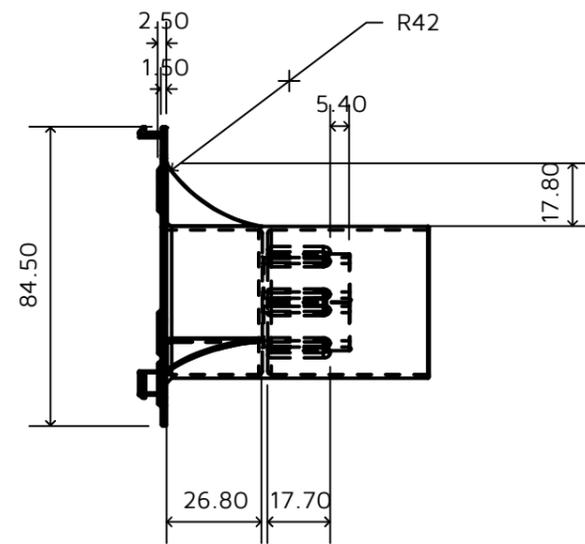
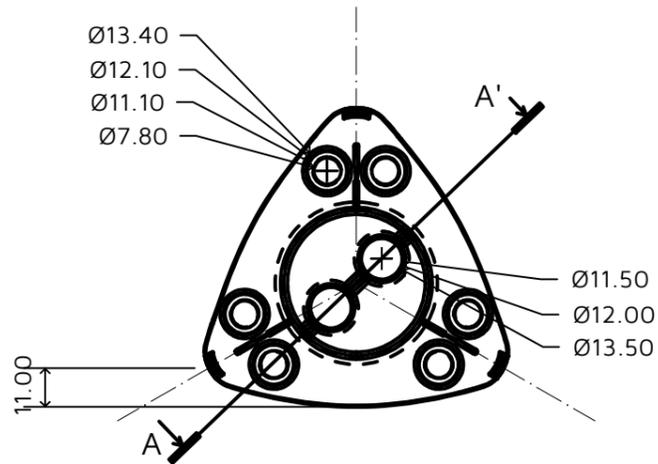
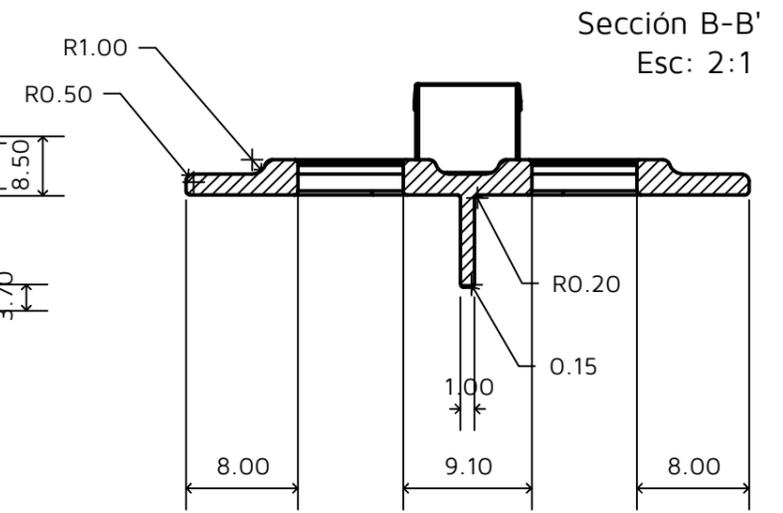
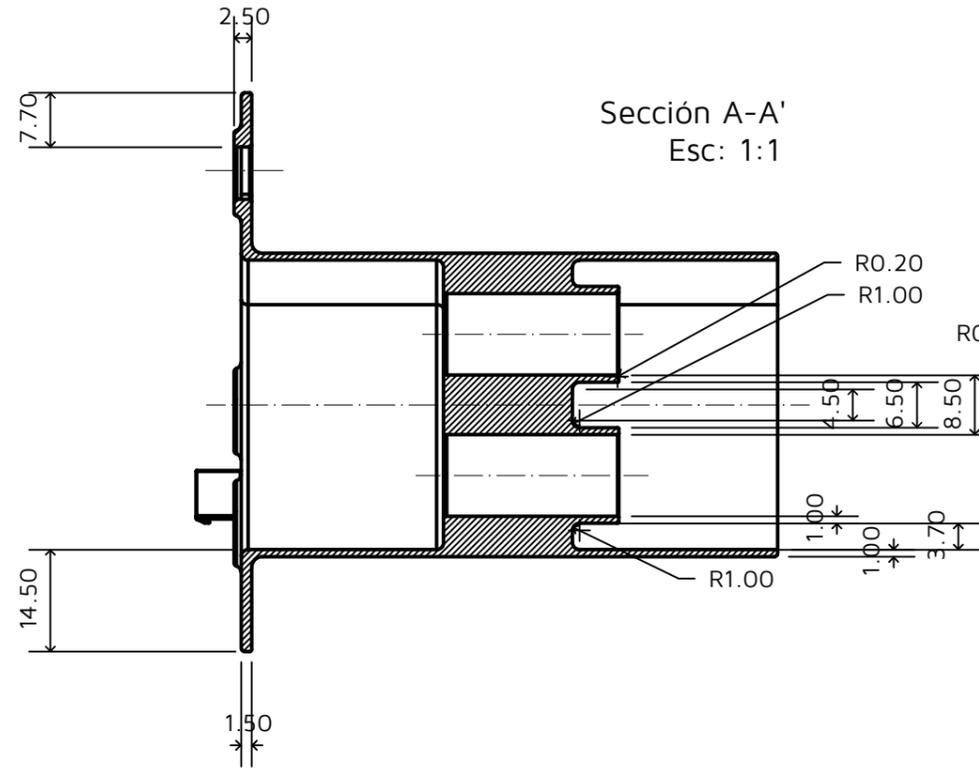
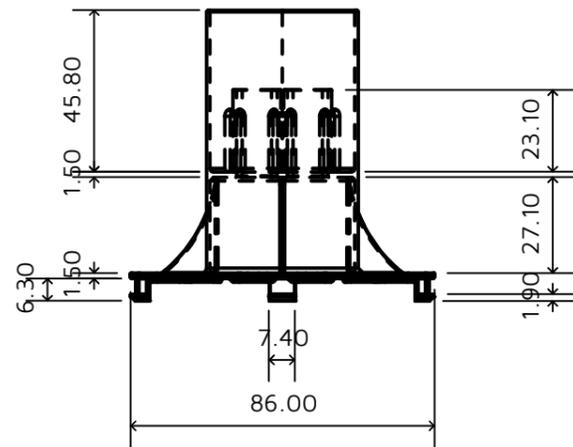


N°	Nombre	Material	Proceso
1	Caratula principal	PELBD	Inyección plástica
2	Ala abatible izquierda	PELBD	Inyección plástica
3	Ala abatible derecha	PELBD	Inyección plástica
4	Marco superior	PELBD	Inyección plástica
5	Marco inferior	PELBD	Inyección plástica
6	Tapa trasera con rejilla micro-perforada	HDPE	Inyección plástica
7	Tapa desviadora	PP	Inyección plástica
8	Pelota flotadora (AGXX)	PE	Moldeo por soplado + PVD
9	Sello interno y purificador (AGXX)	PP	Inyección plástica +PVD
10	Contenedor interno	PP	Inyección plástica
11	Bisagra hidrogelada derecha	Hidrogel 4D "Wyss"	Por definir
12	Bisagra hidrogelada izquierda	Hidrogel 4D "Wyss"	Por definir
13	Membrana abatible	TPU	Inyección plástica
14	O-ring	Pieza comercial	Pieza comercial
15	Base purificadora (AGXX)	PP	Inyección plástica +PVD
16	Resortes de compresión	Pieza comercial	Pieza comercial
17	Válvulas	PP	Inyección plástica
18	Salida de agua "TEE doble"	PP-R	Inyección plástica
19	Nodo de empotramiento	PP	Inyección plástica
20	Tapa de nodo de empotramiento	PP-R	Inyección plástica
21	Tornillería autoenroscante nodo-módulo	Pieza comercial	Pieza comercial
22	Tornillería autoenroscante nodo-perfil PTR	Pieza comercial	Pieza comercial

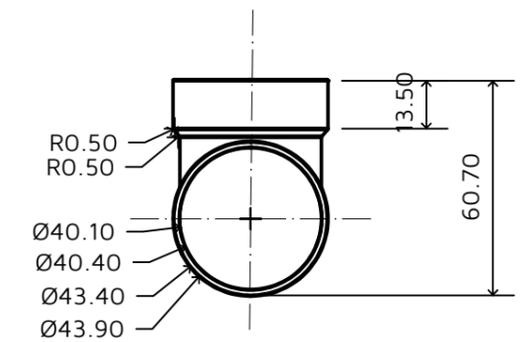
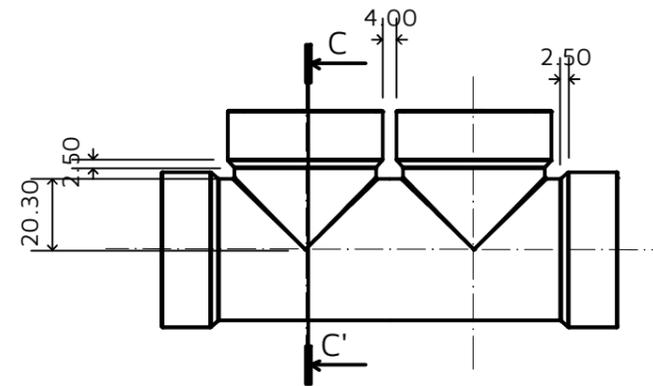
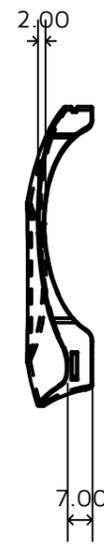
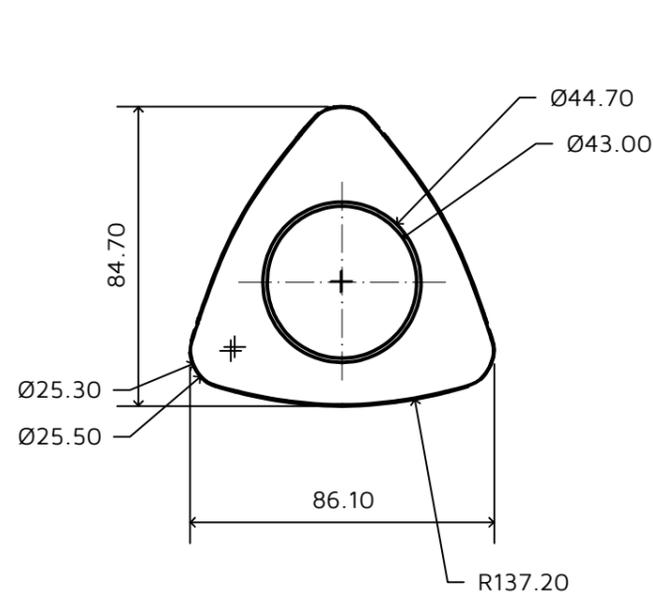
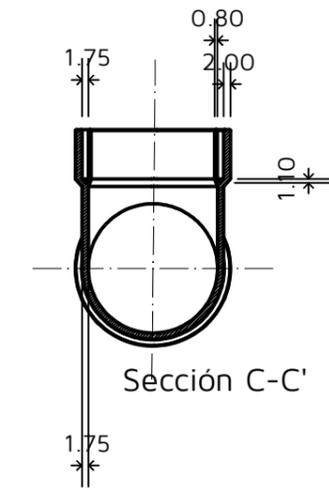
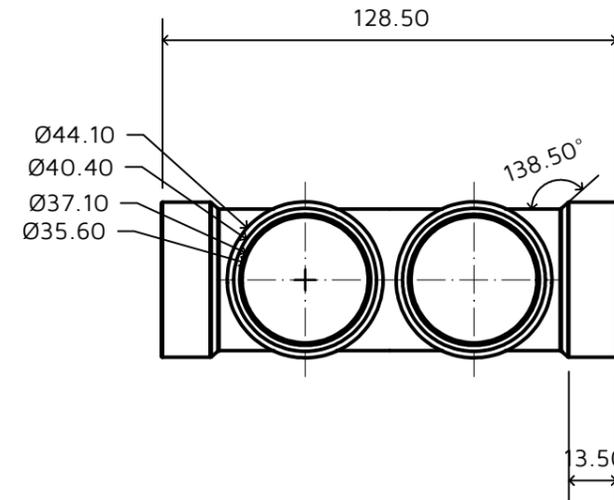
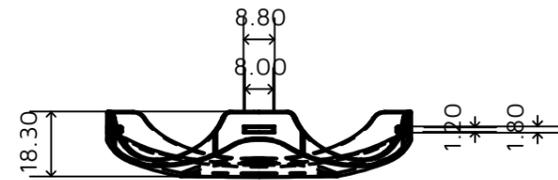
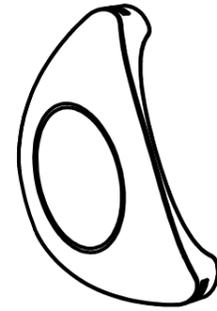
proyecto: Dzahui: Sistema de módulos biomimeticos para la cosecha y tratamiento de agua		cliente: BiomimicryMex	
institución: Centro de Investigaciones de Diseño Industrial	plano: Explosivo	escala: S/E	acot: mm
	Revisó: Vanessa Satelle Gunther Claudio Hansberg Pastor Daniela Esponda Rodríguez	dibujó: Andrés Velázquez Laguna	formato: A3
		diseño: Andrés Velázquez Laguna	fecha: Abril 2020
			número: 1/8



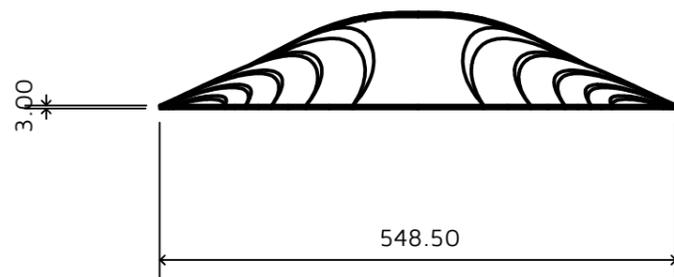
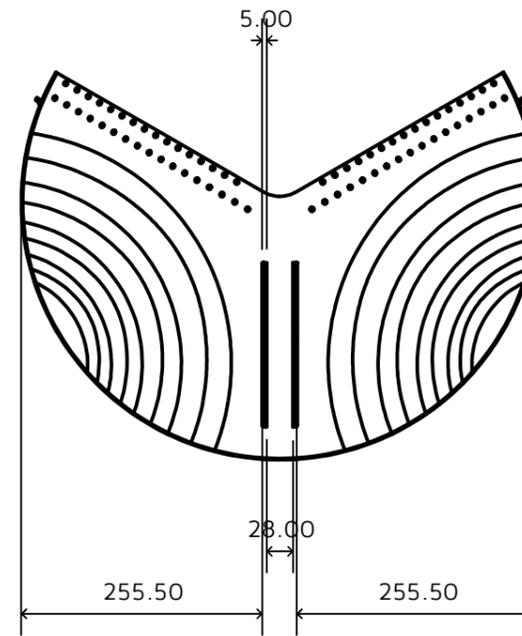
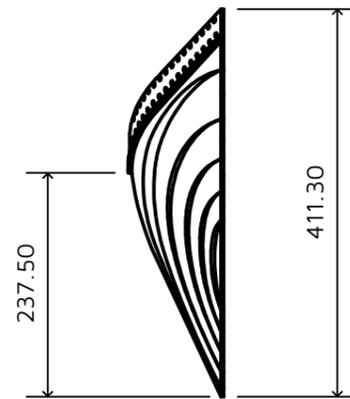
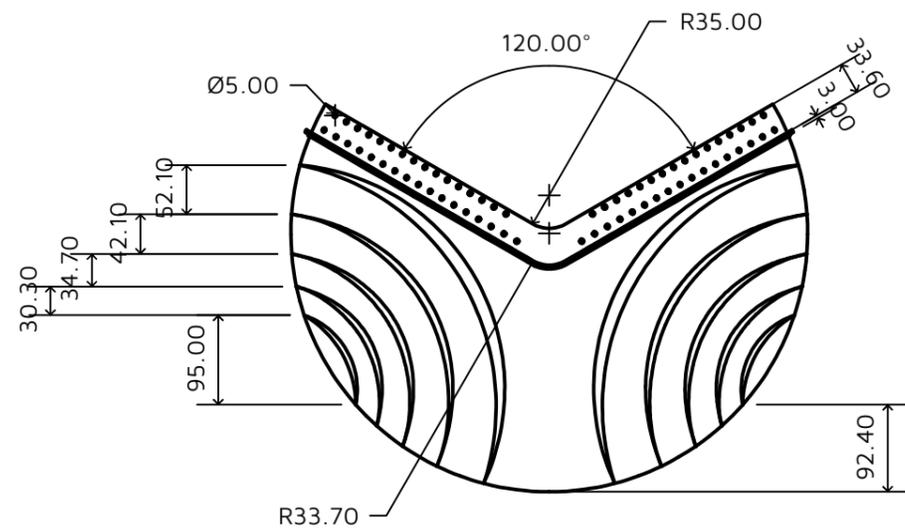
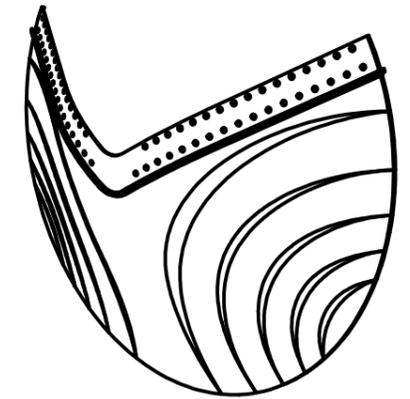
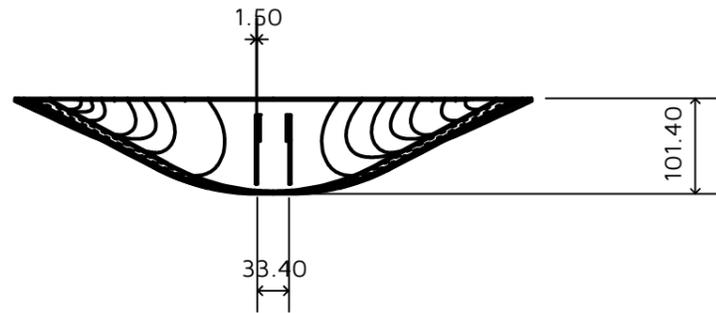
proyecto: Dzahui: Sistema de módulos biomimeticos para la cosecha y tratamiento de agua		cliente: BiomimicryMex	
institución: Centro de Investigaciones de Diseño Industrial	plano: Módulo principal	escala: 1:10	acot: mm
	Revisó: Vanessa Satelle Gunther Claudio Hansberg Pastor Daniela Esponda Rodríguez	dibujó: Andrés Velázquez Laguna	formato: A3
		diseño: Andrés Velázquez Laguna	fecha: Abril 2020
			número: 2/8



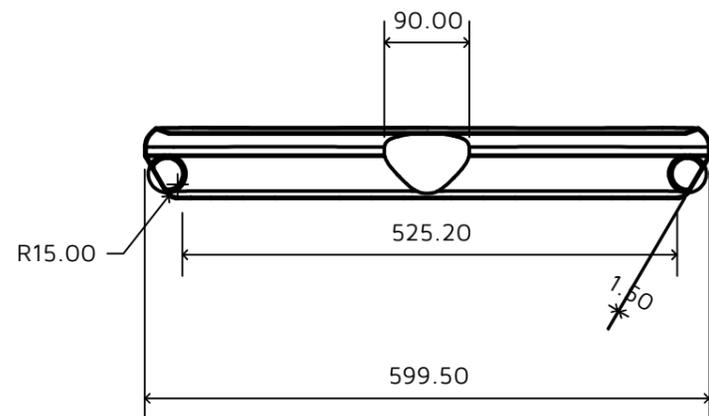
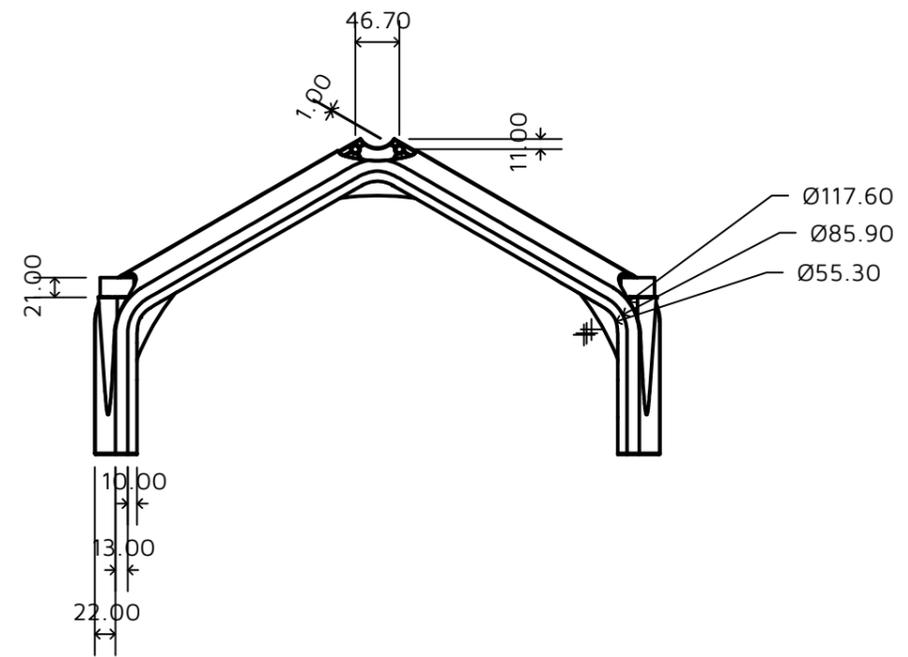
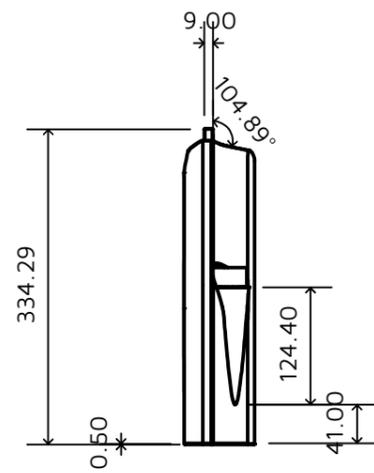
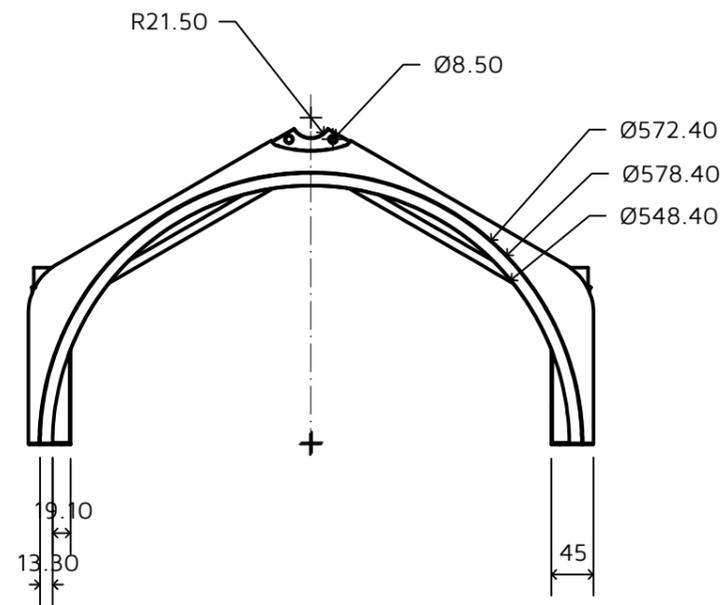
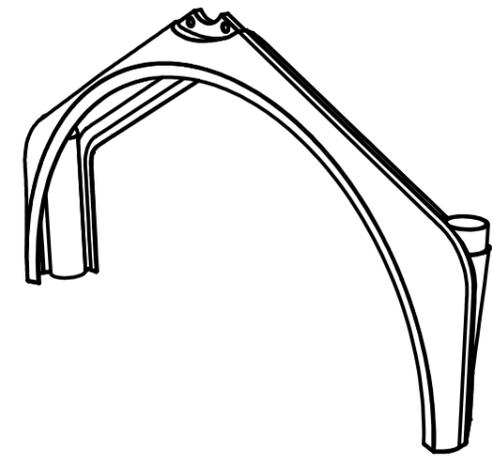
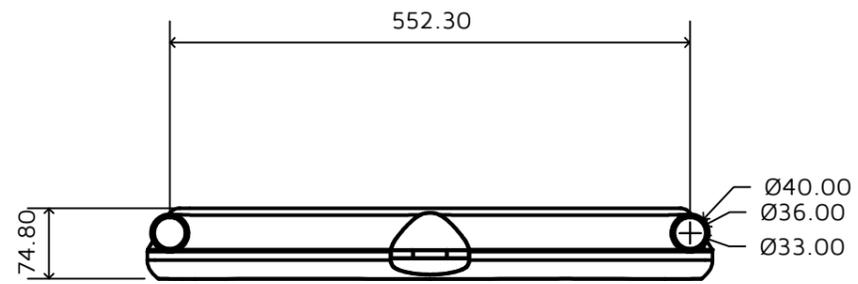
proyecto: Dzahui: Sistema de módulos biomimeticos para la cosecha y tratamiento de agua		cliente: BiomimicryMex	
institución: Centro de Investigaciones de Diseño Industrial	plano: Nodo de empotramiento	escala: 1:2	acot: mm
	Revisó: Vanessa Satelle Gunther Claudio Hansberg Pastor Daniela Esponda Rodríguez	dibujó: Andrés Velázquez Laguna	formato: A3
		diseño: Andrés Velázquez Laguna	fecha: Abril 2020
			número: 3/8



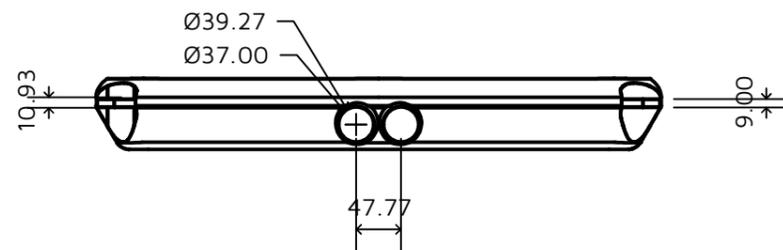
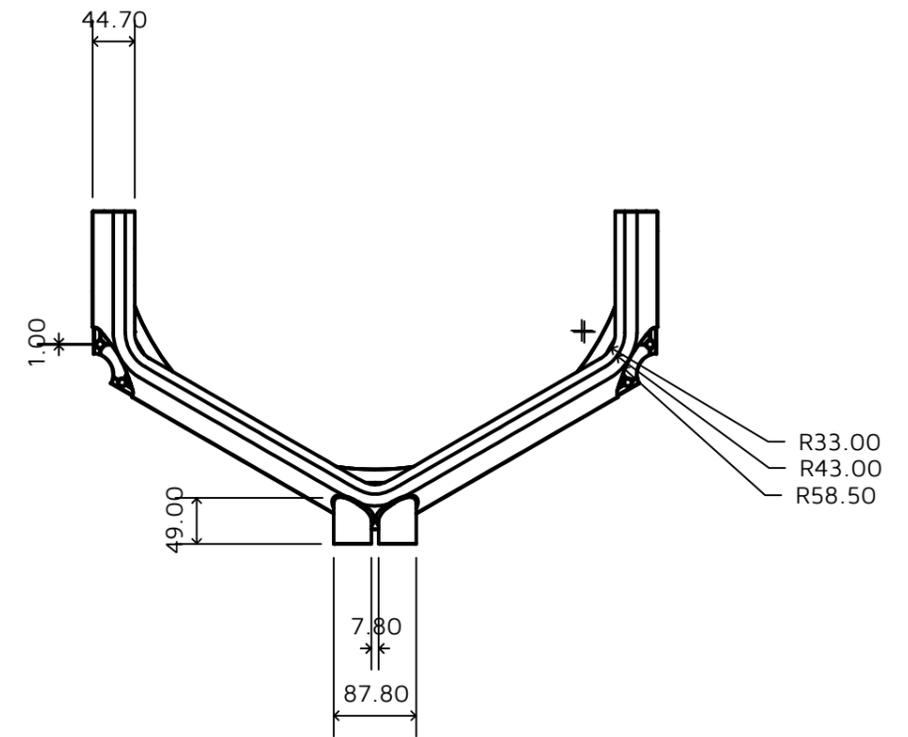
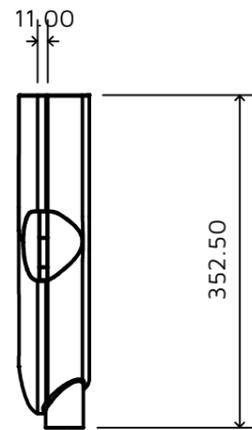
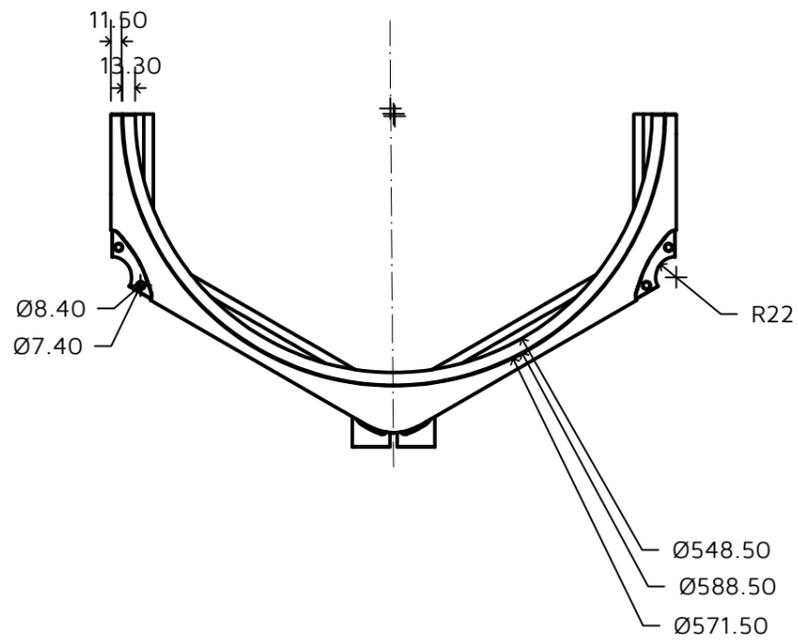
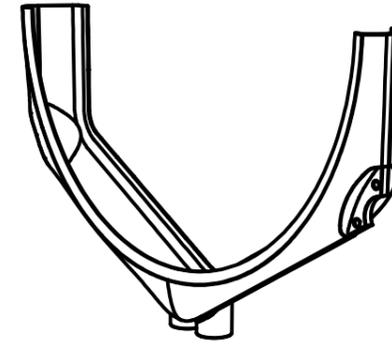
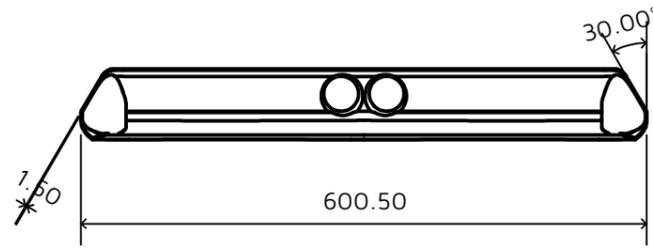
proyecto: Dzahui: Sistema de módulos biomimeticos para la cosecha y tratamiento de agua		cliente: BiomimicryMex	
institución: Centro de Investigaciones de Diseño Industrial	plano: Tapa de nodo y Doble "TEE"	escala: 1:2	acot: mm
	Revisó: Vanessa Satelle Gunther Claudio Hansberg Pastor Daniela Esponda Rodríguez	dibujó: Andrés Velázquez Laguna	formato: A3
		diseño: Andrés Velázquez Laguna	fecha: Abril 2020
			número: 4/8



proyecto: Dzahui: Sistema de módulos biomimeticos para la cosecha y tratamiento de agua		cliente: BiomimicryMex	
institución: Centro de Investigaciones de Diseño Industrial	plano: Carátula principal	escala: 1:7.5	acot: mm
	Revisó: Vanessa Satelle Gunther Claudio Hansberg Pastor Daniela Esponda Rodríguez	dibujó: Andrés Velázquez Laguna	formato: A3
		diseño: Andrés Velázquez Laguna	fecha: Abril 2020
			número: 5/8



proyecto: Dzahui: Sistema de módulos biomimeticos para la cosecha y tratamiento de agua		cliente: BiomimicryMex	
institución: Centro de Investigaciones de Diseño Industrial	plano: Marco superior	escala: 1:7.5	acot: mm
	Revisó: Vanessa Satelle Gunther Claudio Hansberg Pastor Daniela Esponda Rodríguez	dibujó: Andrés Velázquez Laguna	formato: A3
		diseño: Andrés Velázquez Laguna	fecha: Abril 2020
			número: 6/8



proyecto: Dzahui: Sistema de módulos biomimeticos para la cosecha y tratamiento de agua		cliente: BiomimicryMex	
institución: Centro de Investigaciones de Diseño Industrial	plano: Marco inferior	escala: 1:7.5	acot: mm
	Revisó: Vanessa Satelle Gunther Claudio Hansberg Pastor Daniela Esponda Rodríguez	dibujó: Andrés Velázquez Laguna	formato: A3
		diseño: Andrés Velázquez Laguna	fecha: Abril 2020
			número: 7/8