



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA
FACULTAD DE ARQUITECTURA

**La creación de captadores de agua
mediante arquitectura desplegable como medida de mitigación
a la escasez de agua en México**

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE
MAESTRA EN ARQUITECTURA
En el campo de conocimiento de tecnologías

PRESENTA:
Arq. Carla Itzel Ortega Álvarez

TUTOR PRINCIPAL
Mtro. Francisco Reyna Gómez
Facultad de Arquitectura, UNAM

MIEMBROS DEL COMITÉ TUTOR
Dr. Fernando Córdova Canela
Universidad de Guadalajara, UDG

Mtro. Sergio Alfonso Martínez González
FES Aragón, UNAM

Ciudad Universitaria, México, enero 2024.



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.

TUTOR PRINCIPAL

Mtro. Francisco Reyna Gómez
Facultad de Arquitectura, UNAM

COMITÉ TUTOR

Dr. Fernando Córdova Canela
Universidad de Guadalajara, UDG

Mtro. Sergio Alfonso Martínez González
FES Aragón, UNAM

Dr. Carlos Cesar Morales Guzman
Universidad Veracruzana, UV

Dr. Agustín Hernández Hernández
Facultad de Arquitectura, UNAM

Dedicatorias

A mi familia; *Martha, Carlos y Enriqueta*. Este logro es el resultado de la educación y los valores que me han brindaron. Gracias por ser mi fuente inagotable de inspiración y perseverancia.

A la generación 2022 del campo de Tecnologías. Su influencia y apoyo ha dejado una huella imborrable en mi camino.

Agradecimientos

A *Iván*, por brindarme seguridad y confianza en esta investigación. Su cariño y apoyo ha sido un faro en este viaje.

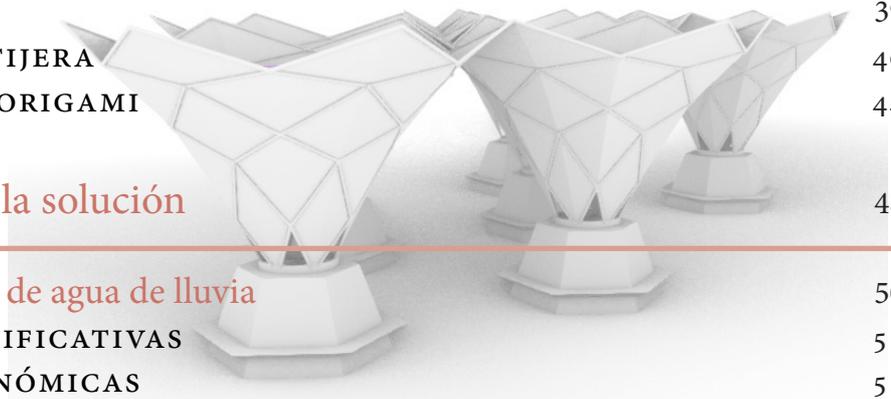
A mi tutor principal, *Mtro. Francisco Reyna Gómez*. Su valiosa experiencia y comentarios han sido fundamentales para mi crecimiento académico y profesional.

A mis tutores, por su orientación experta, paciencia y apoyo constante a lo largo de este proceso.

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías CONAHCYT. Su apoyo fue crucial para la realización de este proyecto de investigación.

Contenido

<i>Resumen</i>	i
<i>Introducción</i>	ii
Capítulo 1. Escasez de agua en México	1
1.1. Problemática y justificación	3
1.2. Objetivos de la investigación	18
1.3. Pregunta de investigación	18
1.4. Hipótesis	18
1.5. Método	18
1.6. Variables de investigación	19
Capítulo 2. Una nueva visión de cubiertas ligeras	20
2.1. Cubiertas ligeras captadoras de agua	22
2.2. Arquitectura desplegable y transportable	24
2.3. Modelado paramétrico	25
Capítulo 3. Historia de la plegabilidad	26
3.1. Arquitectura nómada	30
3.2. Grandes exponentes	33
3.3. Sistemas desplegables	39
3.3.1 SISTEMA TIPO TIJERA	40
3.3.2. SISTEMA TIPO ORIGAMI	44
Capítulo 4. Búsqueda de la solución	48
4.1. Tecnología de captación de agua de lluvia	50
4.1.1. VENTAJAS SIGNIFICATIVAS	51
4.1.2. VENTAJAS ECONÓMICAS	51
4.1.3. VENTAJAS MEDIOAMBIENTALES	52



4.2. Casos de estudio	53
1. WARKA TOWER	54
2. GARDENS BY THE BAY	55
3. JEWEL CHANGI - AEROPUERTO INTERNACIONAL DE SINGAPUR	56
4. CAMPUS NACIONAL DE ARQUEOLOGÍA DE ISRAEL	57
5. YOUR OWN WATER	58
4.3. Marco jurídico	59

Capítulo 5. Sitio de estudio	64
------------------------------	----

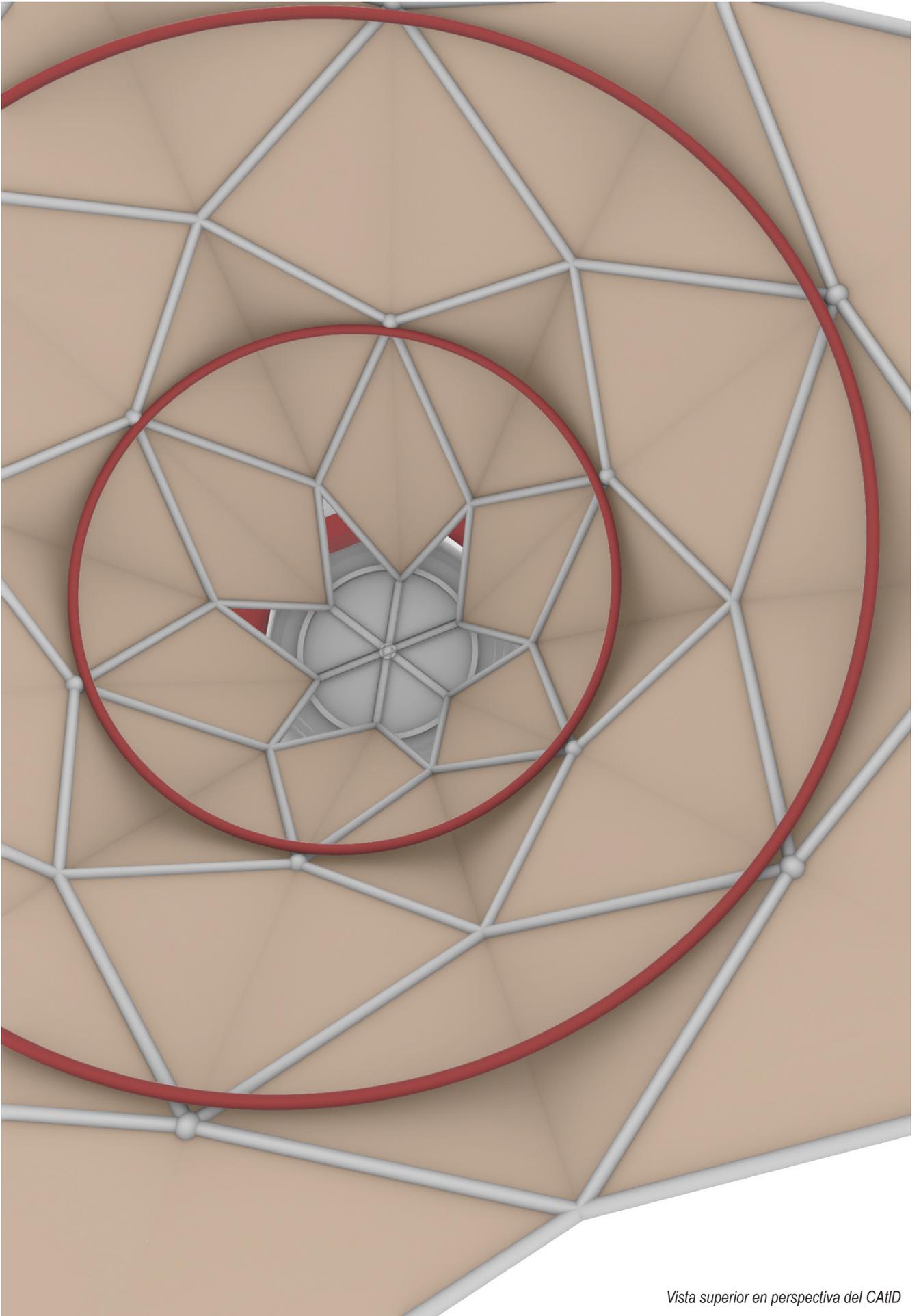
5.1. Iztapalapa	66
5.1.1. LOCALIZACIÓN DEL SITIO DE ESTUDIO	66
5.2. Clima	68
5.3. Población	71
5.4. Economía	74

Capítulo 6. Captador de Agua Desplegable Multifuncional “CAAtD”	76
---	----

6.1. Descripción del Captador	78
6.1.1. CONSIDERACIONES DE DISEÑO	79
6.1.2. TANQUE CENTRAL	84
6.1.3. SISTEMA DE FILTRACIÓN	85
6.6. Metodología de diseño del Captador	86
6.2. Control geométrico	88
6.2.1. BIOMIMESIS TECNOLÓGICA	90
6.2.2. EXPLORACIÓN DE LA FORMA	91
6.2.3. EVOLUCIÓN GEOMÉTRICA	94
6.3. Ideal del Captador	95
6.4. Valores básicos diferenciales	96
6.4.1. POTENCIAL DE UTILIDAD	97
6.5. Proceso de la investigación	98
6.5.1. EXPERIMENTACIÓN DE LA ESTRUCTURA	100
6.5.2. EFECTO DEL VIENTO	102
6.5.3. MODELO PARAMÉTRICO	103
6.5.4. MÓDULO EXPERIMENTAL	104

<i>7. Resultados</i>	106
1. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS CASOS DE ESTUDIO	108
2. POTENCIAL DEL PROYECTO Y MÉTRICAS	114
3. APLICABILIDAD Y ESCALABILIDAD	115
4. INNOVACIÓN Y CREATIVIDAD	115
5. FACTIBILIDAD TÉCNICA	116
6. IMPACTO CIENTÍFICO	116
7. IMPACTO SOCIAL Y AMBIENTAL	116
8. IMPACTO ECONÓMICO	117
9. VIABILIDAD COMERCIAL	117
10. MÓDULO CAPTADOR “CATLD”.	118

<i>Conclusiones</i>	122
<i>Visión al futuro</i>	124
<i>Recomendaciones</i>	125
<i>Referencias</i>	126



Vista superior en perspectiva del CA1D

Resumen

La captación de agua de lluvia es una técnica que implica recolectar y almacenar la lluvia con el fin de satisfacer las necesidades de consumo humano y actividades diversas. A lo largo de la historia, esta práctica ha sido fundamental para gestionar el suministro de agua en asentamientos humanos, aprovechando las precipitaciones pluviales.

Este proyecto se compone de la investigación y desarrollo tecnológico de un innovador sistema de captación de agua, con un énfasis en la versatilidad y capacidad de despliegue. Se plantea la creación de un modelo de utilidad que incluye la implementación de un sistema de recolección de agua desplegable y la evaluación de casos de estudio relacionados. También se llevó a cabo un estudio sobre la historia de las estructuras desplegables y su aplicabilidad en la arquitectura actual. El Captador de Agua Desplegable Multifuncional, nombrado "CATID", surge

como una respuesta a la problemática de la escasez de agua en México. Este Captador se concibe como una solución adaptable y móvil que busca mejorar la eficiencia en la captación de agua, a través de un sistema ligero y fácilmente transportable. Su diseño versátil le permite funcionar en diversas condiciones ambientales y lo hace adaptable a diferentes entornos.

La investigación sobre la plegabilidad en arquitectura ha impulsado el concepto de transformación continua en los espacios. El análisis de múltiples propuestas y proyectos existentes nos llevó a considerar seis casos de estudio, evaluados en función de criterios como materiales, costo, geometría y su impacto social y ambiental. A través de esta comparativa, se busca ofrecer una solución innovadora y competitiva que destaque por su capacidad de despliegue, facilitando su instalación y haciéndola más asequible en comparación con alternativas existentes.

Palabras clave: *Captador de agua. Estructuras desplegables. Estructuras ligeras. Arquitectura transformable. Estructuras cinéticas. Modelo paramétrico. Escasez de agua. Tecnologías del agua. Cosecha de agua. Ciudad y el agua.*

Introducción

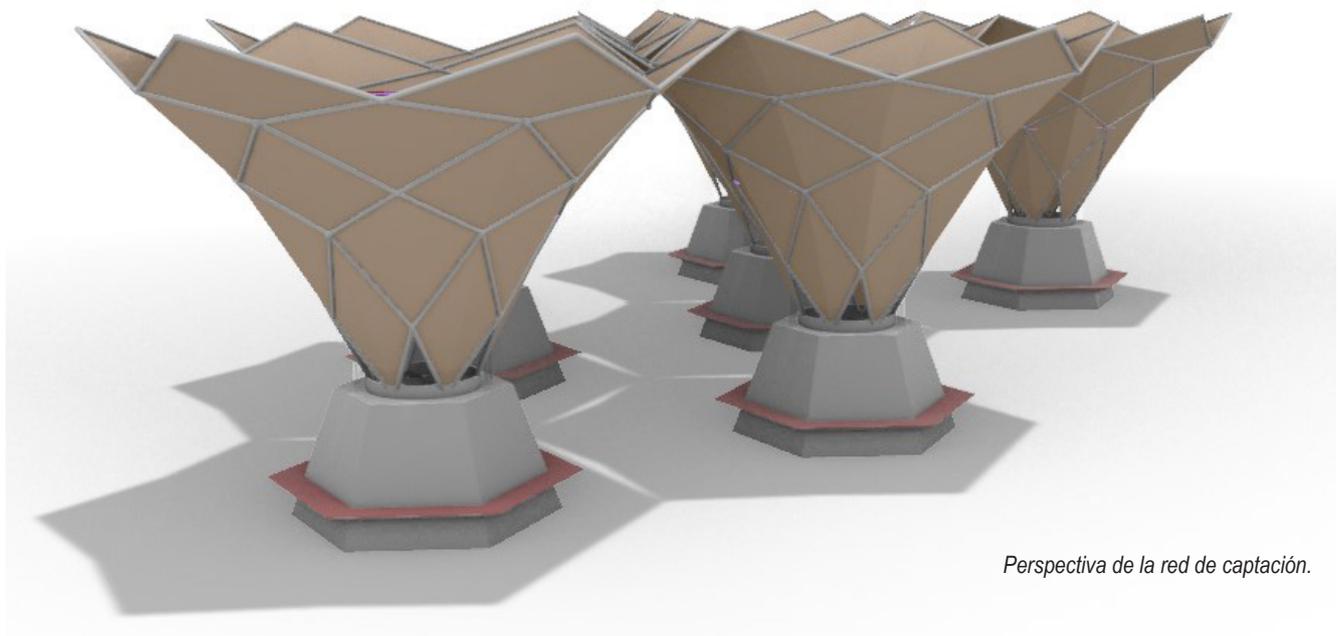
La disponibilidad de agua potable es una preocupación fundamental para el desarrollo sostenible de México, ya que amenaza varios sectores, como la agricultura, la industria y el consumo doméstico ([Agua.org, 2017](#)). En particular, las ciudades mexicanas enfrentan desafíos significativos relacionados con la demanda de agua y la necesidad de gestionarla de manera efectiva. Las ciudades están adoptando un enfoque innovador en la gestión del agua, que implica estrategias de diseño urbano más inteligentes, sistemas de gestión del agua eficaces y la participación de la comunidad en las decisiones relacionadas con el agua ([Howe & Mitchell, 2012](#)). Esta transformación busca hacer frente al cambio climático y mejorar la resiliencia de las ciudades ante desafíos hídricos, como la escasez de agua, la calidad del agua y las inundaciones. También promueve un desarrollo urbano más sostenible y consciente del uso del agua, mejorando la calidad de vida de los habitantes ([Rebekah Brown](#)).

La escasez de agua no es un problema exclusivo de México; es una preocupación global. El crecimiento de la población, particularmente en áreas urbanas, contribuirá a una mayor presión sobre los recursos hídricos. Según el Consejo Nacional de Población (**CONAPO**), se proyecta un aumento de 20,4 millones de habitantes en el país entre 2012 y 2030. Esto provocará una disminución en la disponibilidad de agua renovable per cápita a nivel nacional. La implementación de sistemas de captación de agua de lluvia es una medida que puede ayudar a abordar la demanda de agua y mejorar la resiliencia ante eventos hídricos adversos. Esto se ha demostrado efectivo en lugares como Gansu, China, donde la captación de agua de lluvia ha tenido un impacto positivo en el desarrollo social y económico ([UNEP & SEI, 2009](#)). El uso eficiente de los recursos hídricos y la captación de agua de lluvia son fundamentales para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible relacionados con el acceso sostenible al agua limpia y al saneamiento ([Naciones Unidas, 2015](#)). Integrar la captación de agua en el diseño de sitios desde el principio puede reducir costos y maximizar beneficios a largo plazo. En áreas urbanas, es común que existan más superficies impermeables, como edificios y pavimentos, en comparación con zonas permeables, que incluyen áreas con vegetación o terreno sin cubrir. ([Phillips, 2005](#)). La captación de agua de lluvia es una estrategia para mejorar los servicios de provisión

de agua que benefician al bienestar humano y el medio ambiente. Las ciudades son sistemas complejos, y la captación de agua puede desempeñar un papel importante en la gestión del agua urbana ([Agudelo-Vera et al., 2012](#)).

Iztapalapa es un caso excepcional, siendo la localidad más poblada de la Ciudad de México y la segunda más poblada del país y, por lo tanto, altamente vulnerable en términos de recursos hídricos. La implementación de sistemas de captación de agua es una medida importante para abordar la escasez y las inundaciones en esta área ([IIUNAM & Cámara de Diputados, 2022](#)). La investigación se centra en desarrollar un Captador de Agua Desplegable Multifuncional “CATID” que aborda los desafíos de la escasez de agua, incorporando elementos de diseño urbano y arquitectura adaptable. El objetivo es proporcionar una solución más eficiente y versátil para la recolección de agua en diversas condiciones climáticas, lo que contribuirá a la gestión sostenible del agua. Además, explora la innovación en la plegabilidad de estructuras, permitiendo la adaptabilidad y versatilidad del Captador “CATID”. Se compara con otros proyectos y se enfoca en aspectos como el costo de producción y la capacidad de recolección.

Con esto, se introduce un método de captación de agua a mayor escala, diseñado especialmente para su implementación en plazas públicas y espacios abiertos. Este enfoque tiene la ventaja de recolectar agua de lluvia antes de que entre en contacto con superficies que podrían estar contaminadas, como los techos, lo que aumenta la eficiencia del sistema. Además, se plantea la posibilidad de emplear este mismo sistema para recopilar niebla y rocío, lo que expande su utilidad y lo hace adecuado no solo para la Ciudad de México, sino también para otras regiones que se enfrentan a problemas de escasez de agua. Este proyecto busca abordar desafíos sociales, ambientales y tecnológicos relacionados con el agua y promover un uso más eficiente de este recurso. Los diseños alternativos siempre se evalúan en términos de rendimiento, facilidad de construcción y requisitos de mantenimiento ([Gobierno Australiano, 2006](#)).



Perspectiva de la red de captación.



Capítulo 1. Escasez de agua en México

“La transformación del mundo por parte del sabio surge de la solución al problema del agua. Si el agua está unida al corazón del hombre se corregirá. Si el agua es limpia y pura, el corazón de la gente se unificará y demostrará su deseo de limpieza.”

Lao-Tse



La crisis del agua en México tiene sus raíces en diversos factores que están contribuyendo al agotamiento y deterioro de los recursos hídricos. Estos factores abarcan el cambio climático, las prácticas insostenibles de gestión del agua, el aumento de la población y la contaminación.



1.1. Problemática y justificación

INTRODUCCIÓN

La industria del agua engloba un amplio espectro de actividades relacionadas con la obtención y purificación del agua potable, la gestión de aguas residuales y la fabricación de productos relacionados (Howe & Mitchell, 2012). Su importancia es incuestionable, dado que desempeña un rol esencial en la preservación de la salud pública, el respaldo a la agricultura, el fomento de la industria, la producción de energía y diversas áreas vitales para la sociedad (CONAGUA, 2016). Esta industria también se dedica a la captación de agua de fuentes naturales, como ríos, lagos y acuíferos, y a la desalinización del agua de mar, además de la recolección de agua de lluvia, niebla y rocío. Al recolectar y aprovechar estas fuentes naturales, las ciudades pueden disminuir su dependencia de suministros externos, lo que fortalecerá aún más su capacidad para adaptarse a condiciones cambiantes y aumentar su resiliencia (Agudelo-Vera et al., 2012). Además, la industria del agua se beneficia de la producción y comercialización de equipos y tecnologías, lo que estimula un crecimiento en la investigación y desarrollo de tecnologías relacionadas con el tratamiento y la gestión del agua.

EL DESAFÍO DEL AGUA

El diseño sostenible en el ámbito de la construcción impulsa a las autoridades locales, planificadores, desarrolladores y arquitectos a examinar las interacciones entre sus edificaciones, el entorno y las comunidades que las habitan. El objetivo radica en incorporar la ecología local en la planificación y construcción, minimizar el impacto en los recursos naturales, reducir el

consumo de energía no renovable, emplear productos respetuosos con el medio ambiente, preservar los recursos hídricos, entre otros (EPA, 2010). La vida de la mayoría de los habitantes de las áreas rurales depende de los servicios proporcionados por los ecosistemas. Entre estos servicios se incluyen el abastecimiento de agua, la agricultura, la gestión del ganado, la pesca y la obtención de productos forestales y madereros. Asimismo, los

ecosistemas desempeñan un papel crucial en la purificación del agua, la regulación de la erosión, el tratamiento de desechos y la prevención de enfermedades; aproximadamente el 84% de las personas que carecen de acceso a fuentes mejoradas de agua potable residen en áreas rurales (UNEP & SEI, 2009).

El desafío del agua en México ha ido evolucionando con el tiempo y se ha manifestado de diversas formas. A lo largo de los años, el país ha enfrentado

una serie de desafíos relacionados con el agua, que abarcan desde la escasez hasta la contaminación y una gestión deficiente de los recursos hídricos. (IIUNAM & Cámara de Diputados, 2022). A pesar de contar con considerables recursos hídricos, muchas regiones de México experimentan una grave escasez de agua, especialmente en áreas urbanas densamente pobladas y en ciertas épocas del año [ver Figura 1.1]. Esto se debe a la distribución desigual de los recursos hídricos y a la explotación excesiva de los acuíferos.

Fig. 1.1: Imagen del Contraste de Ciudad de México.

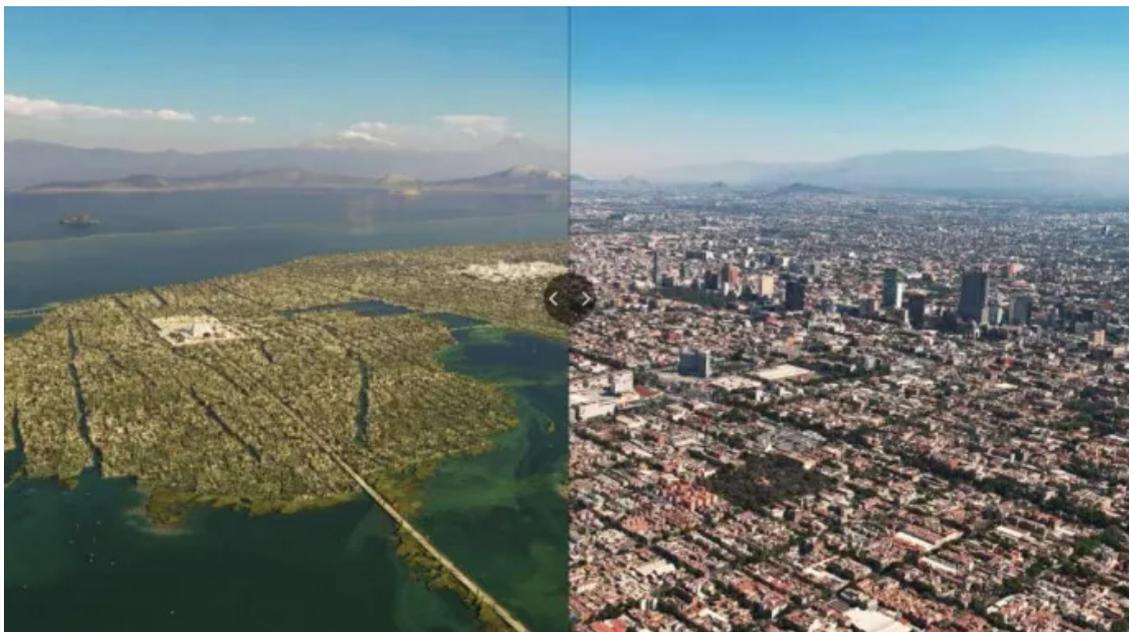
Recrean en 3D Tenochtitlan de 1518, Capital del Imperio Mexica.

A la izquierda, la recreación de Tenochtitlan en 1518; a la derecha, la CDMX en la actualidad. Foto: Thomas Kole.

Imágenes obtenidas de nmas.

Recuperado de <https://www.nmas.com.mx/cultura/asi-pudo-haber-sido-la-ciudad-de-tenochtitlan-en-1518>

Reproducción realizada con fines didácticos.



La contaminación del agua también es un problema significativo en México, con la presencia de contaminantes químicos y biológicos en ríos, lagos y acuíferos. El acceso limitado a agua potable persiste en comunidades que carecen de servicios de agua segura y saneamiento adecuado. En muchas ciudades mexicanas, la infraestructura de suministro de agua es ineficiente y se produce una pérdida significativa de agua debido a fugas en las tuberías y sistemas de distribución obsoletos (CONAGUA, 2017).

“Con las fugas se está perdiendo aproximadamente el 40% del agua que llega a la ciudad”.

*Foro Agua – Cámara de Diputados.
“Problemática del agua en México:
Tecnologías para su solución”. 2022.*

El cambio climático es otro factor preocupante, ya que está alterando los patrones de precipitación en México, lo que puede agravar la escasez de agua en algunas regiones y aumentar la frecuencia de eventos climáticos extremos, como sequías e inundaciones [ver Figura 1.2] (WMO, 2020). Además, representa una amenaza para la sociedad y tiene un impacto negativo

en la salud, la seguridad alimentaria, la disponibilidad de agua y la seguridad en términos de desarrollo, economía, infraestructura y biodiversidad (World Meteorological Organization, 2020).

Fig. 1.2: Imagenes de la sequía en México - Presa Villa Victoria.

*Imágenes obtenidas de Earth observatory NASA.
Recuperado de <https://earthobservatory.nasa.gov/images/148270/widespread-drought-in-mexico>
Reproducción realizada con fines didácticos.*



a) Presa Villa Victoria marzo 2020.



b) Presa Villa Victoria marzo 2021.

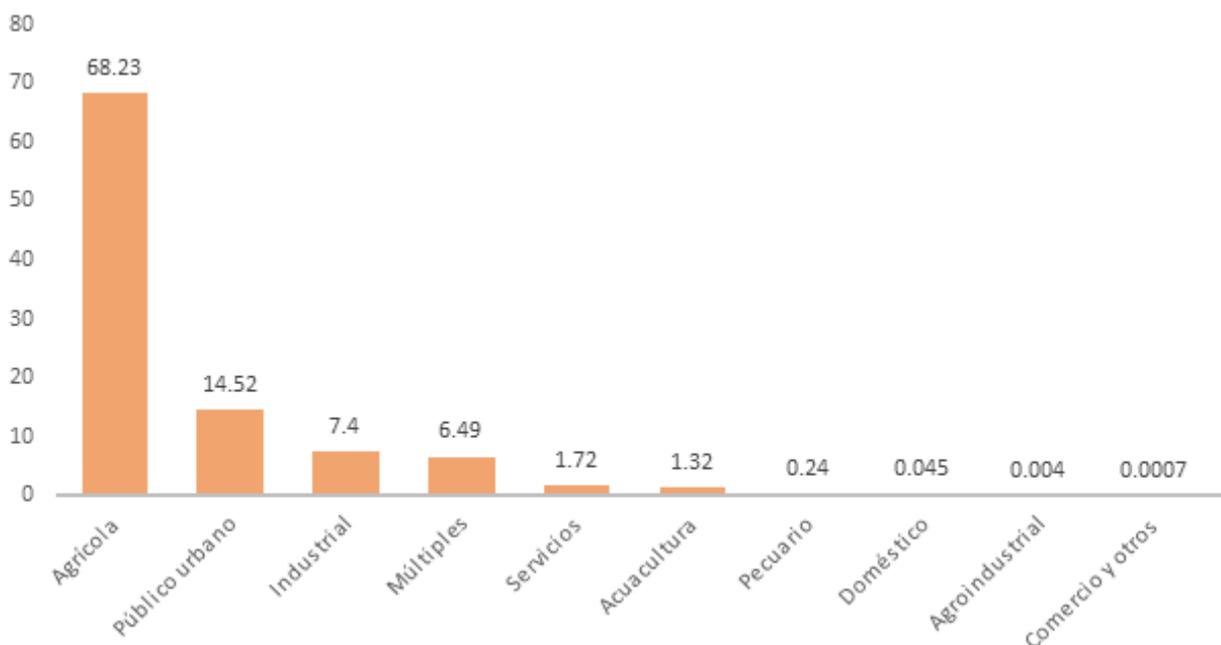
La agricultura consume la mayor parte del agua dulce, siendo el riego una parte significativa de esta distribución [ver Figura 1.3]. Esto se debe a que, cuando los cultivos no reciben la cantidad adecuada de agua, no es factible producir alimentos en cantidad y calidad suficientes para atender las necesidades de la población, lo que resulta en escasez de alimentos. Además, la insuficiencia de riego adecuado puede conllevar a la sequedad y erosión del suelo dejándolo infértil (CONAGUA, 2016).

En un contexto global, es alarmante constatar que aproximadamente 2000 millones de personas carecen de acceso a agua potable segura, según la Organización Mundial de la Salud (OMS). El Informe de Estadística del Agua en México de 2017 (CONAGUA, 2017)⁽¹⁾, menciona que se otorgaron

(1) Conagua. Estadísticas del Agua en México. Edición 2017. Conagua. México. 2017. SINA, Conagua. Precipitación nacional. Recuperado de: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=precipitacion&ver=reporte&o=2&n=nacional>.

Fig. 1.3: Gráfica del porcentaje anual de uso de agua.

Elaboración propia con datos de CONAGUA, 2016 (CONAGUA, 2016).
Fuente: <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/usos-del-agua#:~:text=Se%20calcula%20como%20el%20porcentaje,se%20considera%20de%20nivel%20bajo>.
Reproducción realizada con fines didácticos.



concesiones para un volumen de 85,664.6 hectómetros cúbicos (hm³) de agua, distribuidos en diversos sectores, incluyendo agricultura, uso público urbano, industrial, usos múltiples, servicios, acuacultura, pecuario, doméstico, agroindustrial, comercio y otros. El mayor volumen de agua concesionado corresponde al sector agrícola, con un 68.23% del total, seguido del uso público urbano, que representa el 14.52%. El sector industrial es el tercero en importancia, con un 7.4%, mientras que los usos múltiples abarcan un 6.49%. Los demás usos, que no superan el 2%, comprenden los demás sectores (SEMARNAT, 2017).⁽¹⁾

Para garantizar una ingesta adecuada de agua por parte de la población, se considera que un consumo diario de entre 50 y 100 litros por persona es esencial. En este sentido, resulta imperativo evaluar cuánta de esta demanda de agua puede ser satisfecha mediante el uso de agua residual tratada o agua de lluvia tratada sin suponer riesgos para la salud (OMS, 2023). De acuerdo con estimaciones de la Organización de las Naciones

Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (**UNESCO**), la Tierra alberga una reserva aproximada de 1,386 millones de kilómetros cúbicos de agua. No obstante, la inmensa mayoría de esta cantidad, específicamente el 97.5%, corresponde a agua salina y el 2.5% es agua dulce. De este último porcentaje, únicamente el 0.26% del agua dulce total del planeta se encuentra en lagos, ríos, arroyos y cuencas, y es accesible para satisfacer las necesidades económicas y vitales de la humanidad.

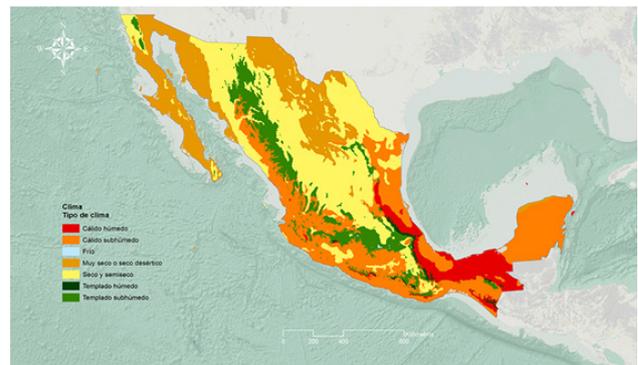
En el caso de México, se caracteriza por tener un acceso limitado al agua dulce, representando aproximadamente el 0.1% de la reserva total de agua dulce disponible a nivel mundial [ver Figura 1.4]. Esta situación hace que la mayor parte del territorio mexicano sea catalogado como una zona semidesértica (Agua.org, 2017). Aproximadamente el 10% de la población carece de agua potable, principalmente en áreas rurales y desfavorecidas. La infraestructura hidráulica en el país está deteriorada, lo que provoca desperdicio de agua y afecta su calidad y cantidad en áreas con acceso. Esta situación conlleva a un aumento en la demanda de energía y afecta a sectores económicos que dependen del agua. La gestión deficiente de los recursos hídricos es una preocupación crítica en México.

(1) Información adicional sobre la reserva de agua dulce en el mundo por región. Recuperado de: <https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe18/tema/cap6.html>

La escasez de agua también tiene raíces económicas, derivadas de la insuficiente inversión en infraestructura y tecnología destinada a la extracción de agua de fuentes como ríos y acuíferos, así como en la incapacidad de satisfacer la demanda creciente de recursos hídricos por parte de la población. De manera simultánea, la falta de medidas sanitarias adecuadas contribuye a la propagación de enfermedades, agravando aún más la complejidad de la situación (IIUNAM & Cámara de Diputados, 2022).

Fig. 1.4: Tipos de clima en México.

Imagen obtenida de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).
Recuperado de http://gisviewer.semarnat.gob.mx/aplicaciones/Atlas2015/atm_climas.htm#
Reproducción realizada con fines didácticos.

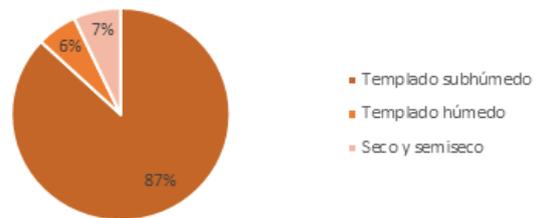


“Aproximadamente uno de cada cuatro habitantes de áreas urbanas aún carece de acceso a instalaciones de saneamiento adecuadas, y un 4% no dispone de agua potable.”

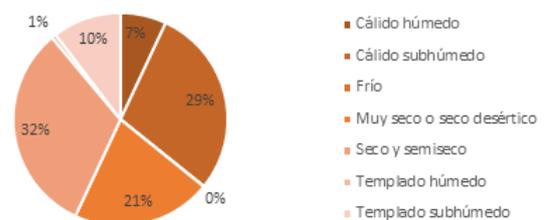
*Foro Agua – Cámara de Diputados.
“Problemática del agua en México:
Tecnologías para su solución”. 2022.*

La sequía⁽¹⁾ está teniendo un impacto significativo en los estados del norte de México. Según estimaciones

(1) Monitor de Sequía de México 2023. <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico>



a) Clima de la ciudad de México.
Elaboración propia con datos obtenidos de la INEGI <https://inegi.org.mx>
Fuente: <https://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/df/territorio/clima.aspx?tema=me&e=09>
Reproducción realizada con fines didácticos.

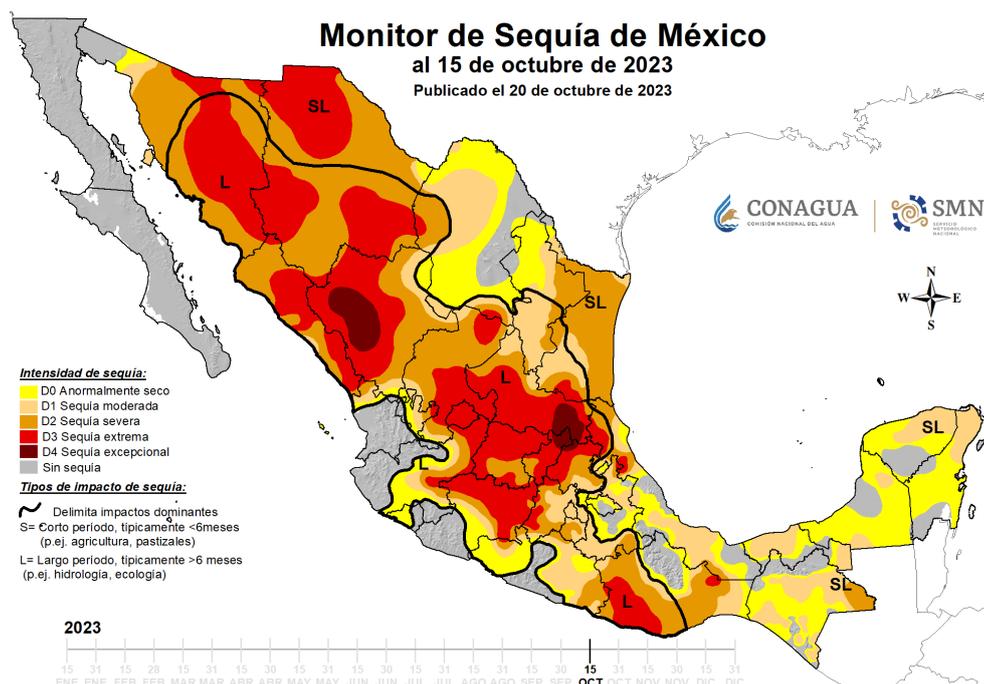


b) Porcentaje de los tipos de climas en México.
Elaboración propia con datos obtenidos de la SEMARNAT <http://semarnat.gob.mx>
Fuente: http://gisviewer.semarnat.gob.mx/aplicaciones/Atlas2015/atm_climas.htm#
Reproducción realizada con fines didácticos.

de La Comisión Nacional de Agua (**CONAGUA**) y el Sistema Meteorológico Nacional (**SMN**), esta situación se agrava debido a un fenómeno climático inusualmente prolongado conocido como “La Niña,” que inició en 2020 y se prevé que persista hasta finales de 2022. La Niña se origina a partir de una disminución en la temperatura de la superficie del mar en el Pacífico ecuatorial, pero sus efectos se sienten a nivel global al alterar los patrones de viento y precipitación en todo el mundo. Estos cambios están afectando la disponibilidad de agua en el norte de México y están generando modificaciones en los patrones de viento y lluvia a nivel mundial. En futuros escenarios, se espera que las regiones del norte de México enfrenten sequías más frecuentes y extremas (Boletín UNAM, 2022). Actualmente, el 71% del territorio mexicano experimenta un nivel alto o muy alto de presión hídrica [ver Figura 1.5].

Fig. 1.5: Monitor de Sequía de México 2023.

Imagen obtenida de Comisión Nacional de Agua (CONAGUA). Recuperado de <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico>
Reproducción realizada con fines didácticos.



CIUDAD SENSIBLE AL AGUA

La relación entre el agua y las ciudades plantea desafíos significativos. Por lo general, el ciclo urbano del agua se divide en tres áreas principales: el suministro de agua potable, el drenaje y el saneamiento (IIUNAM & Cámara de Diputados, 2022). En contextos urbanos, la falta de colaboración efectiva entre diferentes sectores puede generar presiones significativas en términos de sostenibilidad del agua. Para abordar estos desafíos, es crucial adoptar un enfoque integral que involucre prácticas de gestión del agua más eficientes y sostenibles, inversión en infraestructura de almacenamiento y distribución, regulaciones para garantizar un acceso equitativo al agua, y la mejora de la gobernanza y la capacidad institucional. Además, se necesita aumentar la conciencia pública y fomentar la participación comunitaria en los esfuerzos de gestión y conservación del agua (Howe & Mitchell, 2012). Cada etapa del ciclo urbano del agua comienza con plantear preguntas destinadas a guiar un análisis detallado de la situación de toma de decisiones a nivel local, lo cual sirve como base para la selección de tecnologías entre las numerosas opciones disponibles (Ballatore, 2008).

Indudablemente, las ciudades presentan amplias posibilidades para proveer servicios de agua potable y saneamiento a sus residentes. Esto se debe a que establecer y operar infraestructuras en áreas urbanas densamente pobladas generalmente resulta más rentable en comparación con áreas rurales, donde la extensión geográfica y las distancias entre comunidades aumentan los gastos operativos y de conservación (IIUNAM & Cámara de Diputados, 2022). El Water Sensitive Urban Design (**WSUD**), o Diseño Urbano Sensible al Agua, representa un cambio fundamental en la forma en que concebimos, planificamos, diseñamos y construimos entornos urbanos. Este enfoque considera cómo la infraestructura y la estructura edificada pueden integrarse de manera armoniosa con las características naturales de un lugar, con el objetivo de optimizar el uso del agua (Gobierno Australiano, 2006). Los principios clave del Water Sensitive Urban Design (**WSUD**) ⁽¹⁾ son fundamentales para el manejo del agua en áreas urbanas:

(1) Es un término utilizado en Medio Oriente y Australia, de renombre internacional. Se trata de un método de planificación y diseño que incorpora el ciclo del agua urbana, abarcando la gestión de aguas pluviales, aguas subterráneas, aguas residuales y suministro de agua, con el propósito de reducir el impacto ambiental al mínimo.

1. Conservar las características naturales existentes y los procesos ecológicos.
2. Preservar el comportamiento hidrológico natural de las cuencas.
3. Salvaguardar la calidad del agua superficial y subterránea.
4. Minimizar la demanda en el sistema de suministro de agua tratada.
5. Reducir las descargas de aguas residuales al entorno natural.
6. Integrar el agua en el paisaje para mejorar los valores visuales, sociales, culturales y ecológicos.

En áreas urbanas, la captación de agua de lluvia no suele alterar significativamente el flujo de agua, ya que gran parte se recicla como aguas residuales o regresa como aguas pluviales. La calidad del agua en áreas urbanas es una preocupación adicional y requiere medidas de mitigación. La gestión del agua, incluyendo la captación de agua de lluvia, puede tener efectos beneficiosos como prevenir inundaciones, reducir el escurrimiento y promover la recarga de acuíferos, siempre que se implementen adecuadas medidas de gestión (UNEP & SEI, 2009).

PERSPECTIVA TECNOLÓGICA

La captación de agua de lluvia es una tecnología eficaz que afronta la creciente variabilidad en el suministro de agua y los patrones de lluvia. Su enfoque descentralizado permite a los propietarios gestionar directamente

la demanda y el suministro de agua, reduciendo la necesidad de infraestructuras costosas y energía, lo que contribuye a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero relacionadas con la provisión de agua (UNEP & SEI, 2009). Estudios como el realizado por el Centro de Ciencia y Medio Ambiente (CSE) en India resaltan la efectividad de la captación de agua de lluvia incluso en condiciones de sequías severas, subrayando su potencial como una solución eficaz (Agarwal, 2010).

ESTRATEGIAS POLÍTICA

La implementación exitosa de infraestructura y tecnologías relacionadas con el agua se basa en políticas, regulaciones y estrategias económicas, sociales y legales integrales (Ballatore, 2008). Estos enfoques buscan guiar a líderes políticos y expertos en agua para desarrollar

estrategias sostenibles y adaptadas a desafíos específicos. Las políticas sólidas respaldan la implementación y expansión de sistemas de captación de agua de lluvia, incluyendo subsidios y microfinanzas, especialmente en países en desarrollo (UNEP & SEI, 2009). Los gobiernos locales pueden influir positivamente en la sostenibilidad a través de proyectos, regulaciones, educación pública y colaboración con entidades gubernamentales y regionales (Fergusson et al., 2012). Cambiar los comportamientos de las personas hacia la sostenibilidad requiere más que proporcionar información; implica diálogos significativos, identificación de prioridades y comprensión de diferentes perspectivas, lo que exige reflexión, negociación y reevaluación.

PERSPECTIVA SOCIAL

La gestión adecuada de programas de recolección de agua de lluvia, pueden tener un impacto significativo en las áreas urbanas y rurales, en la lucha contra la pobreza (Agarwal, 2010). En el estudio anterior del caso de la India, se han identificado varios beneficios notables de la captación de agua de lluvia a nivel comunitario. Estos múltiples beneficios sociales, incluyen la reducción de la pobreza al mejorar la seguridad

alimentaria y los ingresos a través del riego de cultivos y el uso doméstico. Además, fomenta la cohesión social al requerir la colaboración comunitaria en proyectos de recolección de agua de lluvia, fortaleciendo los lazos entre los miembros de la comunidad. También contribuye al desarrollo del “capital social”, que se refiere a las relaciones y normas sociales que facilitan la cooperación y la acción colectiva, lo que beneficia a la comunidad en diversos aspectos, como la resolución de problemas y la toma de decisiones.

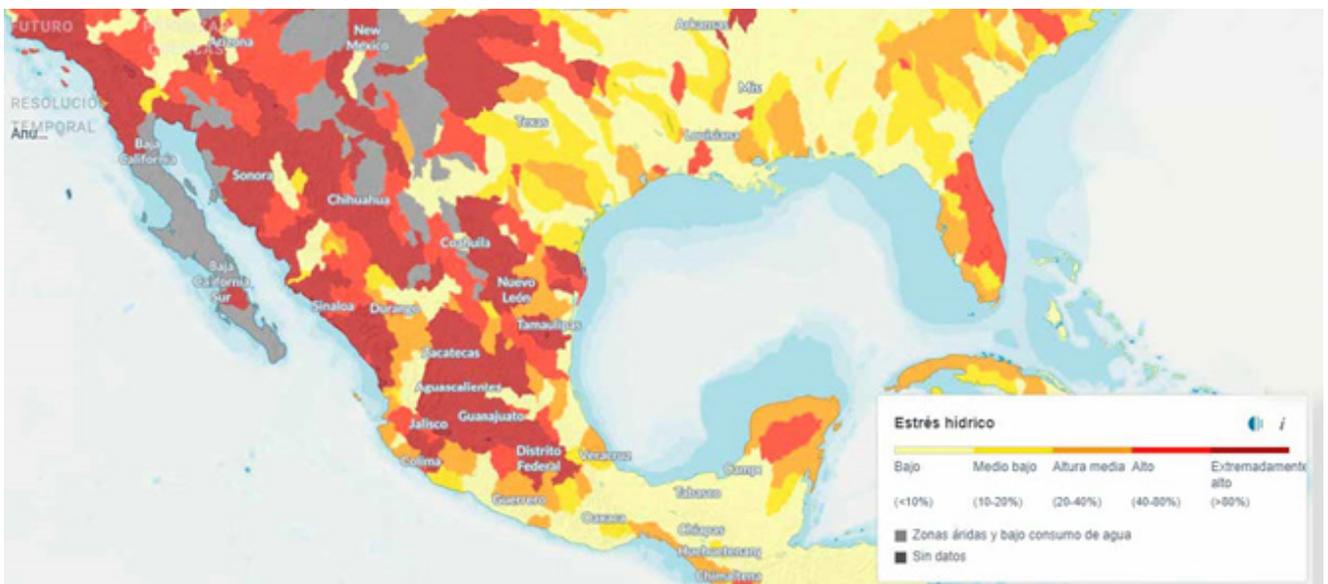
PERSPECTIVA AMBIENTAL

Según el World Resources Institute (**WRI**) o Instituto de Recursos Mundiales en español, México es uno de los 25 países con mayor escasez de agua en el mundo; esto se debe a una combinación de factores como el cambio climático, las prácticas no sostenibles de gestión del agua, el crecimiento de la población y la contaminación. Estos factores han llevado a una disminución en la cantidad y calidad de los recursos hídricos disponibles, exacerbando la crisis del agua en México [ver Figura 1.6].

La imagen destaca las regiones más golpeadas por la escasez de agua en el centro y norte de la país. Estas cifras oscilan entre un riesgo moderado a un peligro extremadamente alto de escasez de agua, abarcando aproximadamente el 80 % del área del país.

Fig. 1.6: Atlas de riesgo hídrico en México.

Imagen obtenida del Instituto de Recursos Mundiales (WRI).
Recuperado de <https://www.wri.org>
Reproducción realizada con fines didácticos.



El informe del Millennium Ecosystem Assessment (**MA**) o Evaluación de los Ecosistemas del Milenio en español, de 2005 señaló que el 60% de los servicios ecosistémicos globales están en degradación, lo que, junto con el crecimiento poblacional y mayores demandas, conduce a conflictos y desplazamientos, impactando negativamente la pobreza y el bienestar humano (UNEP & SEI, 2009). Además, el Cuarto Informe de Evaluación 2007 del Intergovernmental Panel on Climate Change (**IPCC**) o Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático en español, destacó que la adopción generalizada de tecnologías descentralizadas, como la recolección de agua de lluvia, podría reducir las emisiones de CO₂ en aproximadamente 6 Gt por año para 2030.

La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la ciencia y la cultura (**UNESCO**), advierte que la demanda de agua ha estado aumentando alrededor del 1% anual durante las últimas cuatro décadas y se espera que continúe creciendo hasta 2050 (**UNESCO, 2023**)⁽¹⁾. En la Water Conference 2023 o Conferencia de la **ONU** sobre el Agua 2023,⁽²⁾ busca abordar la crisis mundial del agua y sus desafíos en todos los sectores y países (**ONU, 2023**), siendo crucial para la agricultura y el acceso al agua potable en áreas rurales y urbanas que no tienen acceso a agua limpia y segura. (**DOF, 2020**)⁽³⁾

PERSPECTIVA ECONÓMICA

Según datos del Foro Agua de la Cámara de Diputados y el Instituto de Ingeniería, las personas en situación de vulnerabilidad, especialmente en asentamientos informales en zonas urbanas, enfrentan costos significativamente más altos en relación al agua, pagando entre 10 y 20 veces más que aquellos con mayores ingresos debido a la compra de agua embotellada o servicios de carros cisterna. La falta de instalaciones adecuadas de saneamiento contamina las fuentes de agua potable con desechos, especialmente en asentamientos informales. Durante las lluvias, las aguas pluviales transportan contaminantes a las fuentes de agua utilizadas por estas personas vulnerables. Este problema es común en muchos municipios de México, como el caso de Iztapalapa, que experimenta suministro de agua no continuo y problemas de inundaciones debido a una gestión deficiente. Estos desafíos requieren soluciones a largo plazo para garantizar un suministro de agua seguro y sostenible. (**IIUNAM & Cámara de Diputados, 2022**).

(1) UNESCO, "Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2023: Alianzas y cooperación por el agua, resumen ejecutivo", UNESCO Digital Library, 2023, https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000384657_spa?posInSet=2&queryId=0f0d3462-4f7c-4ab4-b64e-0f9ce89cd69d, consultado el 1 de abril de 2023.

(2) ONU, "Conferencia de la ONU sobre el Agua 2023 | Department of Economic and Social Affairs", 2023, <https://sdgs.un.org/es/conferences/water2023>, consultado el 1 de abril de 2023.

(3) NORMA Oficial Mexicana, NOM-179-SSA1-2020, Agua para uso y consumo humano", Diario Oficial de la federación.

CRECIMIENTO POBLACIONAL

El crecimiento de la población en México ha aumentado la demanda de agua, ejerciendo presión sobre los recursos hídricos para usos domésticos, agrícolas e industriales. De acuerdo con las proyecciones del Consejo Nacional de Población (**CONAPO**) para el período 2010-2030, se espera un aumento continuo en la población, alcanzando una estimación de 137.5 millones de habitantes para 2030, lo que disminuirá los recursos hídricos renovables por persona en el país, debido a la concentración urbana, la sobreexplotación de acuíferos y la necesidad de mejorar los sistemas de suministro de agua para satisfacer las necesidades básicas de higiene, hidratación y alimentación.

En 2020, México tenía un promedio de 3,663 metros cúbicos de agua renovable por habitante al año, pero se espera que disminuya a 3,358 metros cúbicos por habitante al año para 2030 debido al crecimiento poblacional. Estos datos se basan en información obtenida del Sistema Nacional de Información del Agua (**SINA**) y reflejan la realidad de un país con una población de 126.01 millones de habitantes en 2020, una tendencia hacia la concentración en las Zonas Metropolitanas (ZM) donde reside

el 63.69% de la población. Del total de habitantes, el 56.16% reside en zonas urbanas, mientras que el 4.53% vive en zonas rurales. Esto se refleja en que México ocupa el undécimo lugar entre los países más poblados del mundo ([SINA, 2022](#)).

La distribución desigual de agua potable en México, especialmente en áreas rurales y con recursos limitados, provoca problemas socioeconómicos y una mayor demanda de energía. La mala gestión y la falta de inversión en infraestructura son también, causas de la crisis del agua ([CONAGUA, 2023b](#)). Igualmente, la escasez económica de agua se debe a la falta de inversión en infraestructura y tecnología para aprovechar el agua, lo que ha impulsado la necesidad de explorar fuentes alternativas de abastecimiento de agua. Se están implementando medidas para recolectar, almacenar y utilizar agua de lluvia en diversos usos no potables, desde sistemas domésticos hasta proyectos comerciales e institucionales, con esfuerzos gubernamentales para promover su adopción ([CONAGUA, 2023](#)).

TRANSICIÓN TECNOLÓGICA

La transición en la gestión del agua se produce gradualmente debido a la necesidad de modificar en profundidad el enfoque actual, debido a la limitada capacidad de los sistemas de gestión existentes para abordar de manera eficaz las modificaciones requeridas en las regulaciones y otros aspectos de la gobernanza necesarios para lograr una transformación socio-técnica en la gestión física del agua y sus estructuras operativas (Howe & Mitchell, 2012). Además, la infraestructura de agua y saneamiento debe permitir su restauración sin impactos ambientales negativos, lo que requiere una transición de sistemas centralizados a sistemas descentralizados. A su vez, la colaboración global y el desarrollo de capacidades son esenciales en esta transición; para fomentar cambios en el comportamiento, es importante adaptar la información a la comunidad y crear espacios de diálogo y reflexión. La educación, el intercambio de conocimientos técnicos y el desarrollo de capacidades son elementos cruciales para facilitar esta transición hacia un nuevo paradigma en la gestión del agua y la adaptación al cambio climático. Estos cambios deben realizarse desde una posición informada, considerando cuidadosamente los posibles beneficios

y riesgos de la recolección de agua de lluvia, tanto para las personas como para el medio ambiente (UNEP & SEI, 2009). Los enfoques participativos son fundamentales para influir en las decisiones y promover la participación ciudadana en programas de sostenibilidad gubernamental. Para impulsar la participación ciudadana en esta dirección, los gobiernos emplean diversas herramientas, como reuniones públicas interactivas, plataformas de discusión en línea y eventos de planificación, entre otros. La incorporación de enfoques participativos en los programas gubernamentales de sostenibilidad exige una estrategia cuidadosamente elaborada, que puede regirse por una serie de principios clave (Fergusson et al., 2012).

BUSQUEDA DE NUEVAS TECNOLOGÍAS

La escasez de agua en México se debe a múltiples factores interconectados, como la distribución desigual de recursos hídricos, la contaminación del agua, la sobreexplotación de acuíferos, el cambio climático, el crecimiento de la población y las áreas urbanas, así como la infraestructura insuficiente. Estos desafíos combinados tienen un impacto significativo en la disponibilidad

de agua en el país, lo que amenaza la salud pública, la calidad de vida y la sostenibilidad ambiental. Sin embargo, el gobierno mexicano ha implementado programas y políticas para abordar estos problemas y mejorar la gestión de los recursos hídricos, con el objetivo de asegurar un suministro de agua más adecuado para la población y el desarrollo sostenible a largo plazo en términos económicos, ambientales y sociales. El agua es esencial para el bienestar humano y tiene beneficios significativos en áreas clave: salud (suministro de agua potable y saneamiento), provisión básica (alimentos y necesidades), medios de subsistencia (sostener la vida y actividades económicas) y vulnerabilidad (mitigar desastres naturales) (UNEP & SEI, 2009).

Es por lo anterior, podemos decir que la implementación de sistemas de captación de agua de lluvia es una medida beneficiosa por diversas razones fundamentales. Estas incluyen el uso sostenible de un recurso renovable, la mitigación de la escasez de agua, la reducción de costos en el suministro de agua potable, la capacidad de brindar alivio en épocas de sequía, beneficios medioambientales como la conservación de ecosistemas y la reducción de la huella de carbono, la promoción de la resiliencia ante el cambio climático, y la

oportunidad de fomentar la educación y la concienciación sobre la gestión sostenible de los recursos hídricos. La incorporación de estrategias de diseño y técnicas destinadas a reducir el impacto ambiental, como las ofrecidas por el Water Sensitive Urban Design (**WSUD**) o el Diseño Urbano Sensible al Agua, traducido al español, no limita de ninguna manera la innovación y el desarrollo de propuestas que busquen promover la adopción de nuevas tecnologías (Gobierno Australiano, 2006). Por lo tanto, no existen restricciones que frenen la innovación en lo que respecta al diseño y construcción de elementos en el ámbito del diseño urbano.

1.2. Objetivos de la investigación

Objetivo general: Desarrollar un captador de agua multifuncional cuyo grado de innovación en plegabilidad lo haga fácil de instalar y asequible para que contribuya a mitigar los problemas de escasez de agua en zonas vulnerables de Iztapalapa, Ciudad de México.

Objetivo específico: Brindar una alternativa más para ayudar a solventar el problema de escasez de agua en las zonas vulnerables de Iztapalapa

1.3. Pregunta de investigación

¿Qué tecnologías de captación mejora las características que requiere un captador de agua para facilitar su construcción y transportabilidad de forma asequible?

1.4. Hipótesis

Un captador de agua multifuncional, desplegable, ligero y de fácil instalación mejora la construcción y transportabilidad en comparación con las tecnologías de captación y captadores de agua de superficie ya existentes.

1.5. Método

El enfoque metodológico de esta investigación se basa en el método deductivo, que se caracteriza por inferir conclusiones a partir de un conjunto de principios. Además, empleamos el método de investigación descriptiva para proporcionar una descripción detallada de las características de la población y el fenómeno de estudio. Se utiliza un análisis comparativo con enfoque correlacional, lo que implica examinar la relación entre dos variables al seleccionar casos de estudio similares al modelo original, con el propósito de evaluar tanto la eficacia de la captación como los costos. Se realizó una base de datos con la revisión de documentos, registros públicos y archivos físicos y documentos estadísticos de instituciones estatales. Los datos estadísticos de obtuvieron, principalmente de instituciones como La Comisión Nacional del Agua (**CONAGUA**), El Servicio Meteorológico Nacional (**SMN**), El

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (**INEGI**), La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (**SEMARNAT**), La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (**UNESCO**), La Organización de las Naciones Unidas (**ONU**), La Organización Mundial de la Salud (**OMS**), entre otros.

La base de datos referente a la precipitación pluvial en el área de estudio se evaluó mediante tablas de Excel, en un período de 10 años de las fuentes de información previamente mencionadas; para llevar a cabo el análisis estructural del captador, se emplearon los programas AutoCAD y Rhino junto con el plugin Grasshopper. Los datos cuantitativos generados se utilizaron para obtener las dimensiones de la oferta y la demanda, procesándolos con herramientas informáticas y representándolos mediante gráficos. Además, se examina la mecánica de implementación con el fin de determinar la geometría óptima para la captación de agua, por medio de modelo experimentales.

1.6. Variables de investigación

Modelo causal

Variable independiente (X): Precipitación

Variable dependiente (Y): Cantidad de agua que se capta

Variable extraña: Costo de construcción del módulo

Variable interviniente (Xi): Tipo de material

Variabes de diseño:

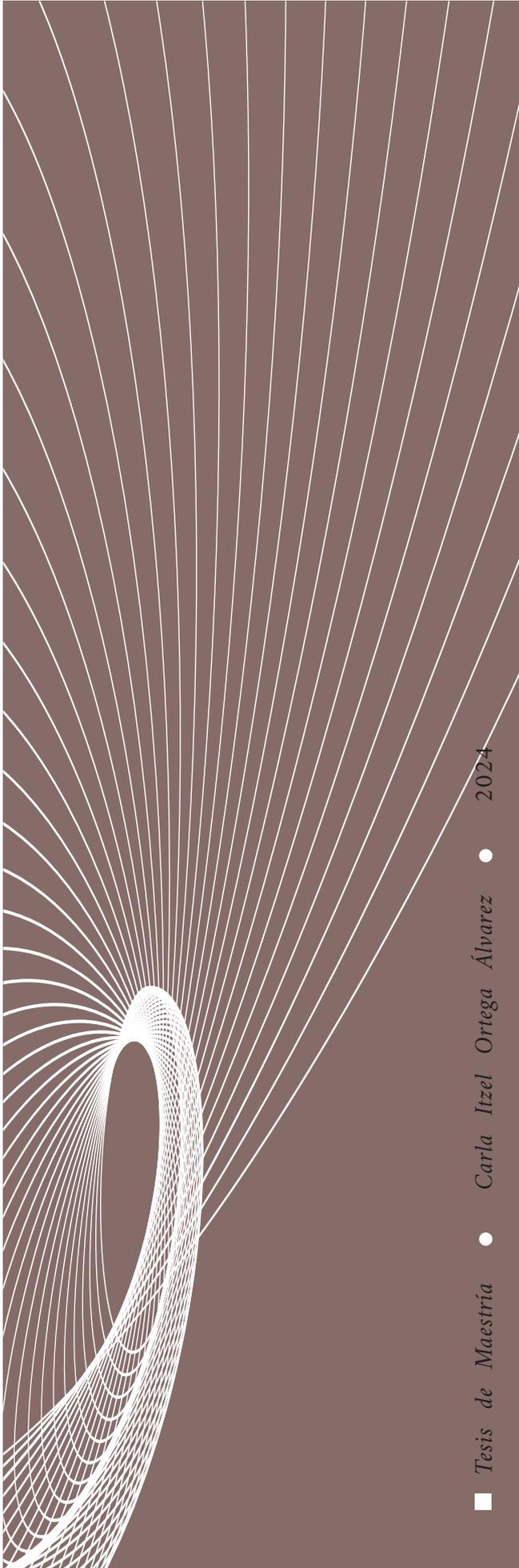
- Área de captación
- Dimensiones

Variabes activas: Material

- Metálico
- PCV reciclado

Variabes atributos: Sistema de Captación Pluvial:

- Recolectar
- Filtrar
- Almacenar



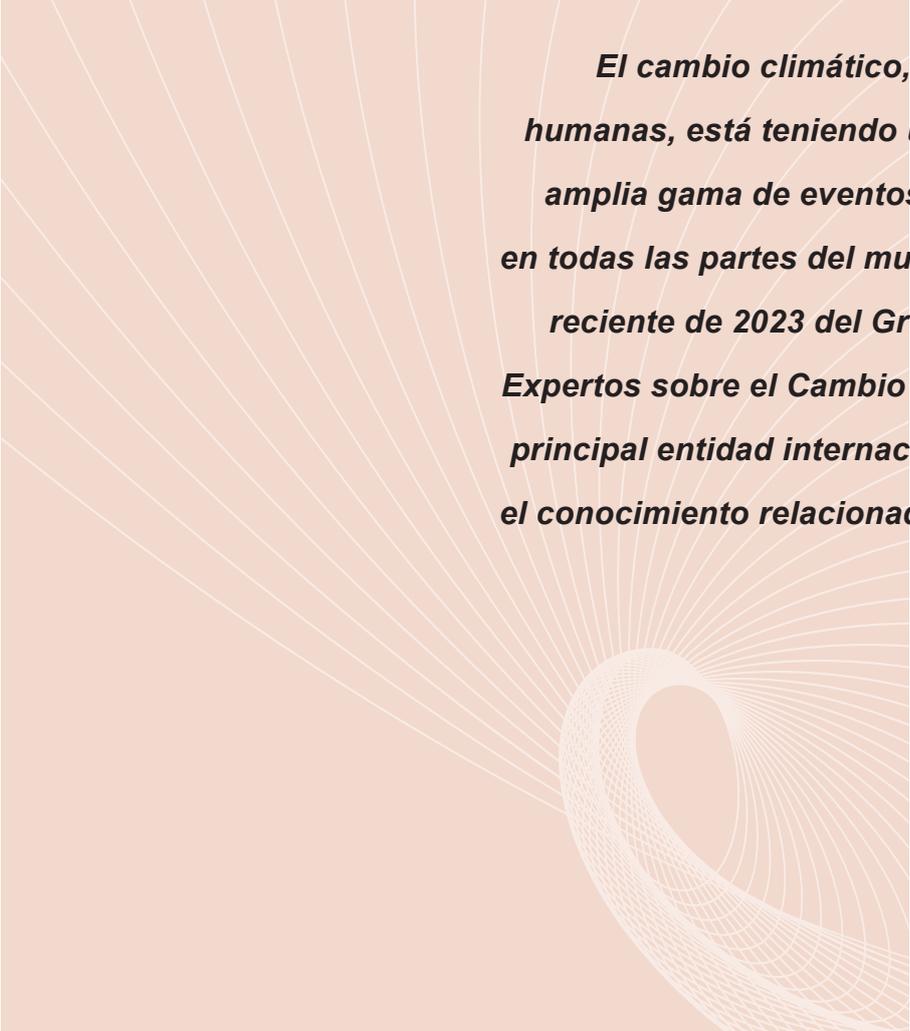
■ Tesis de Maestría • Carla Itzel Ortega Álvarez • 2024

Capítulo 2. Una nueva visión de cubiertas ligeras

Antecedentes

*“No vamos a ser capaces de pilotar nuestra
Nave Espacial Tierra durante mucho
tiempo más, a no ser que entendamos que
es una única nave, y que nuestro destino
es común. Tenemos que ser todos, o no
seremos ninguno.”*

Richard Buckminster Fuller



El cambio climático, atribuido a las actividades humanas, está teniendo un impacto tangible en una amplia gama de eventos meteorológicos extremos en todas las partes del mundo. Según el informe más reciente de 2023 del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), que es la principal entidad internacional encargada de evaluar el conocimiento relacionado con el cambio climático.

(IPCC et al., 2023)

2.1. Cubiertas ligeras captadoras de agua

En la sociedad actual, marcada por su constante evolución y transformación, es esencial reconocer la importancia de elementos arquitectónicos adaptables y versátiles (Alegria Mira et al., 2015). En los últimos años, ha habido un creciente interés en las cubiertas ligeras en el diseño arquitectónico. Estas cubiertas ofrecen ventajas significativas, como mayor eficiencia energética y rentabilidad. Por lo general, se construyen con materiales como metal o paneles compuestos, que combinan resistencia, durabilidad y versatilidad. Además, son más fáciles de instalar, almacenar y mantener en comparación con las cubiertas convencionales; igualmente, la construcción de cubiertas ligeras representa una solución innovadora y sostenible a los retos actuales en la industria de la construcción. Este enfoque se basa en el uso de materiales y métodos que reducen el peso (Morales, 2016a), lo que a su vez disminuye el consumo de recursos y las emisiones de carbono relacionadas con la construcción. Estas cubiertas se diseñan para brindar flexibilidad y control sobre la exposición a elementos naturales como la lluvia, el sol y el viento. Además, se exploran nuevas aplicaciones, como la captación de agua, energía solar y eólica, para un uso compartido.

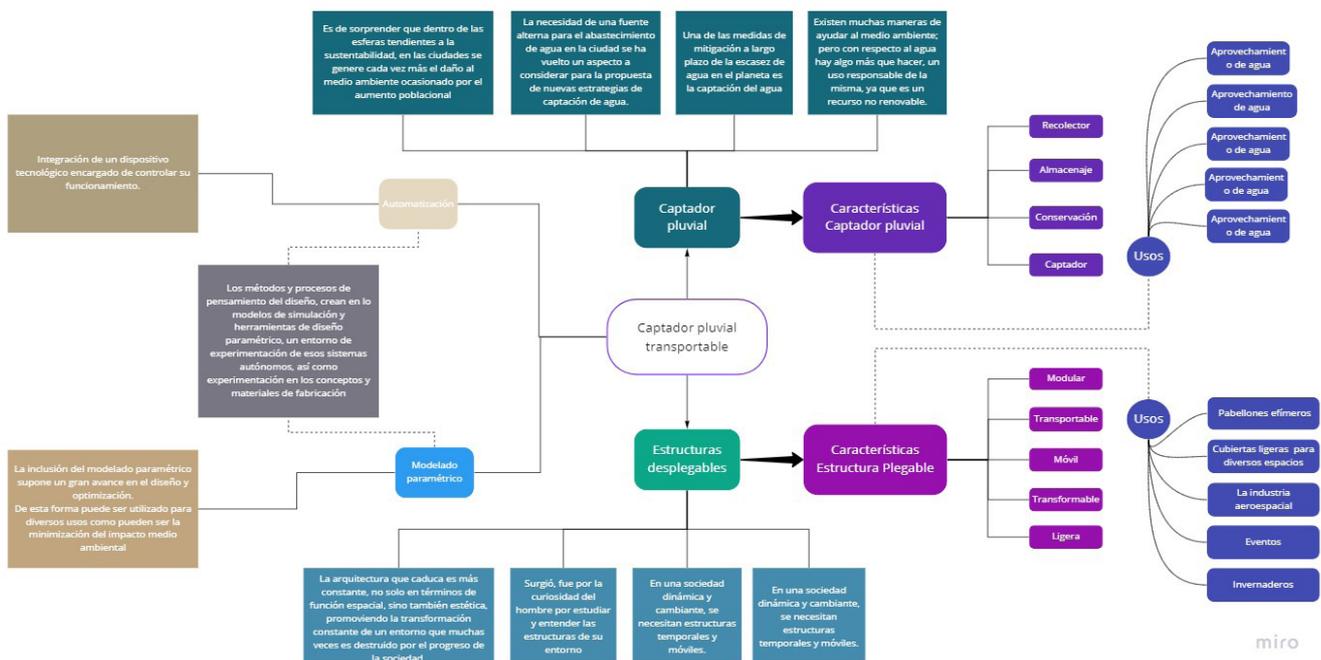
Las cubiertas ligeras captadoras de agua son una solución innovadora que busca recolectar agua de lluvia de manera eficiente. Estas estructuras están diseñadas para capturar el agua de lluvia que cae sobre ellas y dirigirla hacia un sistema de recolección y almacenamiento. Pueden variar en tamaño y complejidad, desde sistemas sencillos en techos residenciales hasta estructuras más elaboradas en edificios a nivel urbano. Su objetivo es reducir la necesidad de recursos de construcción y minimizar el mantenimiento al recolectar agua antes de que entre en contacto con superficies contaminadas. Sin embargo, la implementación exitosa de estas tecnologías a nivel urbano requiere el respaldo de instituciones gubernamentales que respalden su viabilidad y generen confianza en la población (Fergusson et al., 2012). Son una solución respetuosa con el medio ambiente y efectiva para aprovechar el recurso natural de la lluvia. Estas estructuras ofrecen la posibilidad de disminuir la dependencia de fuentes de agua potable, al mismo tiempo que contribuyen a la conservación de los recursos hídricos. Su utilidad es particularmente relevante en

regiones afectadas por la escasez de agua, donde se busca reducir el consumo de agua potable en actividades que no requieren dicha calidad o en situaciones de emergencia, como desastres naturales.

Para construir del aparatocrítico de este proyecto, comenzamos por establecer una base teórica y filosófica sólida que respalda la investigación. Nuestra investigación se divide en dos aspectos interrelacionados: el concepto de captación de agua, que se enfoca en desarrollar sistemas capaces de recolectar, almacenar y utilizar agua de lluvia como un recurso natural en diversos sectores; y la segunda vertiente se relaciona con las estructuras desplegables y su aplicación en contextos ecológicos, incluyendo la captación de agua de lluvia. Creemos que el éxito de cualquier proyecto radica en la innovación, que a menudo surge de ideas inesperadas, pero se nutre de una investigación continua y un compromiso dedicado en un área temática específica. Estas ideas se transforman en conceptos sólidos que sustentan el producto final. El siguiente esquema representa las filosofías más destacadas de la investigación [ver Figura 2.1].

Fig. 2.1: Diagrama de las teorías, visiones y filosofías al rededor de la investigación.

Elaboración propia.



2.2. Arquitectura desplegable y transportable

La arquitectura desplegable y transportable es el fundamento de esta investigación y representa un elemento clave en el desarrollo de un concepto estructural innovador destinado a mejorar la construcción de captadores de agua. La arquitectura plegable y transportable (Escrig Pallarés, 2012)⁽¹⁾ se refiere a un enfoque de construcción que hace uso de materiales ligeros y técnicas de diseño que permiten que la estructura se pliegue o transforme para adaptarse a diversas aplicaciones y necesidades, aprovechando su flexibilidad y versatilidad (Morales, 2016a). Este tipo de arquitectura se ha vuelto cada vez más popular debido a su capacidad de ser fácilmente transportada y montada en diferentes ubicaciones, lo que la hace especialmente adecuada para estructuras temporales como tiendas de campaña, pabellones para eventos, carpas, y otras estructuras móviles.

Históricamente, la arquitectura transportable se empleaba como espacios para el comercio y el intercambio en las civilizaciones sedentarias, así como para actividades recreativas. Esto les permitía cambiar de ubicación y satisfacer necesidades de transporte, siendo una característica de la vida nómada. (Pérez Valcárcel et al., 2019) Sin embargo, esta movilidad a menudo limitaba su funcionalidad como estructuras, ya que podían cambiar de forma debido a cargas externas o su propio peso. En la actualidad, las tecnologías modernas tienen el potencial de revivir estas tradiciones y reinventarlas de nuevas maneras (Belfiore, 2012). Por lo tanto, la arquitectura desplegable y transportable se presenta como una solución efectiva para abordar las condiciones y necesidades de la población actual. Es importante tener en cuenta que el desarrollo y la investigación en este campo todavía están en curso, lo que lo convierte en un área en crecimiento dentro de la industria de la construcción y la arquitectura. En consecuencia, se requieren profesionales con una formación interdisciplinaria y especialización para incorporarse a las áreas emergentes de la arquitectura (Universidad Politécnica de Madrid, s. f.).

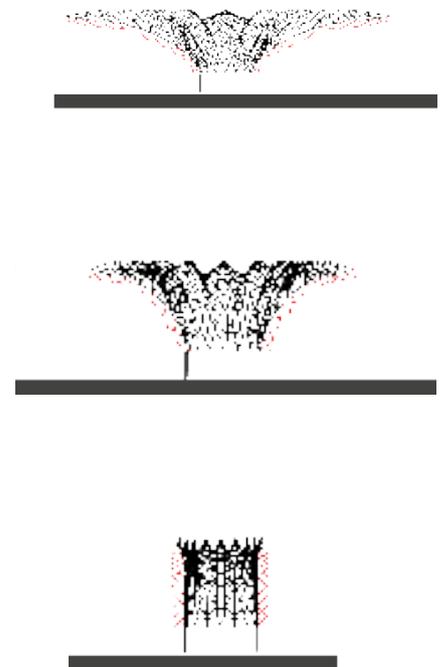
(1) Este término se inspira de la obra de Escrig, F. 2012. "Modular, Ligero, Transformable."

2.3. Modelado paramétrico

Hemos utilizado el modelado paramétrico para visualizar el producto desarrollado, una metodología de diseño que implica la creación y modificación de objetos mediante la manipulación de parámetros y relaciones entre ellos. En lugar de crear modelos estáticos, el modelado paramétrico permite el uso de estructuras algorítmicas generadas a través de programación visual para crear modelos flexibles y adaptables. Cualquier cambio en un parámetro afecta automáticamente todas las partes del modelo que dependen de ese parámetro, lo que facilita la exploración de múltiples opciones de diseño y optimización. Para lograr esto, se emplearon software de modelado paramétrico como AutoCAD, Rhinoceros, Revit y SolidWorks, que proporcionan herramientas específicas para crear y manipular modelos paramétricos, optimizando la estructura en sus primeras etapas y asegurando un ajuste geométrico preciso. El modelado paramétrico ha sido esencial en la investigación para racionalizar los módulos experimentales del “CAfID”. Durante la fase de diseño, es crucial comprender mejor la estructura y su movimiento de despliegue. Por lo tanto, es fundamental evaluar cómo los parámetros de diseño, como la altura, el área de captación, el espesor estructural, el número de unidades y el tipo de tijera, afectan el comportamiento de la estructura en términos de tensión, deflexión y masa (Alegria Mira et al., 2015).

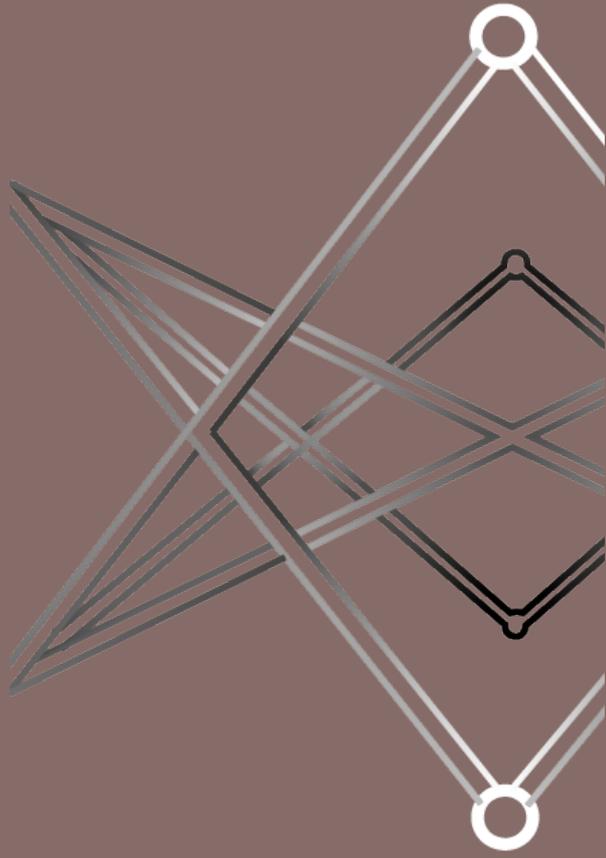
Fig. 2.2: Esquema de despliegue estructural.

Elaboración propia.



“El modelado produce formas densas / intensas que se refieren a un tipo de belleza en delicada armonía.”

(Liotta et al., 2012)

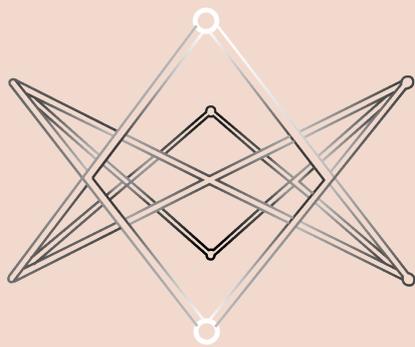


■ Tesis de Maestría • Carla Itzel Ortega Álvarez • 2024

Capítulo 3. Historia de la plegabilidad

“La transformación es una abstracción de la naturaleza, es la forma en la que se adapta para sobrevivir.”

Chuck Hoberman



Las estructuras plegables han sido empleadas a lo largo de la historia en distintas culturas de todo el mundo.

Desde tiendas de campaña hasta puentes móviles, estas construcciones han representado una solución ingeniosa para facilitar la movilidad y la adaptación.

Los métodos de diseño y construcción de estas estructuras están registrados en las obras de Vitruvio, siendo consideradas como una de las primeras construcciones retráctiles que aprovechan los principios de la mecánica.



Historicamente, se han investigado diversos tipos de construcciones desplegables. Un ejemplo destacado es el Coliseo y otros anfiteatros que incorporaban el sistema “Velum”⁽¹⁾ (velarium, 2016), que consistía en toldos y lonas desplegables. Estos dispositivos permitían resguardar a los espectadores del sol o la lluvia [ver Figura 3.1] (Historia, 2023). Estas estructuras desplegables representaban un ejemplo temprano de cómo los antiguos romanos aplicaban la ingeniería para mejorar la experiencia de los espectadores y adaptarse a diversas condiciones climáticas. Esto evidencia que a lo largo de la historia, las personas han explorado métodos para desarrollar construcciones desplegables que les ofrecerán comodidad y facilidad de transporte (Morales, 2022). La primera referencia documentada a una estructura desplegable se encuentra en una silla egipcia [ver Figura 3.2], compuesta por barras en forma de aspa que permitían su plegado y desplegado de manera sencilla y rápida, lo que la hacía portátil y cómoda de transportar (Historia, 2023).

(1) El velarium, era una cobertura desplegable de tela compuesta de varias hojas (o velos) de cáñamo, utilizada en los circos, teatros y anfiteatros romanos. (Velarium, 2019)

Fig. 3.1: Coliseo Romano y su sistema de “Velum”.

Imagen obtenida de Glosario Arquitectónico.
Recuperado de <https://www.glosarioarquitectonico.com/glossary/velarium/>
Reproducción realizada con fines didácticos.



Fig. 3.2: Silla egipcia, primera estructura desplegable.

Imagen obtenida de Curiosfera.
Recuperado de <https://curiosfera-historia.com/historia-de-la-silla/>
Reproducción realizada con fines didácticos.



Las estructuras desplegables tienen un legado histórico que se remonta a la cultura romana, donde se utilizaban tiendas de Papilo o tiendas romanas como refugios (Arquitectura nómada, 2012). También, las tribus nómadas de Asia Central emplearon la Yurta [ver Figura 3.3], una vivienda diseñada en la Edad Media para resistir las condiciones climáticas de Mongolia. Estos refugios nómadas, como las tiendas de las tribus indígenas de América y las jaimas árabes y africanas, reflejan la naturaleza adaptable de la arquitectura nómada. Estos refugios se caracterizan por ser estructuras cuya cubierta y soporte pueden montarse y desmontarse, lo que facilita su transporte, convirtiéndolos en construcciones ligeras desde un punto de vista constructivo (Morales, 2016a). Durante la Segunda Guerra Mundial, se desarrollaron tecnologías que permitieron la creación de estructuras desplegables con aplicaciones militares [ver Figura 3.4], como refugios de campaña y puentes desplegables (WWII Museum, 2009). Las tiendas del hospital están parcialmente enterradas en la arena, y las otras tiendas están aseguradas con techos desplegables. Estas construcciones resultaron especialmente valiosas para las fuerzas armadas en movimiento, ya que podían desplegarse y desmontarse rápidamente según las necesidades de la situación.

Fig. 3.3: Yurtas tradicionales.

Imagen obtenida de World History Encyclopedia.
Recuperado de <https://www.worldhistory.org/trans/es/1-18474/yurta/>
Reproducción realizada con fines didácticos.



Fig. 3.4: Tiendas desplegables durante la Segunda Guerra Mundial.

Imagen obtenida de The National WWII Museum.
Recuperado de <https://www.ww2online.org/image/rows-tents-military-hospital-anzio-italy>
Reproducción realizada con fines didácticos.



Los refugios de antiguas civilizaciones ofrecen un conocimiento detallado y preciso de sus materiales y características arquitectónicas, especialmente en términos de respuesta a las condiciones climáticas y detalles constructivos. Estas culturas basaron gran parte de su arquitectura en el concepto de “tensión”, empleando sistemas estructurales de tracción con membranas hechas de tejidos de fibras naturales.

3.1. Arquitectura nómada

La arquitectura nómada se originó cuando las primeras comunidades humanas se vieron obligadas a moverse en busca de alimento y refugio ([Arquitectura nómada, 2012](#)). Estas sociedades desarrollaron estructuras desplegables como respuesta a su estilo de vida itinerante. Estas estructuras eran ligeras, portátiles y fáciles de montar y desmontar [ver Figura 3.5], lo que facilitaba la adaptación a diferentes entornos y condiciones climáticas durante sus desplazamientos estacionales o migraciones. A lo largo de la historia, varias culturas han adoptado un estilo de vida nómada, desplazándose constantemente en busca de recursos y oportunidades [ver Figura 3.6]. Las estructuras desplegables han sido una parte fundamental de la historia de la vivienda nómada ([The Cultural Magazine, 2018](#)). Además, estas viviendas, frecuentemente móviles y prefabricadas, sirven como espacios de retiro que pueden ser instalados en jardines, bosques o incluso en interiores, proporcionando lugares para la reflexión y la relajación.

En España, esta disciplina contó con investigadores como Emilio Pérez Piñero, quien diseñó un teatro portátil con una estructura plegable, y Félix Escrig y su equipo inventaron varias cosas usando estructuras desplegables. Estos ejemplos destacan la versatilidad histórica de las construcciones plegables ([Escrig Pallarés, 2012](#)). Esta tradición arquitectónica tiene sus raíces en la época de Marco Vitruvio, quien comparó la sencillez de las “cabañas primitivas” con la perfección racional de los edificios en la antigua Grecia en su obra “De Architectura”.

Fig. 3.5: Arquitectura de los nómadas de norteamérica.

Piegan, por Edward S. Curtis.
Imagen obtenida de Fair companies.
Recuperado de <https://faircompanies.com/articles/arquitectura-nomada-el-minimo-comun-denominador-habitable/>
Reproducción realizada con fines didácticos.



Fig. 3.6: Nómadas en la actualidad.

Markies, Bohlingk Architectur, 1984.
Imagen obtenida de The cultural Magazine.
Recuperado de <http://thecultural.es/2018/04/04/nomadas/>
Reproducción realizada con fines didácticos.



Su propósito es crear diseños que puedan cambiar de ubicación con el tiempo o adaptarse a diversas situaciones y requisitos. El objetivo fundamental de este tipo de arquitectura es dar respuesta a la creciente movilidad de individuos y comunidades en la sociedad actual (Cenamor, 2020). A medida que la globalización, la migración, los desplazamientos y las cambiantes condiciones económicas y sociales se incrementan, la demanda de espacios arquitectónicos versátiles y ajustables va en aumento. La versatilidad en la arquitectura se manifiesta en las construcciones móviles, que en algunos casos, aunque no son fácilmente transportables, ofrecen la capacidad de ajustar su posición para adaptarse a las condiciones de confort térmico y luminoso [ver Figura 3.7] (The DHaus Company, 2010). Un ejemplo del avance continuo de la tecnología en la construcción se evidencia cuando se emplean materiales que, en sí mismos, poseen un peso y rigidez prácticamente insignificantes en la estructura, pero que funcionan de acuerdo con los principios estructurales (Morales, 2016a). Esta característica hace que la estructura sea menos vulnerable a deformaciones incluso cuando se expone a algunas cargas externas.

En esta investigación, exploramos sistemas transformables que pueden desplegarse, moverse y erigirse en diferentes ubicaciones. Destacamos a figuras sobresalientes que han contribuido significativamente a este campo, con un énfasis especial en el arquitecto Emilio Pérez Piñero, quien desempeñó un papel importante en el avance de esta tecnología estructural. Comenzamos nuestro recorrido por las estructuras ligeras, la técnica del origami; un arte chino adoptado y transformado por los japoneses en una forma de expresión artística. Hoy en día, esta técnica ha trascendido las fronteras y se aplica en diversas áreas, incluso fuera de la Tierra. Durante los años 50 la **NASA**⁽¹⁾ inició el desarrollo de tecnología destinada a la creación de estructuras desplegables en el espacio. Esto marcó un avance significativo en la ingeniería de dichas estructuras y su posterior aplicación en una variedad de campos.

(1) La NASA ha estado a la vanguardia del desarrollo y utilización de estructuras desplegables para diversas misiones y aplicaciones espaciales. Estas estructuras han demostrado ser muy beneficiosas y versátiles, lo que demuestra su importancia en la exploración espacial y más allá.

Fig. 3.7: Arquitectura en movimiento.

*“Dynamic House de The D*Haus Company”.*

Imagen obtenida de Arquitectura y empresa.

Recuperado de <https://arquitecturayempresa.es/noticia/arquitectura-en-movimiento-dynamic-house-de-dhaus-company>

Reproducción realizada con fines didácticos.



“Inspirándose en conceptos de matemáticas y geometría, para crear una vivienda compacta que pueda desplegarse de manera similar a la manipulación de un cubo de Rubik, adaptándose en función de las condiciones climáticas y las necesidades”.

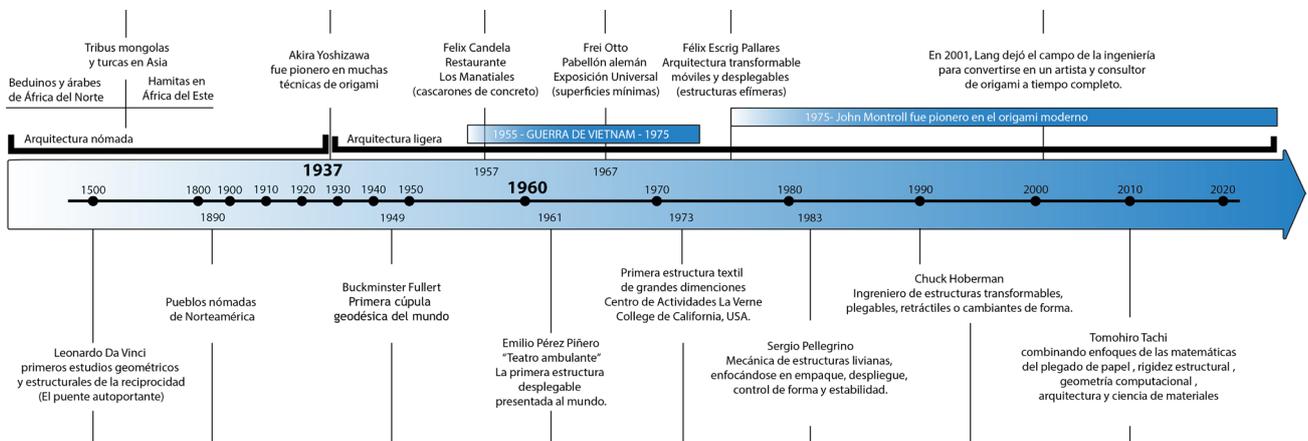
3.2. Grandes exponentes

Se ha realizado una investigación que involucran estudios de mallas espaciales, compuestas por barras que se conectan para formar una red geométrica. Algunos reconocidos arquitectos y diseñadores, como Buckminster Fuller, Frei Otto, Félix Candela Outeriño y Santiago Calatrava, han incorporado mallas espaciales en sus proyectos arquitectónicos.

La siguiente línea de tiempo [ver Figura 3.8], presenta la evolución de la arquitectura desplegable, desde sus orígenes en la arquitectura nómada hasta su uso actual en la arquitectura y la ingeniería. Este recorrido conduce a tecnologías avanzadas en diversos campos científicos y tecnológicos, con perspectivas significativas para la construcción y las exploraciones espaciales en el futuro.

Fig. 3.8: Línea de tiempo de aportación de los personajes más destacados en la arquitectura desplegable.

*Elaboración propia.
Reproducción realizada con fines didácticos.*



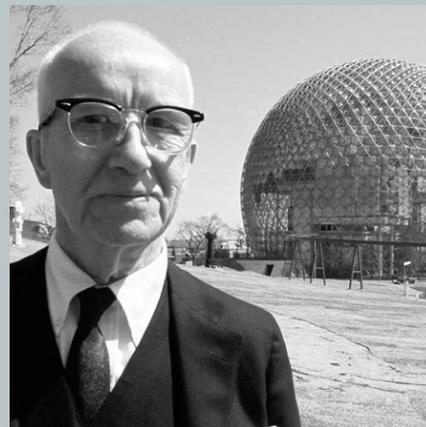
Richard Buckminster Fuller

En las décadas de 1950 y 1960, arquitectos e ingenieros exploraron la estética y modularidad de las mallas espaciales, pero Richard Buckminster Fuller [ver Figura 3.9], se destaca como el pionero en este campo. En 1949, erigió la primera cúpula geodésica que podía sostenerse a sí misma indefinidamente, lo que marcó un hito. Fue contratado por el gobierno de EE. UU. para construir cúpulas más pequeñas para uso militar, y miles se dispersaron por todo el mundo. Desarrolló cúpulas geodésicas desplegadas en 1953 y obtuvo una patente para un sistema geodésico con varias variantes. Durante cinco décadas, presentó ideas, diseños e invenciones, especialmente relacionadas con viviendas asequibles y transporte, y registró su filosofía y creencias en 28 libros. Fuller abogaba por la transición a fuentes de energía renovable como la energía solar y eólica (Richard Buckminster Fuller, 2021).

En el campo de las estructuras ligeras desplegadas, uno de los personajes más destacados es el arquitecto español Emilio Pérez Piñero. Su trabajo pionero en este ámbito lo convierte en una figura fundamental en

Fig. 3.9: Richard Buckminster Fuller.

*Imagen obtenida de Archdaily.
Recuperado de <https://www.archdaily.mx/mx/02-277796/feliz-cumpleanos-buckminster-fuller>
Reproducción realizada con fines didácticos.*



Richard Buckminster Fuller
(1895-1983)

Fue un arquitecto y diseñador visionario que dio a conocer ampliamente el concepto de la cúpula geodésica, una variante de las mallas espaciales que emplea triángulos para constituir una estructura autónoma y robusta. Sus innovadores diseños tuvieron un profundo impacto en el mundo de la arquitectura, y su famoso edificio “Biosfera” en Montreal, Canadá, se ha convertido en un ejemplo emblemático de su obra.

la historia de la arquitectura desplegable (del Río, 1990). Su legado y contribuciones son una gran fuente de inspiración para este proyecto de investigación, y su grandeza se hace evidente en su notable trabajo.

“El primer investigador que dio soluciones espaciales a las estructuras desplegables de barras [...]. Su trabajo se desarrolló entre 1961 y 1972, y hoy día hay soluciones tuyas que no han sido comprendidas ni superadas por investigadores posteriores.”

A los veintiséis años, las creaciones del arquitecto Pérez Piñero captaron la atención de diversos medios, especialmente en la prensa nacional (Almagro, 2017). A pesar de su amplio espectro de trabajos experimentales, muchas de sus estructuras fueron desmontadas y recicladas como parte de su enfoque en la reutilización de materiales para nuevas experimentaciones. Como resultado, gran parte de su legado se encuentra documentado en fotografías y descripciones escritas elaboradas por él mismo. Félix Escrig Pallares retomó y desarrolló los planteamientos de Emilio Pérez Piñero basados en principios móviles de tijeras rectas, estableciendo uno de los sistemas estructurales móviles más versátiles y aplicables. Pallares formuló principios para crear mallas planas, cilíndricas y esféricas, destacando la importancia de la investigación con modelos en su trabajo (Valcárcel et al., s. f.). La obra de Emilio Pérez Piñero dejó una huella significativa en la exploración y desarrollo de estructuras arquitectónicas desplegables [ver Figura 3.10].

Fig. 3.10: Arquitecto Emilio Perez Piñero mostrando su estructura desplegable.

*Imagen obtenida del archivo fotográfico del arquitecto Emilio Pérez Piñero. Estructura y análisis documental.
Recuperado de <https://revistas.um.es/analesdoc/article/view/277831>
Reproducción realizada con fines didácticos.*



Emilio Pérez Piñero

En el jurado de la presentación de Emilio Pérez Piñero se encontraban figuras destacadas como Richard Buckminster Fuller, Ove Arup y Félix Candela ([Escuela de Arquitectura y Estudios Urbanos, 2020](#)). Pérez Piñero estaba convencido de que aún había mucho por explorar en el campo de las estructuras espaciales, respaldado por su habilidad en la creación de modelos. A pesar de los desafíos de su época, como la falta de estudios previos en estructuras desplegadas y la carencia de un modelo de cálculo avanzado, su legado perdura en la Fundación de Calasparra, en Murcia, España ([Fundación Emilio Pérez Piñero, s. f.](#))

En el VI Congreso de la Unión Internacional de Arquitectos celebrado en Londres en el mismo año, presentó su distintiva estructura desplegable, marcando así la presentación mundial de este tipo de estructuras. Su proyecto recibió el primer premio con una mención extraordinaria, y se demostró una aportación técnica de gran relevancia en el campo de la arquitectura ([del Río, 1990](#)).

Fig. 3.11: Teatro ambulante de Emilio Pérez Piñero.

Imagen obtenida del archivo fotográfico del arquitecto Emilio Pérez Piñero. Estructura y análisis documental.

Recuperado de <https://revistas.um.es/analesdoc/article/view/277831>

Reproducción realizada con fines didácticos.



Emilio Pérez Piñero
(1935 - 1972)

Fue un destacado arquitecto español, reconocido mundialmente como pionero en el campo de las estructuras desplegadas. Su contribución más notable se dio con la creación del "Teatro Ambulante" en 1961, cuando aún era estudiante en la Escuela Superior de Arquitectura de Madrid.

Fig. 3.12: Sergio Pellegrino.

*Imagen obtenida de Instituto de Tecnología de California.
Recuperado de <http://www.pellegrino.caltech.edu/>
Reproducción realizada con fines didácticos.*



Sergio Pellegrino
(1959)

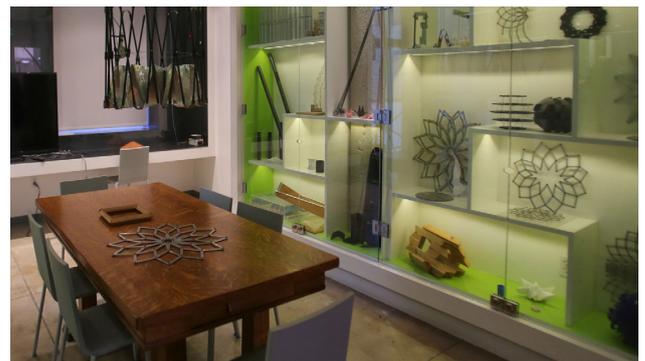
El ingeniero e investigador se especializa en estructuras ligeras, centrándose en áreas como el embalaje, el despliegue, el control de la forma y la estabilidad. Ha publicado más de 300 trabajos técnicos premiados y ocupa cargos destacados en organizaciones como la International Association for Shell and Spatial Structures (IASS) y la American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA).

Sergio Pellegrino

Sergio Pellegrino, del Instituto de Estructuras Desplegables de la Universidad de Cambridge, es un exponente contemporáneo que ha realizado investigaciones sobre movilizadores estructurales, estructuras móviles de bajo peso, métodos computarizados de análisis de estructuras y mecanismos dinámicos. Sus diseños actuales se aplican en la industria espacial [ver Figura 3.13] (Sergio Pellegrino - Caltech, s. f.)

Fig. 3.13: Laboratorio de Estructuras Espaciales del profesor Sergio Pellegrino.

*Imagen obtenida del Instituto de Tecnología de California (Caltech).
Recuperado de <http://www.pellegrino.caltech.edu/>
Reproducción realizada con fines didácticos.*



Chuck Hoberman

La Asociación Hoberman, destina su desarrollo a las estructuras móviles para aplicaciones escultóricas y arquitectónicas; en su trabajo hacen una práctica multidisciplinaria que se especializa en diseño transformable: el desarrollo de productos, estructuras y entornos que cambian su tamaño y forma. Hoberman tiene más de veinte patentes por sus inventos transformables y ha ganado numerosos premios por sus diseños [ver Figura 3.14] (Chuck Hoberman, 2021).

Fig. 3.14: Arco Olimpico Hoberman.

Imágenes obtenidas de Hoberman Associates.
Recuperado de <https://www.hoberman.com/portfolio/olympic-arch/>
Reproducción realizada con fines didácticos.



Fig. 3.15: Chuck Hoberman.

Imágenes obtenidas de Hoberman Associates.
Recuperado de <https://www.hoberman.com/>
Reproducción realizada con fines didácticos.



Chuck Hoberman
(1956)

Diseñador, ingeniero, arquitecto e inventor estadounidense conocido por sus estructuras desplegables innovadoras basadas en la geometría cinética. Su trabajo se fundamenta en principios matemáticos y ha generado algunas de las estructuras desplegables más impresionantes de la última década.

3.3. Sistemas desplegados

La definición de “pliegue” según la Real Academia Española (**RAE**) es un “doblez o surco que aparece en una tela u objeto flexible, dejando de estar lisa o extendida”. También se refiere a un “doblez intencional, ya sea con fines decorativos u otros, en prendas de vestir u objetos flexibles”. Estas definiciones ofrecen un punto de partida para comprender cómo se aplica este concepto en arquitectura.

“Plegar-desplegar ya no significa simplemente tensar-destensar, o contraer-dilatar; sino envolver-desarrollar, involucionar-evolucionar”

(Deleuze & Deleuze, 1989)

El concepto de “envolver-desarrollar” se refiere directamente a las “superficies desarrollables” (Cenamor, 2020), que son superficies en el espacio tridimensional creadas a partir de la transformación de una superficie plana sin romperla. Estas superficies pueden estar compuestas por estructuras de barras cubiertas con láminas textiles o mediante la unión de piezas rígidas a través de bisagras; del mismo modo, las estructuras desplegadas de barras son conjuntos de piezas articuladas que se pliegan en paquetes compactos y se despliegan manual o mecánicamente en su ubicación deseada, funcionando como estructuras una vez que se restringen sus grados de libertad. Ejemplos comunes incluyen sillas de tijera, paraguas y plataformas elevadoras, y se caracterizan por sus ingeniosos mecanismos estructurales (Pérez-Valcárcel et al., 2019). Un sistema desplegado es un conjunto de componentes diseñados para cambiar de una configuración compacta a una extendida, y viceversa, utilizado en diversas aplicaciones. Su objetivo es ahorrar espacio durante el transporte o almacenamiento y extenderse según sea necesario. Pueden ser simples o altamente sofisticados y utilizan diferentes mecanismos, como bisagras o actuadores. Estos sistemas son versátiles y útiles en situaciones que requieren portabilidad o adaptabilidad.

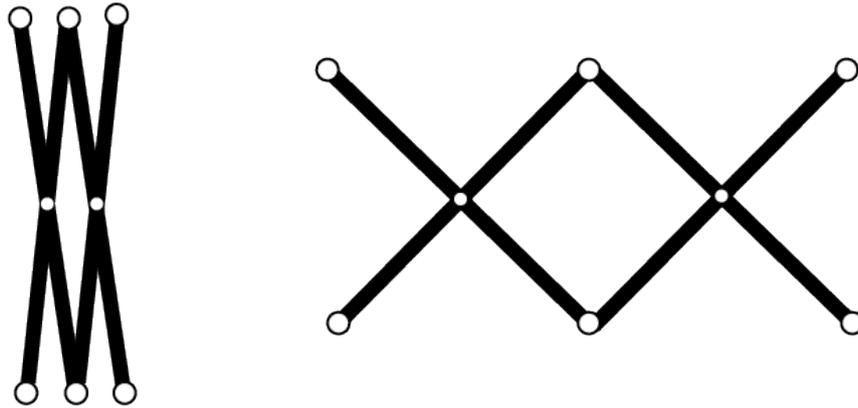
Existen dos tipos de sistemas de despliegue comunes: el sistema tipo origami y el sistema tipo tijera. El sistema tipo origami se inspira en la técnica japonesa de plegado de papel y permite plegar estructuras de manera ordenada y controlada, ideal para eficiencia espacial y portabilidad. Por otro lado, el sistema tipo tijera, utiliza barras articuladas que se pliegan en forma de “X” o “V” y es efectivo cuando se requiere soporte y estabilidad (Morales, 2016b). La elección entre estos sistemas depende de las necesidades específicas de la aplicación y el diseño.

En esta investigación, se analizarán los sistemas de despliegue tipo origami y tipo tijera, explorando sus aplicaciones, ventajas y limitaciones en el campo de las estructuras desplegables. Estos sistemas varían en complejidad y se utilizan para cambiar la forma de una estructura según las necesidades. El diseño y funcionamiento de estos sistemas dependen de la aplicación y los requisitos específicos de la estructura.

3.3.1 SISTEMA TIPO TIJERA

En el ámbito de la arquitectura ligera, el sistema desplegable tipo tijera ha surgido como una innovación significativa que ofrece respuestas eficaces a las cambiantes condiciones del entorno y permite la construcción rápida de estructuras. Desde la perspectiva de las estructuras ligeras, el sistema de tijera presenta una serie de ventajas destacadas. Su diseño plegable y desplegable posibilita un ensamblaje y desmontaje ágil, lo que simplifica su transporte e instalación en diferentes ubicaciones. El sistema de tijera, también conocido como “Pantógrafo,” se caracteriza por contar con un nudo intermedio pivotante y dos nodos en los extremos (Morales, 2016b). Estos puntos de pivote tienen plena libertad de movimiento en el plano perpendicular del pantógrafo. [ver Figura 3.16]. Un sistema tipo tijera en estructuras desplegables se compone de barras articuladas interconectadas por bisagras o juntas pivotantes. Estas barras forman pares y se extienden desde un punto central de pivote. El mecanismo de activación, que puede ser manual o automático, permite plegar o

Fig. 3.16: Forma básica de un sistema tipo tijera lineal.
Elaboración propia.



desplegar la estructura. Algunos sistemas incluyen mecanismos de bloqueo para asegurar que la estructura permanezca en su posición plegada. Las barras y las articulaciones están diseñadas con materiales resistentes para soportar las fuerzas durante el plegado y despliegue repetidos.

En una estructura desplegable tipo tijera, las fuerzas de compresión actúan en las barras cuando se despliega, siendo cruciales para la estabilidad y rigidez. Por lo tanto, el diseño y resistencia de las barras de compresión son críticos. Además, las fuerzas de tracción en las barras inferiores ocurren al plegar la estructura y permiten un plegado controlado y ordenado. La resistencia de las barras inferiores a estas fuerzas es fundamental para mantener la estabilidad y la integridad durante el proceso de plegado y desplegado [ver Figura 3.17]. Por otro lado, las fuerzas de carga son cargas externas aplicadas a la estructura, verticales o horizontales (viento, agua, etc.) [ver Figura 3.18]. En estructuras tipo tijera, las fuerzas de torsión [ver Figura 3.19] pueden ocurrir durante el despliegue o plegado, generando movimientos angulares. Para mantener la integridad, las articulaciones y conexiones de las barras deben resistir estas fuerzas de torsión sin deformaciones excesivas o daños.

Fig. 3.17: Fuerzas que actúan en una estructura desplegable tipo tijera.
Elaboración propia.

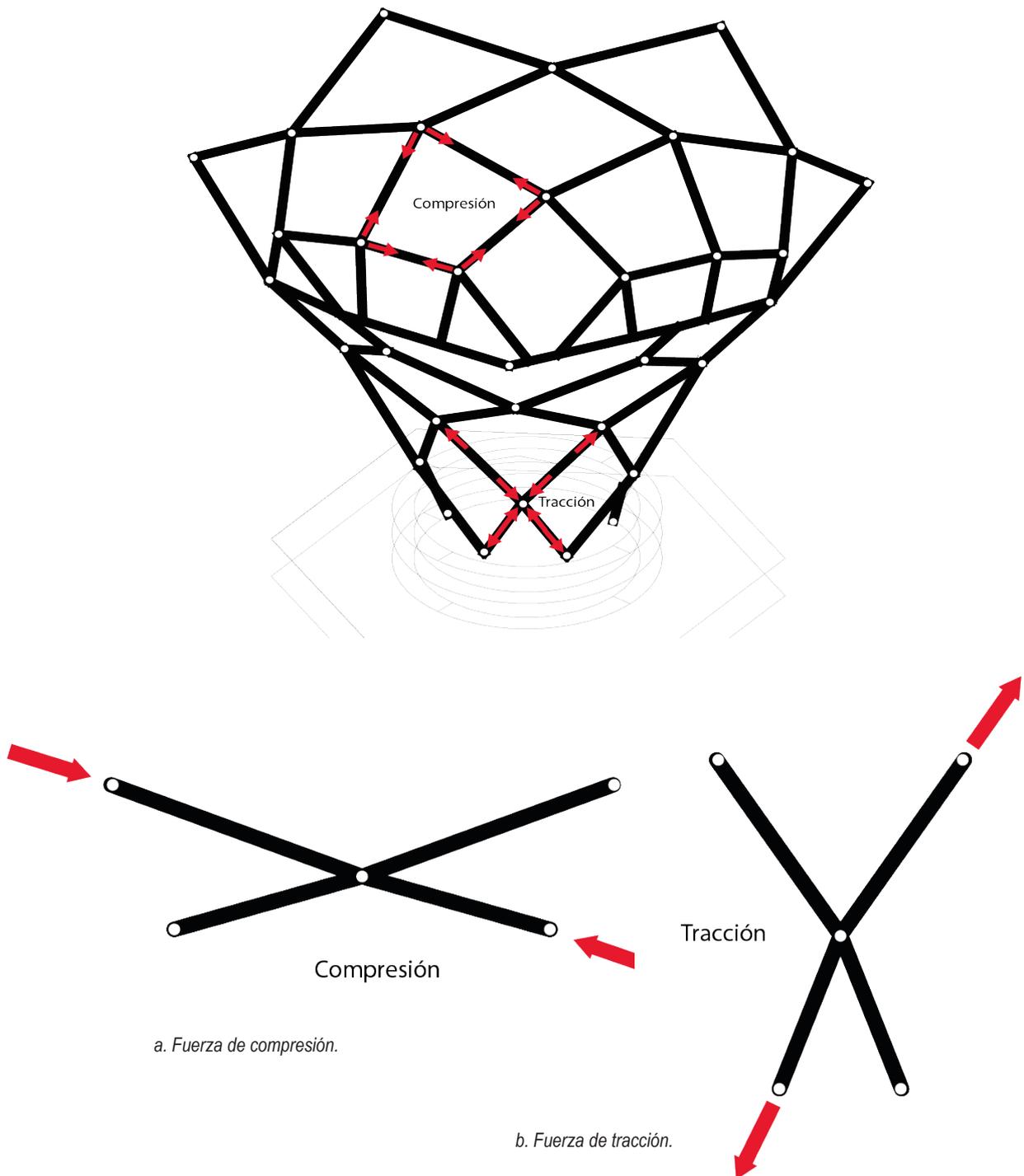


Fig. 3.18: Fuerzas externa ejercida sobre la estructura desplegable.

Elaboración propia.

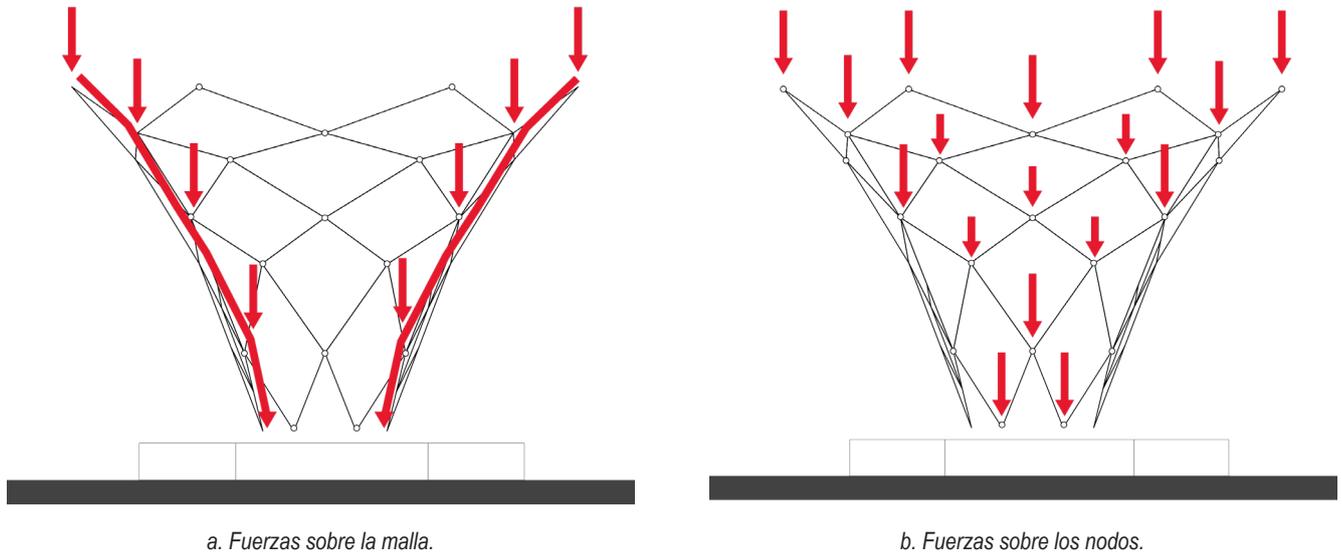
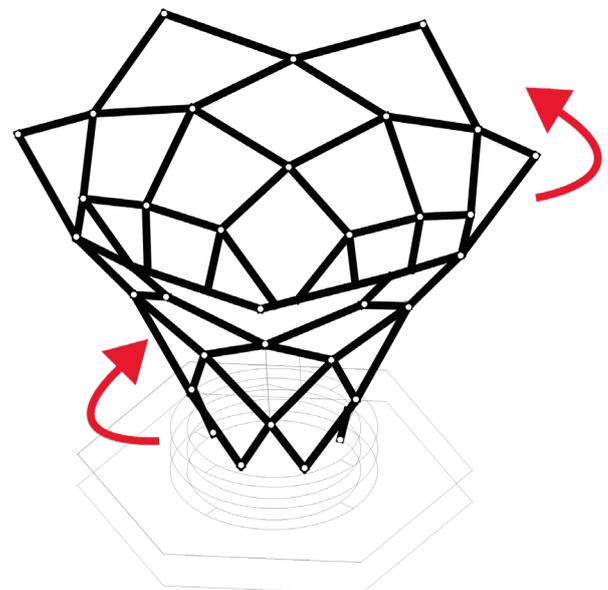


Fig. 3.19: Fuerza de torsión, ejercidas sobre la estructura desplegable.

Elaboración propia.



El diseño y la construcción de una estructura tipo tijera deben considerar todas las fuerzas aplicadas para asegurar su estabilidad y resistencia. La selección de materiales, articulaciones y conexiones es crucial para garantizar la robustez y confiabilidad de la estructura. Además, el análisis de ingeniería es esencial para comprender y calcular cómo estas fuerzas afectarán la estructura en diferentes configuraciones y condiciones de carga.

3.3.2. SISTEMA TIPO ORIGAMI

El término “origami” proviene de la unión de dos palabras japonesas: “Ori,” que denota doblez, y “Kami,” que se traduce como papel. Aunque sus raíces se remontan a China en el primer o segundo siglo, no fue hasta el sexto siglo que esta técnica llegó a Japón, introducida por monjes budistas (Pérez Porto & Gardey, 2020). Actualmente, el origami se ha convertido en una base fundamental para avances tecnológicos, en la construcción de diversas aplicaciones en la arquitectura [ver Figura 3.20] y en la manufactura de objetos, incluyendo dispositivos biomédicos y satélites. Expertos como Erik Demaine, de MIT, y Tomohiro Tachi, de la Universidad de Tokio, han desarrollado algoritmos que permiten el plegado de formas de origami con un mínimo de costuras, abriendo nuevos horizontes en la geometría computacional y la manufactura (simposio sobre Geometría Computacional).⁽¹⁾

Fig. 3.20: Aplicación del origami en la arquitectura.

*Pabellón de Origami del arquitecto Tal Friedman.
Imágenes obtenidas de Archiexpo.
Recuperado de <https://projects.archiexpo.es/project-211961.html>
Reproducción realizada con fines didácticos.*



a. Vista del pabellón de Origami.



b. Pliegues del pabellón de Origami.

(1) La interfaz del programa Origamizer es un software para generar patrones de pliegues de origami cuya primera versión lanzaron en 2008.

En el ámbito de las estructuras desplegadas, la influencia del origami ha sido especialmente notable en la exploración espacial (Pérez-Valcárcel et al., 2019). El origami se ha empleado en el transporte de telescopios y herramientas de medición en misiones de transbordadores espaciales destinadas a investigar diversos aspectos del espacio y de la Tierra. Estas aplicaciones son fundamentales en áreas como la observación climática, la radiación y la interacción solar-terrestre, además de su relevancia en las comunicaciones y la investigación satelital. Aunque inspiradas en la técnica del origami japonés, estas aplicaciones utilizan materiales más rígidos, como metal, plástico o tela, para lograr patrones de plegado y despliegue controlados en ingeniería y diseño.

Akira Yoshizawa [Figura 3.21], un distinguido origamista japonés, es ampliamente aclamado como el maestro supremo del origami, reconocido por elevar este arte de un mero oficio a una forma de expresión artística. La capacidad de crear origami con una apariencia más realista representó un avance significativo en el arte del plegado de papel. (Historia del Origami, s. f.)

Fig. 3.21: Imagen de Akira Yoshizawa: el gran maestro del origami.

*Imagen obtenida de Elakiri.
Recuperado de <https://elakiri.com/threads/akira-yoshizawa-the-grandmaster-of-origami.1730722/>
Reproducción realizada con fines didácticos.*



Robert Lang [Figura 3.22] es un científico y artista del origami que ha llevado los principios del origami a la ingeniería de estructuras desplegables. Sus diseños son extremadamente precisos y se pueden usar para construir estructuras a escala real (Lang, 2018). Defiende la idea de que el origami tiene el potencial de revolucionar la forma en que se diseñan y fabrican estructuras desplegables, permitiendo diseños complejos y altamente eficientes con un uso mínimo de materiales (Lang, 2021)

Tomohiro Tachi [Figura 3.23] es un académico japonés que se dedica al estudio del origami desde una perspectiva interdisciplinaria, integrando campos que van desde las matemáticas del plegado de papel hasta conceptos de rigidez estructural, geometría computacional, arquitectura y ciencia de materiales. Su trabajo fue destacado en el documental “The Origami Revolution” (2017), parte de la serie de documentales científicos estadounidenses Nova. En la actualidad, es profesor asociado en la Universidad de Tokio (Tachi, 2012). Además, ha desarrollado el software Origamizer, que tiene la capacidad de transformar automáticamente cualquier objeto tridimensional representado como una malla poligonal en un modelo de origami del mismo objeto, entre otras investigaciones.

Fig. 3.22: Robert J. Lang.

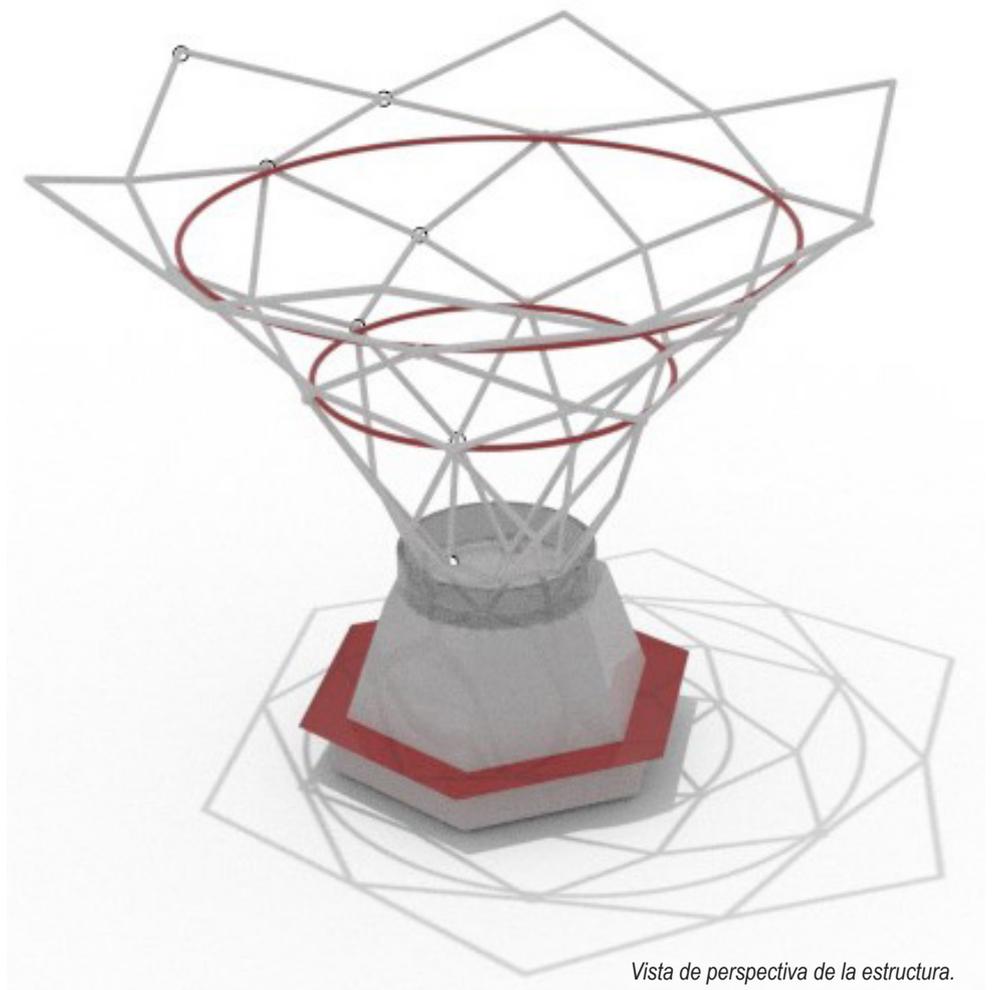
*Imagen obtenida de Robert J. Lang origami
Recuperado de <https://langorigami.com/>
Reproducción realizada con fines didácticos.*



Fig. 3.23: Tomohiro Tachi.

*Imagen obtenida de
Recuperado de
Reproducción realizada con fines didácticos.*





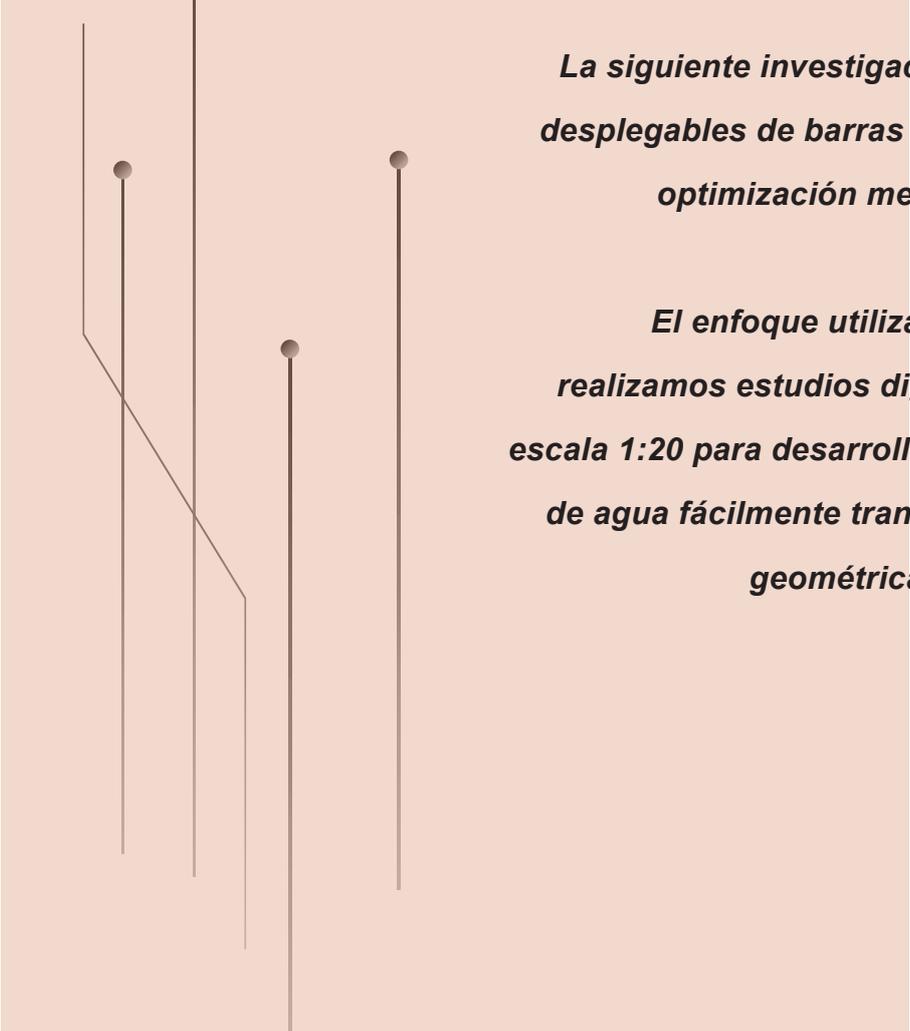
Vista de perspectiva de la estructura.

Capítulo 4. Búsqueda de la solución

Metodología de investigación

“Todos merecen calidad, todos merecen lujo y todos merecen consuelo. Estamos interrelacionados y las preocupaciones sobre el clima, la democracia y la escasez son preocupaciones comunes para todos nosotros.”

Diébédo Francis Kéré



La siguiente investigación analiza las estructuras desplegables de barras rectas en arquitectura y su optimización mediante diseño paramétrico.

El enfoque utilizado es experimental ya que realizamos estudios digitales y validación física a escala 1:20 para desarrollar un sistema de captación de agua fácilmente transportable con propiedades geométricas y análisis de su función.

4.1. Tecnología de captación de agua de lluvia

La importancia del agua en la arquitectura tiene un respaldo histórico en la obra de Vitruvio “Diez Libros de Arquitectura” (Vitruvio Polión et al., 1997). Un sistema de captación de agua recolecta y almacena agua de diferentes fuentes. Su efectividad depende de la cantidad de lluvia y humedad en la zona y del uso previsto. Luego, un sistema de filtración elimina contaminantes. En cuanto a los sistemas de filtración, la mayoría realiza un proceso de “retrolavado” que genera aguas residuales, las cuales deben gestionarse de manera apropiada (Academies, 2007). El uso del agua de lluvia se plantea como una solución efectiva para enfrentar la escasez de agua debido al crecimiento demográfico y diversos factores naturales y humanos que han afectado la gestión de los recursos de agua dulce (Rodríguez, 2019). La crisis del agua ha sido un riesgo global significativo en términos de impacto social y se encuentra entre los cinco principales riesgos globales en este aspecto (Tobías Ramírez et al., 2019).

La captación de agua de lluvia como recurso en entornos domésticos y urbanos es una técnica antigua que precede a los proyectos de infraestructura hídrica a gran escala. Inicialmente, implicaba la creación de depósitos para almacenar el agua de lluvia y, con el tiempo, evolucionó hacia sistemas más avanzados y especializados, lo que demuestra que no se trata de un concepto nuevo (Aqua, 2011); también, es una solución eficaz para gestionar el suministro de agua, ya sea en entornos rurales o urbanos, en naciones en desarrollo o desarrolladas. Ejemplos a nivel mundial han demostrado cómo esta práctica aborda de manera beneficiosa desafíos relacionados con el acceso seguro al agua, la mejora de la salud, la seguridad alimentaria y la generación de ingresos, al tiempo que reduce los impactos negativos en los ecosistemas, como la sobreexplotación de recursos hídricos y las inundaciones. Además, suele ser una opción menos costosa que la construcción de proyectos tradicionales de infraestructura de suministro de agua (UNEP & SEI, 2009).

4.1.1. VENTAJAS SIGNIFICATIVAS

El paisajismo eficiente en el uso del agua conlleva ventajas económicas y ambientales, como reducción de costos de agua y energía, menor necesidad de riego, menor mantenimiento y preservación de recursos y ecosistemas (EPA, 2010).

- Fomentar la cohesión social en la comunidad local. Además, tiene el potencial de eliminar la pobreza en las áreas rurales. (Agarwal, 2010)
- Mayor conciencia del entorno cuando los ciudadanos gestionan sus propios sistemas de recolección de agua de lluvia.
- Se presta a la educación en instituciones educativas, desde escuelas hasta universidades. (UNEP & SEI, 2009)
- Mitigar problemas de inundaciones y erosión en el área.
- El agua de lluvia almacenada en tanques permanece disponible incluso después de la temporada de lluvias.
- Beneficia a las plantas al prolongar la vida de la jardinería, ya que tiene bajos niveles de sal y alto contenido de nitrógeno en comparación con el agua subterránea. (Phillips, 2005)
- Para mantener la calidad del agua de lluvia, es recomendable aislarla en tanques enterrados bajo tierra. (keobra, 2020)
- Beneficios estéticos de los elementos arquitectónicos y paisajísticos relacionados con el almacenamiento de agua de lluvia en el lugar.
- La captación de agua de lluvia fortalece la cohesión comunitaria a través de grupos de interés y microfinanzas. (UNEP & SEI, 2009)

4.1.2. VENTAJAS ECONÓMICAS

- Es posible que se ahorre dinero y reducir las facturas de agua demandada por una vivienda.
- se aumente la superficie de terreno utilizable al emplear técnicas de recolección de agua pluvial
- Disminuir la necesidad de instalaciones requeridas por las regulaciones.
- Reducir las facturas de riego para el jardines. (Phillips, 2005)

- Mejorar la eficiencia del agua reduce los gastos y conserva el recurso, beneficiando ríos, lagos y fuentes de agua dulce.
- Reduce la presión sobre sistemas municipales, ahorra energía al reducir el bombeo y tratamiento de agua y minimiza la recolección de aguas residuales.
- Reducir o suprimir el consumo de agua potable y recursos hídricos naturales para el mantenimiento del paisaje. (EPA, 2010)

4.1.3. VENTAJAS MEDIOAMBIENTALES

Se pueden incluir consideraciones sobre la calidad del agua en el balance hídrico, enriquece la comprensión de la contaminación y requisitos específicos de actividades urbanas y rurales (Ballatore, 2008).

- Incrementar la disponibilidad de agua para el crecimiento de la vegetación en el sitio.
- Reduce la extracción de aguas subterráneas. (Phillips, 2005)
- Menores requerimientos de energía (en términos de reducción de emisiones de CO₂) en comparación con las tecnologías tradicionales de suministro de agua.
- Disminuir el volumen de agua lluvia que entra al sistema de drenaje combinado (sanitario y pluvial), evitando que se sature y reduciendo las inundaciones y el volumen de descargas de aguas negras.
- Mejora la calidad del agua potable y menor consumo energético en climas cálidos (lo que reduce la huella de carbono y mitiga el cambio climático).
- Ahorro de energía al disminuir la necesidad de bombeo.
- Fomento de la biodiversidad y mejora los ecosistemas incluso en entornos urbanos.
- Recarga de acuíferos subterráneos, los manantiales y los caudales de arroyos poco profundos.
- La concentración de aguas residuales en sistemas de alcantarillado mixtos mejora el funcionamiento de las plantas de tratamiento y reduce costos.
- Mejorado la vegetación en entornos rurales y urbanos, brindando servicios ecosistémicos de valor estético y cultural. (UNEP & SEI, 2009)

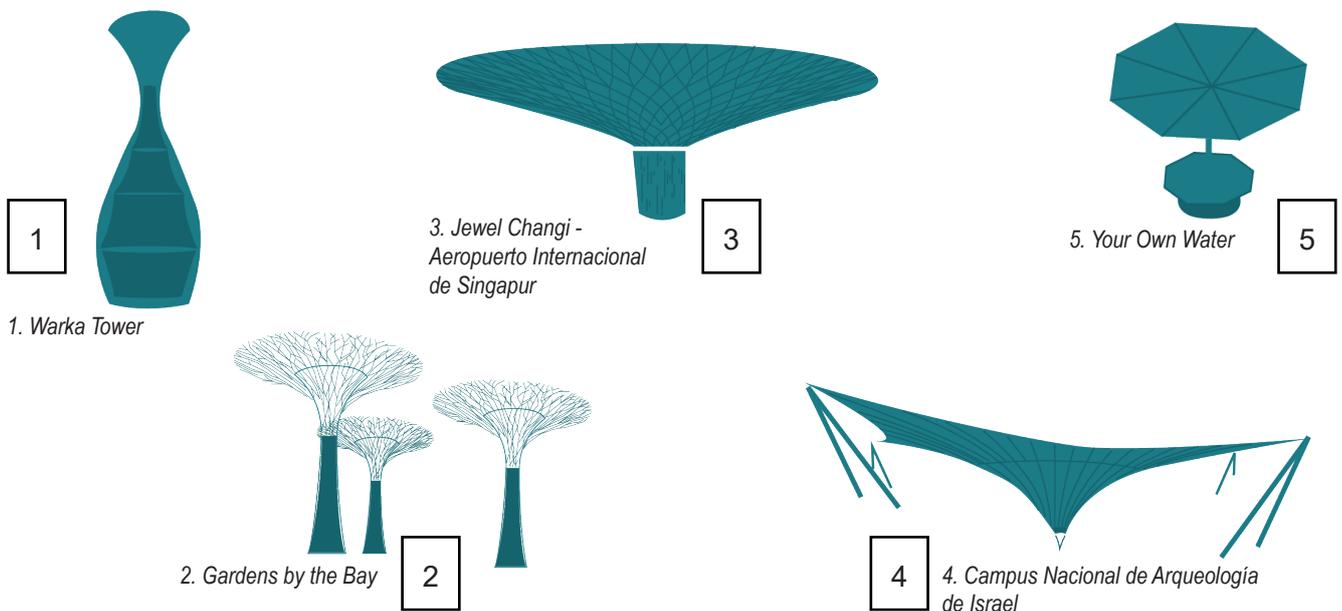
4.2. Casos de estudio

Los casos de estudio desempeñan un papel fundamental para la comparación del captador “CATID”; para evaluar el rendimiento y analizar cómo funcionan los captadores en situaciones de la vida real, lo que ayuda a determinar cuál de ellos se desempeña de manera óptima en un contexto específico. Estos casos ofrecen un contexto necesario para la comparación, considerando las diferencias en diversos entornos y detectando problemas que requieren soluciones de mejora.

Para comparar nuestro captador desplegable, realizamos un análisis de cinco proyectos con características similares a nuestra propuesta. Se analizan las propiedades materiales, usos, tipos y datos técnicos de estos proyectos. Se buscaron sistemas de captación de agua piramidales en forma de paraguas y de geometría hiperboloide, forma similar al proyecto realizado. Estos casos de estudio en una comparación de productos permiten una evaluación completa y contextualizada, lo que ayuda a validar las afirmaciones sobre sus productos. A continuación, se presenta una breve descripción de los cinco proyectos seleccionados para la comparación.

Fig. 4.1: Iconografía de los caso de estudio.

Elaboración propia.



1. WARKA TOWER

Fig. 4.2: Captador de agua Warka Tower.

Imágenes obtenidas de Warka Water <https://warkawater.org>
Recuperado de <https://warkawater.org/warkatower>
Reproducción realizada con fines didácticos.



a. Vista en la comunidad del captador de agua Warka Tower.



b. Captador de niebla Warka Tower.

El Warka Tower, es una torre de bambú de 10 metros de altura diseñada para recolectar agua a partir de la condensación del aire. Su diseño paramétrico permite un ensamblaje sencillo y reparaciones fáciles, y puede ser construido por personas sin experiencia especializada, la estructura puede ser levantada y fijada al suelo por 4 personas, sin la necesidad de andamiaje.

El material utilizado incluye juncos, alambre de hierro, cuerdas de poliéster y tejido de polietileno, debe fijarse con cables de tensión, para estabilizarse en el suelo y resistir los fuertes vientos. Funciona sin electricidad, basándose en principios naturales como la gravedad y la condensación (recoge lluvia, de niebla y rocío).

La torre no solo proporciona agua potable, sino que también crea un espacio comunitario para actividades educativas y reuniones. Su diseño se inspira en observaciones de la naturaleza y la arquitectura local, incorporando técnicas tradicionales (Warka Water, 2012). [ver Figura 4.2]

2. GARDENS BY THE BAY

Fig. 4.3: Parque Gardens by the Bay.

*Imágenes obtenidas de Grant Associates <https://grant-associates.uk.com>
Recuperado de <https://grant-associates.uk.com/projects/gardens-by-the-bay>
Recuperado de <https://wilkinsoneyre.com/projects/cooled-conservatories-gardens-by-the-bay>
Reproducción realizada con fines didácticos.*



a. Ejemplo de Bioconstrucción.



b. Supertrees de Gardens by the Bay.

En un proyecto de bioconstrucción construido en terreno ganado al mar, el Supertree Grove es una característica destacada. Estas estructuras, llamadas “supertrees” / “super arboles”, son altas estructuras de jardines verticales que tienen múltiples funciones, como proporcionar sombra, enfriar el aire, captar energía solar y recolectar agua de lluvia para riego y fuentes. Están hechas de acero y concreto y forman un complejo turístico compuesto por 18 “arboles”, visualmente atractivo con un espectáculo de luces y sonidos por la noche (Grant Associates, 2012).

[ver Figura 4.3]

3. JEWEL CHANGI - AEROPUERTO INTERNACIONAL DE SINGAPUR

Fig. 4.4: Aeropuerto Internacional de Singapur.

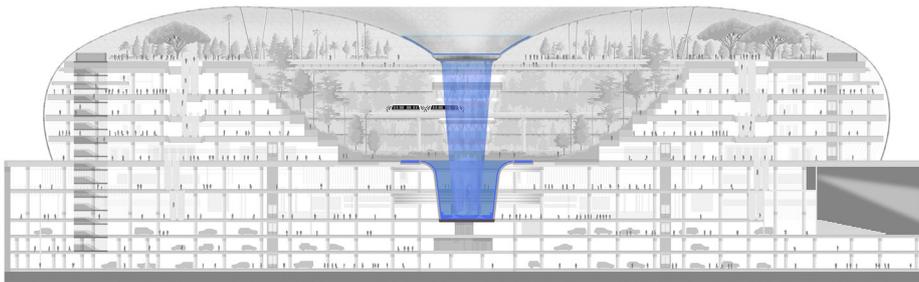
Imágenes obtenidas de Safdie Architects <https://www.safdiearchitects.com>.

Recuperado de <https://www.safdiearchitects.com/media/article-singapores-13-billion-airport-expansion-is-half-botanical-garden-half-mega-mall>

Reproducción realizada con fines didácticos.



a. Cubierta y la cascada interior de 40 metros.



b. Corte arquitectónico del conjunto.

El aeropuerto de Changi, uno de los aeropuertos más grandes de Asia y de mayor renombre mundial. Este complejo se encuentra en el antiguo estacionamiento de la terminal 1 y adopta una forma toroidal. Su característica más distintiva es la majestuosa cascada de 40 metros de altura que recoge y circula agua de lluvia. En el centro del techo de vidrio, un óculo guía el agua hacia el jardín interior de cinco pisos, contribuyendo a regular la temperatura y el flujo de aire en el entorno. Además, esta cascada permite recolectar y reutilizar grandes cantidades de agua de lluvia en el mismo edificio. (Safdie Architects, 2019a) [ver Figura 4.4]

4. CAMPUS NACIONAL DE ARQUEOLOGÍA DE ISRAEL

Fig. 4.5: Campus Nacional de Arqueología de Israel.

*Imágenes obtenidas de Safdie Architects.
<https://www.safdiearchitects.com>
Recuperado de <https://www.safdiearchitects.com/projects/national-campus-for-the-archaeology-of-israel>
Reproducción realizada con fines didácticos.*



a. Cubierta captadora de agua pluvial.



b. Vista del campus y el patio principal.

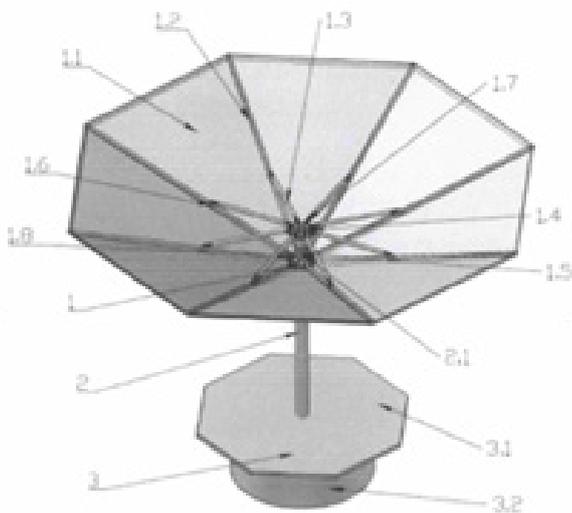
El edificio es la sede del Centro Mundial de los Pergaminos del Mar Muerto y cuenta con los 15.000 pergaminos del Mar Muerto. Un proyecto de construcción de décadas para albergar a la Autoridad de Antigüedades de Israel (AAI) en la Colina de los Museos de Jerusalén, diseñado en 2002 por el arquitecto Moshe Safdie Architects LLC, el Campus Nacional de Arqueología de Israel, de 33.445 metros cuadrados. Este proyecto, El Campus Nacional de Arqueología de Israel, se completó a finales de 2022.

La cubierta es usada para dar sombra a uno de los patios la cual también transporta agua de lluvia a un tanque situado en el patio, creando una cascada de agua continua. (Safdie Architects, 2019b) Esta cubierta presenta una estructura geométrica similar a un hiperboloide o un paraguas, con una apertura en el centro. Está construida con material textil y se encuentra tensada mediante cables de acero. [ver Figura 4.5]

5. YOUR OWN WATER

Fig. 4.6: Imagen de la patente de Your Own Water.

Imagen obtenida de Your own Water.
Recuperado de: <https://www.yourownwater.org>
Reproducción realizada con fines didácticos.



Sistema de recogida de agua pluvial con captador plegable: Este captador tiene la función en tres posiciones; desplegado, plegado y con la función de paraguas convencional; el mecanismo de despliegue se realiza en base a varillas radiales, por donde se recoge el agua para dirigirlo por una tubería hasta un tanque de almacenamiento.

La producción, adquisición, distribución y venta de sistemas de recogida y almacenamiento de agua de lluvia, así como la investigación de nuevas soluciones a impulsar para el aprovechamiento, distribución y saneamiento del agua en general, etc. (Your own water, s. f.) [ver Figura 4.6]

Las condiciones específicas de cada caso ofrecen una gran oportunidad para desarrollar soluciones sostenibles (UNEP & SEI, 2009). Ejemplos de recolección de agua de lluvia demuestran su efectividad para reducir la vulnerabilidad de las comunidades ante la escasez de agua. Se sugiere que una estrategia de adaptación a la variabilidad de las precipitaciones se centre en tecnologías descentralizadas y flexibles de almacenamiento de agua. El Director Ejecutivo del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (**PNUMA**), destacó la importancia de la recolección de agua de lluvia como una solución comunitaria asequible y efectiva para abordar el cambio climático y la escasez de agua. Esta tecnología es crucial para preservar los recursos hídricos y proteger el medio ambiente.

4.3. Marco jurídico

Los gobiernos locales desempeñan un papel clave en la conformación del entorno construido a través de regulaciones, como códigos y ordenanzas. Sin embargo, a menudo, estas regulaciones pueden obstaculizar los esfuerzos de las comunidades y desarrolladores que buscan adoptar prácticas de diseño sostenible y construcción ecológica (EPA, 2010). Algunos de los obstáculos comunes incluyen la necesidad de obtener excepciones a los códigos existentes para implementar prácticas sostenibles, lo que puede generar costos adicionales y retrasos en el proceso. Además, las regulaciones pueden requerir sistemas convencionales en conjunto con prácticas de infraestructura verde, lo que resulta en redundancia y mayores gastos. Finalmente, las restricciones que no permiten la adopción de nuevas tecnologías o técnicas también pueden limitar la innovación y la sostenibilidad en la construcción.

Para abordar la escasez de agua en México, se requieren medidas nacionales y regionales, como políticas de gestión integral, tecnologías eficientes y educación ambiental para garantizar un futuro sostenible⁽¹⁾ (Cámara de Diputados, 2022). En la Ciudad de México, seguir la Guía Técnica para la Creación de Sistemas Alternativo es esencial en proyectos de diferentes tamaños y usos, ya sean potables o no potables, junto con cumplir las leyes reglamentarias relacionadas con el sector hídrico de acuerdo con la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.

- Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente.
- Ley de Aguas Nacionales.
- Ley Agraria.
- Ley Federal de Derechos.
- Ley General de Salud.

(1) Foro Agua – Cámara de Diputados. “Problemática del agua en México: Tecnologías para su solución”. Recinto de la Cámara de Diputados. Transmitido a través del canal de YouTube del congreso y sus redes sociales, realizado el martes 13 de septiembre de 2022, <https://bit.ly/3DbKLym>

A continuación, se presentan algunos de los artículos contenidos en la legislación relacionada con el agua en México:

Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos

Artículo 4°. Establece que “toda persona tiene derecho a un medio ambiente adecuado para su desarrollo y bienestar”. Esto incluye todo lo que necesita para cubrir sus necesidades prioritarias como el acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico de forma salubre y adecuada.

Artículo 115°. Establece que los municipios tienen a su cargo las funciones y servicios públicos del agua, el cual tiene la facultad de regular el uso, aprovechamiento y conservación del agua, incluyendo la captación de agua pluvial.

Ley de aguas nacionales

Artículo 1. La presente Ley es reglamentaria del Artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en materia de aguas nacionales; es de observancia general en todo el territorio nacional, sus disposiciones son de orden público e interés social y tiene por objeto regular la explotación, uso o aprovechamiento de dichas aguas, su distribución y control, así como la preservación de su cantidad y calidad para lograr su desarrollo integral sustentable.

Constitución Política de La Ciudad de México

Artículo 9. Ciudad solidaria

F. Derecho al agua y a su saneamiento

1. Toda persona tiene derecho al acceso, a la disposición y saneamiento de agua potable suficiente, salubre, segura, asequible, accesible y de calidad para el uso personal y doméstico de una forma adecuada a la dignidad, la vida y la salud...
2. La Ciudad garantizará la cobertura universal del agua, su acceso diario, continuo, equitativo y sustentable. Se incentivará la captación del agua pluvial.
3. El agua es un bien público, social y cultural. Es inalienable, inembargable, irrenunciable y esencial para la vida. La gestión del agua será pública y sin fines de lucro.

Ley del derecho al acceso, disposición y saneamiento del agua de La Ciudad de México

Artículo 27. El Sistema de Aguas, en coordinación con la Secretaría y las Secretarías de Desarrollo Económico y de Finanzas, promoverá instrumentos económicos para aquellas personas que desarrollen o inviertan en tecnologías y utilización de prácticas, métodos o procesos que coadyuven a mejorar el manejo integral de los recursos hídricos, siempre y cuando cumplan con los criterios de sustentabilidad aprobados por la Secretaría.⁽¹⁾

Artículo 77. El Sistema de Aguas está facultada para:
IV.BIS de “Revisar y aprobar los proyectos de los sistemas de recolección de aguas pluviales”

Artículo 86 BIS 1. Las nuevas construcciones o edificaciones deberán contar con redes separadas de agua potable, de agua residual tratada y cosecha de agua de lluvia, debiéndose utilizar esta última en todos aquellos usos que no requieran agua potable; así mismo, deberán contar con la instalación de Sistemas Alternativos de uso de agua pluvial.

Artículo 106, Artículo 107, Artículo 110 y Artículo 111⁽²⁾

Artículo 125 BIS 3 y Artículo 125 BIS 4⁽³⁾

Desde el año 2003, en la Ciudad de México, la captación de agua de lluvia es un requisito obligatorio para todas las nuevas construcciones de tipo B y C, que varían en superficie de construcción entre 5,000 m² y 10,000 m².

(1) Es en este artículo que podemos argumentar que el proyecto CAIiD es viable como propuesta tecnológica.

(2) Artículos sobre el cumplimiento funcionamiento de las instalaciones, faltas y sanciones por alterar la infraestructura hidráulica.

(3) Estas regulaciones prevén el proceso de recolección y recarga de agua pluvial al subsuelo.

REGLAMENTO DE CONSTRUCCIONES PARA EL DISTRITO FEDERAL

ARTÍCULO 53⁽¹⁾

ARTÍCULO 58⁽²⁾

ARTÍCULO 89⁽³⁾

ARTÍCULO 124⁽⁴⁾

Reglamento Interior del Poder Ejecutivo y de la Administración Pública de La Ciudad de México

Artículo 199. El Sistema de Aguas de la Ciudad de México tiene por objeto ser el órgano operador en materia de recursos hidráulicos y de prestación de los servicios públicos de agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento y reúso de aguas residuales.

Norma General de Ordenación 27. de los requerimientos para la captación de aguas pluviales y descarga

Norma General de Ordenación 4. área libre de construcción y recarga de aguas pluviales al subsuelo

Normas Técnicas Complementarias para el diseño y ejecución de obras e instalación hidráulica

1.2.3. Sistemas de alcantarillado pluvial

2.5.3. Redes de alcantarillado pluvial

6.3. Redes de evacuación de aguas negras y pluviales

6.3.4. Instalación de tuberías de redes de evacuación de aguas negras y pluviales

(1) Requisitos para las manifestaciones de construcción tipos B y C.

(2) Para obtener la licencia de construcción especial, Proyecto alternativo de captación y aprovechamiento de aguas pluviales

(3) Las edificaciones nuevas no habitacionales y las de más de 1000 m², deben contar con redes separadas de agua potable, agua residual tratada y agua de lluvia debiéndose utilizar estas dos últimas en todos los usos que no requieran agua potable.

(4) Toda construcción nueva de más de 200 m² de azotea deberá contar con un sistema de captación y aprovechamiento de agua pluvial.

Otras leyes e instituciones sobresalientes en la investigación son:

- Ley de Agua y Sustentabilidad Hídrica de la Ciudad de México.
- El programa social Cosecha de Lluvia por la Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México.
- La Comisión Nacional del Agua.
- La Procuraduría Federal de Protección al Ambiente.
- La Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- El Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Obras publicas.
- El Consejo consultivo del agua.

La Ley del Derecho al Acceso, Disposición y Saneamiento del Agua de la Ciudad de México establece pautas para promover la cosecha de agua de lluvia. Esta legislación insta a todas las entidades, ya sean públicas, privadas o sociales, a tomar medidas individuales o colectivas para fomentar la recolección de agua de lluvia y promover una nueva cultura de uso eficiente y reutilización del agua potable en la Ciudad de México (Obrador, 2008). Además, las Normas Técnicas Complementarias establecen las especificaciones técnicas necesarias.

Norma Oficial Mexicana

NOM-179-SSA1-2020, Agua para uso y consumo humano. Control de la calidad del agua distribuida por los sistemas de abastecimiento de agua. (DOF, 2020) Las nuevas construcciones deben cumplir con el proyecto alternativo de captación y aprovechamiento de aguas pluviales y de tratamiento de aguas residuales aprobados por el Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX, 2023).

Fomentar el diseño sostenible requiere una revisión completa de los procedimientos regulatorios para obtener permisos (EPA, 2010). Los gobiernos locales deben estar equipados con los recursos y el conocimiento necesarios para identificar y eliminar barreras regulatorias que puedan obstaculizar la adopción del diseño sostenible y la construcción ecológica en sus comunidades, asegurándose de que estos cambios no tengan un impacto negativo en otros aspectos del proceso de permisos.

■ Tesis de Maestría • Carla Itzel Ortega Álvarez • 2024

Capítulo 5. Sitio de estudio

“Sobre la loza en el agua”– Iztapalapa CDMX

La selección del sitio de estudio tiene como objetivo la validación del producto en la alcaldía de Iztapalapa, ubicada en la Ciudad de México. Este lugar históricamente ha estado relacionado con manantiales, canales y chinampas, y representa el encuentro de dos importantes cuerpos de agua: el antiguo Lago de Texcoco y el lago proveniente de Chalco y Xochimilco. Actualmente, la alcaldía enfrenta dos problemas principales relacionados con el agua. En primer lugar, la escasez de agua provoca largas temporadas de sequía, especialmente en las colonias ubicadas en las laderas de la Sierra Santa Catarina. En segundo lugar, las inundaciones que causan graves daños durante la temporada de lluvias.



5.1. Iztapalapa

La problemática del agua en Iztapalapa es un evidente; cabe mencionar, de acuerdo a datos de la Comisión Nacional del Agua (**CONAGUA**), la cantidad de agua destinada a esta alcaldía es de 4,870 litros por segundo, superior al suministro de agua per cápita recomendado por las Naciones Unidas (**UN**). Se estima que aproximadamente del 40% al 50% del agua se pierde por filtraciones, por falta de infraestructura, fugas domiciliarias y tomas clandestinas de agua. La Ciudad de México sufre una grave escasez de agua y la situación es la alcaldía de Iztapalapa es alarmante.

5.1.1. LOCALIZACIÓN DEL SITIO DE ESTUDIO

Iztapalapa colinda al norte con la alcaldía Iztacalco y el Estado de México; al este con el Estado de México y la alcaldía Tláhuac, al sur con las alcaldías Tláhuac y Xochimilco; al oeste con las alcaldías Coyoacán y Benito Juárez.

Fig. 5.1: Iztapalapa.

*Localización de la Alcaldía Iztapalapa en la Ciudad de México
Imagen obtenida de Wikipedia.
Recuperado de <https://es.wikipedia.org/wiki/Iztapalapa> Reproducción
Reproducción realizada con fines didácticos.*

Alcaldía	09 Ciudad de México
Municipio	09007 Iztapalapa
Ubicación	Latitud: 19.2132° N, Longitud: 99.0533° O, 2,239 m snm

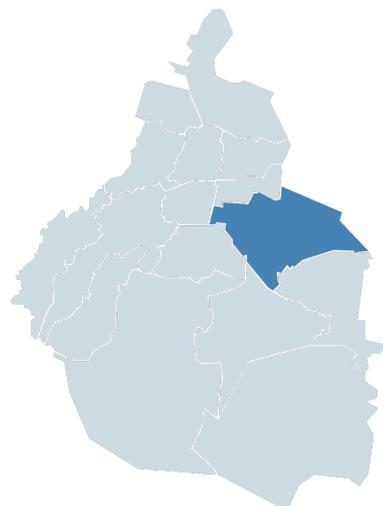


Fig. 5.2: Zona urbana de Iztapalapa.

Imagen obtenida de MXCITY.

Recuperado de <https://mxcity.mx/2016/09/la-relevancia-de-iztapalapa-a-lo-largo-de-la-historia/>

Reproducción realizada con fines didácticos.



En la alcaldía Iztapalapa se hallan dos estaciones meteorológicas MORELOS 77 y UNIDAD MORELOS.⁽¹⁾

Estación: 00009052 UNIDAD MORELOS

Estación: 00009026 MORELOS 77

Observatorio Hidrológico, monitor en tiempo real del Instituto de Ingeniería de la UNAM. Tomamos como referencia los datos de la estación del observatorio hidrológico ubicado en Iztapalapa del instituto de ingeniería de la unam. Este observatorio mide los datos de la precipitación y velocidad. Se obtuvieron los datos climatológicos de precipitación y temperatura de las Normales Climatológicas ([Gobierno de México, s. f.](#)) del Sistema Meteorológico Nacional (**SMN**) y la Conicion Nacional del Agua (**CONAGUA**). En cuanto a los datos de censos de población fueron recolectados de fuentes del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (**INEGI**).

(1) Fuente: <https://smn.conagua.gob.mx/es/informacion-climatologica-por-estado?estado=df>

Tab. 1: Estadísticas sobre el agua potable y drenaje en la Ciudad de México.

El porcentaje restante abastece sus viviendas por acarreo fuera de la vivienda: por una llave comunitaria, otra vivienda, una pipa, pozos, de un río, entre otros. (INEGI, 2019).

Recuperado de <https://cuentame.inegi.org.mx/territorio/agua/dispon.aspx?tema=T>

Reproducción realizada con fines didácticos.

Agua renovable por habitante de la ciudad de México, 2019	
Agua renovable media (hm ³ / año)	644
Agua renovable pér cápita al 2019 (m ³ / hab / año)	73
Porcentaje de la población con servicio de agua entubada en la Ciudad de México, 2015	98.5
Porcentaje de viviendas particulares habitadas con disponibilidad de drenaje en la Ciudad de México, 2015	98.7

5.2. Clima

Tab. 2: Temporadas de lluvia en Iztapalapa.

Fuente de información

Reproducción realizada con fines didácticos.

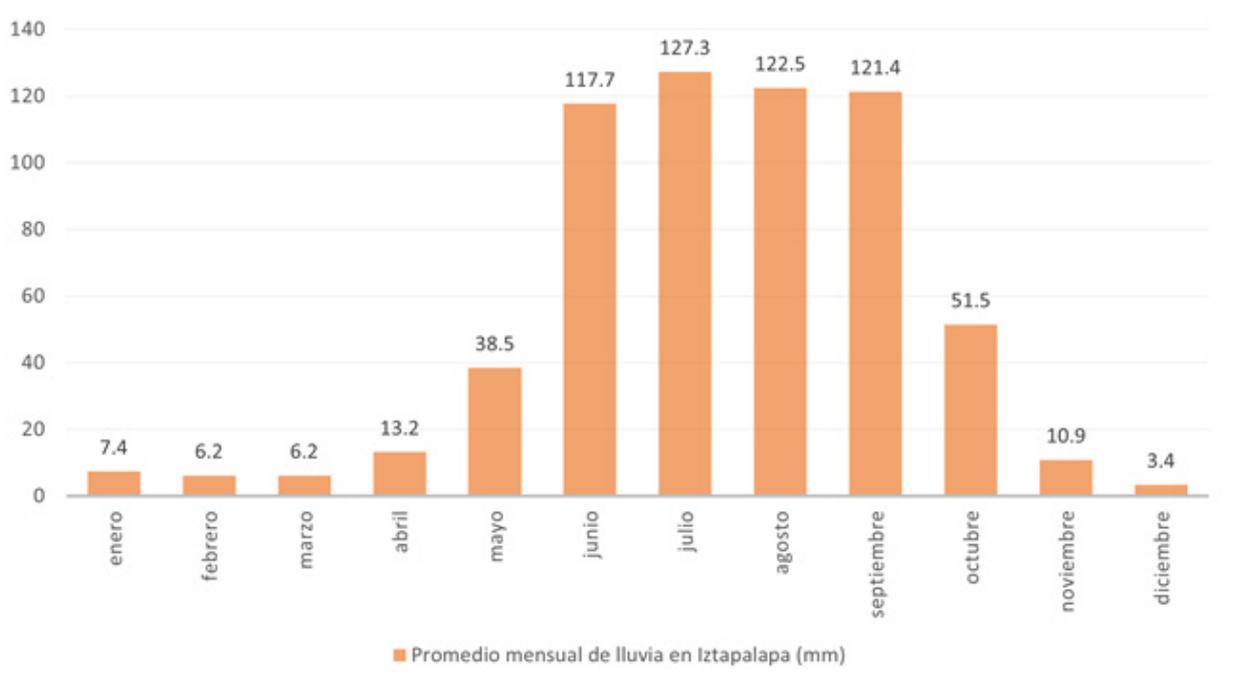
Temporadas de lluvia en Iztapalapa			
	Duración	Temporada	Precipitación (mm) ⁽¹⁾
Temporada de lluvia en	7 meses	Abril - noviembre	13
Mes con más lluvia		Julio	127
Temporadas sin lluvia	5 meses	Noviembre - abril	
Mes con menos lluvia		diciembre	3

El rango de precipitación anual es de 600 a 700 mm

(1) Milímetros: unidad de medida establecida para evaluar la cantidad de agua por precipitación pluvial.

Fig. 5.3: Gráfica del promedio mensual de lluvia en Iztapalapa.

Fuente de información
Reproducción realizada con fines didácticos



Tab. 3: Temperatura en Iztapalapa.

Fuente de información INEGI.
Reproducción realizada con fines didácticos.

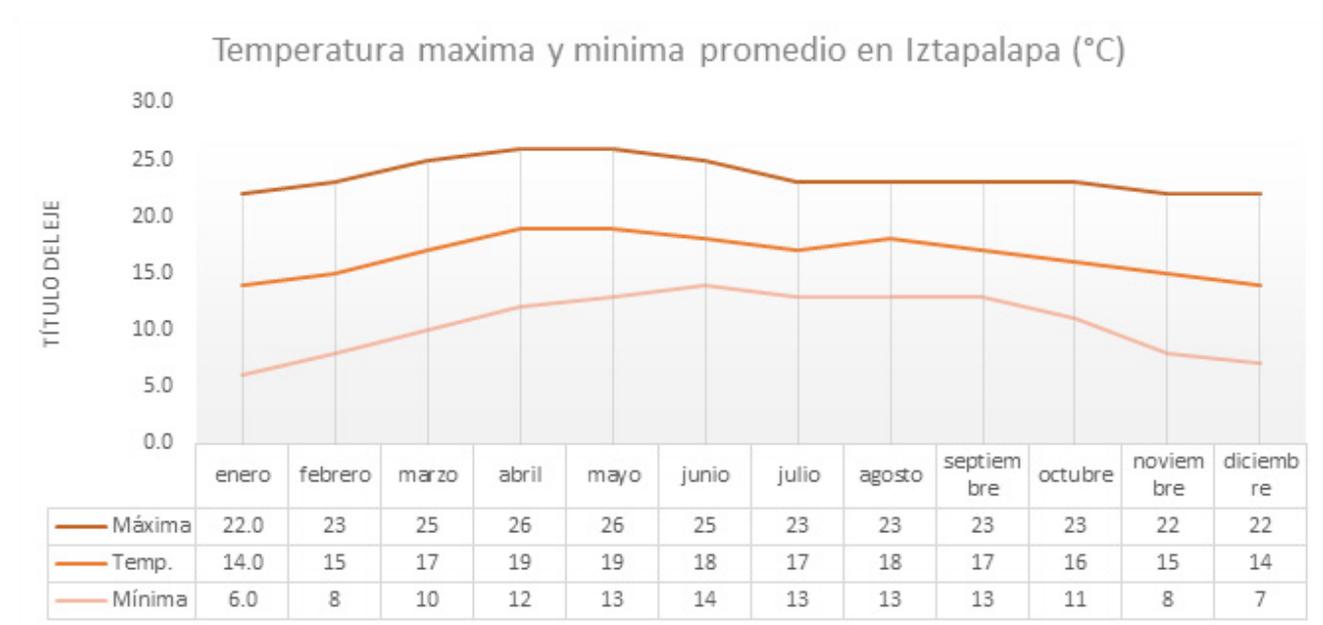
Temperatura en Iztapalapa.			
	Duración	Temporada	Temperatura (°C)
Cálido	2.5 meses	marzo - junio	Máx.25
Mes más cálido		mayo	Máx. 26 – mín. 13
Frio	2.4 meses	Noviembre - febrero	Máx. 22
Mes más frío		enero	Máx. 22 - mín. 6

Temporadas climaticas en Iztapalapa.

Clima templado subhmedo con lluvias en verano de menor humedad 77.48% y seco semiseco templado 22.52%. (INEGI, 2010)

Fig. 5.4: Gráfica de la temperatura máxima y mínima promedio en Iztapalapa (°C).

Fuente de información
Reproducción realizada con fines didácticos.



Viento

El viento depende en gran medida de la topografía de Iztapalapa; la velocidad promedio por hora tiene variaciones estacionales, la parte más ventosa dura 3.7 meses, del 2 de enero al 23 de abril, con velocidades promedio de 7,3 k/h. El mes más ventoso es marzo con vientos de una velocidad de 8.5k/h. La parte menos ventosa del año dura 8.3 meses, del 23 de abril al 2 de enero. El mes de mayo es el menos ventoso, con vientos de velocidad de 6.4 k/h.

La dirección del viento en Iztapalapa varía durante el año. Regularmente el viento viene del este durante 4 meses, del 2 de junio al 3 de octubre, con valores máximos del 66% en julio. El viento del norte dura 2.1 meses, del 3 de octubre al 6 de diciembre, con valores máximos del 43% en octubre. El viento con más frecuencia viene del sur durante 6.9 meses, del 6 de diciembre al 2 de junio, con valores máximos del 35% en el mes de enero.

Fig. 5.5: Gráfica de la velocidad promedio mensual del viento en Iztapalapa (k/h).

*Elaboración propia.
Datos obtenidos de
Reproducción realizada con fines didácticos.*



5.3. Población

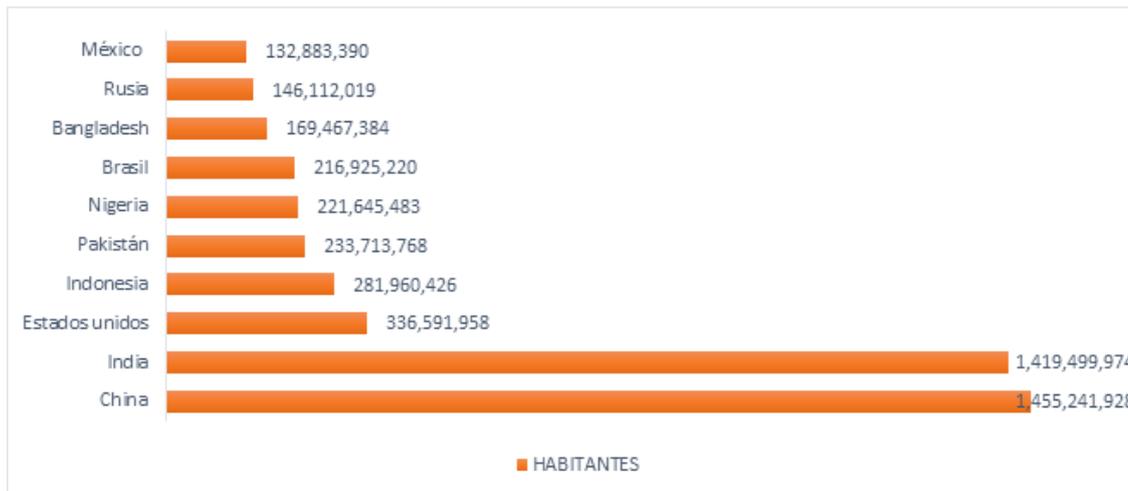
México se encuentra en el lugar número 10 en la población mundial con más de 132 millones de habitantes, de los cuales una gran cantidad reside en la Ciudad de México. Una de las delegaciones más pobladas de la Ciudad de México es Iztapalapa.

La población del mundo ha crecido, desde el 2022, a una tasa de alrededor del 0,84% por año. Esto quiere decir que se estima en 67 millones de personas por año. Actualmente la población total del planeta es: 8,031,815,730 mil millones de habitantes. ([Worldometer, 2023](#))

La población en la Ciudad de México en el censo de población **INEGI 2020**, fue de 126,014,024 millones de ([INEGI, 2020a](#)), de los cuales 9,209,944 millones de habitantes que representan el 7.3% del total del país que habitan en la Ciudad de México, el 99% urbana y 1% rural; a nivel nacional el dato es de 79 y 21% respectivamente. ([INEGI, 2020b](#))

Fig. 5.6: Gráfica de los 10 países con más población en el mundo.

Elaboración propia.
Datos obtenidos de Worldometers.
Reproducción realizada con fines didácticos.



Se estima que para el año 2027 la población de México ascenderá a 135.38 millones de habitantes. La población de Iztapalapa es de 1,835,486 millones de habitantes lo que la convierte en la alcaldía más poblada de la Ciudad de México y la segunda demarcación a nivel nacional, bajo Tijuana (INEGI, 2020c)

Fig. 5.7: Gráfica del crecimiento de la población en México a 2027.

Elaboración propia.
Datos obtenidos de INEGI, www.inegi.org.mx/
Reproducción realizada con fines didácticos.

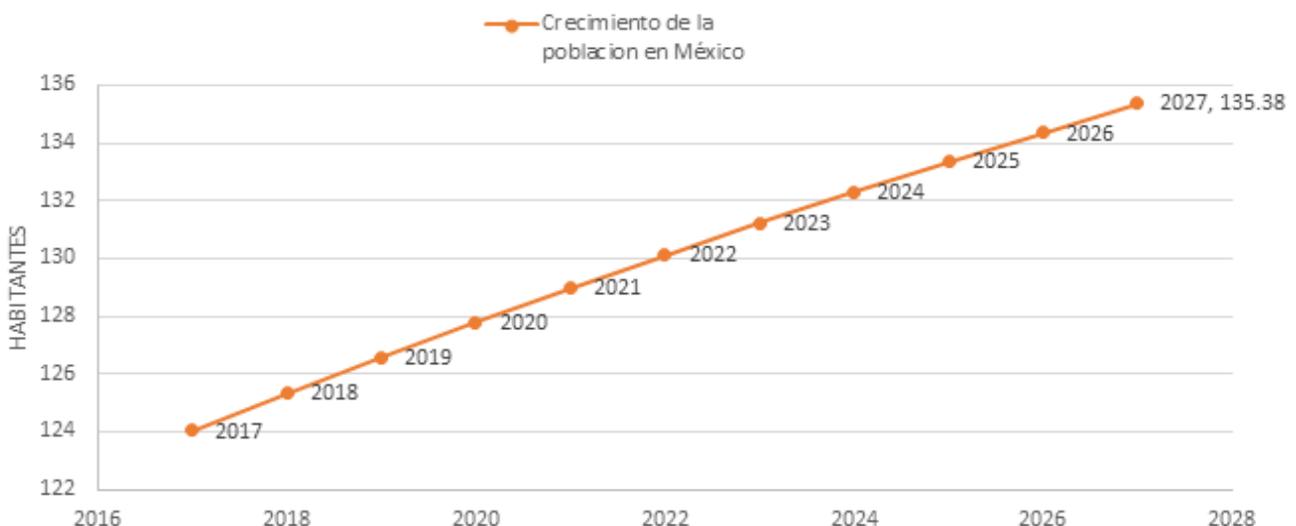


Fig. 5.8: Gráfica de la evolución demográfica en Iztapalapa.

Elaboración propia.
Datos obtenidos de INEGI, www.inegi.org.mx/
Reproducción realizada con fines didácticos.

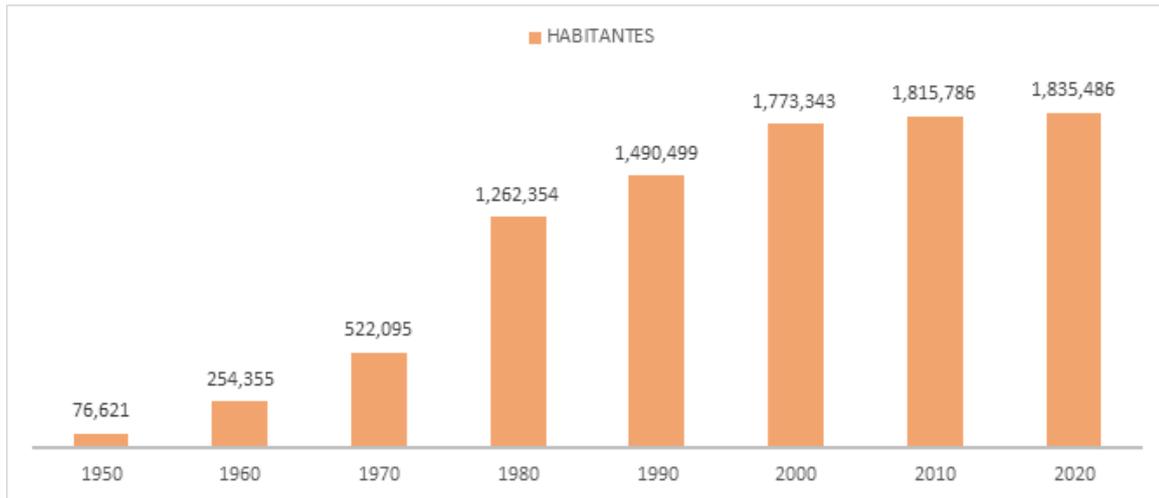
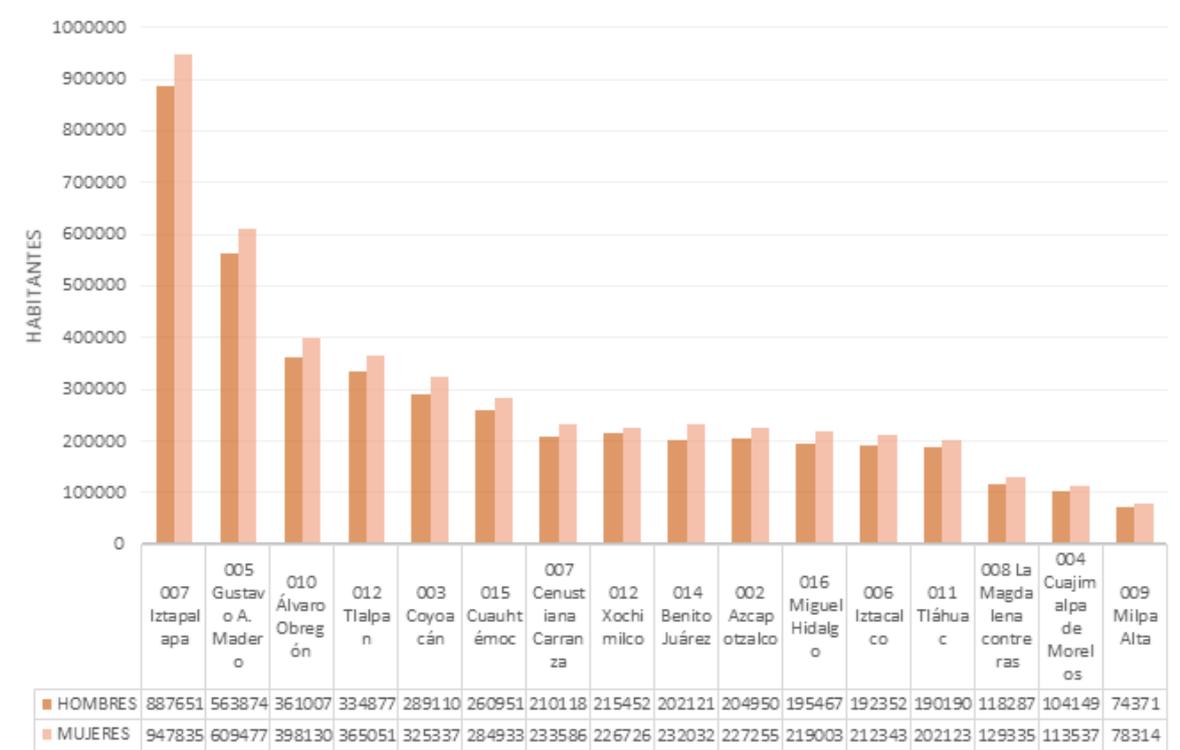


Fig. 5.9: Gráfica de la población total por alcaldía, 15 de marzo 2020.

Elaboración propia.
Datos obtenidos de INEGI. Censo de Población y vivienda 2020. https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/areasgeograficas/resumen/resumen_09.pdf
Reproducción realizada con fines didácticos.



5.4. Economía

Según la información proporcionada en 2019 por la Secretaría de Desarrollo Económico de la Ciudad de México (**SEDECO**), Iztapalapa alberga un total de 7,385 establecimientos económicos en el sector manufacturero, lo que representa aproximadamente el 22.8% del total de la Ciudad de México. Esta cifra coloca a Iztapalapa como líder en términos de cantidad de estos establecimientos.

Tab. 4: Actividades económicas principales.

En función de la cantidad de establecimientos económicos (unidades económicas, UE) y su importancia a nivel estatal.

Elaboración propia.

Datos obtenidos de SEDECO <https://www.sedeco.cdmx.gob.mx/>

Recuperado de <https://www.sedeco.cdmx.gob.mx/storage/app/media/uploaded-files/Iztapalapa.pdf>

Reproducción realizada con fines didácticos.

Actividades económicas principales			
Actividad	Total	%	%CdMx
Industria alimentaria	2,715	36.8%	22.5%
Industria de las bebidas y del tabaco	912	12.3%	36.6%
Fabricación de productos metálicos	910	12.3%	24.2%

De acuerdo con cifras del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (**INEGI**), el crecimiento constante y notorio de la población en Iztapalapa en las últimas décadas ha llevado a un aumento en la densidad demográfica y la demanda de servicios e infraestructura, lo que plantea desafíos en términos de planificación urbana y desarrollo sostenible.

Tab. 5: Informe anual sobre la situación de pobreza y rezago social en Iztapalapa 2022.

El porcentaje restante abastece sus viviendas por acarreo fuera de la vivienda: por una llave comunitaria, otra vivienda, una pipa, pozos, de un río, entre otros. (INEGI, 2019).

Recuperado de <https://cuentame.inegi.org.mx/territorio/agua/dispon.aspx?tema=T>

Reproducción realizada con fines didácticos.

Informe anual sobre la situación de pobreza y rezago social, Iztapalapa 2022				
Indicador de carencia	Población (miles)	%	Número de viviendas	%
Viviendas sin acceso de agua	16.9	0.9	4,238	0.9
Viviendas sin drenaje	1.8	0.1	324	0.1

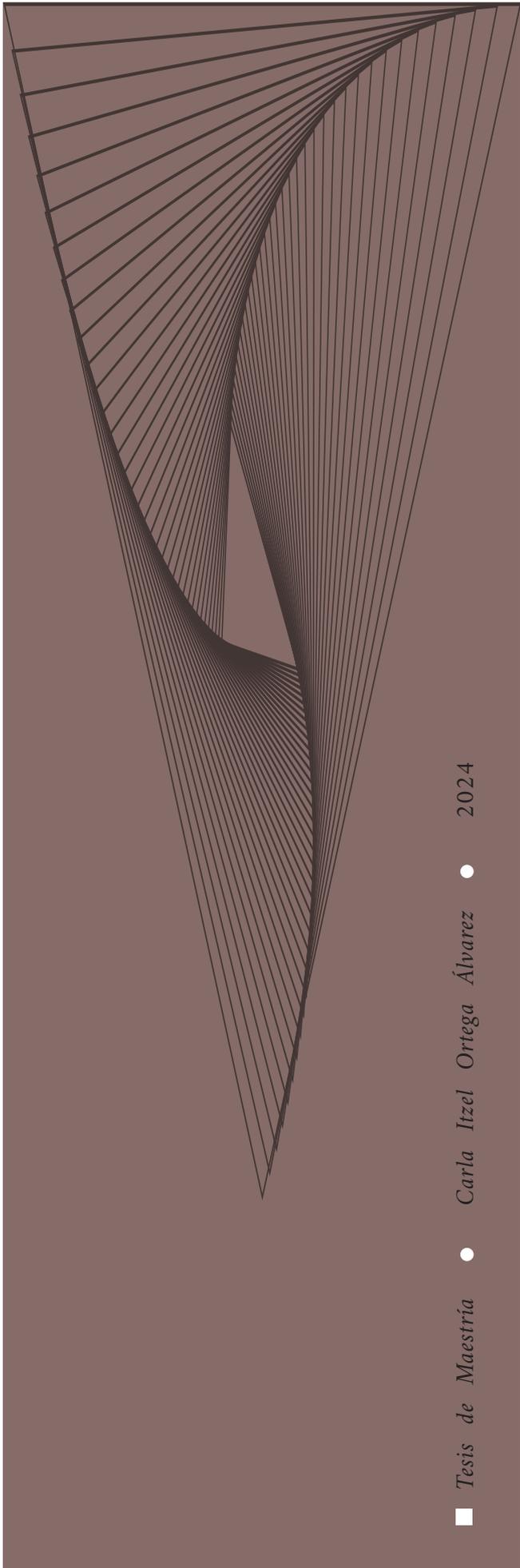
Fuente: Elaborado por la Dirección General de Planeación y Análisis (DGPA), Secretaría de Bienestar, con información de

1. Medición Multidimensional de la Pobreza 2020 de CONEVAL, con información de INEGI 2020.

2. Cuestionario Ampliado del Censo de Población y Vivienda 2020, aplicando la Metodología para la Medición Multidimensional de la Pobreza 2020 de CONEVAL.

Fuente: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/699058/09_007_CDMX_Iztapalapa.pdf entre otros. (INEGI, 2019)

Para esta investigación, se creó un registro de las características específicas del lugar, abarcando aspectos como la composición geológica, los niveles de lluvia, las características demográficas, el clima, las vistas, la historia del lugar, la situación económica, y los usos de la tierra circundante, entre otros factores. Estas acciones se realizaron en conformidad con las pautas para analizar las particularidades y condiciones del sitio, tal como lo describe Phillips en el manual “City of Tucson water harvesting guidance manual” / manual de orientación para la recolección de agua de la ciudad de tucson, en donde ordena los pasos a seguir para examinar las características y condiciones del sitio (Phillips, 2005). Esta recopilación de información facilita la evaluación de las características específicas del lugar y la creación de diseños integrados que mejoran la eficiencia, la sostenibilidad y la apariencia estética del sitio en los que la recolección de agua contribuye. El diseño del sitio busca la armonización de las necesidades del lugar para lograr eficiencia y sostenibilidad a través de un análisis detallado del sitio.



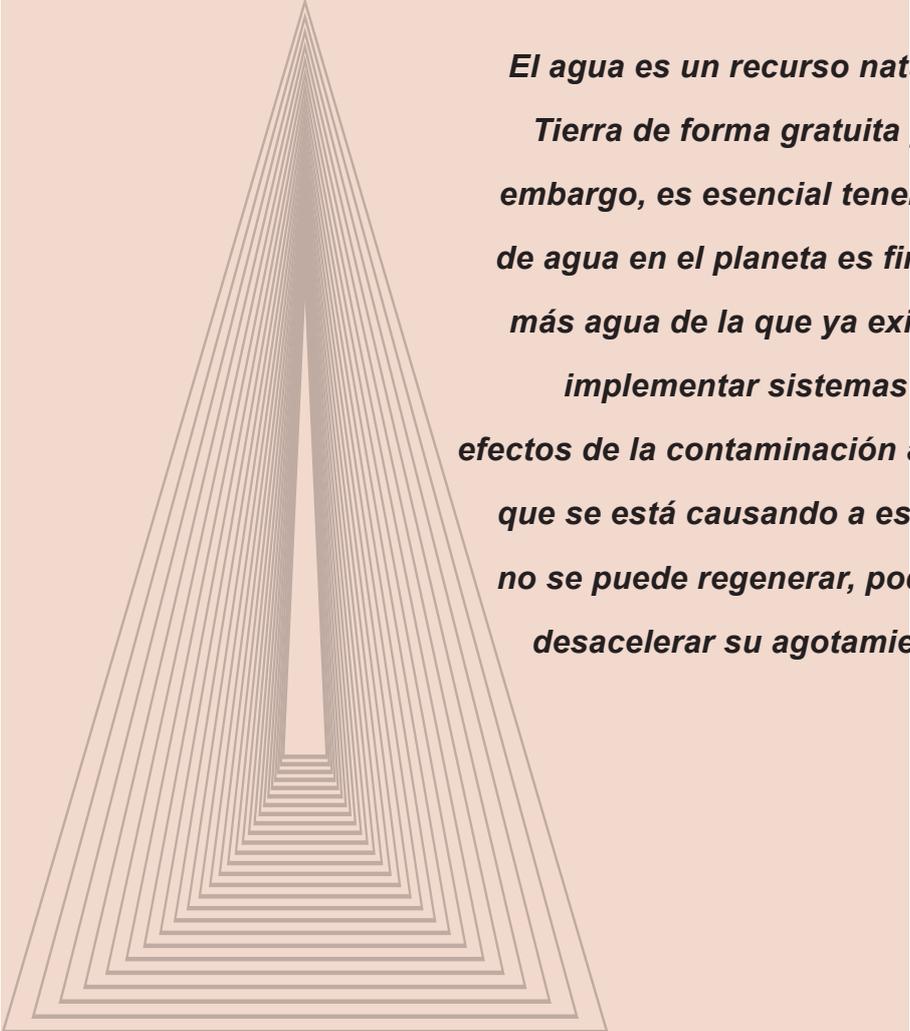
■ Tesis de Maestría • Carla Itzel Ortega Álvarez • 2024

Capítulo 6. Captador de Agua Desplegable Multifuncional “CATID”

Propuesta

*“La contaminación no es otra cosa que los
recursos que estamos desperdiciando.
Permitimos que se dispersen porque
ignoramos su valor.”*

Richard Buckminster Fuller



El agua es un recurso natural que se encuentra en la Tierra de forma gratuita y accesible para todos. Sin embargo, es esencial tener en cuenta que la cantidad de agua en el planeta es finita, y no podemos generar más agua de la que ya existe. Por lo tanto, es crucial implementar sistemas y medidas para mitigar los efectos de la contaminación ambiental y reducir el daño que se está causando a este recurso. Aunque el agua no se puede regenerar, podemos tomar medidas para desacelerar su agotamiento y preservar su calidad.



6.1. Descripción del Captador

El Captador es nombrado como “CATID”, que hace alusión a la palabra náhuatl “Atl” que significa agua, en unión con las siglas del producto C- captador y D- desplegable. El CATID, se describe como un mecanismo desplegable conectado a un tanque central de almacenamiento de agua. Su funcionamiento es similar al de un paraguas invertido, ya que se despliega para aumentar la superficie de recolección de agua. La estructura consta de una estructura desplegable tipo tijera, que adquiere una forma geométrica que se asemeja a la de un hiperboloide de un manto.

La estructura desplegable, ofrece diversas modalidades de recolección de agua según el tipo de material textil utilizado. Su objetivo principal es brindar soporte y tensión a la superficie encargada de recolectar agua, que se desliza libremente sobre el material colector. El material colector en la superficie del dispositivo tiene una forma piramidal y puede estar hecho de varios tipos de textiles, como geomembrana de PVC hidrófilo e hidrófobo, malla sombra o malla Raschel, todos aptos para el contacto con agua destinada al consumo humano.

Fig. 6.1: Captador de Agua Desplegable Multifuncional “CATID”.

Elaboración propia.



Fig. 6.2: Símbolo náhuatl del agua “ATL”.

Recuperado de <https://galeria.dibujos.net/culturas/azteca/los-dias-aztecas-el-agua-atl-pintado-por-12244386.html>

Reproducción realizada con fines didácticos.

Es un glifo que se encuentra en escrituras y representaciones artísticas de la civilización náhuatl, como los códices prehispánicos. Representa el elemento del agua en la cosmología y simbología náhuatl.



6.1.1. CONSIDERACIONES DE DISEÑO

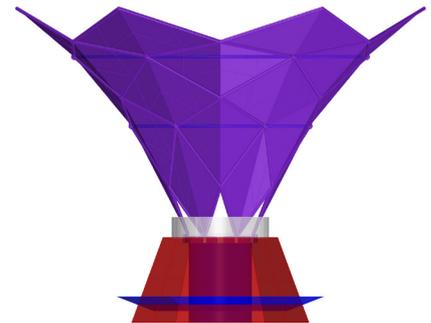
El Captador se ha diseñado considerando tres módulos, los cuales varían según las necesidades del usuario. Estas consideraciones de diseño se detallan a continuación:

Primer módulo

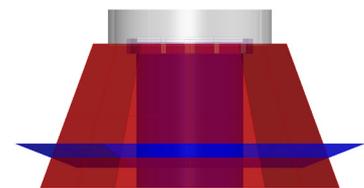
1. Las barras han sido diseñadas con el propósito de mantener la superficie de captación de agua (textil) en una condición de tensión adecuada mediante una costura que se adapta al tamaño de las barras y se cosen al material.
2. El despliegue de la estructura se logra utilizando seis rieles que se extienden desde cada vértice del anillo de desplante del captador, que tiene una forma hexagonal. Estos rieles deslizan las seis bases a las que se unen los perfiles diagonales de la base inferior de la estructura tipo tijera, creando así una estructura desplegable y funcional.
3. Es una solución rentable tanto en términos de fabricación como de mantenimiento, ya que al plegarse reduce el tiempo de exposición a los contaminantes atmosféricos.
4. Es completamente transportable y duradera, lo que la hace adecuada para su uso en regiones remotas con recursos limitados o en situaciones vulnerables
5. El tanque central recibe el agua capturada por la superficie de recolección textil y, en un

Fig. 6.3: Primer Módulo “CAAtD”.

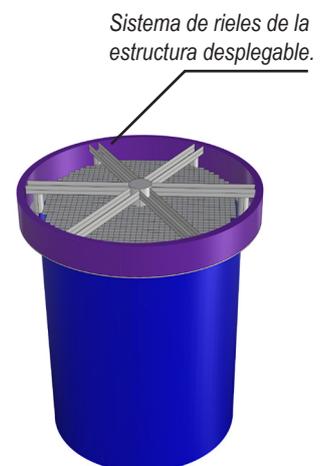
Elaboración propia.



a. Captador desplegable con tanque central de almacenamiento de agua.



b. Banca que cubre el tanque central de almacenamiento de agua.



b. Tanque central de almacenamiento de agua.

segundo módulo, se puede conectar a una cisterna destinada a almacenarla. Este tanque de almacenamiento central actúa como un contrapeso una vez que está lleno y se asegura al suelo mediante un sistema que garantiza la estabilidad de la estructura.

6. El agua recogida por la superficie de recolección pasa a través de un primer filtro de acero inoxidable diseñado para eliminar hojas y otros desechos de mayor tamaño. [ver Figura 6.4]

Segundo módulo

7. Una vez limpia de estos desechos, el agua pasa por una serie de filtros que tienen la función de purificar el agua, eliminando impurezas antes de pasarla por un sistema de filtración adicional para mejorar su calidad. [ver Figura 6.4]

Tercer módulo

8. La ubicación de estos filtros dependerá de cómo esté conectado el sistema de recolección de agua a la cisterna de almacenamiento. [ver Figura 6.5]

El sistema de Captación de agua desplegable multifuncional puede adaptarse utilizando un material flexible que bloquea la radiación solar, ofreciendo sombra y manteniendo la forma del Captador (Morales, 2018b) [ver Figura 6.6]. Además, la combinación de la recolección de agua y la vegetación en las áreas de recolección puede ayudar a mejorar la calidad del agua reduciendo partículas y contaminantes (Phillips, 2005).

Fig. 6.4: Segundo Módulo "CATID".

Elaboración propia. [ver Figura 6.7]

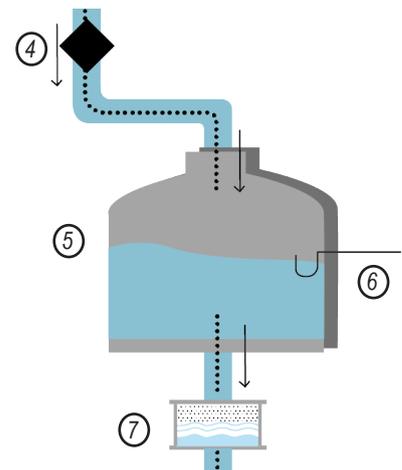


Fig. 6.5: Tercer Módulo "CATID".

Elaboración propia. [ver Figura 6.7]

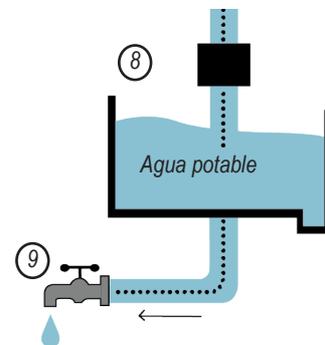
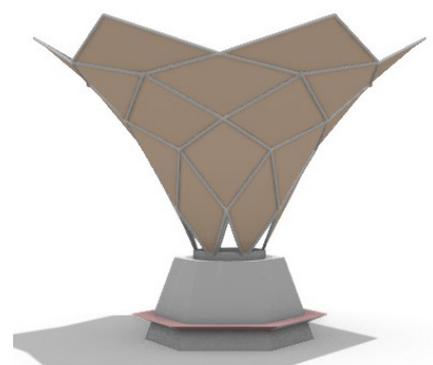


Fig. 6.6: Usos del Captador.

Elaboración propia.



El Captador “CAAtD” se compone de distintas partes, que se describen a continuación:

1. Superficie de captación

El área destinada para que el agua de lluvia sea recolectada y conducida para su almacenamiento y aprovechamiento, es la parte superior de la estructura desplegable, que está expuesta a la lluvia y donde el agua se recoge inicialmente.

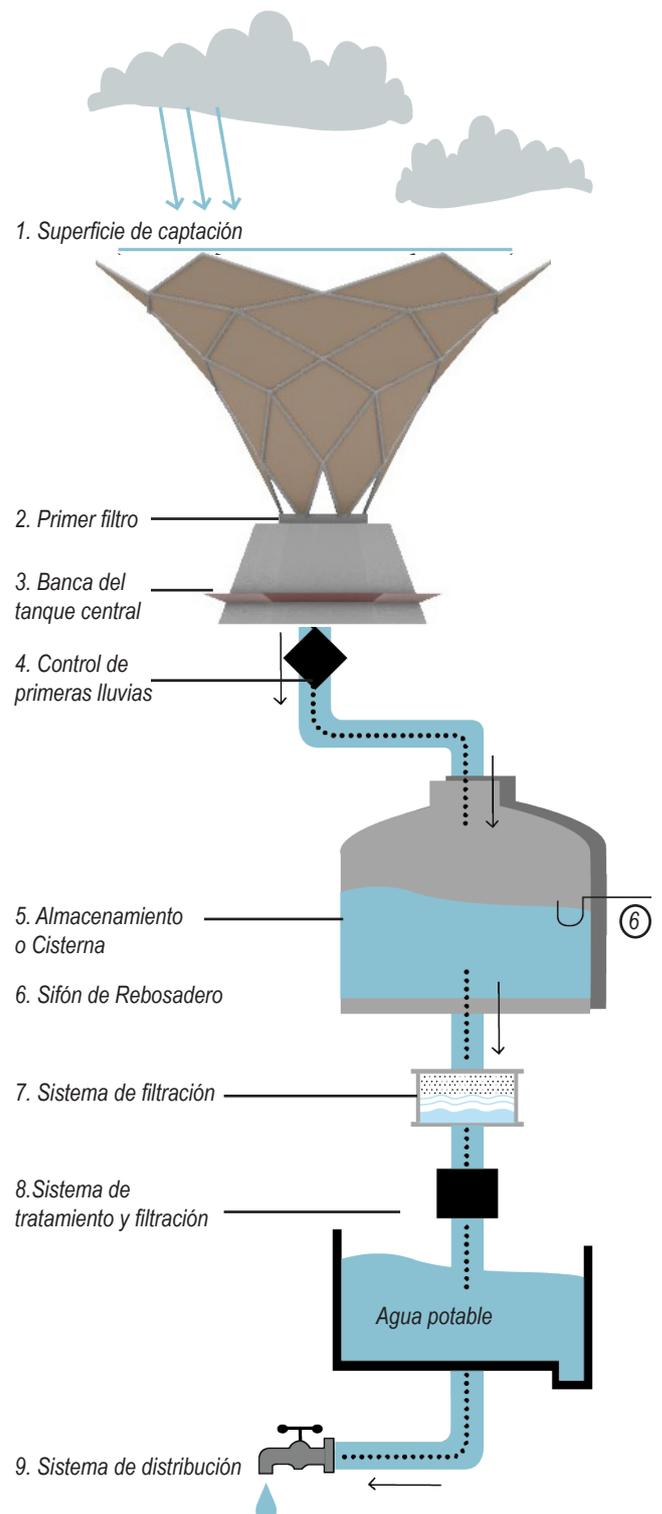
2. Primer filtro

Se encuentra diseñado para proteger la entrada del tanque de almacenamiento central evitando que ingresen grandes desechos y hojas al agua.

3. Tanque central

Es un sistema modular de almacenamiento primario de agua con una capacidad de 10,000 litros. Este tanque está cubierto por una plataforma que también sirve como mobiliario urbano y puede acomodar hasta 12 personas sentadas. También tiene la función de contrapeso una vez se está llenando.

Fig. 6.7: Esquema descriptivo del Captador de Agua Desplegable Multifuncional “CAAtD”.
Elaboración propia.



4. Control de primeras lluvias

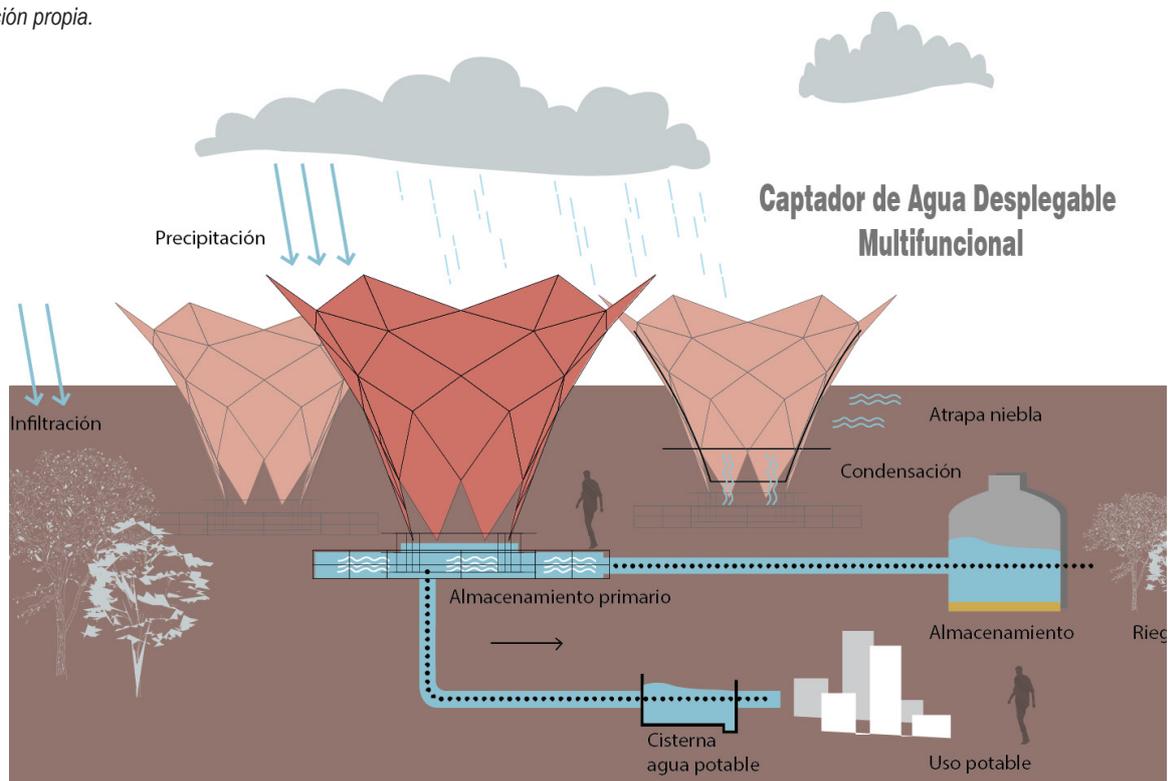
La función principal del sistema de separación de primeras lluvias es eliminar o separar los contaminantes iniciales y las impurezas arrastradas por las primeras lluvias antes de que el agua ingrese al sistema de almacenamiento o cisterna. Utiliza componentes como rejillas, filtros, deflectores u otros dispositivos para retener o eliminar estas impurezas iniciales.

5. Almacenamiento

Pueden ubicarse tanto en la superficie como bajo tierra. Las entradas y salidas de la cisterna cuentan con mallas para impedir la entrada de insectos y animales, y deben incluir dispositivos para el retiro de agua. La capacidad de estos tanques puede variar según las necesidades del usuario.

Fig. 6.8: Esquema de funcionamiento del Captador.

Elaboración propia.



6. Sifón de Rebosadero

Elemento o dispositivo que permite desfogar el agua que ingresa al depósito una vez que este se ha llenado.

7. Sistema de filtración

El agua captada a menudo puede contener partículas y contaminantes, por lo que se utiliza un sistema de filtración para limpiar el agua antes de su almacenamiento o uso.

8. Sistema de filtración

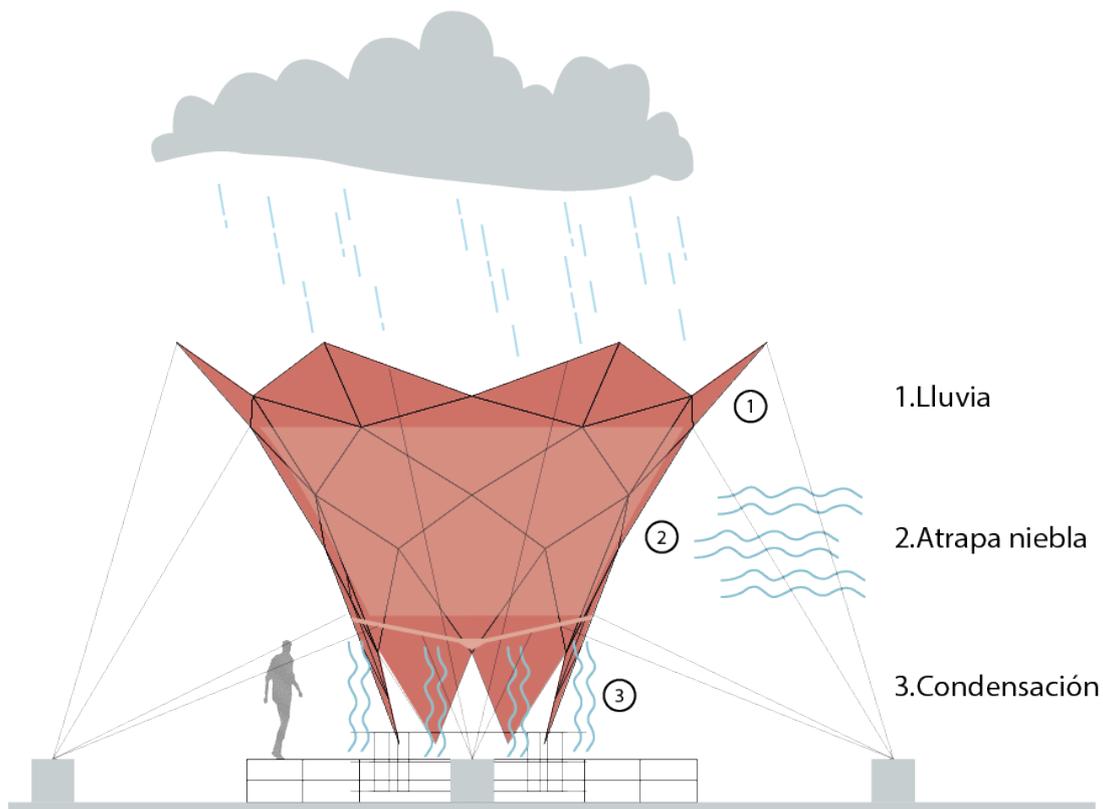
Antes de conducir el agua al almacenamiento se coloca un dispositivo que retire y filtre los contaminantes que puede arrastrar el agua, como pueden ser sedimentos, metales, grasas y basuras.

9. Sistema de distribución

El agua almacenada se puede utilizar para riego, limpieza o incluso para uso potable después de un tratamiento adecuado.



Fig. 6.9: Captación de agua (pluvial, niebla y rocío).
Elaboración propia.



6.1.2. TANQUE CENTRAL

Los tanques de almacenamiento de agua de lluvia son una parte fundamental de los sistemas de captación de agua de lluvia y desempeñan un papel clave en la preservación y uso sostenible del recurso hídrico (Phillips, 2005). En el caso de Australia, los tanques de agua de lluvia son esenciales para abordar la escasez de agua y la gestión sostenible de recursos hídricos, para prácticas de Water Sensitive Urban Design (**WSUD**) o en su traducción Diseño Urbano Sensible al Agua; ayudan a abordar los objetivos de gestión del ciclo urbano del agua. Estos sistemas almacenan agua de lluvia para uso doméstico y reducen la escorrentía, previniendo la contaminación de aguas subterráneas (Gobierno Australiano, 2006). Estos tanques pueden construirse con varios materiales, como plástico, polietileno, concreto armado, fibra de vidrio, acero inoxidable y otros.

Entre los factores que influyen en el volumen de los tanques se encuentran:

- Las dimensiones del área de captación
- La demanda de agua.
- El tamaño de la cisterna depende de la precipitación promedio, que se evalúa con datos históricos. En áreas con lluvias constantes, cisternas más pequeñas son suficientes, mientras que en lugares con estaciones de lluvia y sequía, se requieren cisternas más grandes para abastecer los meses secos.

Con fines de diseño, optamos por un tanque de 10,000 litros, pero se podrán utilizar ambos, según las necesidades.

Capacidad del tanque de almacenamiento ⁽¹⁾			
Capacidad (L)	Diámetro (m)	Altura (m)	Registro de inspección (cm)
5,000	2.38	1.36	60
10,000	2.38	2.44	60

(1) Rotoplas, "Rotoplas scpr-ficha-tecnica", Sistema de Captación Pluvial Rural. Obtenido de www.rotoplas.com.

6.1.3. SISTEMA DE FILTRACIÓN

Un sistema de recolección y filtración de agua está compuesto por diversos elementos que tienen como objetivo recolectar y purificar el agua para su posterior uso. Estos sistemas son fundamentales para conservar el recurso hídrico y reducir la dependencia de fuentes de agua convencionales ([Gobierno Australiano, 2006](#)).

En el caso del Captador, el proceso de filtración se inicia con un filtro de acero inoxidable situado en el anillo de desplante, en la parte inferior, entre la estructura desplegable y el tanque central. Este filtro se encarga de eliminar hojas y residuos grandes del agua captada. Una vez que el agua ha sido despojada de estas impurezas, fluye desde el tanque central hacia un sistema de purificación o tratamiento. En el caso de utilizar el agua para consumo humano u otros fines sensibles, es posible que se requieran sistemas de filtración adicionales, como filtros de carbón activado o sistemas de ósmosis inversa, para mejorar aún más su calidad. Cuando se trata de agua destinada al consumo humano, es esencial aplicar un tratamiento y desinfección adecuados para eliminar cualquier contaminante microbiológico o químico presente. Es crucial llevar a cabo una filtración inicial para eliminar sólidos, como hojas y escombros, del agua antes de que ingrese al sistema del tanque central. Normalmente, se utilizan filtros de malla con este propósito. Sin embargo, es importante destacar que el proceso de filtrado mencionado se encuentra dentro de las consideraciones de diseño del segundo y tercer módulo. Para esta etapa actual de desarrollo del Captador, se llevará a cabo en etapas posteriores.

Es fundamental resaltar que al instalar un sistema de recolección y filtración de agua, es necesario cumplir con las regulaciones locales y las normativas de calidad del agua vigentes. Además, dado que la calidad del agua de lluvia puede variar según la ubicación geográfica y las condiciones climáticas, resulta esencial realizar análisis periódicos de calidad del agua para asegurarse de que sea segura y adecuada para los usos previstos ([Ballatore, 2008](#)).

6.6. Metodología de diseño del Captador

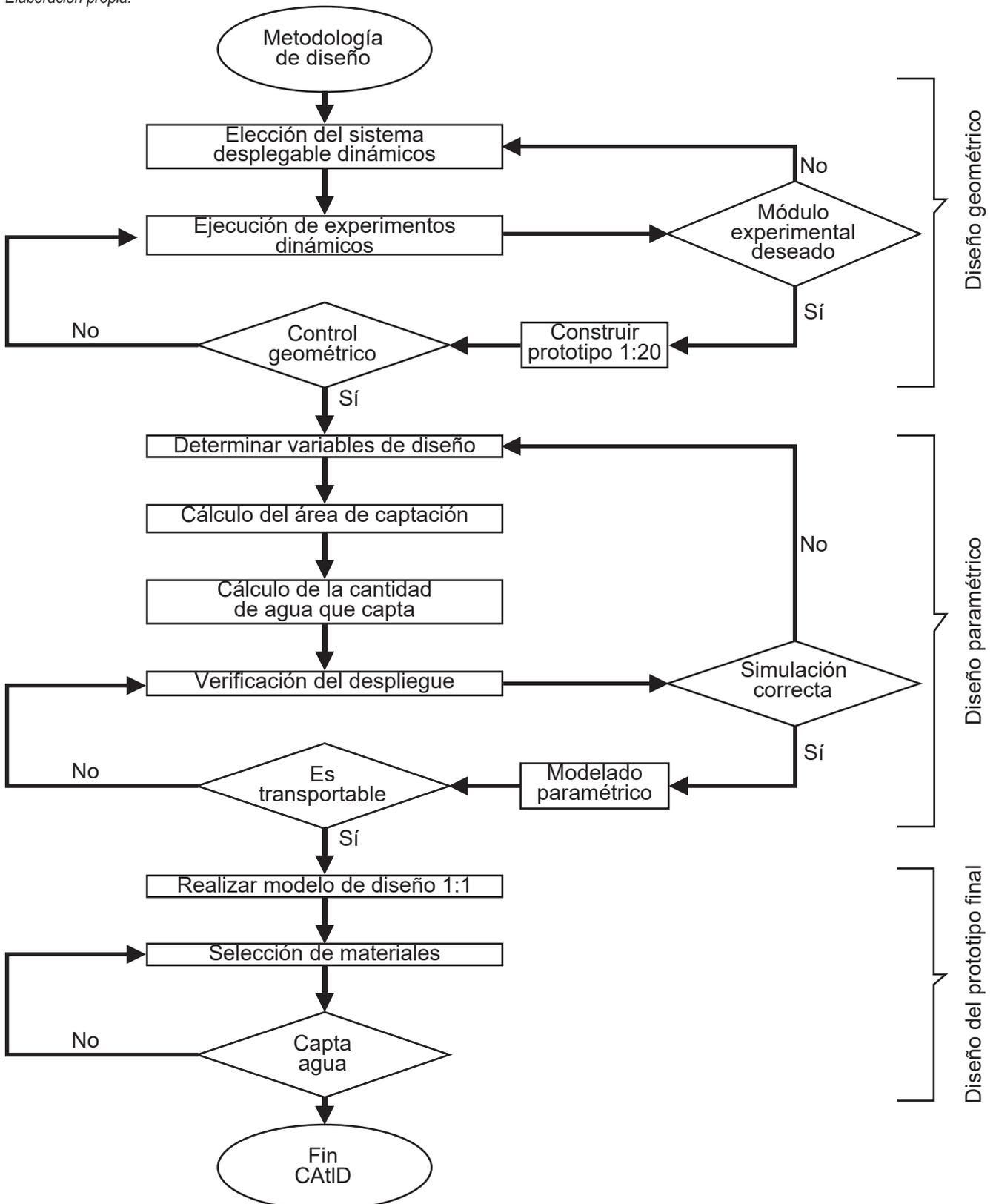
El propósito de esta investigación es explorar la forma y su aplicación en el ámbito del diseño, al mismo tiempo que se investigan las características de construcción en el contexto de la arquitectura. Esto puede conducir al desarrollo de un enfoque de construcción más accesible desde el punto de vista tecnológico. Además, se busca evaluar las ventajas que ofrece el uso de estructuras desplegables en arquitectura con sistemas de captación de agua.

Este estudio se enfoca en investigar el diseño de un sistema estructural desplegable a través de un módulo experimental a escala 1:20, con el objetivo de demostrar la dinámica estructural y el control geométrico en el plegado y desplegado del modelo de diseño. Este Captador se diseñó con la intención de ser utilizado en áreas urbanas de carácter social y de recreación, cumpliendo la función de captar agua, servir como cubierta y mobiliario urbano. A pesar de haber sido diseñado inicialmente para su uso en áreas urbanas, es importante destacar que este sistema también puede ser adecuado para entornos rurales e incluso en la industria ganadera.

El desarrollo de la metodología de diseño se basa en la combinación de diseño geométrico y diseño paramétrico, los cuales se definen en función de variables de diseño específicas, como el área de captación deseada, sus dimensiones y el espacio que se planea cubrir. El diagrama a continuación ilustra la metodología de diseño aplicada en la investigación y la posterior creación del producto [ver Figura 6.10].

Fig. 6.10: Diagrama de la metodología de diseño.

Elaboración propia.



6.2. Control geométrico

La geometría se deriva del análisis de un hiperboloide de un manto, que es una superficie tridimensional de revolución generada por la rotación de una hipérbola alrededor de uno de sus dos ejes de simetría, lo que significa que se puede generar al girar una hipérbola alrededor de su eje de simetría. Esto crea una estructura tridimensional que tiene una simetría rotacional (Díaz, 2018). El eje central, también conocido como eje de revolución, es la línea a lo largo de la cual se propagan las dos hojas del hiperboloide. Puede conceptualizarse como el eje que establece la simetría del hiperboloide. A medida que se aleja del eje central en cualquier dirección, las hojas del hiperboloide se alejan entre sí, creando una forma que se asemeja a dos hipérbolas que se alejan en direcciones opuestas. Estas hipérbolas se denominan asíntotas del hiperboloide.

Hiperboloide de un manto	
Traza	Plano
Circunferencia	Paralelo al plano xy
Hipérbola	Paralelo al plano xz
Hipérbola	Paralelo al plano yz

Fig. 6.11: Geometría del hiperboloide.

Imagenes obtenida de GeoLab. Web de Geometría ETSEM Escuela Técnica Superior de Edificación. Universidad Politécnica de Madrid Recuperado de <http://www.edificacion.upm.es/geometria/JPA/Hiperboloide%20hiperbolico%2002.html> Reproducción realizada con fines didácticos

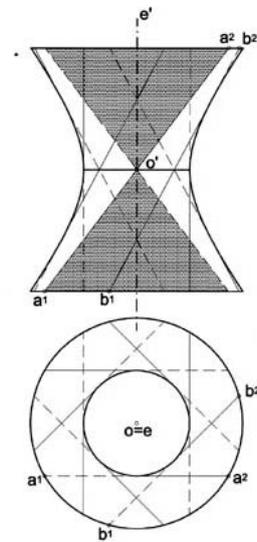
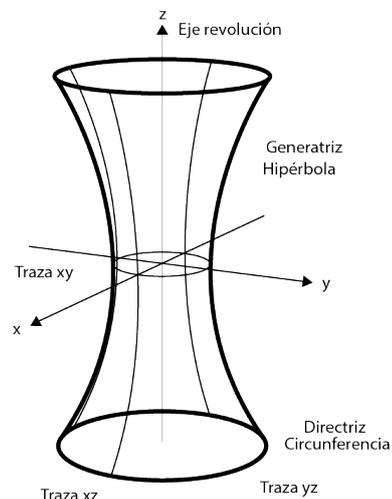


Fig. 6.12: Hiperboloide de un manto.

Elaboración propia. Recuperado de Reproducción realizada con fines didácticos.



El hiperboloide hiperbólico es una figura geométrica interesante y se encuentra en diversas aplicaciones arquitectónicas y de diseño debido a su forma y estabilidad. Se clasifica como una superficie anticlástica, lo que significa que tiene curvaturas opuestas en dos direcciones principales en un punto específico (Morales, 2018a). La curvatura de Gauss es negativa en esta superficie, y el plano tangente en ese punto corta la superficie en dos líneas rectas. Además, es una superficie reglada, por esta razón, también se le conoce como hiperboloide reglado.

Ecuación matemática hiperboloide de un manto

Principales características:

- La ecuación es similar al elipsoide, pero el signo del término correspondiente a z^2 es negativo.
 - Los cortes con planos $x = \text{cte}$, $y = \text{cte}$ son hipérbolas.
 - Los cortes con planos $z = \text{cte}$ son elipses (circunferencias, si $a = b$).
 - El eje del hiperboloide es el eje z .
- (Díaz, 2018).

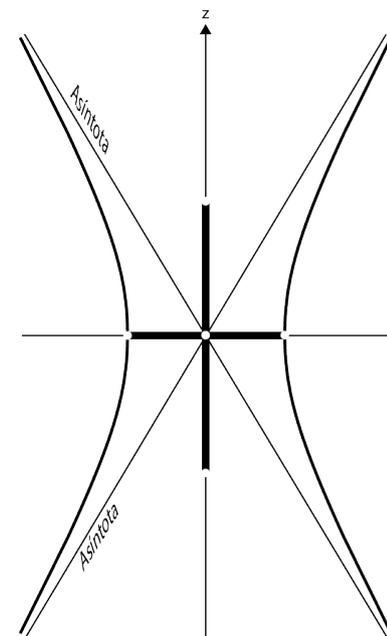
Si sustituimos en la ecuación anterior x por $x - x_0$, y por $y - y_0$, z por $z - z_0$, tenemos un hiperboloide cuyos ejes son paralelos a los coordenados.

Fig. 6.13: Asintotas del hiperboloide.

Elaboración propia.

Fuente:

Reproducción realizada con fines didácticos.



Ecuación matemática que describe un hiperboloide de un manto: x

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} = 1$$

6.2.1. BIOMIMESIS TECNOLÓGICA

La biomimesis tecnológica es un campo de estudio que se centra en investigar y aplicar soluciones inspiradas en la naturaleza para abordar problemas y desarrollar nuevas tecnologías. Este enfoque se fundamenta en la observación y emulación de los procesos, estructuras y estrategias que se encuentran en la naturaleza, con la finalidad de crear sistemas y productos que sean más eficientes, sostenibles y adecuados para las necesidades humanas. Algunos sistemas de recolección de agua se basan en los principios de cómo las plantas capturan y almacenan agua de la atmósfera.

La tecnología de recolección de agua se ha inspirado, también, en los cactus y el escarabajo de Namib para desarrollar sistemas eficientes ([Biomimética, 2021](#)). Los cactus utilizan espinas para retener la humedad y protegerse de la radiación solar. Se ha diseñado una membrana bioinspirada que evapora y purifica el agua durante el día y la captura durante la noche. Esto se basa en el principio de las espinas de cactus. También se ha creado un nanomaterial con microestructuras similares a árboles de Navidad que atraen y condensan el agua ambiental ([ESCAT, 2021](#)). El método de recolección de agua de niebla está inspirado en el escarabajo de Namib, un habitante del desierto árido. Este insecto utiliza una estrategia específica, posicionándose de manera precisa para capturar gotas de niebla con sus alas especiales y acumulándolas en su cuerpo. En un intento por imitar esta habilidad en entornos áridos, los investigadores del Instituto Tecnológico de Massachusetts (**MIT**) han desarrollado una tecnología que replica el proceso del escarabajo. Consiste en una superficie texturizada que combina materiales hidrofóbicos e hidrofílicos de manera intercalada.

El diseño del Captador “CAtID” se inspiró en la estructura de un panal de abejas debido a la forma hexagonal de sus celdas. Este concepto se refleja en el captador, que opera como un módulo individual que se ensambla con otros módulos para formar un sistema completo de captación de agua. La idea es replicar la organización modular presente en un panal de abejas, donde múltiples celdas se combinan para crear una red completa, que en el caso del Captador, cumple con la función de recolectar mayor cantidad de agua.

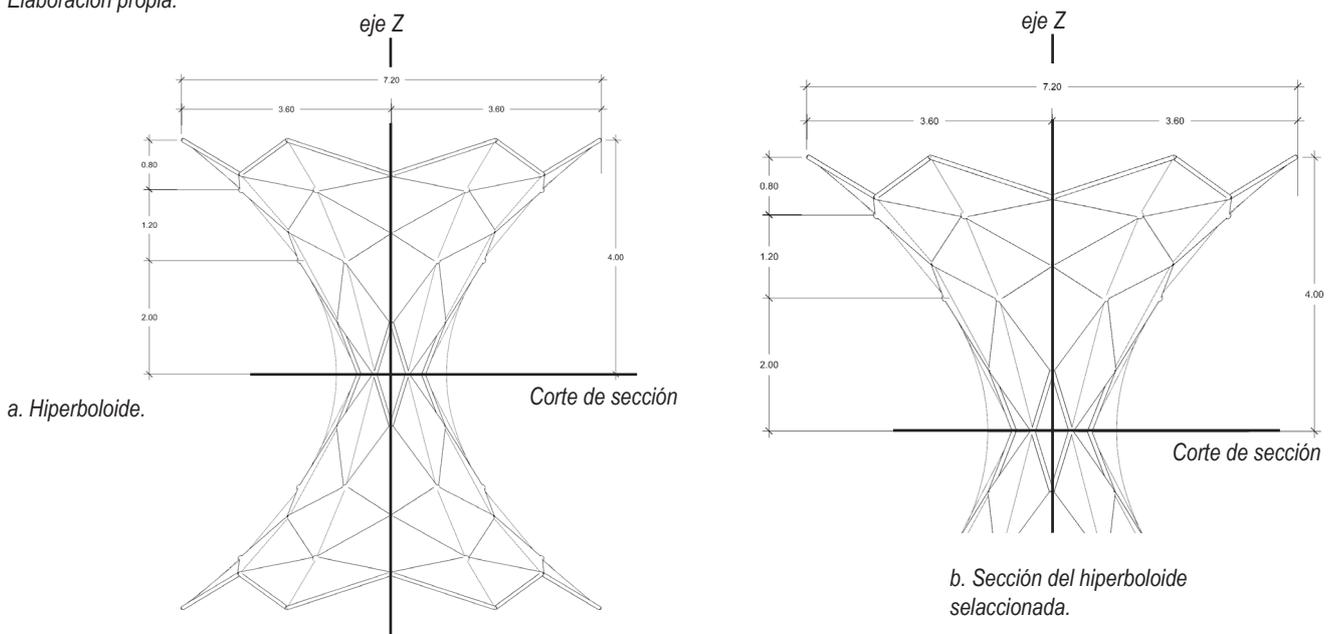
6.2.2. EXPLORACIÓN DE LA FORMA

Para dar forma al diseño, optamos por realizar una sección a lo largo del eje de simetría del hiperboloide, que es perpendicular al eje de rotación. Esta decisión nos permitió aprovechar las propiedades estructurales del hiperboloide y crear una estructura arquitectónica que combina tanto estética como funcionalidad.

[ver Figura 6.14]

Fig. 6.14: Esquema de la sección de la geometría del hiperboloide.

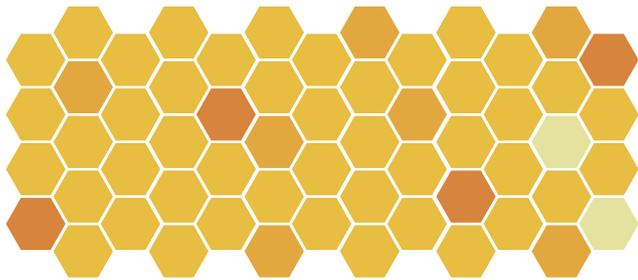
Elaboración propia.



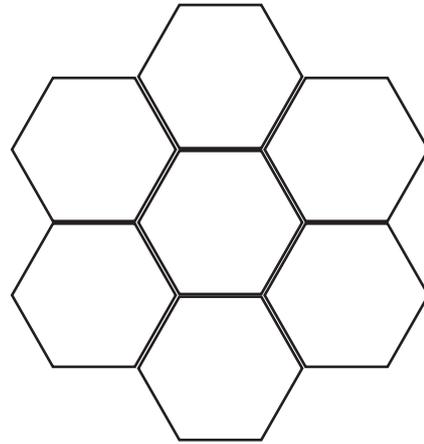
La tecnología utilizada en el diseño del Captador se inspira en la estructura hexagonal de un panal de abejas, que sirve como modelo para la organización modular de múltiples módulos individuales que se ensamblan para formar un sistema completo de captación de agua. Esta aproximación biomimética se basa en la eficiencia y resistencia estructural de la disposición hexagonal de las celdas en un panal de abejas [ver Figura 6.15], que se traduce en una construcción robusta y eficaz, que cumple con la función de recolectar mayor cantidad de agua, para satisfacer mayores demandas de agua en el futuro.

Fig. 6.15: Red hexagonal de captación.

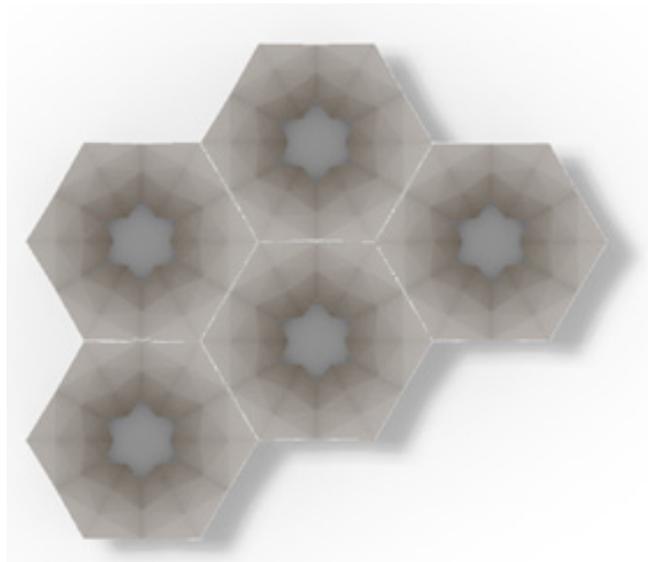
Elaboración propia.



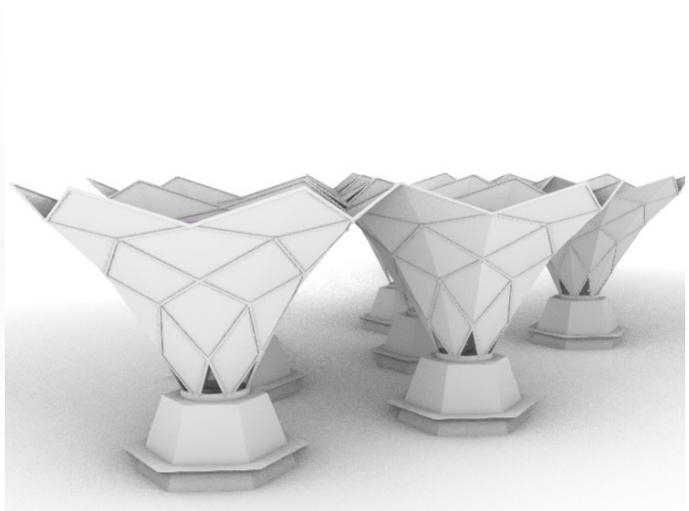
a. Red hexagonal de panal de abejas.



b. Módulos base de la red hexagonal.



c. Vista en planta de la red hexagonal de Captadores.



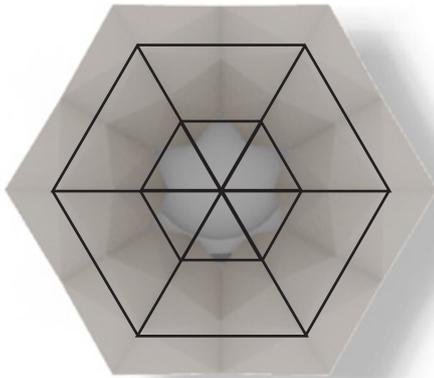
b. Vista en isométrico de la red hexagonal de Captadores..

La configuración hexagonal se utiliza en la construcción de edificaciones gracias a sus notables propiedades geométricas y estructurales. La disposición hexagonal de las celdas en un panal ofrece una resistencia estructural eficiente al distribuir las cargas y tensiones de manera uniforme, lo que la convierte en una elección adecuada para estructuras ligeras pero resistentes. Esta forma también permite una utilización efectiva del espacio, ya que se ajusta sin dejar espacios vacíos entre las celdas. Además, puede reducir la cantidad de material necesario para la construcción, lo que puede resultar en edificaciones más sostenibles y económicamente eficientes.

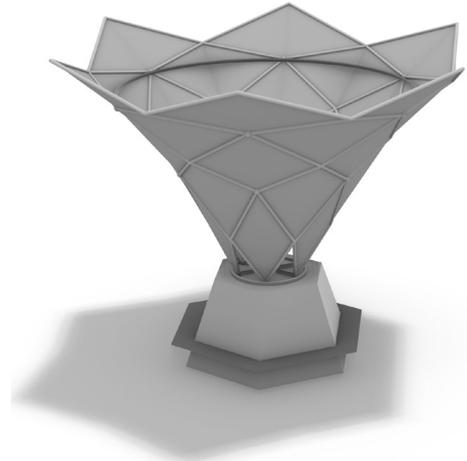
[ver Figura 6.16]

Fig. 6.16: Geometrización hexagonal del “CAAtD”.

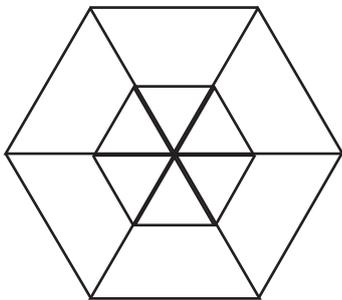
Elaboración propia.



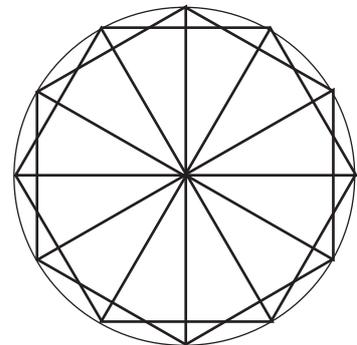
a. Vista en planta de forma hexagonal.



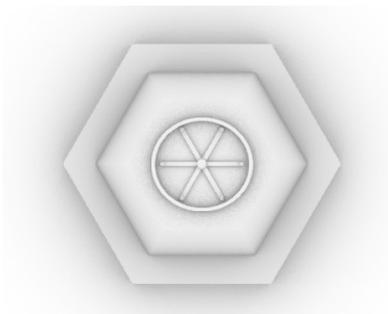
b. Vista en isométrico del Captador.



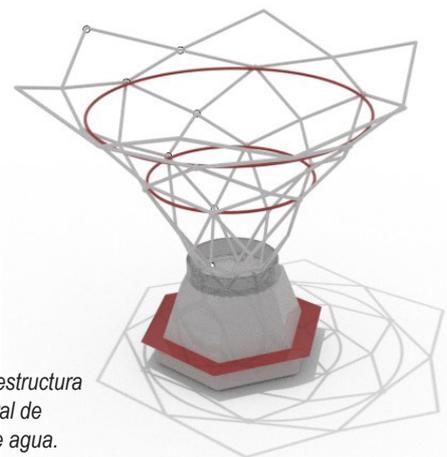
c. Planta de forma hexagonal.



d. Tapa en planta de forma hexagonal.



e. Planta del tanque central de almacenamiento de agua de forma hexagonal.



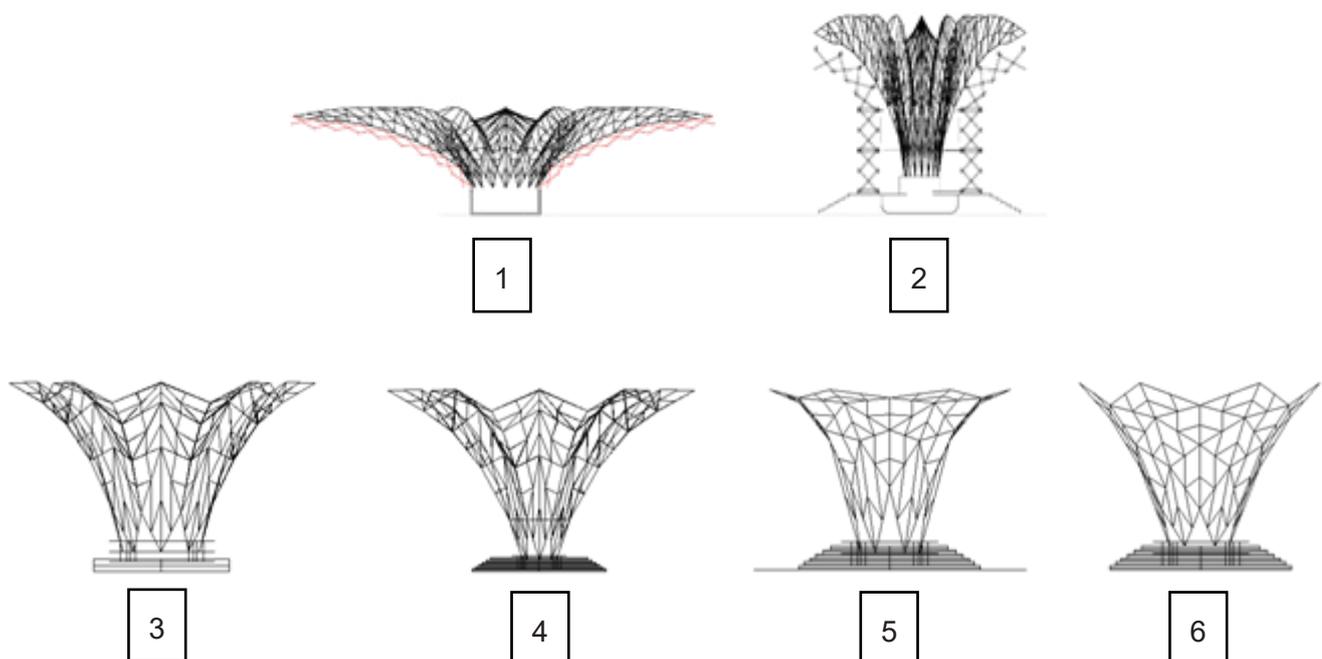
f. Perspectiva de la estructura con el tanque central de almacenamiento de agua.

6.2.3. EVOLUCIÓN GEOMÉTRICA

La evolución geométrica se realizó como un proceso dinámico que conlleva cambios y desarrollos en las formas, estructuras y patrones geométricos. Esto implica la adaptación y transformación de conceptos geométricos existentes, así como la generación de nuevas ideas y enfoques en el campo de la geometría. Este proceso está influenciado por varios factores, incluyendo cambios en las necesidades y en las preferencias estéticas en relación con las estructuras y diseños geométricos que buscamos lograr. Además, se observa en la evolución apoyada de las representaciones gráficas y digitales de formas geométricas en la modelación 3D. El modelado paramétrico ha posibilitado la adaptación de la forma original del hiperboloide del Captador mediante la manipulación de parámetros como altura, apertura y ángulos de curvatura. Esta metodología ha generado diversas variaciones geométricas, marcando un avance significativo en la evolución de la geometría. Asimismo, ha otorgado una mayor versatilidad y libertad creativa al proyecto.

[ver Figura 6.17]

Fig. 6.17: Modelos de variantes de la estructura volumétrica del “CAAtID”.
Elaboración propia.



6.3. Ideal del Captador

El formato final esperado del Captador de la I&D: Investigación y Desarrollo Tecnológico, se basa en una propuesta de diseño tecnológico y constructivo, con ejemplo de materialización, contando con el análisis comparativo y evaluación de casos de estudio afines a la propuesta. Además, de la creación de una monografía sobre el tema histórico de las estructuras desplegadas y su importancia dentro de los sistemas estructurales utilizados en la arquitectura.

La situación ideal es proporcionar un producto que permita la obtención de agua de manera fácil de instalar y transportar. Además, buscamos desarrollar una solución asequible para abordar los problemas de escasez de agua en México, ofreciendo una nueva estructura desplegable que pueda utilizarse en investigaciones sobre condiciones del agua y otros fenómenos; creemos que promover el uso de estructuras desplegadas en la arquitectura contemporánea contribuirá a la evolución arquitectónica del país de una manera innovadora.

Visión

Contribuir a la reducción de la escasez de agua al funcionar como un captador de agua de lluvia, niebla y evaporación adaptable a diferentes condiciones climáticas. El Captador de Agua Desplegable Multifuncional “CAAtD” tiene la capacidad de recolectar, almacenar y distribuir el agua capturada para diversos usos, como riego, limpieza de superficies, lavado de vehículos y descarga de inodoros, lo que mejora los recursos hídricos disponibles en las ciudades.

Misión

Garantizar una instalación sencilla y portátil que pueda ser instalada con facilidad sin la necesidad de habilidades técnicas especializadas. Su objetivo es mejorar la calidad de vida de los habitantes proporcionando una alternativa accesible para obtener agua a través de una estructura versátil. Esto contribuirá a que las ciudades cuenten con mejores recursos hídricos y al mismo tiempo se integre de manera estética en su entorno.

6.4. Valores básicos diferenciales

Diversas creencias han influido en el progreso de las nuevas tecnologías, a menudo modificando la percepción de las teorías. En el contexto de las estructuras desplegables, existe la creencia de que no son duraderas debido a su naturaleza efímera, lo que las aleja de la noción tradicional de arquitectura.

En contraste, actualmente la sociedad se empezó a dar cuenta que es necesario desarrollar arquitectura sustentable y flexible; de ahí es que se desarrolla la nueva arquitectura nómada, donde las personas tiene la flexibilidad de realizar cualquier actividad o profesión desde cualquier lugar, mediante estos tipos de vivienda que se pueden desplegar y plegar de acuerdo a sus necesidades.

Este renacimiento y apreciación de la arquitectura ligera están siendo redescubiertos y valorados en la actualidad. Sin embargo, aún queda un largo trecho por recorrer para que esta forma de arquitectura, a veces vista como “nueva” o “primitiva”, sea plenamente reconocida y aceptada por la sociedad en general.

Fig. 6.18: Render del Captador “CATID”.
Elaboración propia.

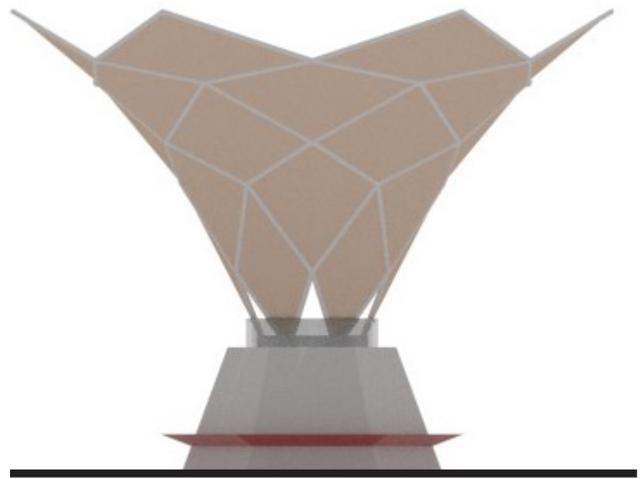
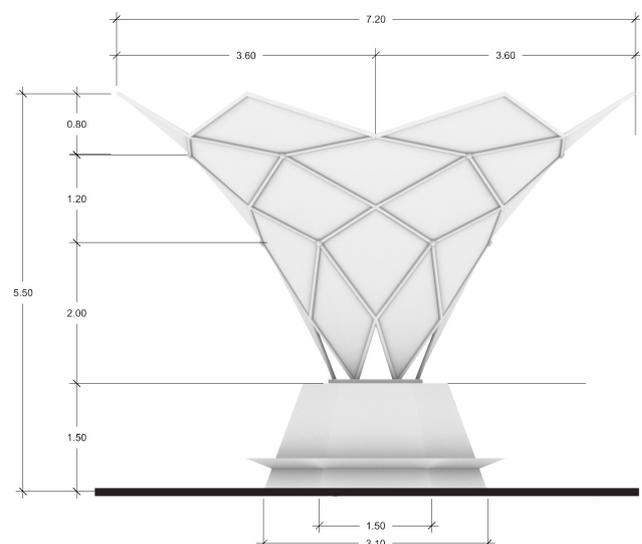


Fig. 6.19: Alzado del Captador “CATID”.
Elaboración propia.



6.4.1. POTENCIAL DE UTILIDAD

A continuación, se destacan las particularidades del Captador y su potencial para el aprovechamiento del agua capturada.

- AGUA; una de sus principales fortalezas reside en su capacidad para mitigación la escasez de agua provocada por la sequía. Al recolectar agua, esta puede ser empleada para una variedad de propósitos, incluyendo el riego y diversos usos domésticos.
- INNOVACIÓN; otro factor relevante implica el desarrollo de innovación en la arquitectura, explorando nuevas formas de aprovechar la captación de agua con fines de almacenamiento y distribución. El Captador servirá como una muestra de cómo estas estructuras pueden ser efectivamente aplicadas en diferentes contextos y enfoques.
- INVESTIGACIÓN; otro aspecto de suma importancia radicaría en motivar a investigaciones especializadas enfocadas en las estructuras desplegadas, profundizando en su estudio y su naturaleza ligera. Este enfoque funciona para elevar la conciencia y comprensión de dichas estructuras, lo cual a su vez impulsa su adopción y evolución dentro de la comunidad de la arquitectura.
- MERCADO; un beneficio significativo de llevar a cabo las etapas de desarrollo de madurez tecnológica (TRL) para su integración en el mercado.
- EDUCACIÓN; al incluir las estructuras desplegadas en los planes de estudios, podemos establecer los cimientos para impulsar la creación de programas que fomenten la investigación y el análisis en el sistema educativo.
- URBANISMO; mejora la eficiencia, la comodidad, la protección de áreas exteriores y la apariencia estética del lugar.
- SOSTENIBLE; ayuda a reducir el uso de agua, los gastos energéticos, la preservación del paisaje verde y otras demandas.
- MULTIFUNCIONAL; el Captador tiene la utilidad de captar y almacenar agua, además funciona como mobiliario urbano y proporcionar sombra. También, se prevé la captura de agua de diversas fuentes, como la proveniente de la niebla y el rocío, logrando esto mediante el cambio del material del textil; de esta manera, se busca otorgarle versatilidad para adaptarse a distintos climas.

6.5. Proceso de la investigación

Realizamos una exhaustiva búsqueda de datos disponibles en diversos portales dedicados al monitoreo y la recopilación de estadísticas relacionadas con la situación actual del agua. Además, investigamos las estrategias de mitigación y protección del agua. La problemática del agua en entornos urbanos exige un análisis detallado de la relación entre las ciudades y el agua, con el fin de idear soluciones innovadoras para esta crisis que afecta a nivel global. Para abordar esta cuestión de manera efectiva, es esencial comprender el panorama actual del problema, identificar las vulnerabilidades, riesgos y necesidades de la población, y basarse en las estadísticas proporcionadas por las autoridades gubernamentales.

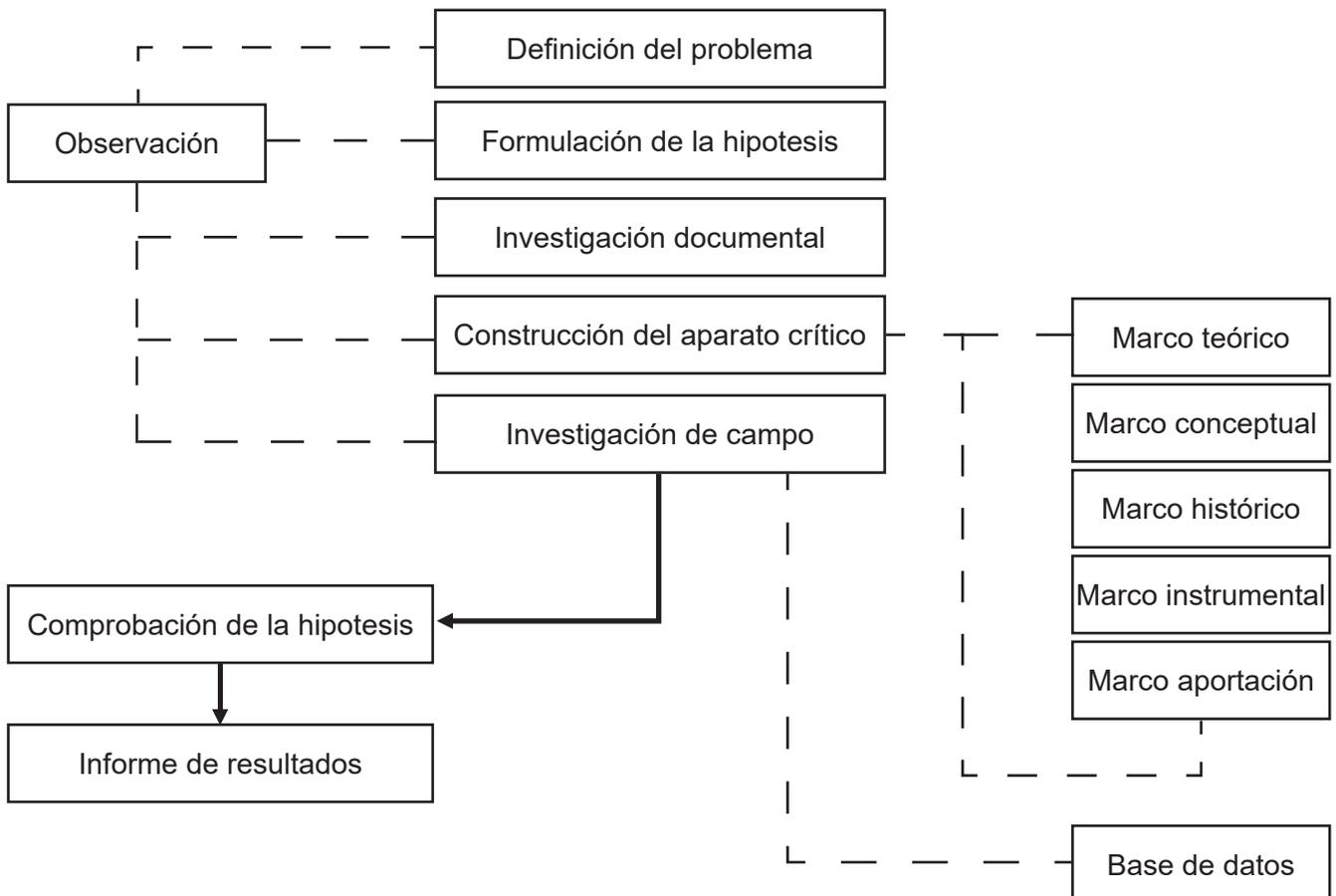
Luego de un análisis exhaustivo de los datos disponibles y con el objetivo de presentar una propuesta innovadora que se distinga de las existentes, optamos por crear un prototipo experimental de un captador de agua que sea transportable y ligero. Este modelo de utilidad está diseñado para su uso tanto en entornos urbanos como rurales. La preocupación por la distribución del agua y la protección de la estructura de los elementos meteorológicos motivó una serie de propuestas de estructuras desplegables basadas en pantógrafos⁽¹⁾ (Morales, 2016b).

Nuestra experimentación se centra en el ámbito tecnológico de la construcción, específicamente en el desarrollo de estructuras móviles y desplegables. Inspirados en la versatilidad que ofrecen las estructuras desplegables, hemos decidido aplicar esta flexibilidad también a los materiales utilizados en el proyecto. Nuestra propuesta se enfoca en adaptar la estructura para la recolección de agua de lluvia, condensación y niebla, haciendo uso de distintas membranas. El avance en estructuras desplegables se ha conseguido a través de materiales ligeros y flexibles, que mantienen su forma y resisten cargas externas gracias a su diseño geométrico equilibrado (Morales, 2022).

(1) Un pantógrafo es un mecanismo articulado basado en las propiedades de un paralelogramo; el instrumento tiene barras conectadas que se mueven con respecto a un punto fijo.

Fig. 6.20: Diagrama de proceso de la investigación.

Producto de investigación esperado
Captador de Agua Desplegable Multifuncional “CAAtD”
Elaboración propia.



El proceso de la investigación se inició con el análisis de los problemas sociales actuales que afectan al mundo en general y a México en particular. Identificamos el problema de la escasez de agua como nuestro enfoque principal, lo que nos llevó a plantear una hipótesis sobre posibles soluciones para abordar esta grave situación. A partir de esta hipótesis, realizamos la investigación documental que respaldara la relevancia y viabilidad de nuestro proyecto. Esta investigación nos proporcionó la base de datos necesaria para construir un marco crítico que incluyó el marco teórico, conceptual, histórico, instrumental y de la aportación. Este conjunto de información nos permitió fundamentar nuestra teoría y realizar una validación de nuestra hipótesis.

6.5.1. EXPERIMENTACIÓN DE LA ESTRUCTURA

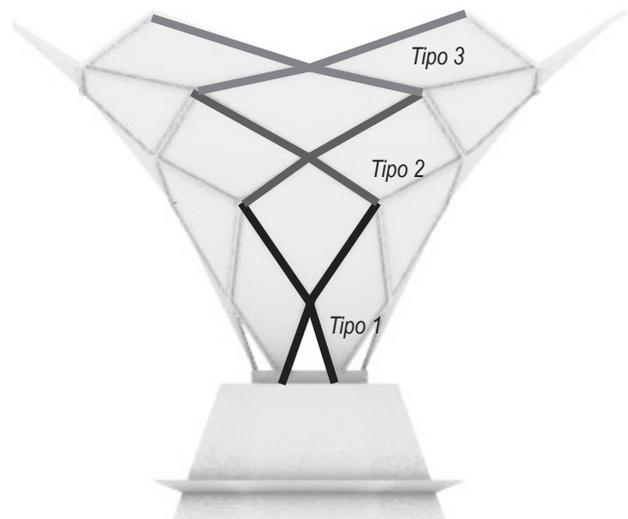
La experimentación de la estructura, se realizó mediante un sistema tipo tijera aplicado en estructuras desplegables, este es considerado como un diseño estructural que emplea una serie de elementos diagonales (como barras o vigas) interconectados a través de puntos articulados [ver Figura 6.21].

Las estructuras desplegables aseguran estabilidad mediante conexiones y puntos de apoyo precisos, permitiendo transformaciones complejas sin comprometer la capacidad de carga. En estructuras con articulaciones bloqueables, se puede lograr la inmovilización con solo tres o cuatro nodos de fijación. Para fortalecer aún más este bloqueo, se pueden agregar elementos adicionales, como barras rígidas, en puntos específicos del sistema estructural (Morales, 2022). La forma de la estructura refuerza su estabilidad.

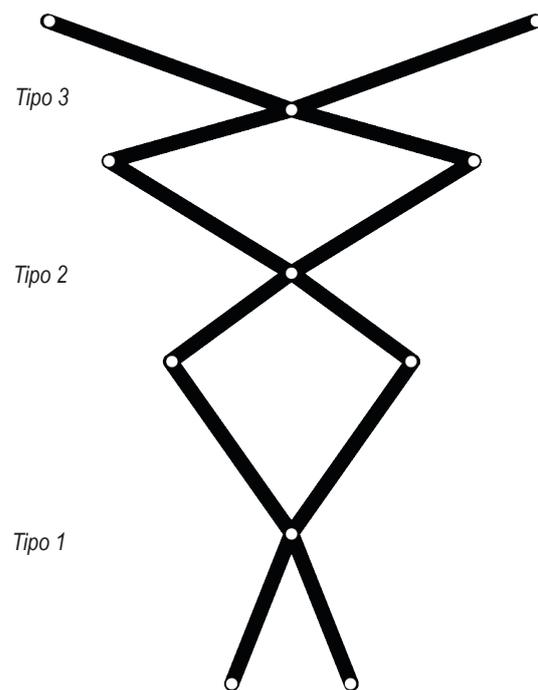
En el caso del Captador, su diseño en forma de paraguas, utiliza un mecanismo con articulaciones bloqueables que se vuelven rígidas una vez abiertas. Estas articulaciones bloqueables se complementan con un anillo de desplante, incluyendo el anillo

Fig. 6.21: Sistema tipo tijeras del “CATID”.

Consta de tres tipos diferentes de tijera con distintos ángulos. Elaboración propia.



a. Sistema estructural desplegable.



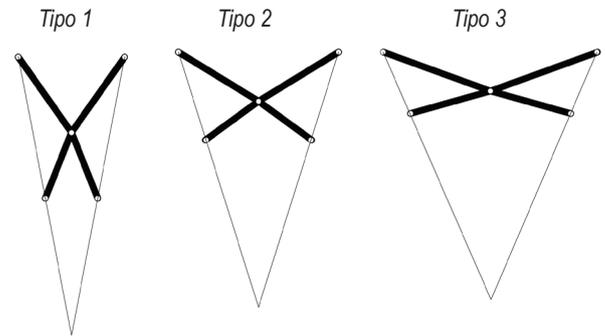
b. Sistema estructural base desplegable.

intermedio y el anillo superior, que se sitúan a diferentes alturas en la base de las tijeras tipo 2 y 3. Además, el anillo tapa cumple la función de cerrar el sistema y actúa como un diafragma para prevenir posibles fallos en el mecanismo [ver Figura 6.22]. Cabe señalar que estos “anillos” no son circulares, sino elementos rectos que se ajustan a la forma hexagonal de la estructura desde su base. Además, como parte de la estrategia para mantener la estabilidad de la estructura, se emplea un sistema de control que aprovecha las membranas. Esto tiene la ventaja de eliminar la necesidad de incorporar elementos adicionales como cables o barras, simplificando así el diseño.

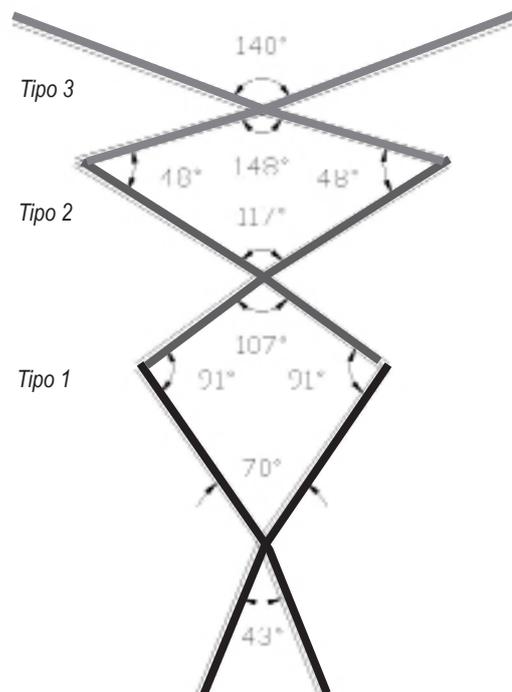
Otro enfoque para garantizar la estabilidad de la estructura es el uso de un tanque de almacenamiento central. Este tanque cumple una doble función, ya que no solo almacena el agua de lluvia captada, sino que también actúa como un lastre. A medida que se llena con el agua dirigida hacia él, proporciona un contrapeso que contribuye a mantener la estabilidad de la estructura, incluso en condiciones de carga variable. Esta solución ofrece una mayor eficiencia y sostenibilidad al sistema de captación.

Fig. 6.22: Tipos de tijeras del “CATID”.

Elaboración propia.



a. Tres tipos de tijera.



b. Ángulos de apertura de cada tijera.

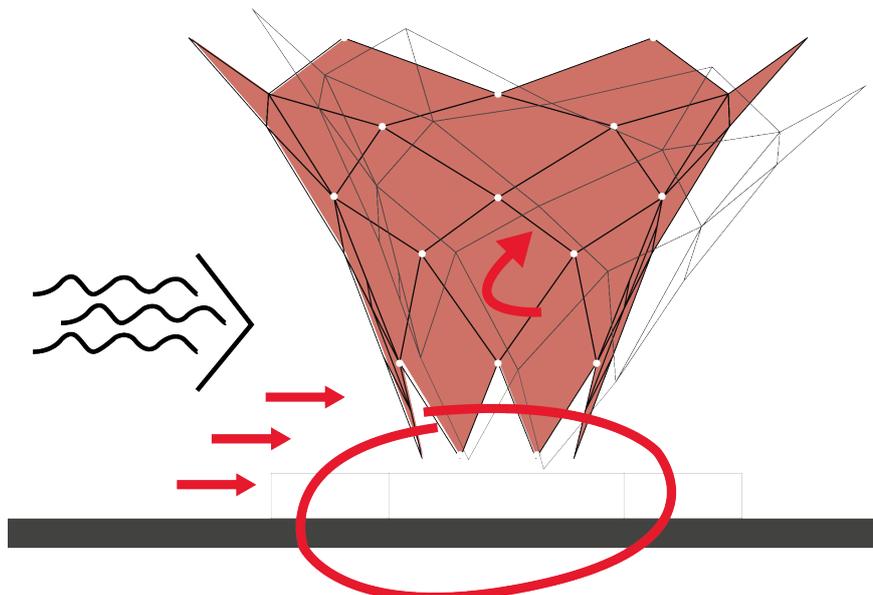
6.5.2 EFECTO DEL VIENTO

La resistencia al viento en estructuras ligeras significa que deben soportar esta fuerza sin sufrir daños significativos ni deformaciones excesivas. Para lograr esto, es esencial aplicar principios de aerodinámica en el diseño, lo que implica tener en cuenta la forma de la estructura, su perfil y la ubicación estratégica de las aberturas para permitir que el viento fluya a través de la estructura en lugar de ejercer presión sobre ella. Además, es fundamental anclar adecuadamente la estructura al suelo o a una base sólida para resistir la fuerza del viento, lo que podría requerir el uso de estacas, soportes, cables tensores u otros dispositivos de fijación.

Se describen parámetros para construir estructuras desplegables, que pueden abrirse y bloquearse en diferentes configuraciones. Se distinguen dos tipos: paraguas y mecanismo con articulaciones bloqueables, que se vuelven rígidas una vez abiertas (Morales, 2022). Los materiales empleados deben poseer la capacidad de resistir las fuerzas generadas por el viento sin experimentar deformaciones notables ni sufrir daños significativos.



Fig. 6.23: Efecto del viento por volteo y desplazamiento.
Elaboración propia.

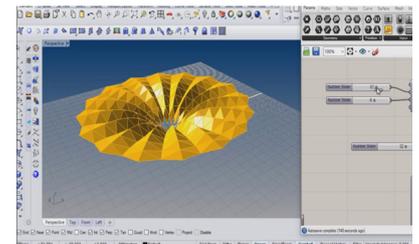


6.5.3. MODELO PARAMÉTRICO

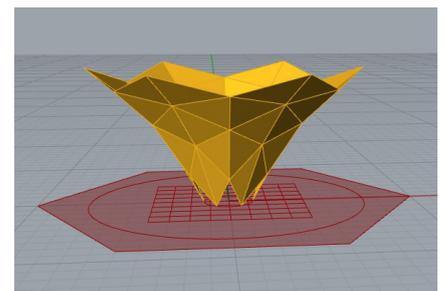
Para el modelo paramétrico del Captador, utilizamos Grasshopper en el software Rhino. Esta herramienta nos permitió configurar parámetros clave como dimensiones, geometría, radio, cantidad de elementos y etapas de despliegue. Usamos deslizadores y otros componentes para ajustar estos parámetros y evaluar su impacto en la estructura. También definimos perfiles y superficies mediante la manipulación de parámetros esenciales, como curvas y planos.

1. Iniciamos con un diseño base del Captador, a partir de bocetos que definieron la forma deseada del hiperboloide, que se puede parametrizar, ya sea creando esta geometría directamente en Rhino o utilizando componentes de Grasshopper. Estos componentes nos permiten establecer un diseño paramétrico que abarca aspectos como la altura, superficie de captación, forma, tamaño y orientación.
2. Definimos los parámetros clave del Captador, lo que nos permite ajustar aspectos como dimensiones, ángulos y formas de manera paramétrica.
3. Conforme modificamos estos parámetros en Grasshopper, observamos en tiempo real los cambios en la geometría del Captador en la interfaz de Rhino, lo que nos permite evaluar visualmente su impacto.
4. Una vez que logramos el diseño deseado, exportamos la geometría final desde Rhino a otros programas de diseño, como Illustrator y Photoshop, para su presentación.

Fig. 6.24: Definición de la geometría en Grasshopper.
Elaboración propia.

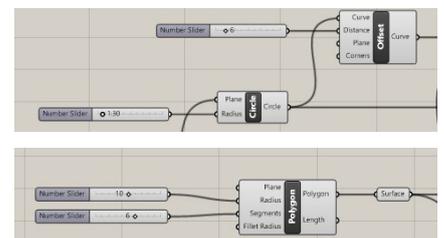
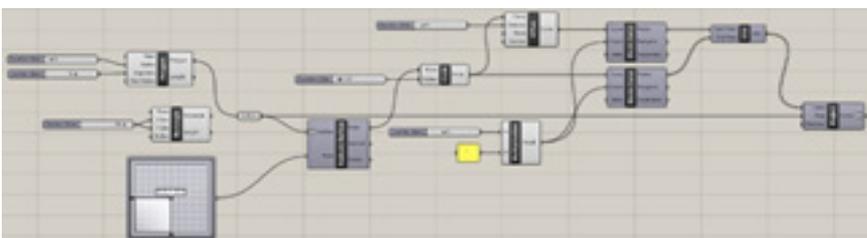


a. Interfaz de grasshopper.



b. Vista en perspectiva.

c. Definición del algoritmo en Grasshopper.



6.5.4. MÓDULO EXPERIMENTAL

Para validar nuestra hipótesis, además de recurrir a los recursos teóricos y la base de datos generada a través de la investigación, optamos por crear un módulo experimental, estas pruebas a escala fueron elaboradas con tubos de PVC, con una escala de 1:20; se realiza con piezas de longitud de barra de 10 cm, con un espesor de 5 mm, en una base de diámetro de 18 cm. Este módulo se basó en una serie de maquetas y experimentos de dinámica estructural, centrándose en estructuras desplegables tipo tijera. Utilizando este módulo, logramos desarrollar un sistema geométrico capaz de desplegarse de acuerdo a la forma deseada. También creamos un modelo paramétrico que nos permitió obtener representaciones digitales de estas proyecciones estructurales.

Los siguientes modelos experimentales [ver Figura 6.25] se realizaron para la selección del tipo de tijera que utilizaríamos, ya que nos proporcionaron aproximaciones clave para definir la estructura geométrica. Estos modelos desempeñaron un papel crucial en la toma de decisiones estructurales y nos permitieron visualizar y evaluar diversas opciones antes de definir la geometría final de nuestro captador de agua desplegable. Esto es de gran importancia, ya que nos permitió desarrollar y poner a prueba prototipos antes de avanzar hacia la construcción 1:1.

Fig. 6.25: Modelos de experimentación de la estructura desplegable.

Elaboración propia



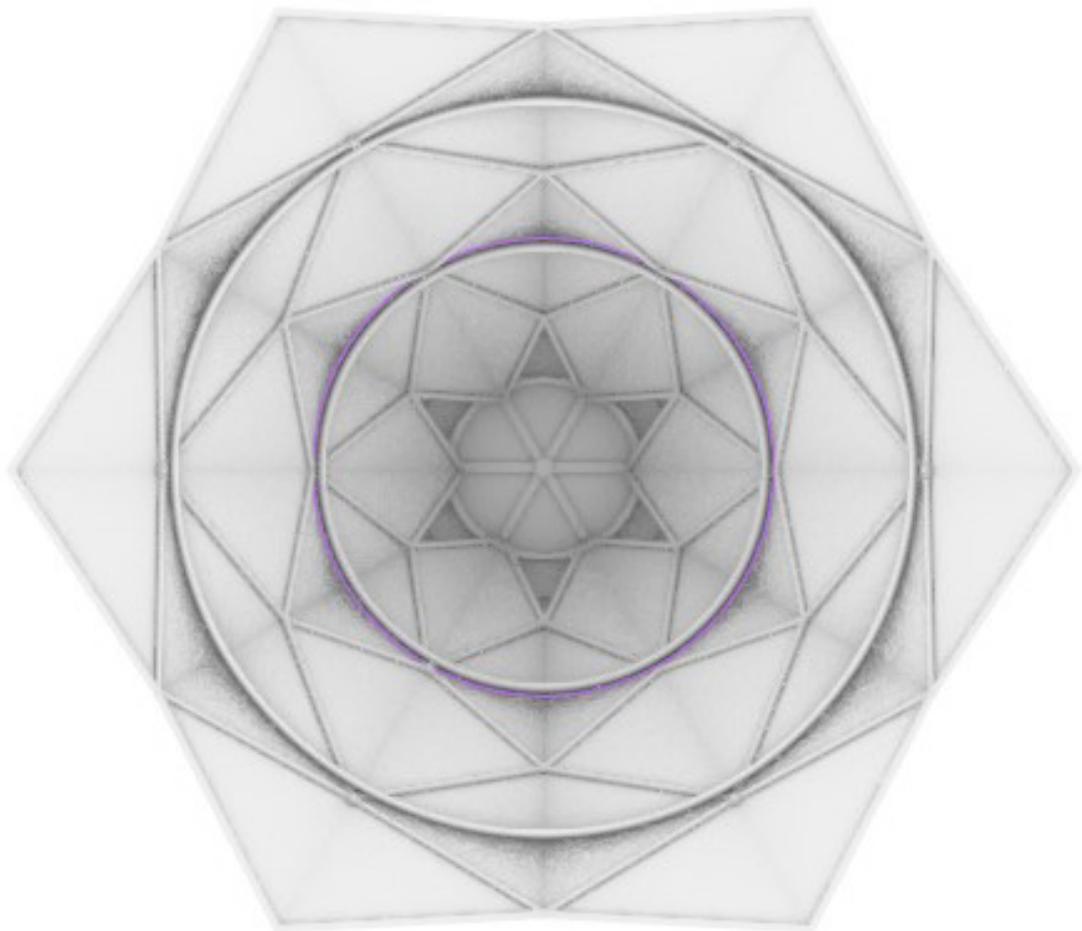
a. Despliegue completo.



b. Despliegue medio.



c. Plegado completo.



Vista en planta del CAI'D

7. Resultados

*“Cada vez que el hombre realiza un experimento, aprende más.
Es imposible que aprenda menos”*

Richard Buckminster Fuller.

El presente documento representa el informe de los resultados obtenidos en el proceso de investigación y cómo, en función de estos resultados, hemos desarrollado una propuesta de Captador de Agua.

Los resultados obtenidos de la investigación, incluyen la recopilación y análisis de datos, procesos de experimentación y pruebas, así como la aplicación de métodos y técnicas de diseño; nos han proporcionado la información esencial para evaluar el cumplimiento de la hipótesis y responder a las preguntas de investigación planteadas al inicio del proyecto. Además, se analiza la forma en que se están enfrentando los desafíos de la escasez de agua mediante sistemas de captación; explorando la viabilidad de la combinar múltiples fuentes de recolección de agua además de la lluvia, como la captación de niebla y rocío. Esta capacidad se presenta como una opción adicional del Captador, que puede albergar varios sistemas de captación de agua en un único dispositivo. Acorde con esto, el objetivo central de la investigación, se concentró en identificar las tecnologías de captación que mejoran la construcción y transportabilidad de un captador de agua de manera asequible. Es por lo anterior, que los resultados de la investigación incluyen información tanto cuantitativa como cualitativa, la cual se presenta a través de tablas, gráficos y análisis estadísticos de diversas instituciones gubernamentales; estos datos respaldan y fortalecen la hipótesis formulada en la investigación.

La materialización de la investigación se traduce en un modelo de utilidad, ya que mejora las características de un captador de agua convencional al ofrecer versatilidad; este captador puede adaptarse a diversas situaciones y, presenta la posibilidad de recolectar agua de diferentes fuentes, como lluvia, niebla o rocío,

a través de cambios en los materiales utilizados; además, se destaca por su estructura ligera, capacidad de despliegue y facilidad de transporte. Para validar la viabilidad del Captador, se desarrolló un modelo de negocio con el objetivo de llevar el producto “Captador” al mercado y obtener una patente; en este caso, un modelo de utilidad. Con este objetivo, se presentó una solicitud para participar en la convocatoria lanzada por el Instituto de Ingeniería de la UNAM (**IIUNAM**) para su incubadora de proyectos innovadores relacionados con tecnologías del agua, llamada **INNODROP**, Incubadora de Talento Hídrico; en colaboración con **Grupo Modelo** y el **Centro Regional de Seguridad Hídrica** de la **UNAM**. Esta convocatoria busca impulsar startups que aborden los principales desafíos para garantizar la seguridad hídrica en México. La entrega de la solicitud tuvo lugar el 16 de octubre de 2023, con la colaboración y apoyo de mis compañeros de generación, Fabiola Mora Baldovino y Omar Adrian Murillo Salas, así como de mi comité sinodal, que incluye al Mtro. Ernesto Ocampo Ruíz y al Mtro. Jorge Rangel Dávalos. En esta entrega se presentó el concepto de la idea, la problemática que se está abordando y cómo se está resolviendo, junto con un modelo de negocio y las métricas esperadas. La participación en esta convocatoria contribuyó significativamente a avanzar en la materialización del proyecto de investigación y promover el desarrollo tecnológico del Captador para su posible inclusión en el mercado.

A continuación, se proporciona un análisis de los resultados, los que incluyen:

1. El análisis comparativo de los casos de estudio.
2. El potencial del proyecto y métricas esperadas.
3. La aplicabilidad y escalabilidad.
4. Innovación y creatividad.
5. Factibilidad técnica.
6. Impacto científico.
7. Impacto social y ambiental.
8. Impacto económico.
9. Viabilidad comercial.
10. Módulo Captador “CAtID”.

1. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS CASOS DE ESTUDIO

Después de revisar los proyectos existentes, con características similares en términos de su forma y aplicabilidad, se decidió analizar cinco de estos proyectos que representan de forma similar a las soluciones realizadas en nuestra idea de Captador. Se realizó la comparación de los casos de estudio [Tabla 6], en la que se evalúa aspectos como el uso, geometría, el costo y datos técnicos, como la cantidad promedio de agua que capturan y dimensiones.

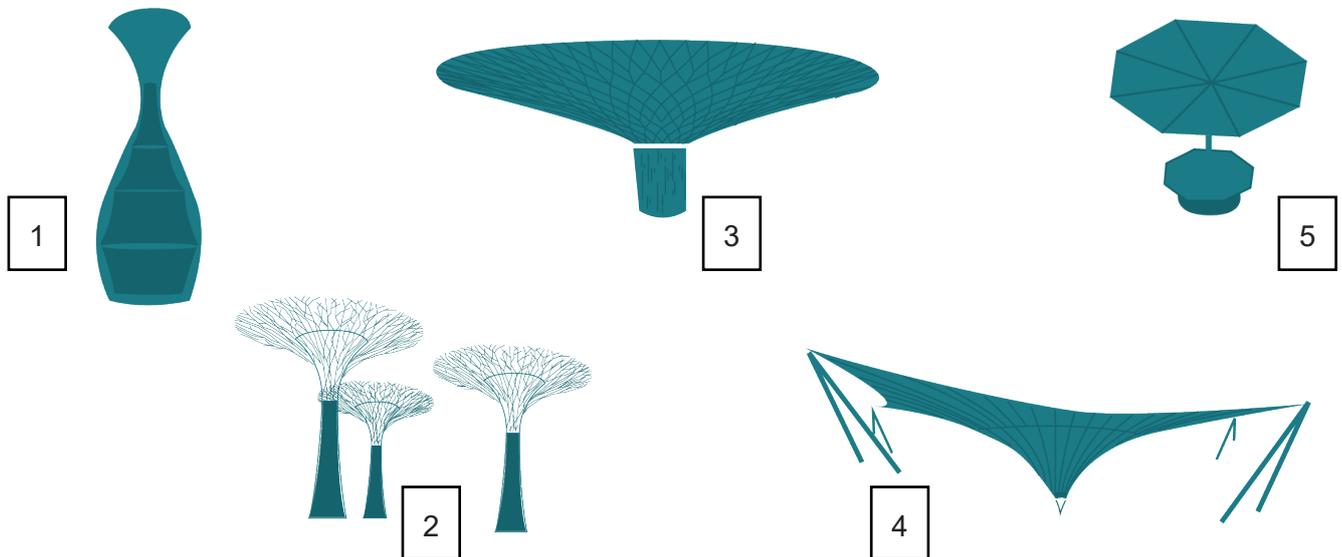
Tab. 6: Comparación de casos de estudio.

Elaboración propia.

Reproducción realizada con fines didácticos.

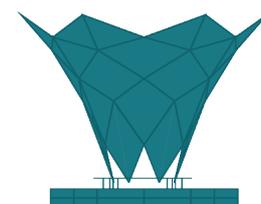
Comparación de casos de estudio. (sección 1)			
CAPTADOR	USO	PROYECTO	UBICACIÓN
1. Warka Tower, 2014	Captador pluvial, niebla y rocío	Architecture and Vision. Italia - Alemania	USA
2. Gardens by the Bay, Jardín, Supertree Grove 2012	Jardín vertical, sombra, captador pluvial	Grant Associates, UK y Wilkinson Eyre Architects, UK	Singapur
3. Jewel Changi, 2019	Cubierta, cascada, captador pluvial	Safdie Architects, Israel	Singapur
4. Campus Nacional de Arqueología de Israel 2019	Cubierta, captador pluvial	Safdie Architects, Israel	Jerusalén, Israel
5. Sistema de recogida de agua pluvial con captador plegable	Captador pluvial	Fundacion: Your own wather	Madrid, España

Iconografía de los caso de estudio.
Elaboración propia.



Comparación de casos de estudio. (sección 2)		
GEOMETRÍA	COSTO	DATOS TÉCNICOS
Hiperboloide	\$15,000.00 MNX \$ 841.70 USD	Agua captada: 100 L/día Materiales: bambú y plástico biodegradable Altura: 10 m Ancho: 4.2 m
Árbol-hiperboloide	1,035 millones USD	Agua captada: 85.44 L/día Materiales: acero y concreto Área: 13 m ² Altura: varía entre 25 y 50m
Toroide	1,300 millones USD	Agua captada: 38,000 L/día Materiales: cristal y acero Área: 135,700 m ²
Paraguas - piramidal	55 millones USD	Agua captada: 1,263.89 L/día Materiales: textil y acero Altura: 40m Área: 35,000m ² Altura: 20 m
Paraguas invertido - piramidal	\$20, 000.00 MNX \$1,123.81 USD	Agua captada: 30.00 L/día Materiales: textil impermeable Área: 3.31 m ²

Un aspecto más a considerar es la comparación de los costos de producción entre los casos de estudio y el Captador “CATID”. Para llevar a cabo esta comparación, se inicia con un análisis de los costos de producción [ver Tabla 7], que incluye la evaluación de los costos de los materiales, equipos, mano de obra y otros costos asociados a su fabricación.



Tab. 7: Análisis de costos de producción.

Elaboración propia.

Análisis de costos de producción.				
PROYECTO: Captador de Agua Desplegable Multifuncional “CATID”.				
UBICACIÓN: Iztapalapa, Ciudad de México.				
IDEA: Arq. Carla Itzel Ortega Álvarez				
ÁREA DE CUBIERTA: 600.80 m ²				
CONSTRUCTOR: UNAM				
MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	IMPORTE MNX
Tubos de PVC reciclado, de 3”, 6 m de largo	16	PZ	\$150.00	\$ 2,400.00
Geomembrana de PVC	54	M2	\$ 84.00	\$ 4,536.00
Malla Raschel 1.00m x 4.00 m	54	M2	\$ 60.00	\$ 3,240.00
Cable de acero galvanizado sin recubrimiento 3/16”	1	PZ	\$ 1,550.92	\$ 1,550.92
Perro para cable de acero 3/16”	8	PZ	\$ 4.00	\$ 32.00
Casquillo 3/16”	8	PZ	\$ 3.69	\$ 29.52
Rejilla de acero inoxidable (atrapa hojas)	5	M2	\$ 347.19	\$ 1,735.95
Nodos de acero inoxidable	12	PZ	\$ 150.00	\$ 1,800.00
Almacenamiento central, 10,000 Litros	1	L	\$ 2,000.00	\$ 5,000.00
			Total Materiales	\$ 20,324.40
MANO DE OBRA, 10%			Total Mano de obra	\$ 2,032.44
GASTOS ASOCIADOS, 10%			Total Mano de obra	\$ 2,032.44
			Total: \$ 24,389.28	

Costos realizados en mayo 2023

Para calcular el volumen captado, primero se realizó la búsqueda de la precipitación promedio en las Normales Climatológicas ([Normales Climatológicas por Estado, s. f.](#)), y el cálculo de la superficie de captación. [ver Tabla 8]

Tab. 8: Promedio mensual de agua captada.

Elaboración propia.

*Datos de precipitación promedio obtenidos del Servicio Meteorológico Nacional, Normales Climatológicas por Estado
Recuperado de <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/normales-climatologicas-por-estado>*

Promedio de agua captada.				
Mes con más y menos lluvias	Precipitación promedio (mm)	Superficie de captación (m ²)	Agua captada promedio (L)	Agua captada promedio (L/día)
julio (+)	127.3	54.00	6,874.2	229.14
diciembre (-)	3.40	54.00	183.6	6.12

Los costos de producción de cada captador se evaluaron y se compararon con el costo de producción del Captador "CAAtID" [ver Tabla 9].

Tab. 9: Comparación de costos de casos de estudio.

Elaboración propia.

Comparación de costos de casos de estudio.			
CAPTADOR	Agua captada día promedio (L)	Costo MNX	Costo USD
CAAtID	229.14	\$ 24,389.28	\$ 1371.54
1. Warka Tower	100.00	\$ 15,000.00	\$ 841.70
2. Supertree Grove	85.44	\$ 18,482,142,857.14	\$ 1,035,000,000.00
3. Jewel Changi	38,000.00	\$ 23,214,285,714.29	\$ 1,300,000,000.00
4. Campus N. A.	1263.89	\$ 982,142,857.14	\$ 55,000,000.00
5. Your own wather	30.00	\$ 20,000.00	\$ 1,123.81

Se realizó un análisis de costos para determinar si la inversión en el captador resulta rentable en comparación con los costos de proyectos similares a la propuesta del Captador. También se evaluó el impacto ambiental del captador, considerando su capacidad para fomentar prácticas sostenibles y reducir la dependencia de fuentes de agua no renovables.

La evaluación del potencial del Captador de agua es un proceso integral que toma en cuenta factores geográficos, climáticos, económicos, ambientales y sociales, y puede variar según las circunstancias específicas de cada ubicación. Sin embargo, realizamos el cálculo del rendimiento de los tres captadores; 1. Warka Tower, 5. Your own wather y el Captador "CAtID, para obtener el Retorno Sobre la Inversión utilizamos la siguiente formula:

$$\text{Retorno Sobre la Inversión} = \frac{(\text{beneficio, Cantidad de agua captada})}{(\text{inversión, Costo total del captador})} \times 100$$

Esta fórmula se utiliza para determinar la eficiencia o rendimiento del sistema. El rendimiento se expresa como un porcentaje; cuanto mayor sea el Retorno Sobre la Inversión, más eficiente es el sistema.

Tab. 10: Retorno Sobre la Inversión.

Elaboración propia.

Retorno Sobre la Inversión.			
	BENEFICIO	INVERSIÓN	RENDIMIENTO
CAtID	229.14	\$ 24,389.28	0.93
Warka Tower	100.00	\$ 15,00.00	0.66
Your own wather	30.00	\$ 20,000.00	0.15

El costo calculado es de \$24,389.28, lo que lo coloca por encima en comparación con los otros casos; sin embargo, el “CATID” puede captar un promedio diario de 229.14 litros, en los días más lluviosos, situándolo por encima de los demás casos de estudio. Al calcular el Retorno Sobre la Inversión, obtenemos un rendimiento superior en comparación con los casos estudiados.

El Captador “CATID” destaca por su vida útil variable según el tipo de membrana utilizada. Sus materiales están seleccionados para resistir el deterioro causado por la exposición al entorno. La durabilidad del Captador constituye una de sus ventajas competitivas en comparación con los otros dos modelos.

Fig. 7.1: Gráfica comparativa de costos de producción.
Elaboración propia.

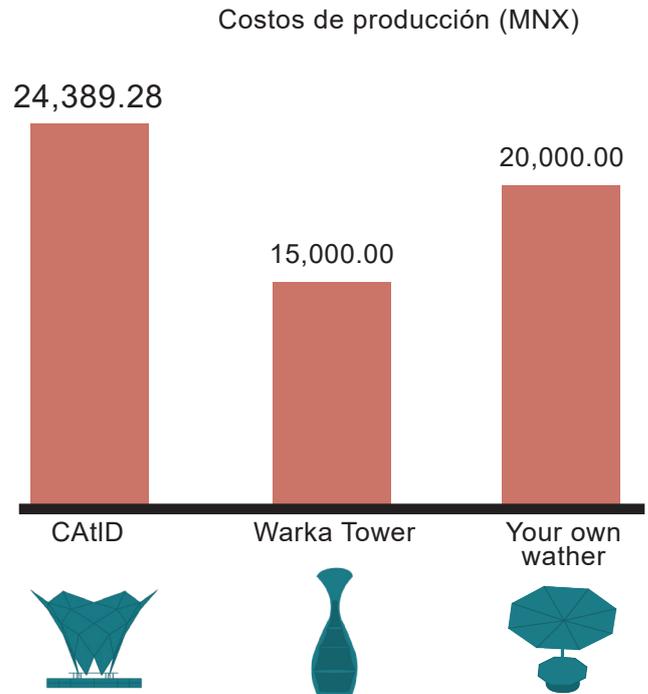
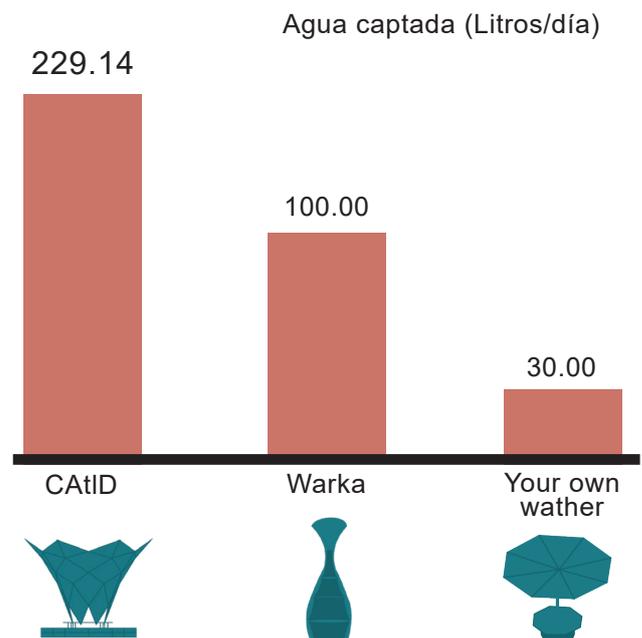


Fig. 7.2: Gráfica comparativa de agua captada.
Elaboración propia.



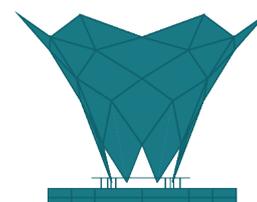
2. POTENCIAL DEL PROYECTO Y MÉTRICAS

El Captador representan una opción vanguardista para recolectar y almacenar agua de lluvia, niebla y rocío con el fin de aliviar la escasez de recursos hídricos y promover prácticas respetuosas con el medio ambiente.

A través de esta comparación de costos, se pretende proporcionar una visión integral de las opciones disponibles en el mercado de captadores de agua.

Información técnica del Captador "CAtID".
Costo: \$24,389.28 MNX
Agua captada: 229.14 Litros
Superficie de captación: 54.00 m ²
Altura: 5.50 m
Diámetro superior: 7.20 m
Diámetro base: 1.10 m

Tab. 12: Información técnica del Captador "CAtID".
Elaboración propia.



Tab. 11: Métricas esperadas.
Elaboración propia.

Métricas esperadas.	
DEMANDA	Alcaldía Iztapalapa: aproximadamente 1,835,486 millones de habitantes. (INEGI)
POBLACIÓN OBJETIVO	7,385 establecimientos del manufacturero 2,715 Industria alimentaria 912 Industria de las bebidas y del tabaco 910 Fabricación de productos metálicos (SEDECO)
COSTOS DE PRODUCCIÓN	\$ 24,389.28
COMPETENCIA	Captador Warka Water \$ 15,000.00 Captador Your own wather \$ 20,000.00
AHORRO DE AGUA	70% de ahorro en el consumo.

3. APLICABILIDAD Y ESCALABILIDAD

El Captador tiene como objetivo recoger y almacenar agua, ofreciendo un diseño versátil y adaptable para su desempeño en diversas ubicaciones y condiciones, teniendo en cuenta factores como el clima, la disponibilidad de agua de lluvia, el tamaño del sistema y las necesidades hídricas. Además de su función principal, también proporciona un entorno de convivencia y recreación. Esta versatilidad le permite adaptarse eficazmente a diferentes entornos, desde plazas públicas hasta edificios comerciales, instalaciones industriales y proyectos de mayor escala, ya sean en áreas urbanas o rurales. Su tamaño y capacidad son ajustables para satisfacer las demandas específicas de cada contexto, desde pequeños captadores residenciales hasta sistemas más grandes para edificios comerciales o industriales.

4. INNOVACIÓN Y CREATIVIDAD

La idea principal se centra en el desarrollo de un captador de agua desplegable de múltiples usos. El Captador es un sistema de recolección de agua desplegable que ofrece versatilidad en la recolección de agua desde diversas fuentes, como lluvia, niebla o rocío, a través de modificaciones en el material recolector. Este sistema representa una mejora significativa respecto a los enfoques tradicionales de recolección de agua, con el propósito de ampliar su impacto en términos ambientales, económicos y sociales. Su distintiva característica radica en su versatilidad, permitiendo su uso en diversas situaciones y adaptándose a la recolección de agua desde distintas fuentes, como la lluvia, la niebla o el rocío, a través de modificaciones en el material recolector. La estructura, similar a un paraguas invertido, permite expandir la superficie de recolección al desplegarse. Se destaca por su innovación en arquitectura e ingeniería y su capacidad de adaptación a diferentes contextos y enfoques. Es único en el mercado debido a su capacidad de despliegue, versatilidad y transporte, lo que lo diferencia de otros sistemas de recolección estáticos. Su diseño flexible le permite ajustarse a las condiciones cambiantes del entorno y las necesidades de los usuarios con el tiempo, lo que lo hace una solución atemporal.

5. FACTIBILIDAD TÉCNICA

La estructura del Captador es ligera y desplegable, compuesta por barras en forma de tijera que crean una forma similar a un hiperboloide de un solo manto. La superficie recolectora tiene una forma piramidal y es intercambiable según la fuente de agua. Este material puede intercambiarse por diferentes tipos de textiles, como materiales hidrófilo e hidrófobos, malla sombra o malla Raschel, según la fuente de agua que se desee recolectar, ya sea lluvia, niebla o rocío. Estos materiales son seguros para el contacto con agua destinada al consumo humano. La tecnología se inspira en la eficiencia de un panal de abejas, organizando módulos hexagonales. Esta aproximación biomimética, permite una resistencia estructural eficiente, uso efectivo del espacio y reducción de materiales, lo que puede resultar en edificaciones más sostenibles y económicamente eficientes. La infraestructura de distribución es crucial para llevar el agua captada a su destino, ya sea para uso residencial o industrial, y requiere consideraciones de almacenamiento y filtración.

6. IMPACTO CIENTÍFICO

La investigación tecnológica impulsa avances significativos en diversas disciplinas, como ciencia de materiales, diseño arquitectónico y tecnologías del agua, abriendo oportunidades para futuros estudios científicos. Esta investigación aborda la escasez de agua debido al cambio climático y a la disminución de los recursos hídricos, desarrollando tecnología para capturar y almacenar agua eficientemente en regiones con recursos limitados; como Iztapalapa en la Ciudad de México, una zona particularmente afectada por la falta de acceso al agua.

7. IMPACTO SOCIAL Y AMBIENTAL

La propuesta del Captador aboga por el desarrollo sostenible, mejorando la calidad de vida y la equidad. En áreas propensas a sequías e inundaciones, ofrece una fuente de agua adicional y fomenta la conciencia ambiental. Además, genera empleo local y mejora la eficiencia y estética del entorno. Desde una perspectiva ambiental, alivia la presión sobre fuentes de agua dulce, reduce inundaciones y

disminuye la huella de carbono al reducir la demanda de tratamiento y distribución de agua potable. El Captador tiene un impacto social positivo al proporcionar acceso a agua, reducir costos y mejorar la resiliencia, y un impacto ambiental positivo al conservar el agua y promover prácticas sostenibles en la gestión del agua. Estos beneficios lo convierten en una herramienta valiosa para abordar desafíos sociales y ambientales.

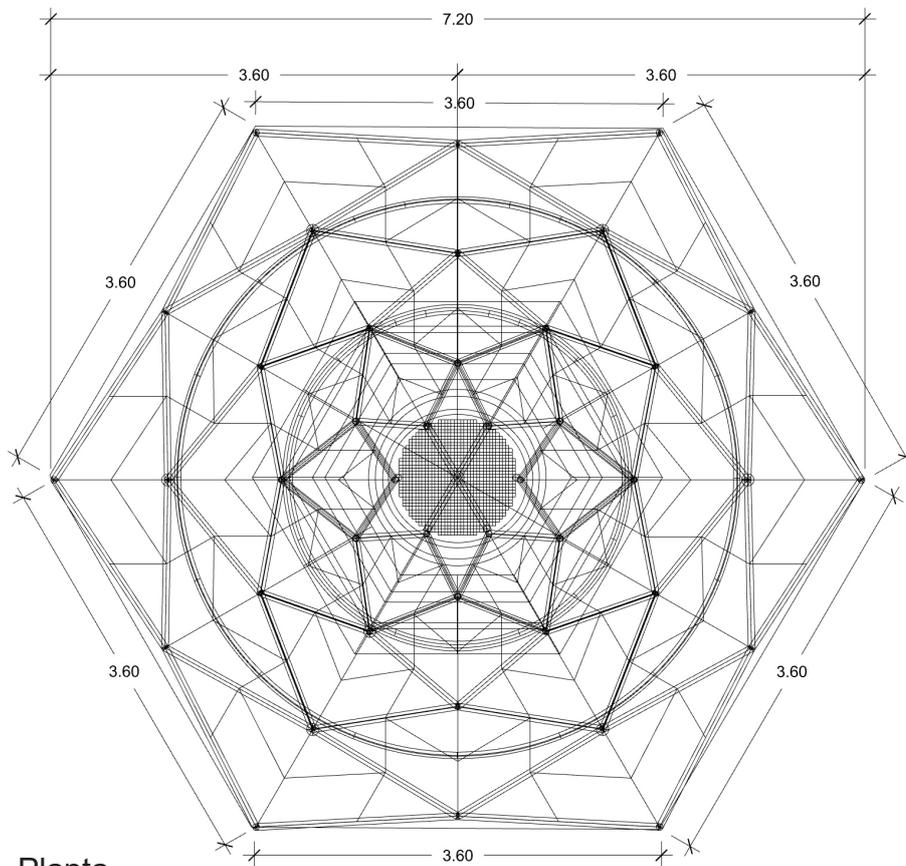
8. IMPACTO ECONÓMICO

Uno de los impactos económicos más notables del Captador es el ahorro en las facturas de agua, que puede llegar al 70%. Al recolectar y usar agua de lluvia para tareas como riego, limpieza y consumo doméstico, se reducen los gastos relacionados con el suministro de agua, lo que es especialmente beneficioso en áreas con escasez de agua o tarifas elevadas. A largo plazo, esto se traduce en ahorros significativos y una menor huella ambiental. En regiones propensas a la sequía, los sistemas de captación de agua aumentan la resiliencia al proporcionar una fuente de agua en condiciones de escasez. Para hogares y comunidades que compran agua, un captador reduce significativamente los gastos, liberando recursos para otras necesidades. Los costos del Captador se ven principalmente influenciados por el precio del textil colector, ya que la producción en serie y el montaje en taller hacen que la instalación in situ sea eficiente y se puedan reutilizar en diferentes lugares, lo que garantiza su competitividad y viabilidad en el mercado.

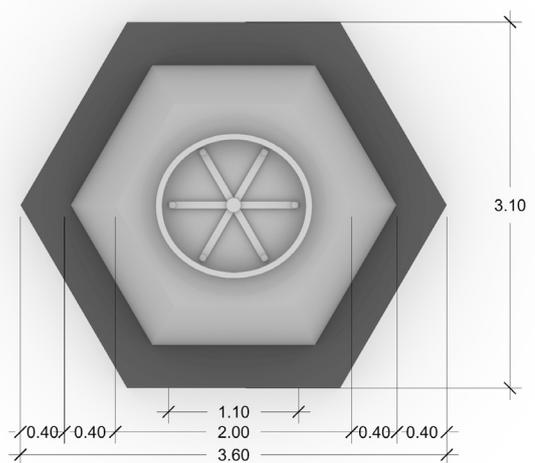
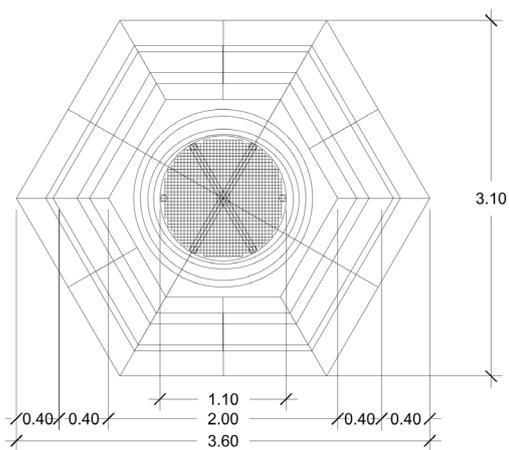
9. VIABILIDAD COMERCIAL

El mercado del Captador se enfoca en áreas con escasez de agua, como es el caso del sitio de estudio en Iztapalapa, Ciudad de México, generando una alta demanda por sistemas alternativos de obtención de agua. Su sostenibilidad a largo plazo y versatilidad en diversos entornos son ventajas competitivas únicas. A pesar de la competencia, las ventajas competitivas que ofrece esta propuesta la hacen única en su segmento; una estrategia de marketing efectiva es esencial para llegar al público objetivo a través de diversos medios publicitarios.

10. MÓDULO CAPTADOR "CATLD".

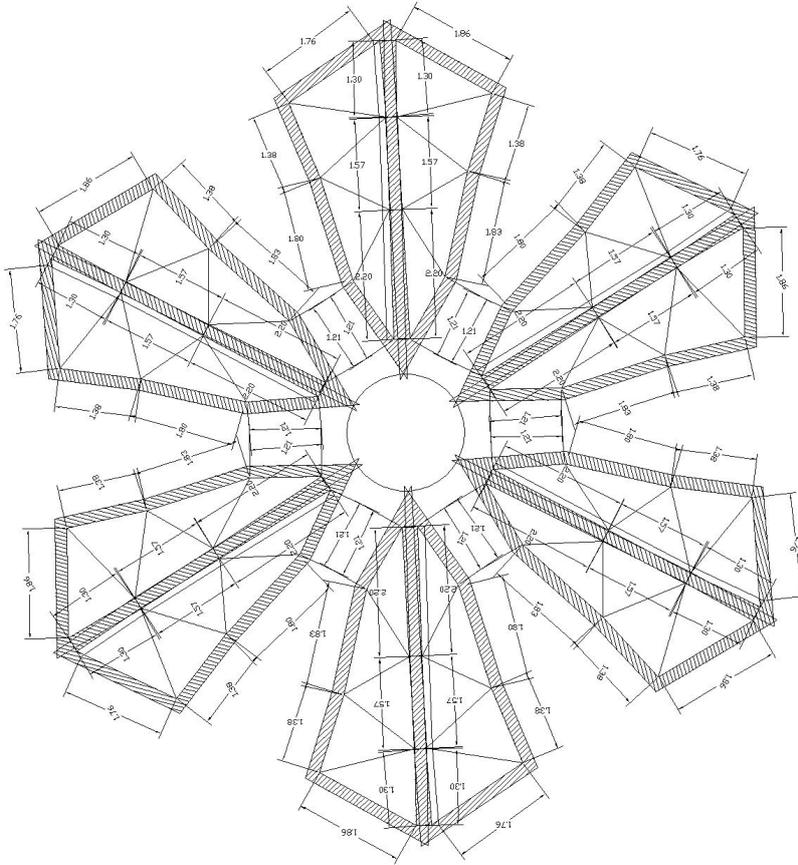


Planta



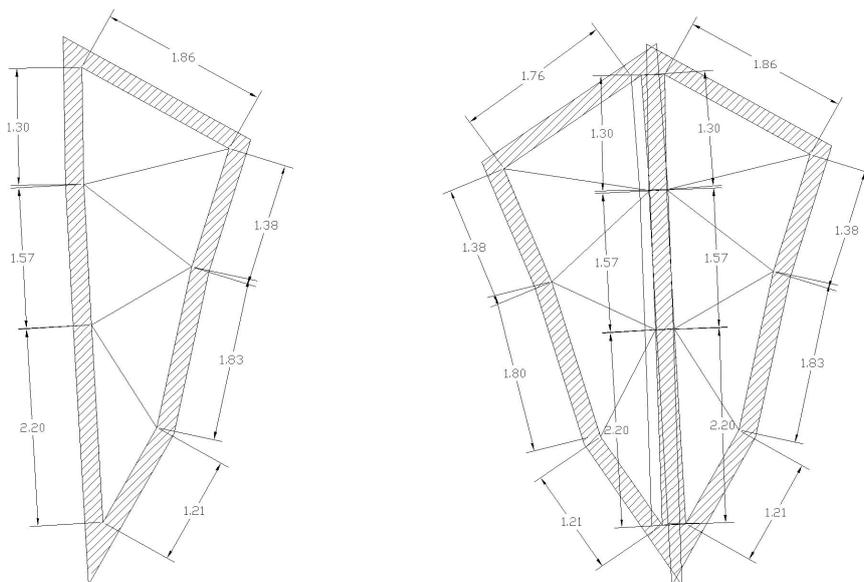
Planta

Tanque central.



Planta

Lienzos de la membrana.



Lienzo tipo

12 lienzos para cubrir la estructura desplegable.





LOCALIZACION



SIMBOLOGIA

NOTAS

No medir directamente a escala.
 Las cotas rigen el dibujo.
 Verificar cotas y niveles en obra.
 La información contenida en el plano pertenece a este plano correspondiente a la clave establecida.

CUBIERTA LIGERA Y MOBILIARIO

IDENTIFICACION

P-01

UBICACION: Alc. Iztaapalapa, CDMX

PROYECTO: ESTRUCTURAL

OBJETIVO: Captador de agua

ARQUITECTA: ANA CARLA ITZEL ORTEGA ALVAREZ

PROYECTO: CUBIERTA LIGERA Y MOBILIARIO

NO. DE PLANOS: S/E

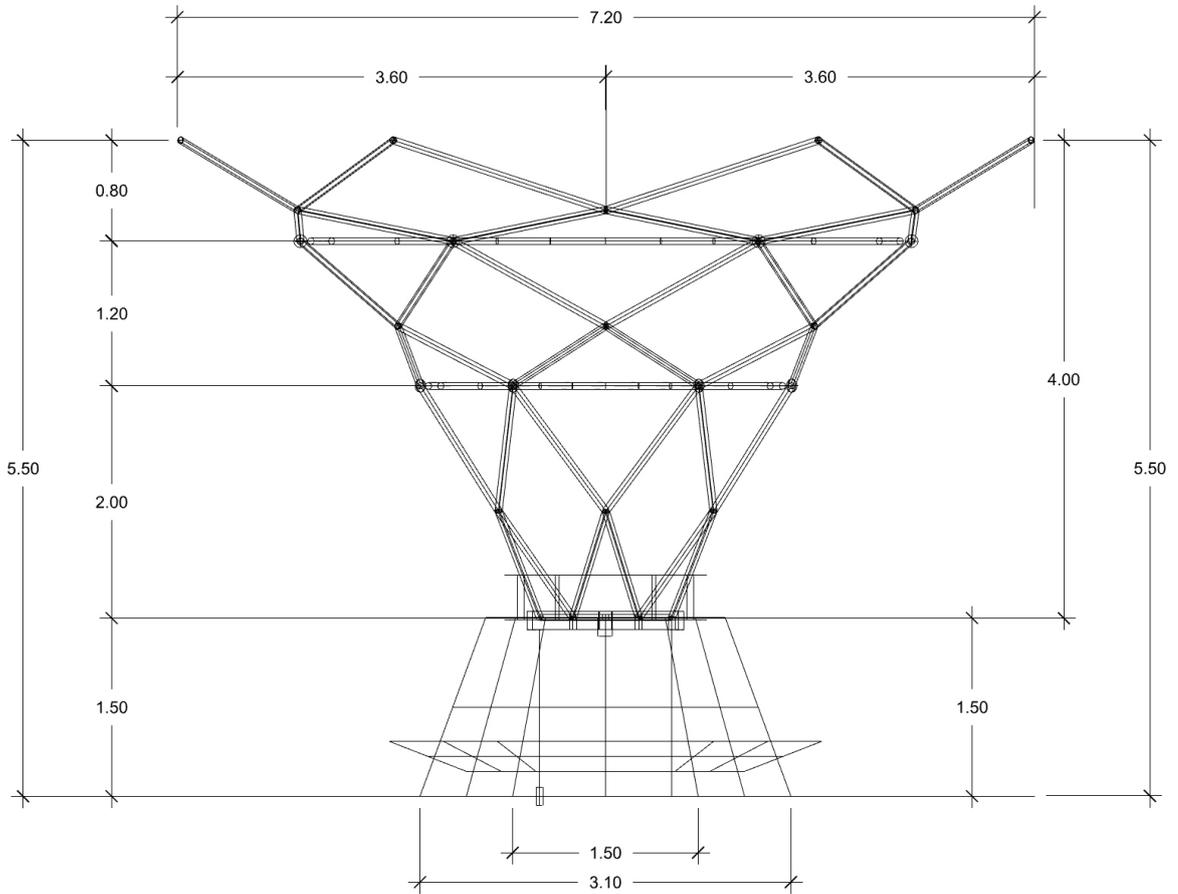
PROYECTO: ESTRUCTURAL

FECHA: Enero 2004

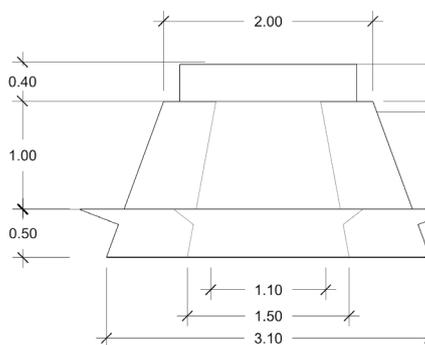
PROYECTO: S/E

PROYECTO: S/E

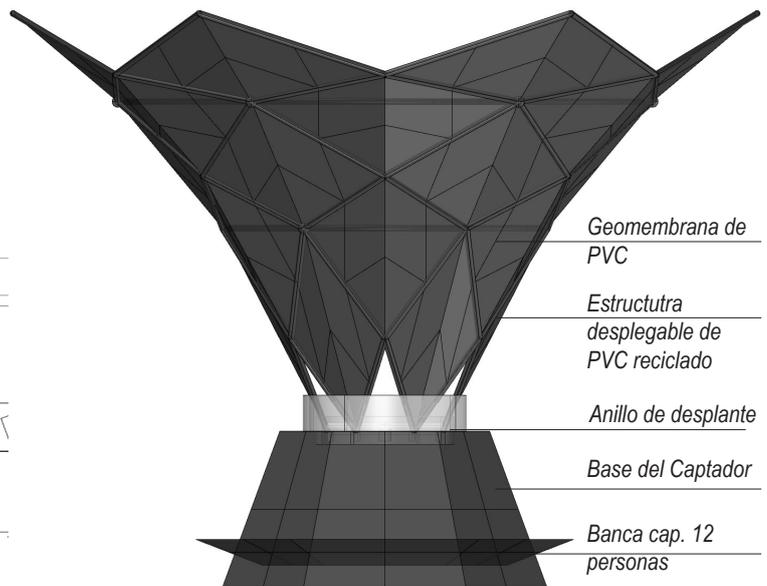
PROYECTO: S/E

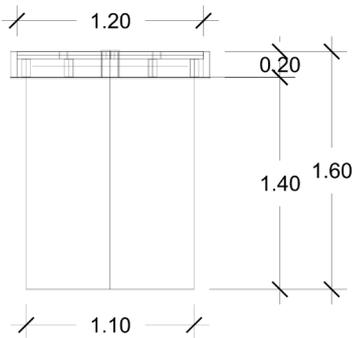


Alzado

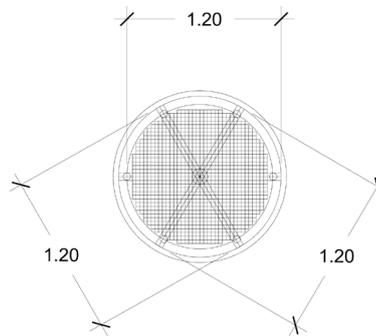


Alzado, tanque central



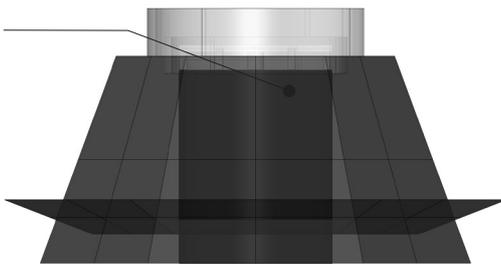


a. Alzado, tanque central de almacenamiento de agua.

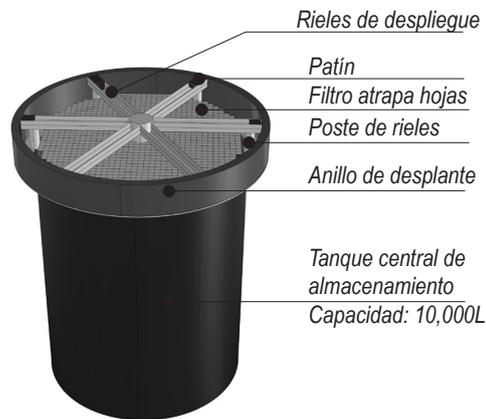


b. Planta, tanque central de almacenamiento.

Tanque central de almacenamiento
Capacidad: 10,000L



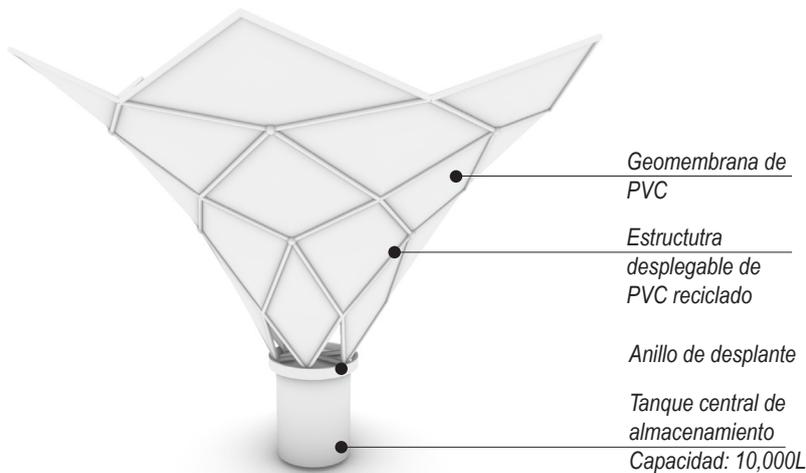
c. Alzado, base del Captador y el tanque central



d. Isométrico, tanque central de almacenamiento.

Detalle

Anillo de desplante y tanque central de almacenamiento.



Perspectiva, tanque central.

Fig. 7.1: Render en perspectiva del ensamble de la red de captadores “CATID”.
Propuesta final.

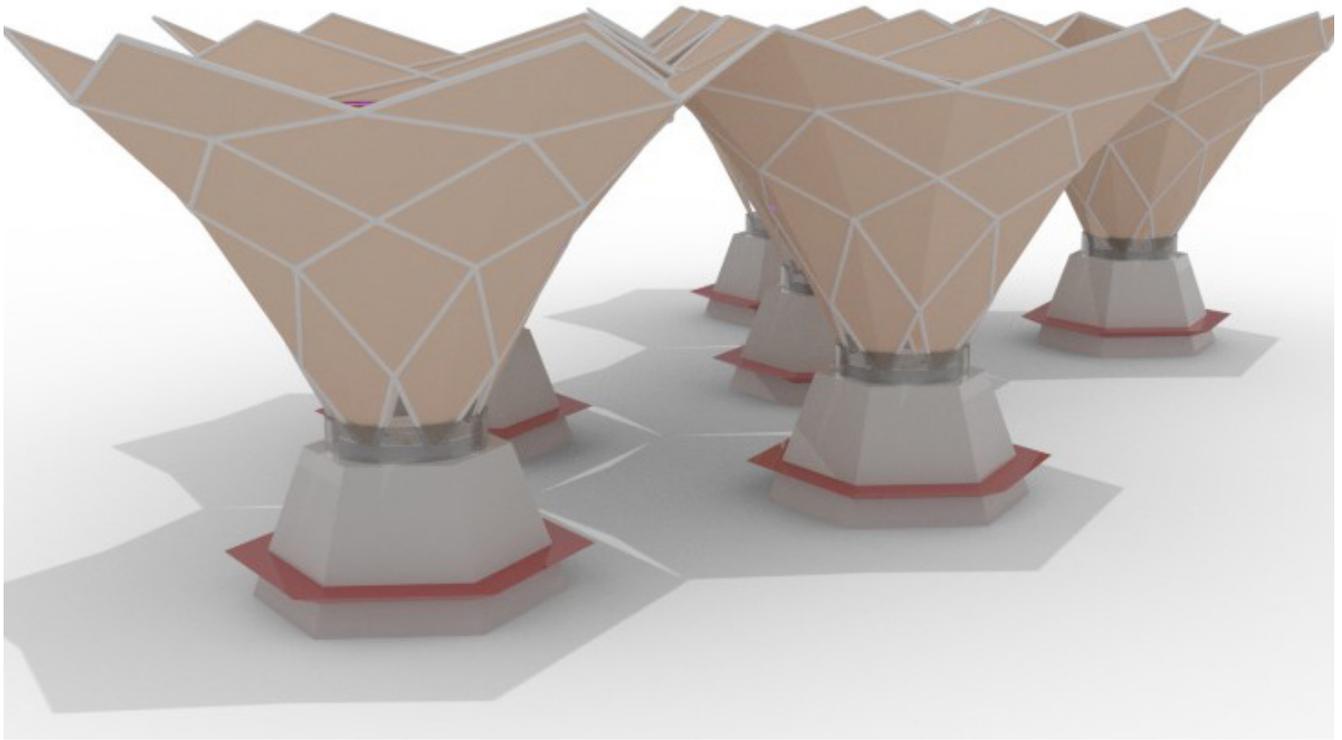


Fig. 7.2: Render red de captadores “CATID”.
Propuesta final.

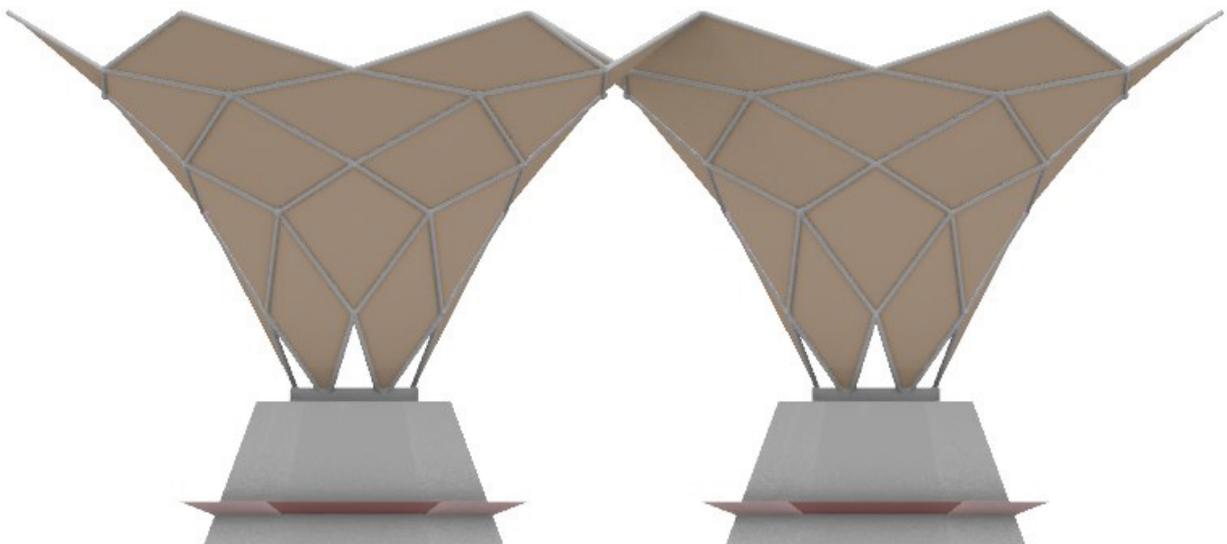


Fig. 7.3: Imagen Fotorrealista.
Propuesta final.



Conclusiones

Tras la investigación realizada, se ha concluido que, a pesar de la existencia de captadores pluviales con características similares, la propuesta que estamos desarrollando se distingue por su capacidad de despliegue, sus múltiples usos para recolectar agua pluvial, niebla y rocío, y además, funciona como mobiliario urbano. Las estructuras transformables tienen una dimensión adicional, que es el tiempo, lo que les permite evolucionar y adaptarse en lugar de mantenerse estáticas. Estas estructuras se ajustan a las condiciones ambientales, influencias estructurales y las cambiantes necesidades de los usuarios a lo largo del tiempo. Esto la convierte en una solución altamente transportable, de fácil instalación y de bajo costo.

El enfoque de la captación de agua de diversas fuentes, ya sea pluvial, de niebla o rocío, representa un cambio de paradigma en el desarrollo de las ciudades. Las ciudades, como sistemas complejos que necesitan una variedad de recursos y que también generan residuos, tienen la capacidad de obtener sus propios recursos y generarlos, lo que les permite convertirse en ciudades resilientes capaces de producir su propia energía renovable y recolectar sus recursos internos. Este enfoque da lugar a diversas estrategias y propuestas tecnológicas para la implementación de infraestructura y sistemas que mejoren la eficiencia de los sistemas urbanos. Nuestra investigación presenta una opción para hacer que la ciudad sea más eficiente en términos de su consumo de agua y sus requisitos para un funcionamiento adecuado, lo que la convierte en un sistema independiente de los suministros convencionales y la hace autosuficiente.

En la búsqueda de soluciones para captar y almacenar agua de manera más eficiente, se han observado avances notables en tecnologías biomiméticas y métodos de captación de agua en diversas superficies, como edificios y vehículos. Nuestra propuesta de captación de agua mediante estructuras desplegadas se destaca por su excepcional eficiencia y singularidad. A pesar de la falta de interés común en la arquitectura por estas estructuras, es crucial promover su utilidad y fomentar la investigación para aumentar su aceptación. En México, las estructuras desplegadas tienen un potencial significativo en la construcción, ofreciendo soluciones móviles

y temporales que optimizan el espacio durante el transporte y expanden su funcionalidad en el lugar de destino. La exploración de materiales respetuosos con el medio ambiente es esencial en este contexto. A nivel global, las tecnologías de aprovechamiento del agua son fundamentales en la lucha contra la escasez de agua y contribuyen a mejorar la calidad de vida en áreas afectadas por la sequía y la falta de infraestructura hidráulica. La adopción de nuevas tecnologías puede ser un proceso desafiante, especialmente en ciudades como la Ciudad de México, que tienden a ser conservadoras en cuanto a sus sistemas hidráulicos. Sin embargo, el aumento de la conciencia ambiental en los últimos años ha impulsado la implementación de soluciones innovadoras para abordar el cambio climático. La participación de diversos sectores y la ciudadanía son cruciales en este esfuerzo.

La escasez de agua es un desafío global de gran envergadura. Para abordar este problema en México y garantizar la disponibilidad de recursos hídricos para las futuras generaciones, es imperativo desarrollar nuevas tecnologías. La colaboración y el compromiso de todos los actores son esenciales para asegurar un futuro sostenible. El crecimiento poblacional en la Ciudad de México está aumentando la demanda de agua, pero los recursos son limitados. La captación de agua desempeña un papel clave en la reducción de la demanda de agua potable y en la preservación de los recursos hídricos actuales. Aunque no existe en el mercado actual un sistema de captación de agua desplegable multifuncional, se han desarrollado proyectos con geometrías similares efectivos para recolectar agua de lluvia. Nuestra investigación han demostrado que este sistema es compacto y fácil de transportar. Por lo tanto, es viable incorporar sistemas desplegables en entornos urbanos, siempre que se cumplan las especificaciones necesarias en términos de resistencia de materiales y estabilidad ante condiciones climáticas adversas.

Visión al futuro

Las predicciones ambientales exigen acción inmediata y requieren la colaboración de todos los sectores de la sociedad. Las proyecciones demográficas apuntan a un cambio hacia una población más uniforme en edades, con un aumento en la esperanza de vida y un promedio de edad de 40-50 años en México en las próximas cinco décadas (BALTAZAR, 2021).

Es fundamental llevar a cabo investigaciones en curso que involucren a la ciencia, la tecnología y la innovación como componentes esenciales de este desarrollo. Esta perspectiva se basa en la creación de escenarios futuros que se apoyan en datos recopilados por instituciones especializadas en la recopilación y el monitoreo de información, datos que respaldan la hipótesis de esta investigación. En la sociedad actual, es claro que las innovaciones tecnológicas desempeñan un papel de relevancia en diversos ámbitos, particularmente en la búsqueda de nuevos enfoques de construcción que permitan la rápida creación de espacios versátiles y construibles (Morales, 2016a). No obstante, vale la pena señalar que las condiciones económicas de los países desarrollados les conceden la capacidad de asumir los costos relacionados con soluciones basadas en estructuras desplegadas. Sin embargo, es imperativo considerar las condiciones climáticas específicas en el proceso de diseño, ya que es necesario asegurar la protección tanto de los usuarios como de las estructuras contra los efectos de los factores meteorológicos externos (Pérez-Valcárcel, Freire-Tellado, Muñoz-Vidal, et al., 2019). Las áreas urbanas pueden reducir la demanda al cambiar comportamientos o adoptar tecnologías específicas. (Agudelo-Vera et al., 2012)

El "CAfID" (Captador de Agua Desplegable Multifuncional) considera, a futuro, sistemas de automatización y detección de humedad con la posibilidad de movilidad para redirigir el captador y, con esto, desarrollar un Sistema Inteligente de Captación de agua. Se contempla continuar con el modelo de utilidad para obtener la propiedad intelectual del desarrollo y seguir mejorando la estructura desplegable y el sistema de captación para su futura incorporación y uso en el mercado.

Recomendaciones

1. Es crucial analizar la estrategia de desarrollo a largo plazo del captador de agua, respaldada por una clasificación de datos precisa, considerando factores como la calidad del agua recolectada y la necesidad de filtración antes de su uso potable.
2. Calcular el tamaño de los tanques de agua de lluvia requiere considerar dimensiones de captación, demanda de agua y datos de precipitación histórica. Consultar a un especialista es aconsejable, y las necesidades varían según la región.
3. Descartar los primeros litros de agua de lluvia recolectada es vital para eliminar impurezas. Se pueden usar filtros y es importante mantener los sistemas y tanques limpios.
4. El tratamiento del agua de lluvia varía según su uso. Para consumo humano, se requieren métodos avanzados, y siempre se debe seguir protocolos de seguridad. ([Organización Mundial de la Salud, 2018](#))
5. La resistencia al viento es crucial en el diseño de estructuras ligeras, requiere un diseño cuidadoso, materiales adecuados y una instalación precisa.
6. Es crucial mantener adecuadamente los captadores para garantizar una protección efectiva contra inundaciones. La vegetación es esencial para la permeabilidad del sistema de biorretención. El mantenimiento regular es necesario para eliminar desechos y garantizar su funcionamiento.

Lista de Figuras, Tablas

Fig. 1.1: Imagen del Contraste de Ciudad de México.	4
Fig. 1.2: Imagenés de la sequía en México - Presa Villa Victoria.	5
Fig. 1.3: Gráfica del porcentaje anual de uso de agua.	6
Fig. 1.4: Tipos de clima en México.	8
Fig. 1.5: Monitor de Sequía de México 2023.	9
Fig. 1.6: Atlas de riesgo hídrico en México.	13
Fig. 2.1: Diagrama de las teorías, visiones y filosofías al rededor de la investigación.	23
Fig. 2.2: Esquema de despliegue estructural.	25
Fig. 3.1: Coliseo Romano y su sistema de “Velum”.	28
Fig. 3.2: Silla egipcia, primera estructura desplegable.	28
Fig. 3.3: Yurtas tradicionales.	29
Fig. 3.4: Tiendas desplegadas durante la Segunda Gerra Mundial.	29
Fig. 3.5: Arquitectura de los nómadas de norteamérica.	31
Fig. 3.6: Nómadas en la actualidad.	31
Fig. 3.7: Arquitectura en movimiento.	32
Fig. 3.8: Línea de tiempo en la arquitectura desplegable.	33
Fig. 3.9: Richard Buckminster Fuller.	34
Fig. 3.10: Arquitecto Emilio Pérez Piñero mostrando su estructura desplegable.	35
Fig. 3.11: Teatro ambulante de Emilio Pérez Piñero.	36
Fig. 3.12: Sergio Pellegrino.	37
Fig. 3.13: Laboratorio de Estructuras Espaciales del profesor Sergio Pellegrino.	37
Fig. 3.14: Arco Olímpico Hoberman.	38
Fig. 3.15: Chuck Hoberman.	38
Fig. 3.16: Forma básica de un sistema tipo tijera lineal.	41
Fig. 3.17: Fuerzas que actúan en una estructura desplegable tipo tijera.	42
Fig. 3.18: Fuerzas externa ejercida sobre la estructura desplegable.	43
Fig. 3.19: Fuerza de torsión, ejercidas sobre la estructura desplegable.	43
Fig. 3.20: Aplicación del origami en la arquitectura.	44
Fig. 3.21: Imagen de Akira Yoshizawa: el gran maestro del origami.	45
Fig. 3.22: Robert J. Lang.	46
Fig. 3.23: Tomohiro Tachi.	46
Fig. 4.1: Iconografía de los caso de estudio.	53
Fig. 4.2: Captador de agua Warka Tower.	54
Fig. 4.3: Parque Gardens by the Bay.	55
Fig. 4.4: Aeropuerto Internacional de Singapur.	56
Fig. 4.5: Campus Nacional de Arqueología de Israel.	57

Fig. 4.6: Imagen de la patente de Your Own Water.	58
Fig. 5.1: Iztapalapa.	66
Fig. 5.2: Zona urbana de Iztapalapa.	67
Fig. 5.3: Gráfica del promedio mensual de lluvia en Iztapalapa.	69
Fig. 5.4: Gráfica de la temperatura máxima y mínima promedio en Iztapalapa (°C).	70
Fig. 5.5: Gráfica de la velocidad promedio mensual del viento en Iztapalapa (k/h).	71
Fig. 5.6: Gráfica de los 10 países con más población en el mundo.	72
Fig. 5.7: Gráfica del crecimiento de la población en México a 2027.	72
Fig. 5.8: Gráfica de la evolución demográfica en Iztapalapa.	73
Fig. 5.9: Gráfica de la población total por alcaldía, 15 de marzo 2020.	73
Fig. 6.1: Captador de Agua Desplegable Multifuncional “CAtlD”.	78
Fig. 6.2: Símbolo náhuatl del agua “ATL”.	78
Fig. 6.3: Primer Módulo “CAtlD”.	79
Fig. 6.4: Segundo Módulo “CAtlD”.	80
Fig. 6.5: Tercer Módulo “CAtlD”.	80
Fig. 6.6: Usos del Captador.	80
Fig. 6.7: Esquema descriptivo del Captador de Agua Desplegable Multifuncional	81
Fig. 6.8: Esquema de funcionamiento del Captador.	82
Fig. 6.9: Captación de agua (pluvial, niebla y rocío).	83
Fig. 6.10: Diagrama de la metodología de diseño.	87
Fig. 6.11: Geometría del hiperboloide.	88
Fig. 6.12: Hiperboloide de un manto.	88
Fig. 6.13: Asintotas del hiperboloide.	89
Fig. 6.14: Esquema de la sección de la geometría del hiperboloide.	91
Fig. 6.15: Red hexagonal de captación.	92
Fig. 6.16: Geometrización hexagonal del “CAtlD”.	93
Fig. 6.17: Modelos de variantes de la estructura volumétrica del “CAtlD”.	94
Fig. 6.18: Render del Captador “CAtlD”.	96
Fig. 6.19: Alzado del Captador “CAtlD”.	96
Fig. 6.20: Diagrama de proceso de la investigación.	99
Fig. 6.21: Sistema tipo tijeras del “CAtlD”.	100
Fig. 6.22: Tipos de tijeras del “CAtlD”.	101
Fig. 6.23: Efecto del viento por volteo y desplazamiento.	102
Fig. 6.24: Definición de la geometría en Grasshopper.	103
Fig. 6.25: Modelos de experimentación de la estructura desplegable.	104

Fig. 7.1: Render en perspectiva del ensamble de la red de captadores “CATID”.	122
Fig. 7.2: Render red de captadores “CATID”.	122
Fig. 7.3: Imagen Fotorrealista.	123

Tab. 1: Estadísticas sobre el agua potable y drenaje en la Ciudad de México.	68
Tab. 2: Temporadas de lluvia en Iztapalapa.	68
Tab. 3: Temperatura en Iztapalapa.	69
Tab. 4: Actividades económicas principales.	74
Tab. 5: Informe anual de pobreza y rezago social en Iztapalapa 2022.	75
Tab. 6: Comparación de casos de estudio.	108
Tab. 7: Análisis de costos de producción.	110
Tab. 8: Promedio mensual de agua captada.	111
Tab. 9: Comparación de costos de casos de estudio.	111
Tab. 10: Retorno Sobre la Inversión.	112
Tab. 11: Métricas esperadas.	114
Tab. 12: Información técnica del Captador “CATID”.	114

Referencias

- Academies, N. (2007, septiembre 1). Safe Drinking Water Is Essential [Text]. Reports from the National Academies; National Academies. <https://www.koshland-science-museum.org/water/html/es/Treatment/Filtration-Systems.html>
- Agua.org. (2017). Visión general del Agua en México. Agua.org.mx. <https://agua.org.mx/cuanta-agua-tiene-mexico>
- Agudelo-Vera, C. M., Leduc, W. R. W. A., Mels, A. R., & Rijnaarts, H. H. M. (2012). Harvesting urban resources towards more resilient cities. Resources, Conservation and Recycling, 64, 3-12. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.01.014>
- Aldaya, M. M., Chapagain, A. K., Hoekstra, A. Y., & Mekonnen, M. M. (2012). The Water Footprint Assessment Manual (0 ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781849775526>
- Alegria Mira, L., Filomeno Coelho, R., Thrall, A. P., & De Temmerman, N. (2015). Parametric evaluation of deployable scissor arches. Engineering Structures, 99, 479-491. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2015.05.013>
- Almagro, M. C. (2017). El archivo fotográfico del arquitecto Emilio Pérez Piñero. Estructura y análisis documental. Anales de Documentación, 20(2). <https://doi.org/10.6018/analesdoc.20.2.277831>
- AMSCALL, & Soluciones hidrológicas. (2018). Captación de agua de lluvia. <https://hidrológicas.com/2018/07/05/captacion-agua-de-lluvia-2>
- Aqua: El abastecimiento de agua en las ciudades romanas - Histórico Digital. (2011, agosto 7). <https://historicodigital.com/aqua-el-abastecimiento-de-agua-en-las-ciudades-romanas.html>
- Arquine. (s. f.). Parque Hídrico La Quebradora. Arquine. Recuperado 31 de marzo de 2023, de <https://arquine.com/obra/parque-hidrico-la-quebradora>

- Arquitectura nómada. (2012, octubre 30). Arquitectura nómada: El mínimo común denominador habitable. *faircompanies. <https://faircompanies.com/articles/arquitectura-nomada-el-minimo-comun-denominador-habitable>
- Ballatore, T. (2008). Every drop counts: Environmentally sound technologies for urban and domestic water use efficiency. UNEP.
- Belfiore, M. (2012). On japanese spatial layering.
- Boletín UNAM. (2022). “La Niña” no es la única responsable de la sequía en el norte de México. https://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2022_508.html
- Captación agua de lluvia. (s. f.). hidroluviales. Recuperado 8 de noviembre de 2021, de <https://hidroluviales.com/2018/07/05/captacion-agua-de-lluvia-2>
- Cenamor, C. P. (2020). Análisis de superficies plegadas en la arquitectura. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid, 90.
- Chuck Hoberman, Overvelde, J. T. B., de Jong, T. A., Shevchenko, Y., Becerra, S. A., Whitesides, G. M., Weaver, J. C., & Bertoldi, K. (2016). A three-dimensional actuated origami-inspired transformable metamaterial with multiple degrees of freedom. Nature Communications, 7(1), 10929. <https://doi.org/10.1038/ncomms10929>
- CIAT. (2019). ¿Cómo vemos a nuestro planeta en el año 2050? | CIAT Blog. <https://blog.ciat.cgiar.org/es/como-vemos-a-nuestro-planeta-en-el-ano-2050>
- Comisión Nacional de Agua. (2021). Monitor de Sequía en México. <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico>
- Comisión Nacional del Agua | Gobierno. (2021). <https://www.gob.mx/conagua>
- CONAGUA. (2016). Usos del Agua. gob.mx. <http://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/usos-del-agua>
- CONAGUA. (2023a). Monitor de Sequía en México. <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico>

- CONAGUA, C. N. del. (2023b). Atención a la Sequía en México. gov.mx. <http://www.gob.mx/conagua/articulos/atencion-a-la-sequia-en-mexico>
- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. (2012). Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.
- Correa, J., Koo, B., & Ferreira, P. (2016). Parallel-kinematics XYZ MEMS part 1: Kinematics and design for fabrication—ScienceDirect. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141635916300447>
- Cruz, P. J. S., & Figueiredo, B. (2017). Estructuras Recíprocas Paramétricas. 10.
- Del Rífo, L. P. (1990). Estructuras espaciales desmontables y desplegadas. Informes de la Construcción, 42(409), Article 409. <https://doi.org/10.3989/ic.1990.v42.i409.1442>
- Deleuze, G., & Deleuze, G. (1989). El pliegue. Ed. Paidós.
- Díaz, N. (2018). Historias de Matemáticas: Arquitectura: Cubiertas y Paraboloides hiperbólicos. Historias de Matemáticas. <http://historiasdematematicas.blogspot.com/2018/08/arquitectura-cubiertas-y-paraboloides.html>
- DOF. (2020). NOM-179-SSA1-2020 - Agua para uso y consumo humano. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5603318&fecha=22/10/2020#gsc.tab=0.
- Agarwal, A.(2010). Drought? try capturing the rain. Drought_english.pdf.
- EPA, T. U. S. E. P. A. (2010). Sustainable Design and Green Building Toolkit for Local Governments. EPA 904B10001.
- ESCAT, E. de C., Artes y Tecnología. (2021). Biomimética: Los cactus nos enseñan a obtener agua del aire. Escuela de Ciencias, Artes y Tecnología. <https://blogs.uninter.edu.mx/ESCAT/index.php/biomimetica-los-cactus-nos-ensenan-a-obtener-agua-del-aire>
- Escrig Pallarés, F. (2012). Modular, ligero, transformable. Un paseo por la arquitectura ligera móvil | Editorial de la Universidad de Sevilla. <https://editorial.us.es/es/detalle-libro/719317/modular-ligero-transformable-un-paseo-por-la-arquitectura-ligera-movil>

- Fergusson, D., Verlaan, V., Golder, L., Haas, S. (2012). Digital Sustainability Conversations. How Local Governments can Engage Residents Online.
- IIUNAM & Cámara de Diputados. (2022). Foro agua. Problemática del agua en México: Tecnologías para su solución. Evento transmitido a través del Canal del Congreso y sus redes sociales, desde el Recinto de la Cámara de Diputados el martes 13 de septiembre, con apoyo del Instituto de Ingeniería de la UNAM (IIUAM). <https://www.youtube.com/c/CanalDelCongresoM%C3%A9xico>.
- Glosario arquitectónico. (2016). Velarium. Glosario ilustrado de arte arquitectónico. <https://www.glosarioarquitectonico.com/glossary/velarium>
- Gobierno Australiano. (2006) Water Sensitive Urban Design (WSUD). Healthy Waterways. Version 1.
- Gobierno de México. (s. f.). Normales Climatológicas por Estado. Recuperado 24 de agosto de 2022, de <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/normales-climatologicas-por-estado>
- Grant Associates. (2012). Landscape architects, Bath, UK and Singapore, Asia. Grant Associates. <https://grant-associates.uk.com>
- Historia, C. (2023). Origen de la silla | Quién inventó la silla y su evolución |. CurioSfera Historia. <https://curiosfera-historia.com/historia-de-la-silla>
- Historia del Origami. (s. f.). Clicasia, Centro de estudios Orientales. Recuperado 27 de marzo de 2022, de <https://clicasia.com/historia-del-origami>
- Howe, C., & Mitchell, C. (Eds.). (2012). Water sensitive cities (1. publ). IWA Publishing.
- IaaC. (2014). Translated Geometries—Institute for Advanced Architecture of Catalonia. IAAC. <https://iaac.net/project/translated-geometries>
- INEGI. (2010). Compendio de información geográfica municipal 2010. Iztapalapa, Distrito Federal.
- INEGI. (2019). Agua. Cuéntame de México. <https://cuentame.inegi.org.mx/territorio/agua/dispon.aspx?tema=T>

- INEGI. (2020a). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. <https://www.inegi.org.mx/default.html>.
- INEGI. (2020b). México en cifras -Ciudad de México. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. INEGI. <https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas>.
- INEGI. (2020c). México en cifras-Iztapalapa. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. INEGI. <https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas>.
- Universidad Politécnica de Madrid. (s. f.). Instalaciones Efímeras. Recuperado 28 de septiembre de 2021, de http://masterefimeras.com/instalaciones_efimeras.
- IPCC, Garschagen, M., Geden, O., Hayward, B., Simpson, N. P., Totin, E., Blok, K., Eriksen, S., Fischer, E., Garner, G., Guivarch, C., Haasnoot, M., Hermans, T., Ley, D., Lewis, J., Nicholls, Z., Niamir, L., Szopa, S., Trewin, B., ... IPCC. (2023). SYNTHESIS REPORT OF THE IPCC SIXTH ASSESSMENT REPORT (AR6).
- Keobra. (2020). ¿Cómo funciona un sistema de captación de agua pluvial? <https://keobra.com/sistema-de-captacion-de-agua-pluvial>
- Lang, R. J. (s. f.). Origami and Geometric Constructions. 56.
- Lang, R. J. (2018). Acerca de Robert J. Lang origami. <https://langorigami.com/about-robert-j-lang>
- Liotta, S.-J. A., Belfiore, M., & Kuma, K. (Eds.). (2012). Patterns and layering: Japanese spatial culture, nature and architecture. Gestalten.
- Morales, C. C. (2016a). Construcción experimental de un sistema transformable tensado plegable. Revista de Arquitectura, 18, 98-110. <https://doi.org/10.14718/RevArq.2016.18.1.9>
- Morales, C. C. (2016b). Desarrollo y Construcción Experimental de una Cubierta Transformable. MÓDULO ARQUITECTURA CUC, 16, 87-118. <https://doi.org/10.17981/moducuc.16.1.2016.05>
- Morales, C. C. (2018a). Diseño de una cubierta hiperbólica plegable tensada. Procesos Urbanos, 5, 91-105. <https://doi.org/10.21892/2422085X.414>

- Morales, C. C. (2018b). Diseño y desarrollo de patrones de la forma de una tenso-estructura. *Revista de Arquitectura (Bogotá)*, 20(1), 71-87. <https://doi.org/10.14718/revarq.2018.20.1.1544>
- Morales, C. C. (2022). Cubiertas plegables en la arquitectura (Primera). Universidad Anáhuac México. <http://pegaso.anahuac.mx/accesoabierto/publicaciones.php?Accion=Informacion&Pub=158>.
- Naciones Unidas. (2015). Objetivos y metas de desarrollo sostenible. *Desarrollo Sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible>
- NASA. (2021, mayo 4). [Text.Article]. NASA Earth Observatory. <https://earthobservatory.nasa.gov/images/148270/widespread-drought-in-mexico>
- Normales Climatológicas por Estado. (s. f.). Recuperado 24 de agosto de 2022, de <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/normales-climatologicas-por-estado>
- Obrador, A. M. L. (2008). LEY DE AGUAS DEL DISTRITO FEDERAL.
- OMS, O. M. de la S. (2023). Una oportunidad única para que el agua, el saneamiento y la higiene sean una realidad para todo el mundo. <https://www.who.int/es/news/item/22-03-2023-our-lifetime-opportunity-to-enable-water-sanitation-and-hygiene-for-all>
- ONU. (2023). Conferencia de la ONU sobre el Agua 2023 | Department of Economic and Social Affairs. <https://sdgs.un.org/es/conferences/water2023>
- Organización Mundial de la Salud. (2018). Guías para la calidad del agua de consumo humano: Cuarta edición que incorpora la primera adenda (4a ed + 1a adenda). Organización Mundial de la Salud. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/272403>
- Parque Hídrico La Quebradora. (s. f.). Recuperado 31 de marzo de 2023, de http://www.agua.unam.mx/vi-encuentro/assets/pdf/ponencias/castro_loreta.pdf
- Pérez Porto, J., & Gardey, A. (2020). Definición de origami. Definición.de. <https://definicion.de/origami>

- Pérez Valcárcel, J., Freire Tellado, M. J., & Muñoz Vidal, M. (2019). Estructuras desplegables para actividades lúdicas. *Bac Boletín Académico. Revista de Investigación y Arquitectura Contemporánea*, 9, 129-146.
- Pérez-Valcárcel, J., Freire-Tellado, M. J., Muñoz-Vidal, M., & López-César, I. (2019). Estructuras desplegables de aspas para cubiertas inclinadas. *Informes de la Construcción*, 71(556), Article 556. <https://doi.org/10.3989/ic.64120>
- Phillips, A. A. (2005). *City of Tucson Water Harvesting Guidance Manual*. 10210.
- Robert J. Lang. (2021). En Wikipedia. https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Robert_J._Lang&oldid=1045917281
- Ryszard, R. (2010). Rain Collector Skyscraper. ryszardrychlicki.com/portfolio/rain-collector-skyscraper
- SACMEX. (2023). Sistema de Aguas de la Ciudad de México. Sistema de Aguas de la Ciudad de México. <https://www.sacmex.cdmx.gob.mx>
- Safdie Architects. (2019a). <https://www.safdiearchitects.com/projects>
- Safdie Architects. (2019b). Safdie Architects—Campus Nacional de Arqueología de Israel. <https://www.safdiearchitects.com/projects/national-campus-for-the-archaeology-of-israel>
- SINA. (2022). Sistema Nacional de Información del Agua | SINA. <http://sina.conagua.gob.mx/sina/index.php>
- SL Rasch. (s. f.). Courtyard—SL Rasch. Recuperado 1 de mayo de 2023, de <https://www.sl-rasch.com/en/projects/courtyard>
- Tachi, T. (2012). Architectural Form Design Systems based on Computational Origami. 130.
- Tao, J., Li, L., & Yu, S. (2018a). An innovative eco-design approach based on integration of LCA, CAD□CAE and optimization tools, and its implementation perspectives. *Journal of Cleaner Production*, 187, 839-851. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.213>

- Tao, J., Li, L., & Yu, S. (2018b). An innovative eco-design approach based on integration of LCA, CAD□CAE and optimization tools, and its implementation perspectives. *Journal of Cleaner Production*, 187, 839-851. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.213>
- Tendencias21. (2011). Un sistema que imita al escarabajo recolecta agua de niebla y de rocío • Tendencias21. https://tendencias21.levante-emv.com/un-sistema-que-imita-al-escarabajo-recolecta-agua-de-niebla-y-de-rocio_a6377.html
- The Cultural Magazine, Y. (2018, abril 4). Nómadas. *The Cultural - Revista Cultural*. <http://thecultural.es/2018/04/04/nomadas>
- The DHaus Company. (2010). Dynamic House DHaus. The DHaus Company. <https://www.thedhaus.com>
- Tomohiro Tachi. (s. f.). Recuperado 20 de noviembre de 2021, de https://scholar.google.co.jp/citations?user=GxJqE_oAAAAJ&hl=ja
- UNEP, U. E. P., & SEI, P. de las N. U. para el M. A. I. de M. A. de E. (Eds.). (2009). *Rainwater harvesting: A lifeline for human well-being*. United Nations Environment Programme.
- UNESCO. (2023). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2023: Alianzas y cooperación por el agua, resumen ejecutivo— UNESCO Digital Library. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000384657_spa?posInSet=2&queryId=0f0d3462-4f7c-4ab4-b64e-0f9ce89cd69d
- Valcárcel, J. P., Sánchez, J. S., Niubó, R. B., López-Rey, J., & Sastre, R. (s. f.). *Y las estructuras desplegadas*. 80.
- Velarium. (2016). Glosario ilustrado de arte arquitectónico. <https://www.glosarioarquitectonico.com/glossary/velarium>.
- Visión general del Agua en México. (2017). Agua.org.mx. <https://agua.org.mx/cuanta-agua-tiene-mexico>.
- Vitruvio Polión, M. L., Rodríguez Ruiz, D., & Oliver Domingo, J. L. (1997). *Los diez libros de Arquitectura*. Alianza.

- Warka Water. (2012). WARKA TOWER. <https://warkawater.org/warkatower>.
- WMO. (2020). WMO Statement on the State of the Global Climate in 2019. WMO-No. 1248, 44.
- Worldometer. (2023). World Population Clock: 8 Billion People (LIVE, 2023) Worldometer. <https://www.worldometers.info/world-population>.
- WWII Museum. (2009). Rows of tents at the military hospital, Anzio, Italy | The Digital Collections of the National WWII Museum: Oral Histories. <https://www.ww2online.org/image/rows-tents-military-hospital-anzio-italy>.
- Your own water | Tu Propia Agua. (s. f.). Recuperado 7 de noviembre de 2022, de <https://www.yourownwater.org>.