

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO



**Arquitectura flotante. Nuevos análisis. Estadía segura y sostenible.
Las viviendas de los Uros, de Ijburg y de Massbommel**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR EL GRADO DE
BACHILLER EN ARQUITECTURA**

AUTOR

Sebastian Alonso Aguilar Solis

CÓDIGO

20161421

ASESOR:

Wiley Hermilio Ludeña Urquizo

Lima, Agosto, 2021

I.- RESUMEN

Debido a los constantes cambios en el clima por consecuencia de las emisiones contaminantes de CO₂, los fenómenos de inundación empiezan a tener una mayor recurrencia en distintas zonas del planeta. Esto ha provocado que diversos especialistas empiecen a desarrollar soluciones arquitectónicas que permitan mitigar estos fenómenos. Si bien cada una de las propuestas tiene capacidades de respuesta, también poseen desventajas y limitaciones que condicionan su uso y pertinencia. Dentro de estas, la arquitectura flotante es una de las respuestas contemporáneas más sobresalientes. Lamentablemente, la cantidad de investigación y producción de estas infraestructuras no es tan basta, lo cual impide verificar qué tan fiable podrían llegar a ser este tipo de construcciones ante los eventos contemporáneos y póstumos de las inundaciones. Asimismo, si se espera que esta arquitectura solucione los eventos de crecida del agua, resulta importante también que no contribuyan en agravar aún más el problema de estos fenómenos. Por ello, la arquitectura flotante debe también evitar la contaminación ambiental, incorporando los lineamientos de una arquitectura sostenible. Así, la presente investigación tiene por consigna develar si es este tipo de arquitectura es realmente eficaz ante los fenómenos de inundación contemporáneos y futuros, cuidando de sus habitantes y del planeta. Para la corroboración de la hipótesis, se plantea un marco teórico sobre las cualidades esenciales de las arquitecturas flotantes deben poseer. Esta teoría será utilizada después para analizar tres casos de estudio seleccionados. La investigación finaliza concluyendo que la arquitectura flotante sí es capaz de afrontar eventos de inundación presentes y futuras.



ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	3
LISTA DE FIGURAS	5
INTRODUCCIÓN	8
ESTADO DE LA CUESTIÓN	12
I. LA IMPORTANCIA DE LA ARQUITECTURA FLOTANTE	16
1.1. El calentamiento global y su futuro impacto	16
1.2. Las estructuras flotantes entre las distintas soluciones arquitectónicas para las inundaciones	19
1.3. Insuficiencia de investigación sobre la arquitectura flotante	22
II. ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LA ARQUITECTURA FLOTANTE	26
III. ARQUITECTURA FLOTANTE	28
3.1. La arquitectura flotante y sus principios	28
3.1.1. Las inundaciones.....	28
3.1.2. Flotabilidad	30
3.1.3. Estabilidad.....	34
3.1.4. Posición fija	37
3.2. La vivienda flotante sostenible	39
3.2.1. Materiales.....	40
3.2.2. La forma construida	42
3.2.3. La calidad del ambiente interior.....	44
IV. METODOLOGÍA	47
4.1. Criterios de selección de casos	47
4.2. Criterios de análisis	48

4.2.1. Inundaciones	48
4.2.2. Flotabilidad	49
4.2.3. Estabilidad.....	49
4.2.4. Posición fija	50
4.2.5. Sostenibilidad.....	50
4.3. Alcances y limitaciones.....	50
V. CASOS DE ESTUDIO	52
5.1. Las viviendas de los Uros	52
5.1.1. Inundaciones	53
5.1.2. Flotabilidad	55
5.1.3. Estabilidad.....	57
5.1.4. Posición fija	60
5.1.5. Sostenibilidad.....	62
5.2. Las viviendas de IJburg	70
5.2.1. Inundaciones	71
5.2.2. Flotabilidad	75
5.2.3. Estabilidad.....	77
5.2.4. Posición fija	80
5.2.5. Sostenibilidad.....	82
5.3. Las viviendas de Maasbommel.....	91
5.3.1. Inundaciones	92
5.3.2. Flotabilidad	95
5.3.3. Estabilidad.....	98
5.3.4. Posición fija	101
5.3.5. Sostenibilidad.....	103
CONCLUSIONES.....	112
BIBLIOGRAFÍA.....	116

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estadísticas sobre el crecimiento poblacional mundial y sobre la cantidad de dióxido de carbono emitido a partir del año 1750 hasta el año 2000. Se aprecia la relación entre ambas variables	17
Figura 2. Plano de cantidad de personas afectadas por inundaciones en cada país.....	18
Figura 3. Tipos de soluciones arquitectónicas ante inundaciones.....	20
Figura 4. Cuando se sumerge una piedra, desplaza el agua cuyo volumen es igual al de la piedra.....	31
Figura 5. Cantidad de viviendas producidas en Holanda	24
Figura 6. La presión mayor contral el fondo de un objeto sumergido produce una fuerza de flotabilidad hacia arriba.....	32
Figura 7. Estructura flotante volteada por fuerzas del agua	34
Figura 8 Puntos de estabilidad en un cuerpo flotante.....	35
Figura 9. Tres movimientos de desplazamiento y tres movimientos de rotación.....	38
Figura 10. La energía incorporada es la cantidad total de energía utilizada en la extracción, manufactura, procesado y transporte de los materiales hasta la obra. <i>Fuente.</i> Ching & Shapiro, 2015.....	41
Figura 11. Despliegue de la envolvente de un volumen.	44
Figura 12. Fuentes contaminantes en un hogar.	46
Figura 13. Imagen de una isla Uro.....	53
Figura 14. Variación del nivel del lago Titicaca en isla Uro.....	55
Figura 15. Mapa de inundación de Puno del año 1986.....	56
Figura 16. Diagrama de momento sobre una isla Uro.....	59
Figura 17. Diagrama de momento de posibles movimientos en isla Uro. Se aprecia el uso de anclas con piedras y cuerdas	61

Figura 18. Diagrama de materiales utilizados en la base y la vivienda de una isla Uro.....	64
Figura 19. Diagrama de envolvente de vivienda uro. Se presenta las áreas de cada parte de su envolvente externo (Superficie y envolvente).....	66
Figura 20. Diagrama de ingreso de viento dentro de vivienda típica Uro. Se observa que el viento ingresa fácilmente solo al abrir la puerta.....	68
Figura 21. Diagrama de elementos contaminantes sobre viviendas Uro.....	69
Figura 22. Conjunto Waterbuurt West.....	71
Figura 23. Mapa de inundación posible en el año 2100.....	73
Figura 24. Mapa de inundación posible en el año 2100.....	74
Figura 25. Diagrama de presión hidrostática sobre objeto flotante.....	76
Figura 26. Diagrama de fuerzas de volteo interactuando con los tres puntos imaginarios de estabilidad.....	79
Figura 27. Axonométrica de vivienda IJburg. Se presenta las libertades de movimiento en la vivienda.....	81
Figura 28. Axonométrica explotada de vivienda IJburg. Se presenta la materialidad de las partes de la vivienda.....	83
Figura 29. Diagrama de envolvente externo de vivienda Vancouver.	85
Figura 30. Diagrama de ventilación.....	89
Figura 31. Elementos contaminantes en las proximidades de las viviendas de IJburg.	90
Figura 32. Conjunto de viviendas anfibia.....	92
Figura 33. Plano de inundación de Maasbommel en el año 2011.....	94
Figura 34. Corte longitudinal de vivienda anfibia de Maasbommel. Se aprecia el nivel del BFE en la inundación del año 2011.....	95
Figura 35. Diagrama de presión hidrostática sobre vivienda Maasbommel	97
Figura 36. Diagrama de volteo y reacción en vivienda Maasbommel	100

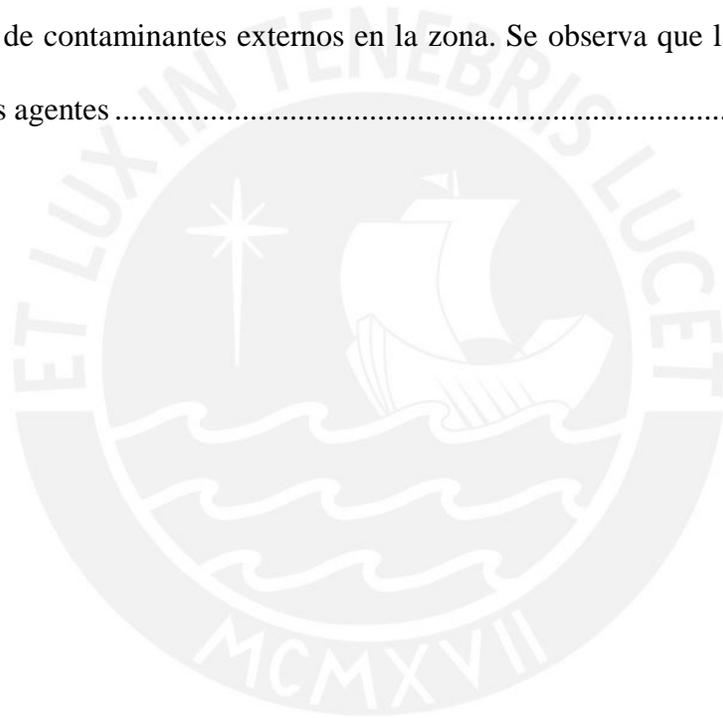
Figura 37. Imagen de los posibles movimientos en una vivienda anfibia de Maasbommel.
Fuente. Elaboración propia, diciembre de 2020, a partir de los principios de Koekoek, 2010.
..... 102

Figura 38. Materialidad de vivienda 105

Figura 39. Diagrama de envolvente externo de la vivienda Maasbommel. Se aprecia el área de la envolvente y de la superficie, así como la relación entre ambos..... 107

Figura 40. Diagrama de ventilación en viviendas típicas de Maasbommel 110

Figura 41. Plano de contaminantes externos en la zona. Se observa que las lanchas y carros son los principales agentes 111



INTRODUCCIÓN

Debido a los constantes cambios en el clima por consecuencia de las emisiones contaminantes de CO₂, las inundaciones empiezan a tener una mayor recurrencia en distintas zonas del planeta. Según la National Aeronautics and Space Administration (NASA) (2020), la temperatura global aumentó aproximadamente en 1 grado centígrado desde 1880 hasta la actualidad. En consecuencia, el nivel del mar se ha incrementado y los patrones de lluvias en distintas zonas del mundo han variado, generando una mayor cantidad de inundaciones en el mundo. Esto ha provocado que diversas organizaciones y especialistas empiecen a desarrollar soluciones arquitectónicas que permitan mitigar los daños ocasionados por estos fenómenos. Si bien cada una de estas propuestas tiene capacidades de respuesta a las inundaciones, también poseen desventajas y limitaciones que condicionan su uso y pertinencia. En el marco de estas propuestas, la arquitectura flotante es una de las respuestas contemporáneas más sobresalientes. Desarrollada por especialistas como Koen Olthuis o Richard Coutts, este tipo de arquitectura es planteada y estudiada por las ventajas que posee respecto a los otros métodos.

Uno de los países en el que se investiga prioritariamente este tema es Holanda, debido a la estrecha relación que guarda con el agua. Otros países, como Alemania, EE. UU., Inglaterra o Canadá, también se han unido en el desarrollo de este tipo de edificaciones (SEV, 2008). Esto demuestra el creciente interés de algunas naciones del planeta por la arquitectura boyante. Lamentablemente, la cantidad de investigación y producción de estas infraestructuras no es tan basta. Incluso, su examinación en algunos países, como el Perú, es poco difundida o no muy extensa, lo cual impide verificar qué tan fiable podría llegar a ser este tipo de construcciones ante los eventos contemporáneos y póstumos de las inundaciones.

En la mayoría de los estudios encontrados sobre este tipo de arquitectura se enfatizan principalmente cuestiones técnicas sobre su funcionamiento en el agua. Sin embargo, muy pocos autores han centrado su interés en relacionarlas al compromiso de impedir el aumento de

la contaminación ambiental. Si se espera que estos tipos de arquitectura solucionen las futuras dificultades que se generarán por las crecidas del nivel del agua, resulta importante también que no contribuyan en agravar más el problema. Por ello, la arquitectura flotante debe también asumir el compromiso de no fomentar el aumento de la contaminación ambiental, incorporando los lineamientos de una arquitectura ecológica.

Así, la presente investigación pretende demostrar que la arquitectura flotante es pertinente para dar solución a los fenómenos de inundación actuales y futuros. Para ello, resulta importante demostrar que la arquitectura flotante puede brindar una estancia segura a sus habitantes durante eventos de crecidas de agua. Esto corroboraría que se trata de un método capaz de evitar daños o incomodidades en los usuarios. Asimismo, es conveniente demostrar que la sostenibilidad aplicada en proyectos boyantes puede ayudar a disminuir los fenómenos de inundación. Si se utiliza los principios ecológicos en este tipo de estructuras, las emisiones contaminantes en el mundo deberían reducirse, contribuyendo consecuentemente en la reducción de inundaciones.

Dentro de la bibliografía escrita sobre el tema, no existen actualmente muchas investigaciones que evalúen de forma conjunta los factores que permitan que esta arquitectura sea segura para los habitantes y que, a la vez, sea sostenible. La estructura de los casos de estudio ha sido elaborada en base a la estructura de análisis desarrollada por Koekoek (2010) en su tesis de maestría *Connecting Modular Floating Structures*. Dentro de ella, se plantea los requerimientos básicos para que las construcciones puedan flotar y ser seguras al público. Asimismo, la Federal Emergency Management Agency (FEMA) (2012) también desarrolla criterios de análisis que permiten evaluar qué tan vulnerable una infraestructura se encuentra frente a las inundaciones. Respecto a la sostenibilidad, Ching y Shapiro (2015) desarrollan una guía que permite entender qué características requieren las construcciones para que estas puedan considerarse ecológicas. Estos autores presentan un pertinente enfoque sobre qué cualidades deben de tener las estructuras boyantes, las cuales serán recuperadas para la presente

investigación. Es necesario aclarar que las propuestas de otros investigadores complementarán los enfoques de estos autores con el fin de mejorar el enfoque del presente trabajo.

La metodología utilizada consiste en seleccionar tres casos de estudio que guardan similitudes: zona geográfica, relevancia histórica, zona de emplazamiento y hechos resaltantes. Todos los casos han sido o serán probablemente víctimas de inundaciones. Asimismo, solo se han incluido viviendas dentro del análisis de esta investigación, pues se considera que son los ejemplos más básicos e indispensables en la vida del hombre. Así, se ha seleccionado como casos a las viviendas de los Uros, las viviendas de Maasbommel y las viviendas de IJburg. Posteriormente, se analizarán dichos casos con la teoría mencionada para verificar si es que estos ejemplos cumplen con los requisitos de una arquitectura flotante sostenible. Finalmente, con los resultados extraídos del análisis se tratará de corroborar si la arquitectura flotante representa una solución eficaz a los fenómenos de inundación actuales y pronosticados al estar lo suficientemente adaptada para resguardar a sus habitantes durante estos eventos y contribuir en la reducción de estos fenómenos utilizando principios ecológicos. Todo ello permitirá develar nuevos hallazgos en este tipo de arquitectura que promete dar una solución más eficaz a los fenómenos de inundación a los que el ser humano tendrá que adaptarse en el futuro.

En el primer capítulo se explica la importancia del estudio de la arquitectura flotante, señalando cuáles serán las repercusiones del calentamiento global en los siguientes años. En el segundo capítulo se mencionan algunos ejemplos de construcciones flotantes existentes o proyectadas en algunas partes del mundo. En el tercer capítulo se explican los conceptos técnicos básicos para entender cómo es que la arquitectura es capaz de flotar sobre el agua y pueda ser, a la vez, segura para las personas. Asimismo, se explican los procesos que provocan que el agua se convierta en un elemento condicionante para la arquitectura flotante, debido a los daños y complicaciones que pueden llegar a ocurrir si no se estudia adecuadamente cómo estas afectan a los cuerpos inundados. Igualmente, se explicará en qué consiste una arquitectura sostenible y qué consideraciones se debe tener en cuenta para disminuir las contaminaciones

ambientales. En el cuarto capítulo se explica la metodología que se utilizará para realizar el análisis en la investigación, utilizando los conceptos desarrollados en el capítulo anterior. En el quinto capítulo se examinarán los casos de estudio de la comunidad flotante de los Uros, el caso de las viviendas flotantes de IJburg y el caso de las viviendas flotantes de Maasbommel. Finalmente, en el sexto capítulo se formularán las conclusiones resultantes tras indagar en los casos de estudio, corroborando o no la eficacia de las estructuras flotantes ante los eventos de inundación.

Cabe mencionar que, si bien dentro de la investigación se realizan análisis en base a guías y recomendaciones de distintos autores especializados en el tema, los resultados obtenidos no son exactos. Los exámenes de estructuras flotantes requieren de cálculos sofisticados que permitan develar de forma precisa su comportamiento estructural en el agua. Esto mismo sucede con los análisis de sostenibilidad aplicados en infraestructuras. En ese sentido, la investigación se presenta como una aproximación a la verdad.

Por último, se agradece a Nathalie Mezza-Garcia por el apoyo brindado durante la primera etapa de esta investigación. Mezza-García es una investigadora colombiana relacionada al tema de la construcción de ciudades flotantes, cuya ayuda permitió iniciar la búsqueda de información relevante para el desarrollo de esta investigación.

ESTADO DE LA CUESTIÓN

Debido a que el estudio sobre este tipo de arquitectura es relativamente contemporáneo, no existen muchas investigaciones profundas alrededor de la arquitectura flotante. La mayoría de las fuentes provienen de artículos de distintas universidades o de tesis. Por ello, para entender la reducida cantidad de información correspondiente, es preciso, en primer lugar, mencionar a los autores e instituciones que han abordado este tema y generado un cuerpo teórico que lo respalde. En segundo lugar, es importante recuperar los estudios que explican en qué circunstancias se producen los eventos de inundación y qué estrategias se deben tener en consideración en caso de construirse una estructura de este tipo cercana a una zona inundable. Por último, se presenta información existente relacionada con la arquitectura y el agua. Cabe resaltar que la mayoría de las fuentes son de origen extranjero, ya que la información es limitada.

Existen autores que han escrito ya sobre la arquitectura flotante. Dentro de ellos, se destaca el trabajo realizado por los arquitectos holandeses Koen Olthuis y Rutger de Graaf, dos de los especialistas en arquitectura flotante más importantes de Holanda. Estos investigadores han desarrollado un considerable cuerpo teórico sobre el tema en sus libros *FLOAT* (2010) y *Adaptive urban development* (2012), respectivamente, así como en diversos artículos y conferencias. En la mayoría de ellos, tanto Olthuis como de Graaf explican por qué es importante este tipo de arquitectura, cuáles son las condiciones que permiten su desarrollo y cuáles son las limitaciones del mercado sobre este campo. Además, también han logrado impulsar el desarrollo de proyectos arquitectónicos de viviendas flotantes, la mayoría de ellos en Holanda.

Es igual de notable el trabajo de los ingleses Richard Coutts y Robert Barker, fundadores del estudio de arquitectura “Baca”. Esta oficina es la responsable del primer proyecto de

arquitectura flotante anfibia en el Reino Unido. Asimismo, han aportado notablemente en la propulsión del conocimiento teórico técnico sobre este tipo de arquitectura mediante artículos y conferencias. De sus investigaciones, destaca principalmente su libro *Aquatecture: Buildings Designed to Live and Work with Water* (2016).

Asimismo, el estudio *Floating Structures: A Guide for Design & Analysis* (1998), publicado en dos volúmenes por Oilfield Publications, desarrolla una guía para el diseño de estabilidad, dinámica, fuerza y análisis de fatiga de estructuras flotantes sometidas a las fuerzas de marea. Si bien el libro presenta criterios de análisis de estructuras mucho más sofisticadas y resistentes que una vivienda, sus criterios son universales en tanto permiten analizar la seguridad de una estructura ubicada en el agua.

Otra autora importante es Victoria Fenuta, quien coordinó en EE. UU. el proyecto “The Buoyant Foundation Project” (2006). Este proyecto se desarrolló posteriormente al desastre ocurrido por el huracán Katrina, a fin de contrarrestar sus efectos en dicho país. La tesis de maestría de Fenuta propone la arquitectura anfibia (uno de los dos tipos de arquitectura flotante) como una solución arquitectónica pertinente para la zona de Nueva Orleans, uno de los estados más afectados por el huracán. Dentro de la misma investigación, Fenuta también describe aspectos técnicos sobre cómo puede desarrollarse este tipo de arquitectura.

Una institución que también contribuye en el entendimiento de este tipo de arquitectura es el Department of City Planning of New York, el cual a través de su artículo de investigación *Urban Waterfront Adaptive Strategies* (2013) ofrece un catálogo sobre las ventajas y desventajas de las distintas tipologías de arquitectura sobre el agua, dentro de las cuales se encuentra también la arquitectura flotante.

Dentro de las investigaciones provenientes de universidades, las cuales se han ocupado mayoritariamente del tema, destaca el trabajo realizado por Koekoek Maarten en su tesis de maestría *Connecting Modular Floating Structures* (2010). En ella, Maarten explica cómo es que las estructuras flotantes se pueden desarrollar y en qué condiciones. El aporte de Maarten

es significativo debido a la extensión técnica sobre los principios que se deben tener en cuenta. Asimismo, su investigación recoge otros estudios de mayor relevancia. También destacan los trabajos de Mynett y Hallulli, quienes contribuyen también a develar principios que puedan ser usados para desarrollar proyectos flotantes.

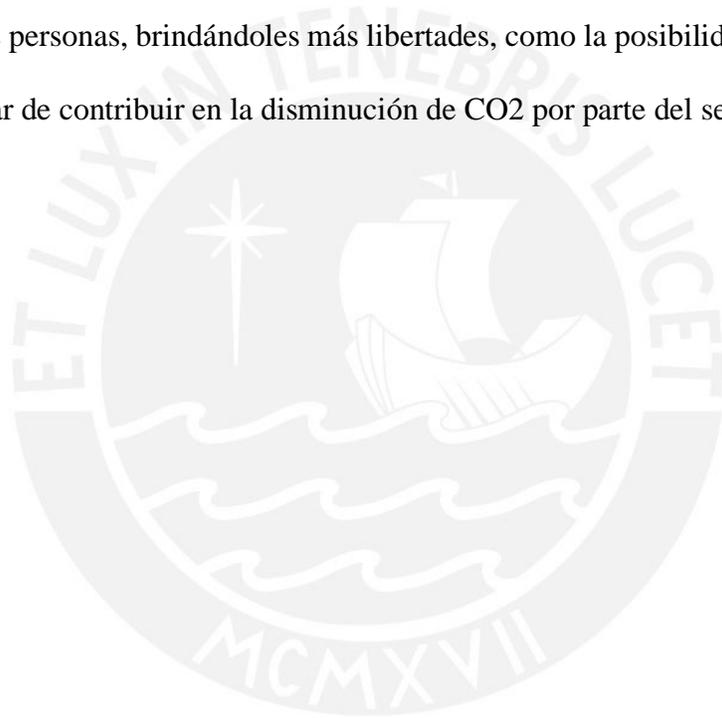
Con relación al contexto peruano, la investigación sobre este tipo de arquitectura es mucho menos profunda. Existen pocos trabajos de investigación al respecto, destacando el artículo de FabLab Perú, titulado *Innovación y Amazonía, Proyecto Fab Lab flotante Amazonas: Fase piloto* (2016), en el que Beno Juárez, un arquitecto peruano reconocido por su vinculación con la innovación tecnológica, desarrolla la posibilidad de construir un laboratorio flotante en la Amazonía peruana. Asimismo, destaca también el trabajo de las arquitectas italianas Daria Vasilyeva, Lucía Valencia y Simone Prisco, quienes, en su tesis de maestría *Tuyuyaña Floating Community Centre for Los Uros Puno, Peru* (2015), desarrollan un proyecto de arquitectura flotante en la ciudad de Puno para la comunidad de los Uros. Finalmente, cabe mencionar también el trabajo del arquitecto Arturo Fernando Gutiérrez, egresado de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), quien desarrolló, en su proyecto de graduación, un edificio flotante público para la comunidad de Pucallpa.

En cuanto a la teoría con relación a los eventos de inundación, destaca el aporte del FEMA de EE. UU. Esta institución ha desarrollado distintos manuales, como *Engineering Principles and Practices* (2012), que permiten entender cómo es que los eventos de inundación se producen y cómo la ubicación de un proyecto arquitectónico puede ser determinante para saber qué estrategias se deben de tomar en cuenta en el diseño. Asimismo, esta organización aporta conocimientos y teoría técnica sobre algunas de las tipologías de arquitectura sobre el agua disponibles, como la arquitectura de resistencia a las inundaciones y la arquitectura elevada.

Además, destaca el trabajo de los autores Donald Watson y Michele Adams, como el trabajo de Department of City Planning. Estos autores abordan la explicación del origen de las

inundaciones y qué estrategias se pueden desarrollar frente a estos eventos. Sus aportes teóricos ayudan a entender los problemas que pueden surgir al momento de situar un proyecto en una zona inundable.

Finalmente, con respecto a la relación entre la arquitectura y el agua, existe la iniciativa de Joe Quirk. En su libro *Seasteading: How floating nations will restore the environment, enrich the poor, cure the sick and liberate humanity from politicians* (2017), Quirk explica su visión acerca de la construcción de naciones sobre el agua, las cuales traten de adaptarse mejor a las necesidades de las personas, brindándoles más libertades, como la posibilidad de elegir un país donde vivir y tratar de contribuir en la disminución de CO2 por parte del ser humano.



CAPÍTULO I: LA IMPORTANCIA DE LA ARQUITECTURA FLOTANTE

1.1. El calentamiento global y su futuro impacto

Actualmente, la arquitectura flotante empieza a ser estudiada con mayor rigor debido al aumento del calentamiento global y, por consiguiente, de las inundaciones. Según la Organización de las Naciones Unidas (ONU) (2015), entre los años 1995 y 2015, se han producido un estimado de 157, 000 muertes producto de fenómenos de inundación. En ese sentido, la ocurrencia de estos fenómenos se torna cada vez más peligrosa y severa. Incluso, en zonas en las que no se percibían este tipo de anomalías, empiezan a ocurrir y a arremeter contra todo aquello que se encuentre cercano a su zona de influencia. Según la ONU (2015), entre los años 2013 y 2014, se reportó que unas 380 000 personas fueron afectadas por inundaciones, fuertes lluvias, deslizamientos, incendios, entre otros. En total, se reportaron 150 desastres en 16 países, y fue la alta densidad de personas el mayor factor de vulnerabilidad al aumentar el riesgo a inundaciones. Estos sorprendentes datos no son causados únicamente por la acción del ciclo mismo de la naturaleza, sino que fueron adulterados por la expansión y la acción del hombre.

A propósito de lo anotado, la ONU advierte que, para el año 2050, existirá un aumento general en la población mundial, llegando a alcanzarse los 9.7 billones de personas. En el año 2100, esta cifra aumentaría hasta los 11 millones. Este dato debe ser tomado con ciertas acotaciones, puesto que no se trata de un aumento generalizado de la población en todos los países. Se estima que 55 países percibirán una disminución de su población en un 1%, mientras que solo unos 9 países sostendrán más de la mitad del crecimiento poblacional (ONU, 2019). En ese sentido, el aumento poblacional estará dictaminado por un desbalance en unos pocos países, los mismos que asumirán un mayor incremento de material humano.

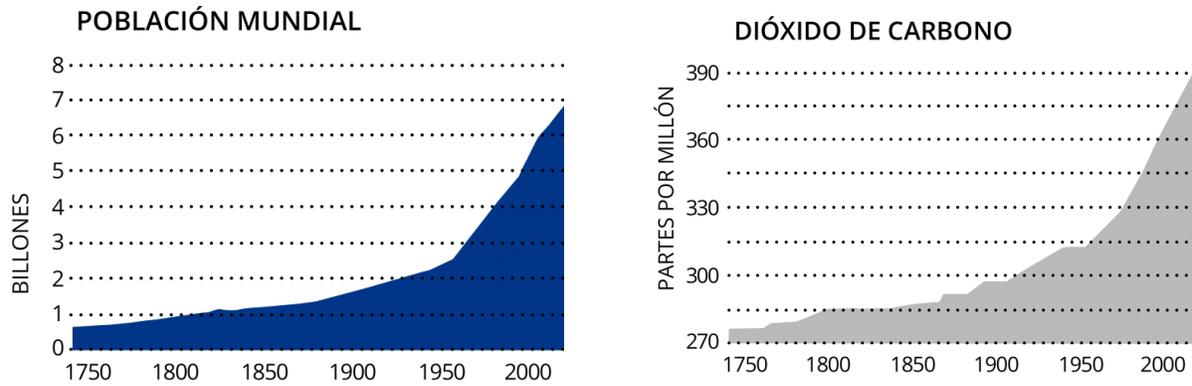


Figura 1. Estadísticas sobre el crecimiento poblacional mundial y sobre la cantidad de dióxido de carbono emitido a partir del año 1750 hasta el año 2000. Se aprecia la relación entre ambas variables.

Fuente. Elaboración propia, diciembre de 2020, a partir de los datos de ONU, 2017.

Como consecuencia de este aumento poblacional, los niveles de contaminación en el planeta también han aumentado repercutiendo significativamente en las comunidades humanas. Según la NASA (2020), el incremento de los niveles de dióxido de carbono producidos anualmente se ha intensificado desde inicios de la era industrial, ocasionando un aumento de la temperatura global en 1 grado centígrado aproximadamente desde 1880 hasta la actualidad. Esto da lugar al cambio climático en el globo terráqueo, que, a su vez, genera un aumento generalizado del nivel del mar y una variación del patrón de lluvias en diversos puntos geográficos. La ONU (2013) advierte al respecto que, para el año 2100, -en un caso normal- el nivel de los océanos del mundo habrá ascendido 1 metro como consecuencia del derretimiento progresivo de los glaciares, y podría llegar a un aumento de 1 a 3 metros por cada incremento de grado centígrado en la temperatura si las emisiones de gases invernadero se mantienen durante varios milenios. En ese sentido, muchas ciudades que se encuentran ubicadas en una cota muy cercana al nivel del mar se verán afectadas por fenómenos de inundación.

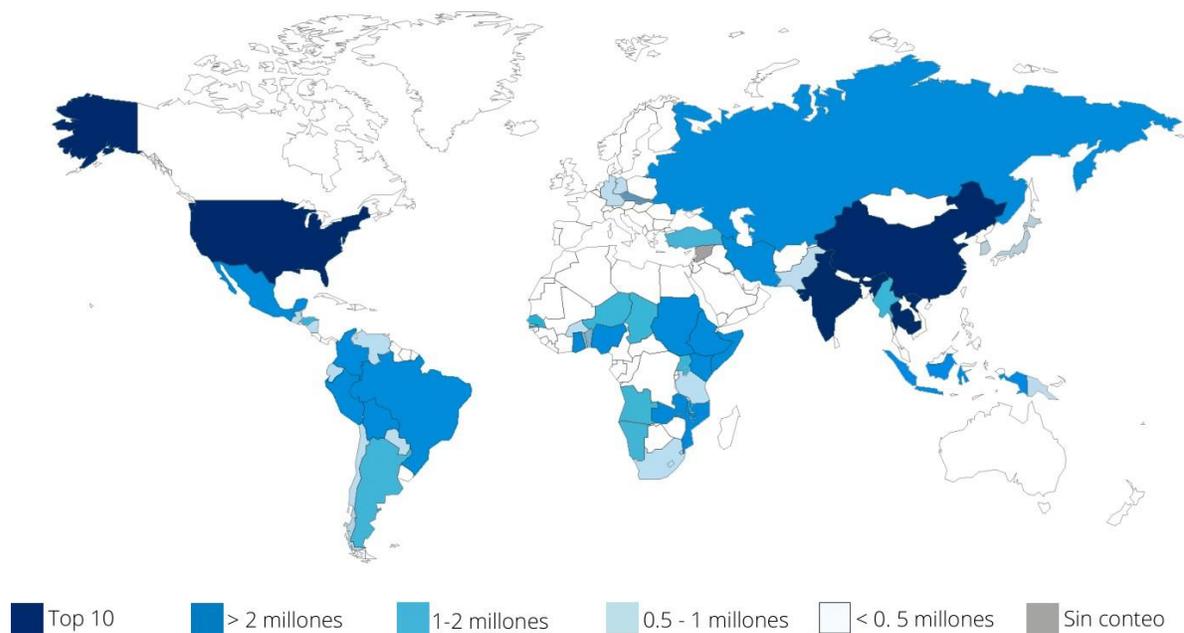


Figura 2. Plano de cantidad de personas afectadas por inundaciones en cada país.
Fuente. ONU, 2017.

Como ya se mencionó, el cambio en el patrón de lluvias será otro factor que comprometerá al hombre en su desarrollo futuro. Muchas ciudades alrededor del mundo se ven afectadas por el aumento de estas, forzando a que su población tenga que migrar a otras zonas o que adapte sus edificios a estos eventos. Asimismo,

“se prevé que el número de personas en riesgo de inundaciones aumente de los 1.200 millones de la actualidad a alrededor de 1.600 millones en 2050 (cerca del 20% de la población mundial) y se espera que el valor económico de los bienes en riesgo sea de alrededor de 45 billones de dólares para 2050, un crecimiento de más del 340 % con respecto a 2010” (ONU, 2019, como se citó en OCDE, 2012).

Todo esto quiere decir que la humanidad se encontrará más susceptible a los fenómenos de inundación en los próximos años. Como se puede analizar, los eventos ocasionados por el cambio climático repercuten gravemente en la resiliencia de las comunidades del mundo, hiriendo a grandes cantidades de personas. Sin embargo, la magnitud en la que los países se

ven comprometidos no es fija y puede variar por diversos factores. Por un lado, como señala la ONU (2019), aquellas ciudades que no presentan un marco de gobernanza que permita responder ante desastres naturales, o en las que exista una carencia de recursos económicos, serán las más afectadas. Un cálculo rápido de las personas que se ubican dentro de este grupo es de aproximadamente 880 millones de personas (ONU, 2019). En ese sentido, las comunidades más pobres del mundo son las que necesitan tener un mayor cuidado, ya que su propia condición de subdesarrollo agrava el problema y lo acrecienta, debido a la ausencia de una capacidad de respuesta oportuna.

En un contexto nacional, el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI) señala respecto a los daños ocasionados por fenómenos de inundación que durante “el primer semestre del año 2019 (...) se registró (...) un total de 8,189 emergencias, así como 20,419 personas damnificadas; 78,336 personas afectadas, 29 personas desaparecidas” (2019, p. 19). Esto corrobora que las inundaciones también se hacen presentes en nuestro país y que están causando severos daños. Asimismo, el INDECI anota que, para el mismo lapso, los fenómenos de inundación han repercutido en un total de “1,405 viviendas destruidas; 31,986 viviendas afectadas y 5,812 viviendas inhabilitadas” (2019, p. 19). De estos datos se deduce que las viviendas no se están edificando de una manera adecuada para afrontar eventos de inundación.

De forma concluyente, se deja entrever que las inundaciones son eventos catastróficos que pueden ser letales para el hombre y que son capaces de devastar también las propiedades de distintas familias. La ONU ya ha dejado claro que estos eventos se agudizarán en los próximos años, e, irónicamente, serán los más pobres e indefensos los que padecerán el mayor impacto de dichos fenómenos.

1.2. Las estructuras flotantes entre las distintas soluciones arquitectónicas para las inundaciones

A pesar de que las proyecciones respecto a los fenómenos de inundación visibilizan un aumento en estos, la humanidad no ha dejado de trabajar en alternativas de solución posibles ante este inminente problema. Desde la antigüedad, el hombre ha desarrollado métodos que le permitan interactuar con la fuerza del agua. En el ámbito de la arquitectura, generó tipologías arquitectónicas que soporten las inundaciones. Según Barker y Coutts (2018), existen 5 tipos de estrategias para responder a los efectos de inundación: de evasión a la inundación, de resistencia a la inundación, de resiliencia a las inundaciones, flotantes y anfibias. Esto significa que las inundaciones pueden ser abordadas de 5 formas distintas para mitigar, en mayor o menor medida, los daños de estos fenómenos. Cada una es pertinente de acuerdo con las condiciones del medio ambiente y de los fenómenos de inundación, según los registros previos sobre ellos. Así, los 5 tipos arquitectónicos correspondientes a estas estrategias son: estructuras elevadas, estructuras a prueba seco, estructuras a prueba húmeda, estructuras flotantes y estructuras anfibias (Barker y Coutts, 2018).

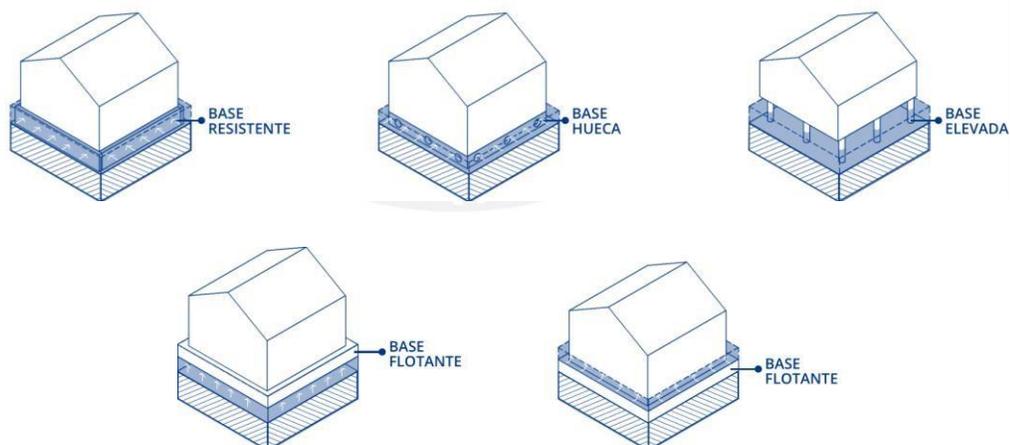


Figura 3. Tipos de soluciones arquitectónicas ante inundaciones.

Fuente. Elaboración propia, diciembre de 2020, a partir de indicaciones de Barker y Coutts, 2018.

Por un lado, las estructuras elevadas son construcciones diseñadas para mitigar los daños de las estructuras mediante la elevación de esta. Usualmente, suele ser la opción más

utilizada por las comunidades debido al miedo que produce la cercanía del agua en la edificación (Barker y Coutts, 2018). En ese sentido, esta tipología tiene la virtud de ser la opción menos atemorizante. Sin embargo, dado que se construyen elevándolas a una determinada altura, en un mundo en donde las inundaciones incrementen, podrían ser vulnerables. Asimismo, al estar elevada, se produce una desconexión entre la infraestructura y la ciudad, limitando las interacciones sociales de los habitantes. Por otro lado, las estructuras a prueba seca consisten en edificaciones diseñadas para evitar que el agua ingrese al interior de estas. Además, las estructuras a prueba húmeda permiten el ingreso del agua en la vivienda, a modo de evitar complicaciones por la presión del agua. Cabe resaltar que estos dos últimos tipos no soportan elevaciones de agua muy elevadas, lo cual no sería tan apropiado en un futuro donde el nivel de elevación del agua no esté asegurado. Finalmente, las últimas dos tipologías funcionan bajo los mismos principios de flotación durante los eventos de inundación. La diferencia radica en que las construcciones anfibas son estructuras que la mayor parte del tiempo permanecen en superficie terrestre y solo se elevan, de acuerdo al nivel de agua, cuando se produce un evento de crecida. A diferencia de estas, las estructuras flotantes son estructuras que permanecen siempre en el agua.

Si bien cada estrategia promete brindar soluciones a las inundaciones, los tipos que funcionan bajo el principio de flotación están siendo estudiados con mayor interés últimamente. Barker y Coutts (2018) indican que “improvements in floating construction methods have increased the longevity and safety of these structures, leading to a rise in popularity” [las mejoras en los métodos de construcción flotantes han incrementado la longevidad y seguridad de estas estructuras, dirigiéndolas a un aumento en su popularidad] (p.16). En otras palabras, las estructuras que flotan empiezan a tener una mejor acogida por los usuarios. Según Waterstudio (2019), la arquitectura flotante permite resolver los problemas del cambio climático y de la urbanización. Esto en parte se debe a que las estructuras flotantes, dada su capacidad flexible en el agua, pueden adaptarse y no combatir con ella. Así, estas siempre se

mantienen sobre el nivel del agua, evitando su ingreso al interior.

Dentro la investigación, se utilizará el término “arquitectura flotante” para referirse tanto a las arquitecturas flotantes que reposan permanentemente en el agua y a las construcciones anfibia. Cuando sea necesario hacer una diferenciación, se denominará “arquitectura flotante permanente” a las construcciones adaptadas para permanecer siempre sobre el agua. Asimismo, se denominará “arquitectura anfibia” a las edificaciones que se elevan solo en fenómenos de inundación.

1.3. Insuficiencia de investigación sobre la arquitectura flotante

En la actualidad, los proyectos e investigaciones relacionados con la arquitectura flotante son escasos. La mayor parte de la bibliografía escrita explica cuestiones técnicas sobre estas arquitecturas y cómo es que estas son capaces de mantenerse flotando sobre el agua. Esto imposibilita verificar la verdadera seguridad que pueden llegar a ofrecer al hombre. Asimismo, dado que se tratan de infraestructuras diseñadas para resguardar ante eventos de inundación, también se considera pertinente que estas no fomenten el aumento de los mencionados fenómenos. Así, la información relacionada con el tema no es suficiente para corroborar que este tipo de arquitectura sea realmente una solución viable frente a los fenómenos de inundación presentes y futuros.

La arquitectura flotante no se trata de un concepto nuevo. Desde hace años se está formulando proyectos arquitectónicos utilizando los métodos de la flotabilidad para construir comunidades. Actualmente, el estudio de este tipo de arquitectura está tomando un mayor protagonismo. Por un lado, esto se debe al creciente incremento en la necesidad de espacios de vivienda y la ausencia de estas o a su elevado costo. Según el Stichting Experimenten Volkshuisvesting (SEV) (2008), en los Países Bajos existe una creciente escasez de viviendas, especialmente en el oeste y centro del país, la cual podría ser suplida mediante proyectos de viviendas flotantes. Esto significa que el uso del espacio sobre el agua puede solucionar el

problema de la ausencia de hogares. Por otro lado, los eventos de inundación que arremeten contra todo aquello que se ubique sobre su área de influencia, incluyendo a la propia humanidad y su infraestructura, también contribuyen en el desarrollo de esta arquitectura. Incluso, el incremento de la severidad y el aumento de la frecuencia de estos fenómenos, motivado por el cambio climático, agrava aún más el problema y demandan la urgencia de una solución oportuna. Según Fenuta (2010), las estrategias de mitigación de inundaciones para las ciudades costeras de todo el mundo deben repensarse para adaptarse al cambio climático. En ese sentido, es imperativo que, en los edificios, se desarrollen sistemas que se puedan adaptar a los cambios del nivel del agua, sin que ello afecte a la relación con el contexto terrenal. En otras palabras, es necesario pensar nuevos métodos que permitan a la arquitectura contrarrestar los efectos del cambio climático.

Sin embargo, la producción de la arquitectura boyante aún sigue siendo insuficiente. Según De Graaf (2009), hacia el año 2008, se reportaron un poco más de 200 viviendas flotantes, de las cuales la mayoría son recreacionales. Esto indica que, del número reducido de viviendas flotantes existentes en dicha fecha, la gran parte no era de uso recurrente por los usuarios. Asimismo, Kleyn (2018), a propósito del comentario del especialista holandés Koen Olthuis sobre la cantidad de viviendas producidas en su país, puntualiza que, de las 60,000 a 100,000 viviendas que se producen al año, solo entre 100 y 150 son flotantes. Teniendo en consideración que Holanda es uno de los países más desarrollados en relación con este tipo de arquitectura, se observa una producción muy incipiente aún.

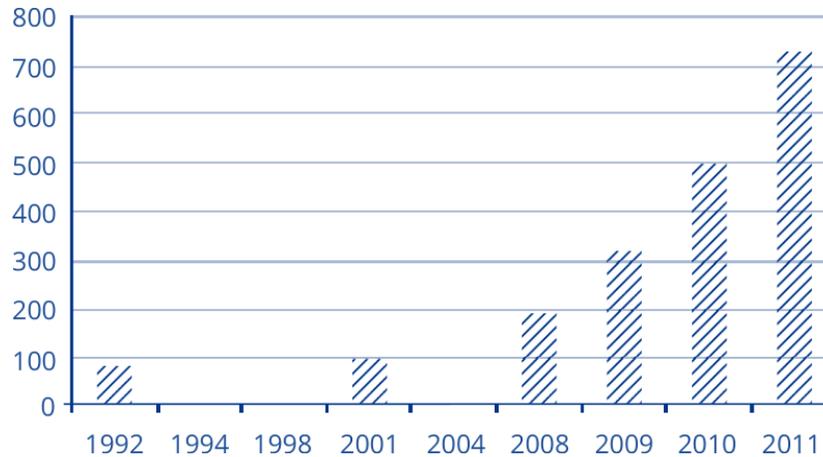


Figura 4. Cantidad de viviendas producidas en Holanda.

Fuente. Digitalización propia, diciembre de 2020, a partir de estadísticas de De Graaf, 2020.

Las razones que impiden que aún no se desarrolle la arquitectura flotante no tienen que ver precisamente con cuestiones técnicas ni constructivas. De acuerdo con el SEV (2008), los principales motivos que impiden el desarrollo de esta arquitectura es la falta de claridad en la interpretación de leyes y reglamentos, la falta de confianza del mercado y una ausencia de planificación residencial flotante de gran escala. Pese a que esta resolución sea de procedencia extranjera, también puede aplicarse al caso peruano. Actualmente, en el Perú no existe una reglamentación referida a la construcción de edificios flotantes. Puede que esta sea una de las razones que explique la limitada información y proyectos disponibles en el país con relación al tema. Dentro de los pocos casos de arquitectura flotante en el Perú se encuentran, por un lado, la comunidad flotante de los Uros en Puno, y, por otro lado, algunas de las viviendas construidas en la Amazonía peruana.

Las investigaciones realizadas develan, en su mayoría, una falta de atención con relación a la forma en que este tipo de arquitectura se relaciona con los usuarios y con su medio ambiente. Por ello, es preciso plantear la siguiente interrogante: ¿Es realmente la arquitectura flotante una solución eficaz a los fenómenos de inundación? Una posible respuesta debería contemplar el hecho de que este tipo de arquitectura no solo es segura al permanecer en el agua

durante los eventos de crecidas, sino que también se enfoca en no contribuir en la contaminación del medio ambiente. En ese sentido, debería incorporar los principios de la arquitectura ecológica, la cual se ocupa también de la relación entre el medio ambiente y el usuario.



CAPÍTULO II: ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LA ARQUITECTURA FLOTANTE

La arquitectura flotante tiene procedencia en diversas culturas del planeta. Las técnicas y la arquitectura de los ejemplares en el mundo dependen de las condiciones climáticas, la cultura y los materiales disponibles (Stopp, Strangfeld y Malkhova, 2016). Esto significa que los distintos tipos de construcciones dependen de las características propias de una zona en específico. En el contexto latinoamericano, por ejemplo, destaca la historia de la comunidad flotante de los Uros, emplazada en el lago Titicaca. Estos desarrollaron su arquitectura vernácula en base a plantas y materiales rústicos cercanos, como la madera, desde hace más de 500 años (Hidalgo, 2007). Este método ancestral de construcción se asemeja a las viviendas construidas por la ya extinta comunidad de Ma'dan en Iraq. El origen de este pueblo es desconocido, pero existieron por más de 2000 años (Dimick, 2015). Esto significa que la comunidad de Ma'dan tuvo orígenes desde hace muchos años más que la comunidad de los Uros, manteniendo una cierta cantidad de tiempo en coexistencia.

En Europa, la historia de la arquitectura flotante data desde la elaboración de edificaciones de tipo “boathouse” (en español, casas bote), las cuales en su mayoría eran utilizadas para el transporte de cargas. (Stopp y Stragfeld, 2010). Esto significa que, en el pasado, la producción estaba limitada a infraestructuras de pequeñas dimensiones, sin las complejidades que hoy en día son perceptibles en estos tipos de construcciones. Respecto al continente asiático, la historia de este tipo de arquitectura es más extensa, pero la documentación es muy pobre (Stopp y Stragfeld, 2010).

En los últimos años, la producción de arquitecturas flotantes ha empezado a tomar mayor notoriedad debido a los fenómenos de inundación. Uno de los ejemplos desarrollados a finales del último siglo son los campamentos de pesca anfibios en Point Coupee Parish. Hacia el año 1997, muchos campamentos fueron inundados en las cercanías del río Mississippi,

afectando las actividades de las personas (Fenuta, 2010). Esto significó un cambio en la manera en la que los habitantes se enfrentarían a fenómenos similares. Así, se decidió construir bases flotantes en las infraestructuras atentadas, a fin de que estas pudiesen mantenerse por encima del nivel del agua cuando el río volviese a crecer.

Años después, en Holanda, en el año 2005, se construye un conjunto residencial flotante, tras los eventos de inundación y posterior reconstrucción de los años 1993 y 1995 en el mismo país (Factor Architecten & Boiten raadgevende ingenieurs, 2011). Así, este proyecto surge con una nueva iniciativa para sobrellevar los fenómenos de inundación: ya no se busca resistir al agua, sino convivir con ella. El complejo consistió en dos tipos de viviendas y sirvieron de base para el desarrollo de 15 proyectos experimentales en zonas distintas de Holanda (Factor Architecten & Boiten raadgevende ingenieurs, 2011). La construcción de esta residencial supuso un hito y modelo a seguir para sucedientes proyectos flotantes.

Posteriormente, en el año 2009, el famoso arquitecto Thom Mayne, junto con la iniciativa de Brad Pitt “Make it Right”, desarrolla un proyecto de vivienda anfibia en la ciudad de Nueva Orleans, EE. UU (Fenuta, 2010). La iniciativa surge tras la catástrofe que generó el Huracán Katrina en esta ciudad, inundando la zona y destruyendo muchas viviendas. Dentro de las distintas viviendas que se llegaron a construir, destaca esta por su capacidad de flotar sobre el agua.

En el año 2010, se desarrolla en Holanda uno de los conjuntos más sofisticados de vivienda flotante antes desarrollados. Este fue el conjunto residencial de IJburg, en el lago IJmeer (Municipality of Amsterdam, 2012). El proyecto tuvo una positiva acogida por parte del público, permitiendo brindar un número significativo de nuevos hogares a los ciudadanos holandeses. Resulta un logro este proyecto, debido a que su construcción permitió asentar un barrio donde antes solo existía agua.

CAPÍTULO III: ARQUITECTURA FLOTANTE

3.1. La arquitectura flotante y sus principios

Del mismo modo que los edificios sobre el agua deben cumplir ciertas condiciones para que puedan ser ocupados adecuadamente por los usuarios, la arquitectura flotante también. De acuerdo con Oilfield Publications (2000), “cada estructura tiene una probabilidad finita de fallar” (p.66). Esto significa que ninguna estructura está exenta de un posible colapso. Por ejemplo, si es que una estructura soporta un esfuerzo para el que no fue diseñado, la estructura posiblemente llegue a desplomarse. Así, el objetivo más importante en el diseño de estructuras es reducir al mínimo dicha probabilidad de fallo (Oilfield Publications, 2000). Esto significa que el diseño estructural debe lograr que las estructuras sean lo más seguras posibles.

Según Koekoek (2010), los principios básicos aplicados en el diseño de estructuras flotantes son presión del agua y boyancia, volteo y estabilidad, y movimiento de las estructuras flotantes. Dentro del presente trabajo de investigación, estos tres conceptos han sido interpretados y son presentados por los nombres de flotabilidad, estabilidad y posición fija. Asimismo, el FEMA evalúa el comportamiento de las estructuras durante fenómenos de inundación, advirtiendo de los daños a los que pueden estar sujetos estos. Así, se considera finalmente 4 definiciones clave para evaluar las estructuras boyantes. Todos estos conceptos se complementarán con las recomendaciones de otros autores especializados en el diseño de arquitecturas flotantes, a fin de adaptar las propuestas conceptuales a la investigación.

3.1.1. Las inundaciones

Las inundaciones son originadas, principalmente, por el aumento de la frecuencia de lluvias sobre una zona, aunque también pueden ser originadas por atascos de hielo en ríos, por el colapso de diques o por la subida de las mareas como consecuencia del calentamiento del océano o por la acción de los maremotos (Watson

y Adams, 2011). Estos fenómenos naturales pueden llegar a ser muy perjudiciales si existen comunidades ubicadas cerca de zonas inundables. Por ello, es importante y necesario realizar estrategias urbanas y diseños de infraestructura apropiados para este tipo de eventos.

De acuerdo con la FEMA (2012), “floodwater can impose hydrostatic forces on building” [las inundaciones pueden generar fuerzas hidrostáticas en las edificaciones]. Esto quiere decir que los eventos de inundación pueden generar empujes laterales y verticales en la construcción. Esto resulta poco beneficioso para la estructura del edificio, ya que dichos esfuerzos terminan por debilitarla. La cantidad de la fuerza ejercida sobre la edificación está en proporción lineal con la profundidad a la que se encuentre sumergida la estructura (FEMA, 2012). En otras palabras, existirá un mayor daño en la estructura en la medida en que la inundación sumerja más a la propia construcción. Las estructuras resilientes a inundaciones deben por ello contemplar un diseño que permita soportar estas cargas. Así, si un edificio correctamente construido se encuentra sumergido en una profundidad de menos de 3 pies, es posible que las fuerzas hidrostáticas no afecten la estructura; sin embargo, si supera esta profundidad, sería adecuado reubicar la vivienda o elevarla (FEMA, 2012). Es decir, la profundidad inundada es importante para determinar qué estrategia se debe considerar. El término empleado para describir la elevación del río es BFE (Base Flood Elevation). De acuerdo a la FEMA (2012), el BFE debe entenderse como la elevación a la que el agua de las inundaciones se eleva. En consecuencia, refleja la altura a la que las infraestructuras pueden llegar a ser inundadas bajo los eventos de inundación.

Asimismo, otro aspecto importante que se considera en las inundaciones es la velocidad en la que el agua se desplaza. Según la FEMA (2012), la velocidad de las inundaciones depende principalmente de la pendiente y porosidad del suelo. Esto significa que existirá un mayor flujo si el terreno sobre el cual se desplaza el agua es

más empujado. La velocidad de desplazamiento del agua perjudica a la integridad de la estructura, puesto que mientras más rápido sea el movimiento de esta, más fuerzas hidrodinámicas se ejercerán sobre el cuerpo (FEMA, 2012). En ese sentido, el daño en la estructura está directamente en proporción a la velocidad de desplazamiento del fluido. Incluso, esto podría llegar a desplazar al cuerpo y generar destrozos al contexto inmediato en caso no se encuentre anclado. El comportamiento de las inundaciones respecto a su velocidad puede ser clasificado en dos: inundaciones de evolución lenta y de evolución relativamente rápida (PEBLT, 2001). Las primeras se producen en las zonas ribereñas de los lagos, mientras que las segundas ocurren en las riberas de los ríos. Esta aproximación puede dar un alcance de la capacidad de daño de una inundación.

3.1.2. Flotabilidad

Para poder entender el comportamiento de las estructuras flotantes, es necesario definir el principio de Arquímedes. En base a este fundamento físico, cualquier cuerpo total o parcialmente sumergido en un fluido (gas o líquido) en reposo recibe la acción de una fuerza ascendente o flotante, cuya magnitud es igual al peso del fluido desplazado por el cuerpo (Britannica, 2012). Es decir, todo objeto flota dependiendo de su capacidad para desplazar una cantidad de agua cuyo peso sea mayor que la del peso del objeto. Para que esto suceda, se debe tener en consideración la densidad del cuerpo. De acuerdo con Hewitt (2007), si la densidad de un cuerpo es menor a la del agua (1000 kg/m^3), este podrá flotar. En cambio, si es mayor, se hundirá. Si es igual, no se hundirá ni flotará. Así, la flotación se produce esencialmente por la comparación entre las densidades de un objeto a sumergir y la del fluido. Asimismo, según Hewitt (2007), la fórmula matemática que define a la densidad de un objeto se puede expresar

de la siguiente manera: $D = M / V$, donde:

D: Densidad (kg/m^3)

M: Masa (kg)

V: Volumen (m^3)

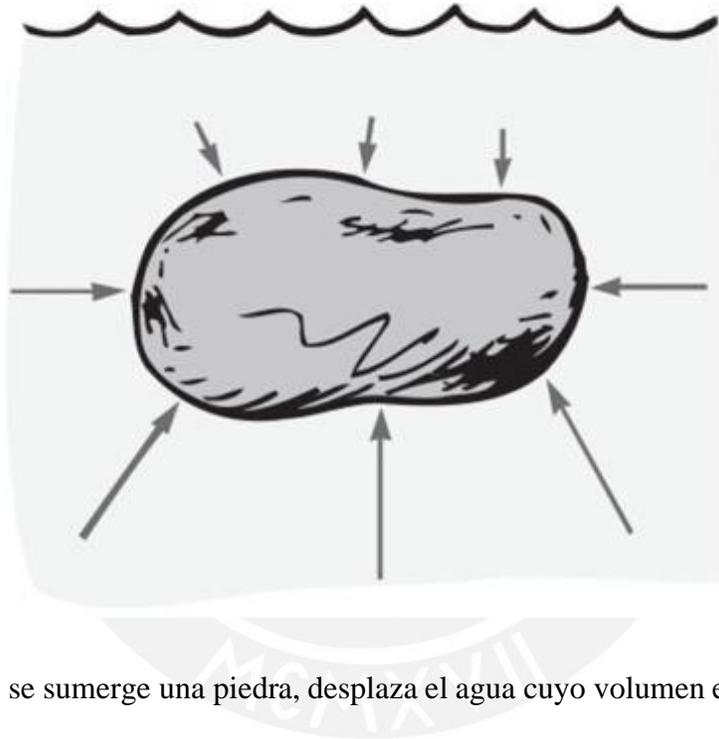


Figura 5. Cuando se sumerge una piedra, desplaza el agua cuyo volumen es igual al de la piedra.

Fuente. Hewitt, 2017.

Al respecto, según Mynett (2015), la principal consideración que se debe tener en cuenta en la construcción de edificios flotantes es su peso total, incluyendo tanto la estructura como los objetos internos (muebles, artefactos, etc.) dentro de él. Así, en caso esta infraestructura se tope con cargas excesivas, como puede ser una gran multitud de gente o un peso excesivo de la misma estructura u objetos, el edificio corre el riesgo de hundirse. Para ello, el diseño de una estructura flotante debe contemplar previamente las capacidades a las cuales será sometida.

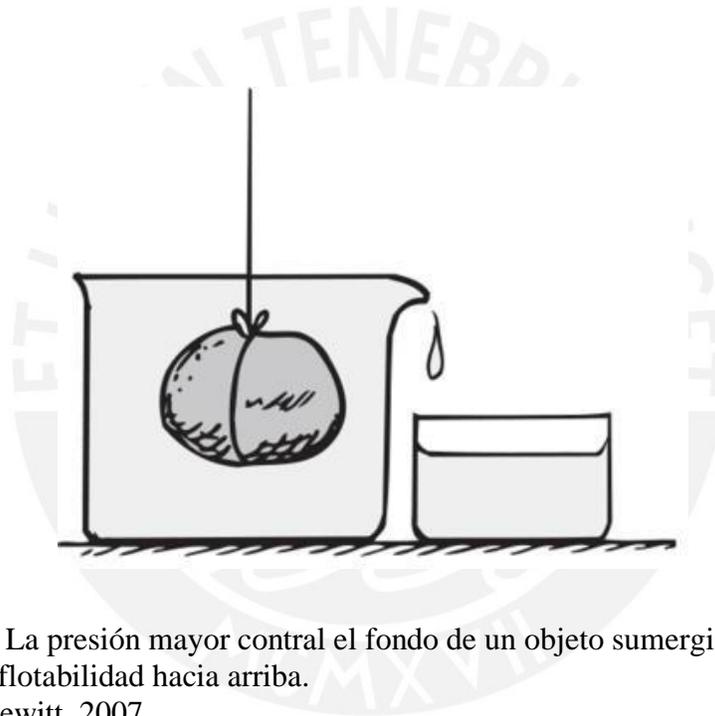


Figura 6. La presión mayor contra el fondo de un objeto sumergido produce una fuerza de flotabilidad hacia arriba.
Fuente. Hewitt, 2007.

Asimismo, la manera en la que estas fuerzas son distribuidas es importante para el diseño de la edificación. Estas fuerzas se denominan presión hidrostática. De acuerdo con Koekoek (2010):

(...) the Archimedes principle makes use of the principle of hydrostatic pressure. The hydrostatic pressure gives pressure in every direction which increases with the width. In a fluid at rest the pressure is isotropic, this means it acts with equal magnitude in all directions. However, in a flowing fluid this does not hold. But the differences are small when the water isn't flowing very fast, so the hydrostatic pressure will also give a good approach in relative slow flowing fluids. [(...) el principio de Arquímedes hace uso del principio de presión hidrostática. La presión hidrostática ejerce un empuje sobre el objeto desde todas las direcciones posibles, y esto aumenta con el ancho. En un fluido

en reposo la presión es isotrópica, esto significa que actúa con igual magnitud en todas las direcciones. Sin embargo, en un fluido que fluye, esto no se sostiene. Pero las diferencias son pequeñas cuando el agua no fluye muy rápido, por lo que la presión hidrostática también proporcionará un buen acercamiento en fluidos de flujo relativamente lento.] (p.29)

Esto evidencia que, de acuerdo con el principio de Arquímedes, los objetos sumergidos en el agua se encuentran constantemente presionados por fuerzas de empuje. Estas fuerzas de presión son isotrópicas si es que el agua donde la estructura se sitúa no se encuentra en movimiento (de aguas calmadas). En caso contrario, las presiones sobre los cuerpos serían hidrodinámicas, lo cual requeriría de planteamientos distintos y más complejos. Por consiguiente, las estructuras flotantes que trabajen bajo el principio de Arquímedes deben de situarse en zonas en las que no exista movimiento constante en el agua.

Además, otro factor importante que debe considerarse sobre la flotabilidad es la profundidad del cuerpo de agua desde donde la estructura se sitúa. De acuerdo con Barker y Coutts (2018), las construcciones boyantes se suelen ubicar en profundidades de agua de no menos de 1 metro, lo que significa que los edificios flotantes deben contemplar una separación desde la parte superior del cuerpo acuoso y el fondo de agua de, a lo menos, 1 metro. Como propone el principio de Arquímedes, los cuerpos necesitan desplazar una suficiente cantidad de agua para que logren flotar. Si no existe una suficiente cantidad, la flotabilidad no se dará.

3.1.3. Estabilidad

La estabilidad es otro factor clave para que las estructuras flotantes sean seguras para los habitantes. La estabilidad permite que la edificación se mantenga en equilibrio sobre el agua y no se vea afectada por el empuje que el agua ejerce en él (por ejemplo, en las crecidas de los ríos en inundaciones). La estabilidad permite que la estadía sea placentera para los usuarios. De acuerdo con Koekoek (2010), “an unstable floating structure will tilt, so a floating structure needs to be stable” [una estructura flotante inestable se inclinará, por lo que una estructura flotante debe ser estable]. En otras palabras, si una estructura no se encuentra en una posición estable, esta se volteará. Evidentemente, ello puede llegar a ser lesivo para quienes se encuentren dentro de la construcción. Así, si un cuerpo flotante se inclina menos que otro cuerpo bajo la influencia de la misma carga, la estructura se considerará más estable.

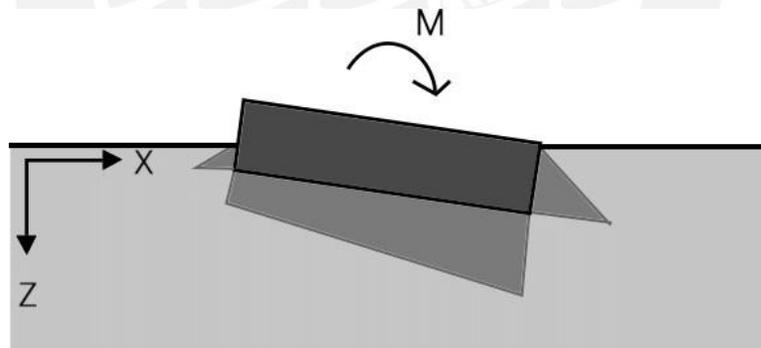


Figura 7. Estructura flotante volteada por fuerzas del agua.
Fuente. Koekoek, 2010.

Cada cuerpo que interacciona con el agua presenta tres puntos esenciales que permiten que este se mantenga en estabilidad. El primero es el centro de gravedad que consiste en “an imaginary point in a body of matter where, for convenience in certain calculations, the total weight of the body may be thought to be concentrated” [un punto imaginario en un cuerpo de materia donde, por conveniencia en ciertos cálculos, se puede pensar que se concentra el peso total del cuerpo] (Britannica, 2020). De lo anotado se desprende que, en cada objeto, la cantidad del peso de este se dirige de forma concentrada en una sola locación. El segundo punto es el centro de boyancia, el cual consiste en la intersección entre la línea imaginaria vertical desde el centro de gravedad (Britanica, 2020). El centro de boyancia está en relación al principio de Arquímedes y a las fuerzas que el agua ejerce sobre los cuerpos al sumergirse. El tercero se llama el metacentro, el cual consiste en un punto teórico formado por la intersección de la línea imaginaria vertical trazada desde el centro de gravedad y la línea imaginaria vertical desde el centro de boyancia (Britanica, 2020). Dicho de otro modo, el metacentro es una ubicación creada por las líneas verticales de los dos otros puntos del objeto flotante. La posición y el orden de estos puntos es crucial para saber si es que el cuerpo llegará a hundirse o no.

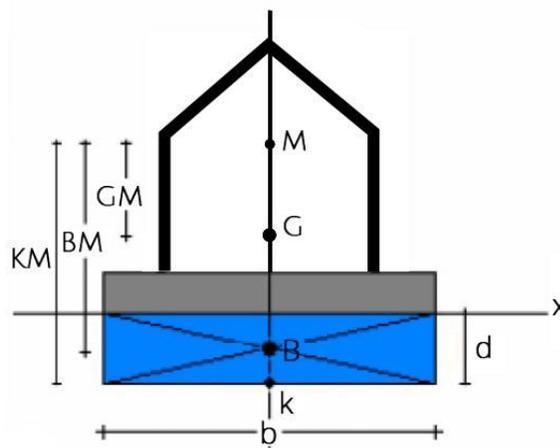


Figura 8 Puntos de estabilidad en un cuerpo flotante.
Fuente. Koekoek (2010).

Como regla general, una gran altura metacéntrica significa una gran estabilidad. Entonces, desde el punto de vista de la estabilidad, el punto de gravedad debe ser lo más bajo posible y el metacentro debería ser lo más alto posible (Koekoek, 2010). En ese sentido, para que el cuerpo se mantenga en estabilidad, se debe lograr descender lo más posible la posición del centro de gravedad del cuerpo y elevar lo más posible la posición del metacentro. Para lograr ello, se debe tratar de distribuir adecuadamente la materia de los cuerpos, así como elegir formas geométricas adecuadas en los objetos.

Existen maneras para conseguir que los edificios flotantes cumplan con los requisitos anteriormente descritos. Según Mynett (2015), los tres aspectos a tomar en consideración en el diseño de estructuras flotantes son disminuir el centro de gravedad, alargar la superficie de base y aumentar el peso. En consecuencia, se deben diseñar bases pesadas y tratar de construir el resto de la vivienda de forma ligera, con el objetivo de que estas infraestructuras sean resistentes a los fenómenos de rotación. Asimismo, si las estructuras son más alargadas, el centro de gravedad de la infraestructura tendrá un rango de desplazamiento mayor, lo cual repercute en una estabilidad superior de la infraestructura.

Asimismo, no solo los momentos de volteo por las fuerzas del agua son los responsables del desequilibrio en una infraestructura flotante. El balance interno es igual de importante para evitar desequilibrios. Así, el área total de la superficie de la base flotante debe recibir de forma distribuida el peso de la edificación. De no cumplirse esta condición, el edificio podría tambalearse y, en casos extremos, podría llegar a ser peligroso. (Municipality of Amsterdam, 2012). En ese sentido, una mala distribución de los objetos internos dentro de la edificación podría llegar a desestabilizarla y generar inconformidad y peligro para los ocupantes de la residencia. Las dos zonas con mayor carga suelen ser los baños y la cocina, debido a la cantidad de elementos que concentran, como tuberías, mobiliario, etc. (Municipality of Amsterdam, 2012). Por ello, no deben

ubicarse en zonas superiores de la construcción.

Un cuerpo flotante con una sección rectangular en dirección vertical es claramente más estable que otras formas, como una forma cilíndrica o triangular (Winkelen, 2007). Esto significa que, en las edificaciones flotantes, las plantas rectangulares, debido a su geometría son capaces de asegurar a la edificación ante potenciales peligros de volteos. De acuerdo con su estudio, la explicación se determina por fórmulas matemáticas, las cuales señalan una relación entre la altura de la base y su ancho. Así, mientras mayor sea el ancho, mayor será su estabilidad. Asimismo, según Kuijper (2006) a través de Koekoek (2010), asegura que existen tres situaciones geométricas que determinan las condiciones más relevantes para la estabilidad. Estas son la poca altura, un pequeño calado y rotaciones pequeñas. Así, cuando los cuerpos flotantes presentan 6 metros de ancho o menos, la posición del centro de gravedad es determinante, mientras que cuando el ancho es de 9 metros, este mismo punto ya no es tan importante. Si el ancho es mayor a los 9 metros, el factor decisivo es el mismo ancho de la estructura.

3.1.4. Posición fija

La estructura flotante experimenta cargas tanto estables como inestables debido al movimiento y presión del agua que provocan grandes desplazamientos desde su posición original. A propósito, Koekoek (2010) señala que existen 6 diferentes movimientos posibles en las estructuras flotantes. Estos constan de tres movimientos de desplazamiento en los ejes x , y , z del cuerpo; y de tres movimientos de rotación en los mismos ejes. Esto indica que las fuerzas del agua pueden modificar de 6 formas distintas el posicionamiento de la estructura y, por consiguiente, vulnerar la seguridad de los habitantes.

Debido a que el movimiento de los cuerpos flotantes puede llegar a ser incómodo para los usuarios, las estructuras boyantes deben ser amarradas. De acuerdo con Koekoek (2010), el número de los posibles movimientos de los cuerpos flotantes puede llegar a reducirse si es que son atados a puntos de anclaje. Esto indica que las posibilidades de que la estructura se vuelque o que rote sobre alguno de sus tres ejes pueden llegar a ser nulas. Así, los desplazamientos en los ejes x e y de los cuerpos flotantes pueden llegar a ser prevenidos por puntos de anclaje. Sin embargo, bajo este mismo método, los desplazamientos verticales no se pueden limitar (Koekoek, 2010), por lo que los primeros tres posibles desplazamientos pueden llegar a ser reducidos a uno solo.

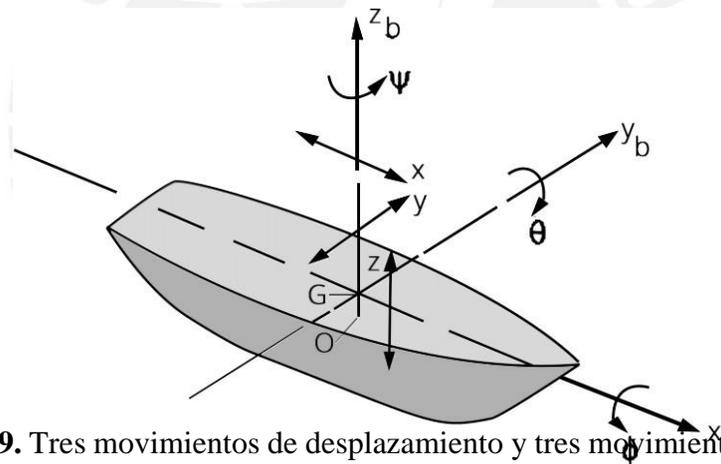


Figura 9. Tres movimientos de desplazamiento y tres movimientos de rotación.
Fuente. Koekoek, 2010.

Respecto a los otros tres posibles movimientos, el método de anclaje también permite que sus efectos sean limitados. Según Koekoek (2010), “if the floating structure is moored on more than one mooring pole, these moorings will prevent the rotation around the z -axis” [si la estructura flotante está sujeta en más de un poste de amarre, estos evitarán la rotación alrededor del eje z] (p.33). En otras palabras, si se fondea el objeto, dejará de rotar en el eje z . Esto resulta beneficioso para la estadía de los habitantes de las estructuras. Con respecto a los otros dos movimientos de rotación, la intensidad con la que estos lleguen a afectar a los cuerpos boyantes está en relación con la altura en la que se encuentre el metacentro, por lo que también está en relación con

el ancho de la estructura. De acuerdo con Koekoek (2010), “...large dimensions will also result in less rotating of the floating structure” [dimensiones largas también resultarán en menores rotaciones en las estructuras flotantes] (p.33). Así, queda demostrado que los objetos flotantes pueden ser controlados y adaptados para su ocupación si es que se diseñan de manera adecuada.

3.2. La vivienda flotante sostenible

Como se explica en el capítulo 3 de esta investigación, el mundo está experimentando diversos cambios como consecuencia del calentamiento global. Esta se encuentra relacionada al hombre y a cómo ha empezado a intervenir en la naturaleza de modos que han dejado de ser sostenibles. De acuerdo con la ONU (2017), la sostenibilidad es definida como la acción de “satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la habilidad de las futuras generaciones de satisfacer sus necesidades propias” (párr. 2). Esto significa que la sostenibilidad consiste en realizar acciones en el presente que no lleguen a perjudicar a quienes nos sucedan en el mundo. Esto implica que las acciones que realizamos no deben empeorar las condiciones ambientales actuales en las que el planeta se encuentra.

Actualmente, diversas disciplinas han tratado de incorporar criterios de sostenibilidad en sus matrices de accionar. Específicamente, el sector de la construcción también se ha alineado los 30 ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenible) que la ONU propone (ONU-Habitat, 2019). Es por ello que, actualmente, la arquitectura sostenible se empieza a considerar con mayor prevalencia. Según Ching y Shapiro (2015), “la arquitectura ecológica es un campo relativamente nuevo, cuyo objetivo es reducir sustancialmente el impacto medioambiental de los edificios, sin que dejen de proporcionar un entorno saludable a sus ocupantes” (p. 7). En otras palabras, este tipo de arquitectura se circunscribe al contexto actual del cambio climático y trata de reducir el efecto contaminante de la construcción, sin que esto llegue a limitar las

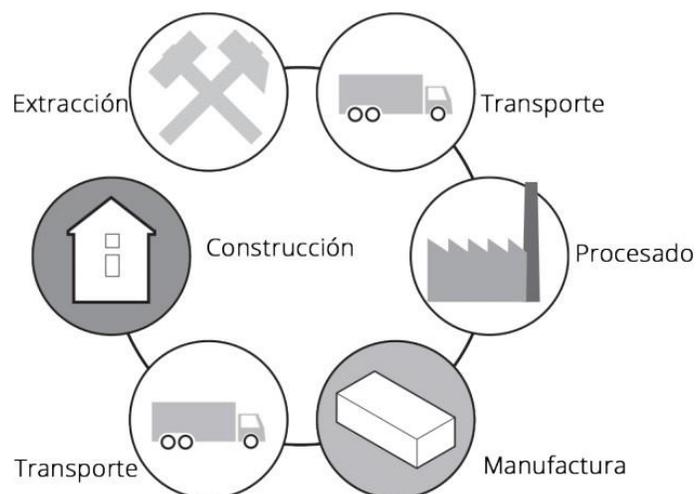
condiciones de vida de sus usuarios.

Actualmente, se construyen todo tipo de edificaciones aplicando los principios de la sostenibilidad, desde torres hasta edificios de menor escala. Dentro de la investigación presente se pretende analizar un tipo de edificación en concreto: la vivienda. De acuerdo con Hyde (2008), una vivienda “zero-energy dwelling” (vivienda de energía cero) puede ser conseguida mediante acciones simultáneas: reducir la demanda de energía de la vivienda y utilizar energía solar para generar eléctrica y satisfacer los requerimientos de calor de la vivienda. Así, una vivienda sostenible se puede resumir en una vivienda que limita su contaminación y también tiene presente la estadía del propio usuario.

En su libro *Arquitectura Ecológica, un manual ilustrado*, Ching y Shapiro proponen 15 estrategias que permiten disminuir el impacto contaminante de las construcciones. Sin embargo, dentro de la presente investigación se seleccionarán 3 de ellas, dado que se consideran más pertinentes para evaluar una vivienda de condiciones flotantes. Así, los materiales, la forma construida, y la calidad del ambiente interior resultan oportunos de ser estudiados.

3.2.1. Materiales

Los materiales utilizados en la construcción de edificios pueden llegar a



convertirse en elementos causantes del agravamiento del calentamiento global. El impacto ambiental de estos se encuentra vinculado a las emisiones y energías incorporadas, la extenuación de las fuentes de materiales y a su acumulación en vertederos (Ching y Shapiro, 2015). Esto quiere decir que el alcance negativo de los recursos utilizados para la construcción se halla en la cantidad de energía utilizada por fuentes para su producción, como las fábricas que emiten diversos gases de carbono cuando elaboran productos; en el agotamiento de las materias primas con las que se elaboran los propios materiales; y por el cúmulo de ellos y de su posterior descomposición. Es por ello que, en el proceso de diseño, se debe tener un planteamiento claro que permita mitigar los efectos mencionados.

Una forma de controlar el consumo energético de los materiales es optar por disminuir su uso. De acuerdo con Ching y Shapiro (2015), la elección más ecológica de materiales es aquella que minimiza su uso. Esto quiere decir que mientras más se prescindiera de las materias en la construcción, menor será el impacto del edificio en el medio ambiente. La forma de la construcción y las dimensiones que esta posea permiten ahorrar materiales. Así, se puede optar tanto por disminuir las medidas de la planta y de

Figura 10. La energía incorporada es la cantidad total de energía utilizada en la extracción, manufactura, procesado y transporte de los materiales hasta la obra. *Fuente.* Ching & Shapiro, 2015.

las superficies de la envolvente. También vale si se obvian algunos elementos dentro de las edificaciones o si se simplifica la misma edificación. Evitar el uso de techos altos u optar por una forma geométrica de la construcción simple permiten ahorrar el consumo energético (Ching y Shapiro, 2015). Esto quiere decir que prescindir de elementos sofisticados y de generar complejidades en la arquitectura pueden permitir que los

edificios se vuelvan más sostenibles. Asimismo, si se opta por utilizar la propia estructura como un elemento visible y decorativo para la fachada se estaría también contribuyendo a restringir el uso de más materiales. Esto implica tratar de no sobrecargar la fachada de otros elementos como pinturas u otros accesorios, que recarguen la propia naturaleza estructural del material.

Cuando se escogen los materiales se debe tratar de utilizar materiales con contenido reciclado, así como tener en cuenta la energía incorporada (la cantidad de energía utilizada para producir un elemento) que estos tengan. Por ejemplo, el concreto o el acero son materiales muy comerciales que incorporan, en su mayoría, materias recicladas; sin embargo, su propia energía incorporada es significativamente elevada (Ching y Shapiro, 2015). Así, se debe tener precaución con respecto a los materiales utilizados, pues pueden llegar a repercutir en la contaminación ambiental. Una forma de disminuir la energía incorporada de los materiales es utilizando aquellos próximos a la zona a construir. Según Ching y Shapiro (2015), “los proyectos de arquitectura ecológica otorgan mayor valor a los materiales locales, pues minimizan la energía utilizada en el transporte” (p.219). En otras palabras, los medios que transportan los materiales de construcción están en contra de la sostenibilidad y se debe preferir utilizar materiales que no requieran de viajes de largas distancias. Asimismo, se debe de fomentar el uso de materiales naturales en la construcción. Estos elementos, como la madera, poseen poca energía incorporada, lo cual es beneficioso para los objetivos de una construcción sostenible.

3.2.2. La forma construida

La forma construida está relacionada a la forma geométrica del edificio y su extensión. De acuerdo con Ching y Shapiro (2015), la forma construida se entiende

como la huella del edificio, así como la forma envolvente que este tenga. Esto significa que la forma construida de las edificaciones consiste en toda la superficie envolvente exterior de la edificación (muros, techos), así como la suma del área total de las plantas interiores de los distintos pisos existentes en el edificio. Su análisis es prudente, pues permite reducir gastos energéticos.

Por un lado, la superficie total en la planta de la infraestructura se encuentra en proporción a la cantidad de energía y materiales consumidos en él. Así, un edificio pequeño consume menos energía y materiales que uno grande (Ching y Shapiro, 2015). Esto significa que es preferible construir edificios que no se encuentren ampliamente dimensionados, con el fin de no seguir contribuyendo a la contaminación ambiental. Para lograr ello se puede optar por reducir las dimensiones de algunos ambientes internos o aumentar la densidad de usos del edificio.

Por otro lado, así como sucede con la huella del edificio (la suma total de área de superficie en planta total de la edificación), el envolvente se encuentra también en relación proporcional al gasto energético y material en la infraestructura. Sin embargo, el envolvente cumple también el rol de contribuir en las ganancias térmicas (Ching y Shapiro, 2015). Esto significa que el área total superficial de la edificación puede contribuir a reducir el uso de aparatos eléctricos, como calefactores o refrigerantes. Esto también se traduce en una reflexión sobre la pertinencia de las dimensiones de los ambientes de la edificación. Por ejemplo, el uso de techos altos contribuye a un gasto innecesario dado el exceso de materiales que requiere su construcción. En consecuencia, reducir el área total de superficie externa puede contribuir en una disminución en la polución del ambiente, pero se debe tener precaución de que no perjudique la temperatura interna. En caso contrario, se recurriría a artefactos electrónicos que terminarían por contaminar de igual modo.

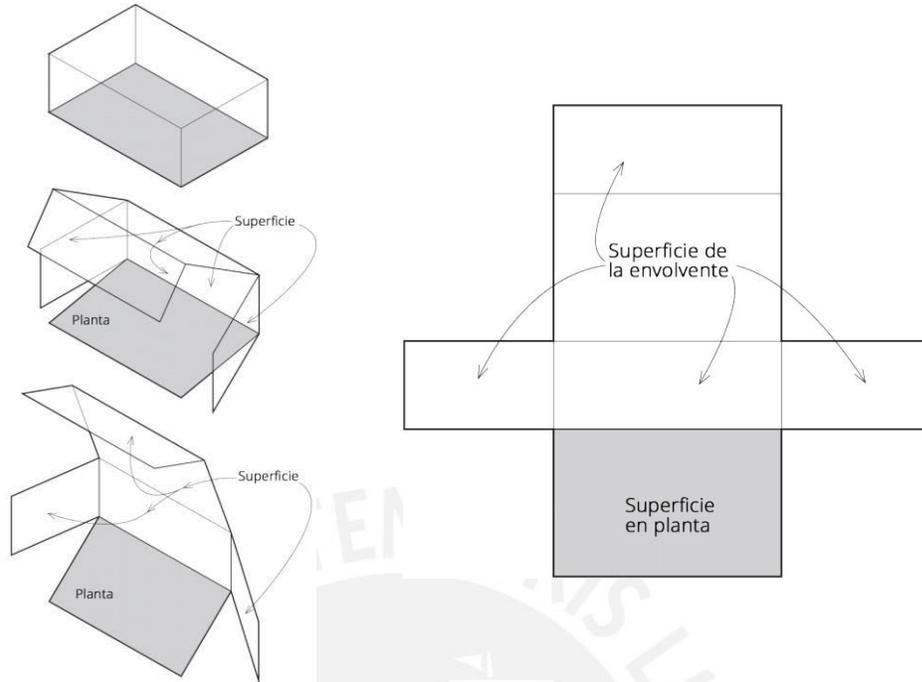


Figura 11. Despliegue de la envolvente de un volumen.

Fuente. Ching y Shapiro, 2015.

Finalmente, en general, conviene tratar de reducir las medidas totales de la edificación, pues esto ayuda a que el gasto energético sea menor. Una forma construida óptima no tiene que ser necesariamente equivalente a una edificación pobre en calidad espacial, pero sí debe hacerse planteamientos sobre la pertinencia de las decisiones proyectuales.

3.2.3. La calidad del ambiente interior

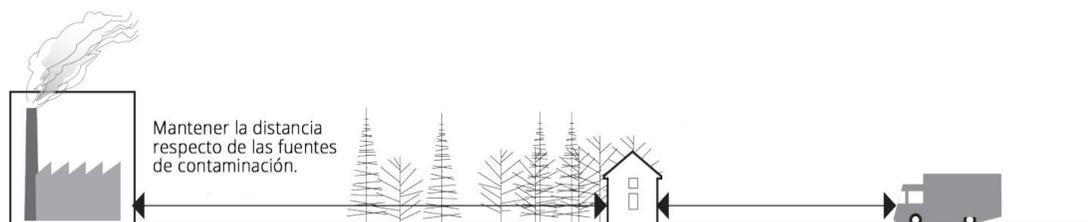
La calidad del ambiente en la arquitectura se encuentra relacionado tanto con la cualidad de aire que aspiramos, con el qué tan comfortable el usuario se sienta con relación a la temperatura percibida; y con la tranquilidad sonora. En suma, la calidad del ambiente está dirigida a reconocer si es que el ambiente del edificio es reconfortante para la estadía interna.

La calidad del aire interior se asocia con la pureza de esta. De acuerdo con Ching y Shapiro (2015), “para que el aire del interior del edificio sea de buena calidad, no debe

contener concentraciones excesivas de contaminantes, como partículas de polvo, CO₂, sustancias químicas peligrosas, humo de tabaco, olores, humedad y contaminantes biológicos” (p. 167). Esto significa que el viento que ingresa debe ser de la mejor calidad posible, libre de impurezas que la modifiquen y la conviertan en un elemento no apto para el ser humano. Así, las pautas en el diseño deben de conducir a permitir el ingreso de aire apto para el hombre.

Una complicación que reduce la calidad del viento es la cercanía de las aberturas con respecto a las fuentes de contaminación (Ching y Shapiro, 2015). Por consiguiente, en pro de mejorar la condición de la atmósfera interna, se debe prestar atención a la naturaleza del entorno. Este debe ser lo más salubre posible, pues finalmente repercutirá en la experiencia interior. Así, se debe tratar de que los accesos y circulación, y el aparcamiento se ubiquen lejos de la construcción (Ching y Shapiro, 2015). Esto se debe a que el humo de los vehículos resulta muy contaminante, así como lo suelen ser las avenidas próximas y ciertas personas con conductas inadecuadas para el objetivo de una vivienda de calidad, como el hábito de fumar cigarrillos.

Cuando se garantiza el ingreso del aire impoluto se debe prestar atención a la distribución interna de los ambientes en la edificación. Esta operación permite develar si es que el aire logra ingresar a los ambientes. Ching y Shapiro afirman que “la ventilación a menudo no llega a las personas a las que va dirigida” (2015, p.177). Esto se produce porque el aire fresco no es conducido de forma adecuada al interior de todos los ambientes. Ello provoca que se tenga que recurrir a métodos innecesarios (en caso se diseñe de forma prudente), como el uso de aire acondicionado. Una solución para



este problema es reducir la necesidad de ventilación interna. Si se proyecta un edificio con dimensiones en planta poco extensas y sin techos altos se logra disminuir la escasez de aire (Ching y Shapiro, 2015). Al compactar el interior, se hace más sencillo que el viento se propague por todos los ambientes, evitando recurrir al uso de dispositivo de ventilación.

Asimismo, los edificios necesitan tener una adecuada temperatura interna para que la experiencia de los usuarios adopte requerimientos básicos para el confort. Con relación al confort térmico, Ching y Shapiro (2015) aseguran que “el confort en el

Figura 12. Fuentes contaminantes en un hogar.

Fuente. Ching y Shapiro, 2015.

interior se mide principalmente a través de la temperatura del aire y, de forma secundaria, mediante la humedad” (p.181). Esto significa que el control de la temperatura del aire y la cantidad de humedad son claves para lograr una adecuada experiencia interna de la construcción. Para este propósito se hace uso de distintos métodos que permitan modificar el calor del viento. Por ejemplo, el uso de métodos como el muro Trombe, aislamientos internos o externos, uso de invernaderos, etc., pueden ayudar a alcanzar una temperatura óptima.

Con relación a la acústica del edificio, Ching y Shapiro (2015) indican que la propagación del sonido dentro de la edificación debe ser evitado y recomiendan definir qué zonas presentan mayores o menores niveles de ruido, protegiendo los espacios en donde no se le desee presente. Esto significa que se debe ser precavido con las fuentes de sonido no atractivas para el usuario, para lo cual un análisis interno del desenvolvimiento sonoro de la infraestructura resulta pertinente, tratando de evadirlo en zonas puntuales, como salas de conferencia o salas de ensayo.

CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA

Para el desarrollo de la investigación, el trabajo esbozará un análisis sobre distintos casos de estudio. Estos han sido seleccionados bajo ciertos criterios que se espera permitan llegar a conclusiones pertinentes. El análisis está ligado a la teoría antes expuesta, la cual brinda pautas para la examinación de cada uno de estos casos. Cada uno de ellos incorporará gráficas que demuestren y complementen las ideas que se están desarrollando. Así, se espera tener una noción más clara sobre las conclusiones a las que se llegue. De igual manera, se hará uso de herramientas digitales dentro de la investigación, como Google Earth, las cuales permitirá desarrollar mediciones necesarias para el desarrollo de los casos de estudio.

Dentro del análisis se utilizará el término “arquitectura flotante” para referirse tanto a las arquitecturas flotantes que reposan permanentemente en el agua como a las construcciones anfibia. Cuando sea necesario hacer una diferenciación, se denominará “arquitectura flotante permanente” a las construcciones adaptadas para permanecer siempre sobre el agua. Por último, el término “arquitectura anfibia” será empleado para referirse a las edificaciones que se elevan solo en fenómenos de inundación.

4.1. Criterios de selección de casos

El presente trabajo de investigación tiene como consigna determinar si la arquitectura flotante es adecuada para hacer frente a las inundaciones, considerando también que no debe seguir contribuyendo en el fomento de estas. Para ello, se ha seleccionado tres casos de estudio teniendo en consideración la zona geográfica de emplazamiento, la relevancia histórica y hechos resaltantes. Cabe mencionar que todos ellos han sido o serán probablemente víctimas de inundaciones. Asimismo, dado que son las viviendas el elemento más básico para que el hombre pueda desarrollarse, solo se ha seleccionado casos que tengan esta función. En un

mundo caótico, estas infraestructuras debiesen contribuir a que las familias puedan sobrellevar las catástrofes de inundaciones.

Por un lado, en un contexto nacional, se ha escogido la comunidad flotante de los Uros. Este caso se encuentra ubicado en un lago de aguas calmadas con inundaciones periódicas. Además, es curioso y remarcable la longevidad de la misma comunidad, demostrando que sus métodos han permitido una larga vida en comunión con el agua.

Por otro lado, dentro de la categoría de arquitectura flotante permanente se ha seleccionado al barrio flotante de IJburg, ubicado sobre el lago IJmeer en Holanda. El conjunto es remarcable dentro de diversos estudios e investigaciones con relación a la arquitectura flotante. Ello en parte se debe al diseño urbano que se desarrolló en colaboración con la Municipalidad de Amsterdam.

Finalmente, el tercer caso es el conjunto residencial de Maasbommel, ubicado sobre el lago inundable De Gouden Ham, también en Holanda. Este resalta por ser el primer conjunto residencial de viviendas anfibas en el mundo, como parte de un proyecto experimental en Holanda.

4.2. Criterios de análisis

Dentro del presente proyecto se utilizarán 4 criterios que permitirán desarrollar la examinación de los tres casos de estudio:

4.2.1. Inundaciones

Se verificará qué tanto influyen las inundaciones sobre las infraestructuras flotantes durante un evento de inundación. Para ello, se analizará la situación de la zona de emplazamiento del caso con relación a un fenómeno de inundación resaltante ocurrido o por ocurrir. Se utilizarán los conceptos de la FEMA sobre la relación entre la velocidad del agua y el daño que existe entre una infraestructura. Para ello, se

aplicarán las indicaciones del Proyecto Especial Binacional Lago Titicaca (PEBLT) (2001) respecto a la relación entre velocidad del agua y el tipo de cuerpo acuoso. También se recuperarán los planteamientos de Barker y Coutts (2018) sobre las capacidades de flotación de las infraestructuras boyantes.

4.2.2. Flotabilidad

Se verificará si las estructuras son capaces de flotar en el agua de acuerdo con sus propias características y las del medio acuoso donde se emplazan. Se hará uso de los conceptos propuestos por Koekoek (2010) respecto a las condiciones que permiten que los cuerpos floten bajo la ley de Arquímedes. Asimismo, se utilizarán las indicaciones de Barker y Coutts (2018) sobre la profundidad del cuerpo acuoso en donde se ubique la construcción. Finalmente, se utiliza la consideración de Mynett (2015) sobre los pesos que deben tener los cuerpos en la parte superior.

4.2.3. Estabilidad

Se verificará si la construcción boyante posee las características suficientes para retornar a su posición original estable una vez que el agua la someta a esfuerzos de presión. Se utilizarán los conceptos de Koekoek (2010) sobre la interacción entre los tres puntos imaginarios que permiten la estabilidad de la estructura. Asimismo, se utilizarán las recomendaciones de Mynett (2015) sobre aquello que permite que una estructura pueda devolverse a su posición. Finalmente, se sigue a Kurylek (2016) para determinar qué condiciones son más importantes a tener en cuenta para adquirir estabilidad.

4.2.4. Posición fija

Se verificará si la estructura es capaz de mantenerse en una posición fija que permita a los habitantes realizar actividades cotidianas. Se utilizarán los conceptos de Koekoek (2010) sobre los 6 posibles movimientos a los que una estructura se encuentra sujeta y que permite que la estructura se mantenga fija.

4.2.5. Sostenibilidad

Se verificará si la infraestructura presenta características en su construcción y su entorno que aseguren que la infraestructura no contribuirá con la contaminación medioambiental. Para ello, se advertirán 3 subcriterios esenciales: materiales, la forma construida y la calidad del ambiente interior. El primero explica si la materialidad empleada en la edificación es poco o muy contaminante. La segunda explica si las dimensiones empleadas del propio volumen se justifican o si la forma no es tan adecuada de acuerdo con una visión sostenible. Finalmente, la tercera tratará de detallar si existen condiciones adecuadas para que la construcción sea habitada, mejorando el confort interno y evitando un uso innecesario de elementos contaminantes. Todos ellos serán analizados a través de los conceptos de Ching y Shapiro (2015) respecto a la sostenibilidad y la arquitectura.

4.3. Alcances y limitaciones

Por un lado, el trabajo de investigación presenta los siguientes alcances en el desarrollo de los casos:

- Se analizará únicamente los casos de las viviendas de los Uros, de las viviendas anfibias de Maasbommel y de las viviendas tipo Vancouver de IJburg.
- La investigación abarca exclusivamente estructuras que puedan ser catalogadas como flotantes.

Por otro lado, existen ciertas limitaciones dentro de la examinación de casos:

- El propio tiempo de la investigación ha limitado la capacidad de ahondar aún más en los resultados obtenidos.
- Los análisis realizados en las infraestructuras, en especial los referidos a la seguridad de los habitantes, no son exactos. Se ha optado por utilizar sugerencias de expertos e investigadores en el diseño de construcciones flotantes y de infraestructuras sostenibles. Sin embargo, si se quisiese examinar más profundamente los casos aquí expuestos, serían necesarios exámenes con cálculos sofisticados.
- La falta de fuentes de información relacionada al tema no ha facilitado la investigación, limitándola.

CAPÍTULO V: CASOS DE ESTUDIO

5.1. Las viviendas de los Uros

Los Uros son una comunidad ubicada en la región de Puno, distribuidos por un amplio espacio en toda la cuenca del Titicaca. La comunidad de los Uros es de desarrollo previo a la conquista del Imperio incaico, se trata de la población más antigua de la meseta del Collao al establecerse alrededor del año 1200 a. C (Marca Perú, 2018), lo cual la convierte en una muestra viviente de nuestro pasado peruano. Esta comunidad antiguamente se dividía en varios pueblos, de los cuales hoy ya no subsisten muchos, debido a la asimilación que han sufrido mayormente en el contacto con los aymaras. Según Nathalie (2017), los Uros formaban parcialidades o naciones: la primera, los Urus que habitaban en el lago Titicaca; la segunda, los Urus del río, como se les nombraba por tener su morada a lo largo del río Desaguadero o sus inmediaciones; la tercera, los establecidos en el lago Poopó; y, finalmente, la cuarta, los que habitaban las ciénagas de Coipasa y las comarcas circunvecinas. Así, la comunidad de los Uros se presenta como un pueblo ancestral y diverso geográficamente.

Actualmente, los Uros están conformados por 4 grupos: Uros Puno, Islas flotantes Kapi, Urus Titino y Uros Chulluni (Marca Perú, 2018). De estos, los Uros Titino son la comunidad más descuidada debido a la falta de turistas y la poca accesibilidad a servicios. Esta suerte no es compartida por los Uros Chulluni, los cuales se ubican próximos a la capital de Puno y son los que reciben a la mayor cantidad de turistas. Las islas subsisten gracias a la pesca, la recolección, la caza de aves y el turismo. Las islas más alejadas suelen no desarrollar su economía en base al turismo, reservándose a las otras actividades mencionadas. Las islas que subsisten en base al turismo principalmente dependen de la venta de las artesanías y visitas.



Figura 13. Imagen de una isla Uro.
Fuente. PromPerú, 2018.

5.1.1. Inundaciones

Los Uros se ubican en la cuenca hidrográfica del Titicaca. Esta cuenca se encuentra alimentada por ríos afluentes, los cuales lo alimentan. Sin embargo, son las lluvias quienes representan el 55,5% del agua en el lago Titicaca (Espino, Alburqueque, Segura y Chura, 2017). Esto significa que las precipitaciones son los principales actores en la variación del nivel del agua existente. De acuerdo con el Proyecto Especial Binacional Lago Titicaca (PEBLT) (1993), el mayor evento de inundación registrado en Puno es el del año 1986. Durante tal evento de inundación, las viviendas, la ganadería y las vías ferroviarias fueron afectadas considerablemente. Tal evento afecto no solo a los ciudadanos de Puno, sino también a aquellos ubicados en el lago. Respecto a los habitantes uros, se registró que, en más de 30 islas uros, las viviendas se vieron inundadas por el alza del nivel del lago, el cual llegó hasta los 3812.52 m.s.n.m. (La República, 2019). Esto quiere decir que la flotabilidad de las islas se vio vulnerada por el desplazamiento del agua. Asimismo, dado que el nivel medio del lago Titicaca es de 3810 m.s.n.m., el BFE registrado fue de 2.52 m.

De acuerdo con las indicaciones de la FEMA, debido a que el BFE alcanzado fue mayor a los 3 pies (0.91 m), inundaciones similares podrían llegar a ejercer esfuerzos considerables sobre las infraestructuras ubicadas dentro de la franja de inundación. Ello, en efecto, sucedió con las viviendas de los habitantes de la ciudad de Puno. Sin embargo, en el caso de los Uros, esto no se produjo en todas las islas. Según Barker y Coutts (2018), las construcciones flotantes se adaptan a cualquier nivel de elevación. Esto fue cierto para el resto de las otras viviendas uros que no se vieron afectadas por la inundación.

Asimismo, según las indicaciones del PEBLT respecto a la velocidad del agua, dado que los Uros se ubican en un lago, la velocidad del agua debe ser lenta. De acuerdo con las indicaciones de la FEMA, las fuerzas que ejerce el agua en movimiento (fuerzas hidrodinámicas) están en relación con la velocidad del agua, por lo que, en un evento de inundación similar, la infraestructura no sería afectada severamente. Asimismo, ya que las viviendas son flotantes, de acuerdo con Barker y Coutts (2018), estas se encuentran adaptadas al desplazamiento vertical, igualando siempre el nivel del agua. Esto significa que incluso con una variación del nivel del fluido, los hogares se encuentran preparados para hacer frente a una crecida similar.

Por ello, la velocidad del agua en movimiento durante el evento tampoco debió ser tan rápida. Según como explica la FEMA, la velocidad está relacionada a los esfuerzos de la hidrostática del agua. Así, los esfuerzos tampoco debieron haber sido tan severos. Y, en general, no deberían serlo, pues se tratan de inundaciones con velocidades reducidas.

Finalmente, la zona en la que se emplazan los Uros tiene características que permiten que las viviendas floten durante un evento de inundación. Asimismo, debido a la zona en que se ubican, las presiones ejercidas por el agua tampoco deberían ser tan severas. En ese sentido, es posible concluir que las islas tienen capacidades de adaptación ante las inundaciones, pero estas pueden

llegar a fallar ante excesivas crecidas del nivel del lago.

5.1.2. Flotabilidad

Las bases de las islas flotantes de los Uros son relativamente ligeras, elaboradas casi en su

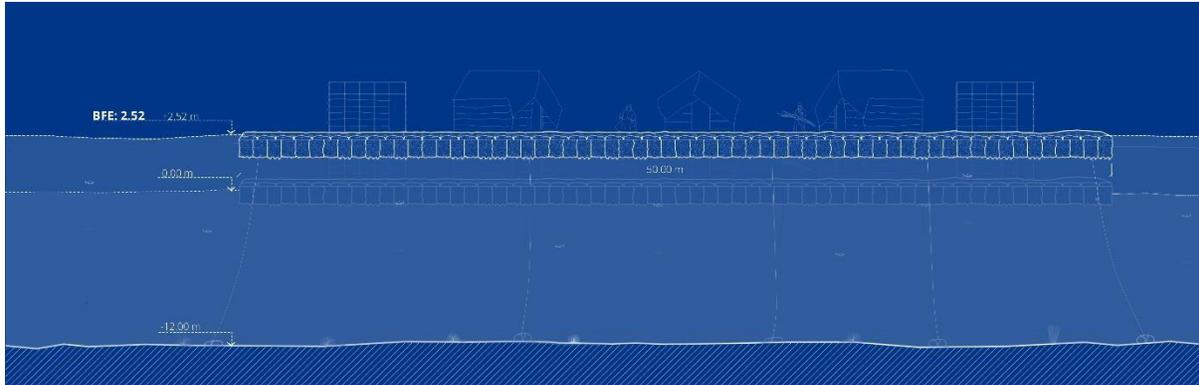


Figura 14. Variación del nivel del lago Titicaca en isla Uro.

Fuente. Elaboración propia, diciembre de 2020, a partir de los datos de PEBLT, 1993.

totalidad a partir de la totora. De acuerdo con Hidalgo (2007), la densidad de la totora es de $180 \text{ m}^3/\text{kg}$. Esta medida resulta ser mucho menor que la densidad del agua ($1000 \text{ m}^3/\text{kg}$), por lo que, de acuerdo con la ley de Arquímedes, la fuerza de reacción del fluido (fuerza boyante), será mayor que la del peso de este cuerpo, lo cual asegura su flotabilidad.

Además, las viviendas de los Uros son ligeras por estar elaboradas con totora y madera, materiales también ligeros. Asimismo, gracias al material fílmico recopilado de Kike Arnaiz (2019) sobre las viviendas Uros, se observa que en el interior de cada vivienda hallamos elementos como ropas, textiles y una cama. Esto corrobora que el peso interior de cada vivienda es relativamente minúsculo. Así, las viviendas no llegan a generar demasiada carga sobre las bases flotantes de la isla. Por consiguiente, de acuerdo con las indicaciones de Mynett (2015), se asegura que no existan pesos muy elevados que hundan a la isla.



Figura 15. Mapa de inundación de Puno del año 1986.

Fuente. Elaboración propia, diciembre de 2020, mediante el mapa del PEBLT (1993).

Respecto a la zona de emplazamiento de las islas Uros, estos se encuentran situados a 500 metros de la bahía de Puno, sobre una profundidad de lago que varía entre los 12 a 15 metros (Prisco, Valencia y Vasilyeva, 2015). Debido a que la recomendación es que exista como mínimo 1m de profundidad desde la cota inferior del lago hasta la cota más superficial, según Barker y Coutts (2018), el lago provee una suficiente cantidad de fluido para que las islas lo puedan desplazar, manteniéndose así sobre el agua debido a las fuerzas boyantes.

Finalmente, se concluye que las islas Uros poseen características para que logren experimentar la flotabilidad sobre el lago Titicaca. Las cargas ligeras de las viviendas permiten que la base no se hunda. Asimismo, la profundidad del lago es suficiente para que la ley de Arquímedes actúe. Por consiguiente, queda comprobado la flotabilidad de la isla.

5.1.3. Estabilidad

Las superficies de las islas presentan formas irregulares, pero que se asemejan a figuras rectangulares. Las dimensiones de cada isla varían acorde a la cantidad de personas que la habitan. Mediante un trabajo de medición utilizando la herramienta Google Earth, se concluye que las dimensiones promedio de una isla Uro son de 50 metros de largo y 28 metros de ancho. De acuerdo con las recomendaciones de Mynnet (2015) para lograr una adecuada estabilidad en los cuerpos, la base de las islas cumple con los requerimientos de dimensiones, ya que presentan la planta rectangular. Se observa que algunas islas están juntas, trabajando en conjunto ambos cuerpos, lo cual favorece aún más su comportamiento frente a las reacciones de volteo.

A partir del testimonio e imágenes mostradas por Kike Arnaiz (2019), la distribución de las viviendas tiende a ser radial, dejando un espacio libre para dar la bienvenida a los turistas. Asimismo, dentro de esta zona, se realizan la mayor cantidad de actividades diarias, como la cocina, el juego de los niños o la propia estadía de los habitantes. Algunas islas presentan miradores, desde donde se puede observar el lago y la ciudad de Puno. Dado que la distribución

de los objetos suele ser de forma equitativa por toda la superficie, no se presenta una descompensación en cuanto a los pesos que pueda generar un desequilibrio en la isla. Así, las bases flotantes de totora de los Uros se encuentran alineadas a las advertencias de la Municipality of Amsterdam (2012).

El proceso constructivo de la arquitectura de las viviendas Uros se realiza de manera rudimentaria y mediante el uso de materiales ligeros, como la totora y la madera. Asimismo, la construcción de las largas bases de las islas se realiza a partir de quiles que, según el testimonio de los aldeanos, resultan ser un producto pesado para su transporte (Amapacoan Gaia, 2014). Todo esto, siguiendo a Mynett (2015), resulta beneficioso para que la vivencia en la isla sea adecuada, pues permite que el centro de gravedad se mantenga debajo del metacentro y por encima del punto boyante.

Finalmente, de acuerdo con Kurylek (2016), ya que el largo promedio de la base uro es de 50 metros, el factor más importante para la estabilidad de la estructura es el ancho de esta. Este, como ha evidenciado, es adecuado. En ese sentido, se concluye que la isla uro alcanza una adecuada estabilidad.

5.1.4. Posición fija

La comunidad flotante de los Uros se encuentra ubicada próxima a la comunidad de Uros Chulluni, a unos 1700 metros aproximadamente. Según el PELT (2001), para la construcción de islas se recomienda zonas de lago, cuyas profundidades varíen entre los 2 a 7 metros, ya que esto garantiza que las piedras de ancla de las islas lleguen a compenetrarse en la superficie inferior del lago y no puedan ser movidas por el oleaje. En otras palabras, las islas se encuentran ancladas a la superficie terrestre del lago, evitando así que estas se muevan. De acuerdo a lo planteado por Koekoek (2010), esta práctica arraigada por los uros asegura que las islas no se desplacen de forma horizontal sobre el plano del lago, pero sí admite su desplazamiento vertical. Sin embargo, estos desplazamientos no tendrían que ser tan caóticos, dado el poco movimiento presente en el lago.

Asimismo, con relación a los tres posibles movimientos de rotación que pueden llegar a afectar a las islas uros, debido también a que se encuentran ancladas, las rotaciones en el eje z quedan interrumpidas. Por ello, la isla se mantiene firme ante las rotaciones en un plano horizontal (este caso se parecería a la situación que experimenta un trompo cuando sobre él se ejerce una fuerza y empieza a dar vueltas). Respecto a los otros dos posibles movimientos de rotación en los ejes x e y , de acuerdo con Koekoek (2010), están controladas por las largas dimensiones de estas islas de forma rectangular

Finalmente, la estadía en las islas flotantes Uros no contempla grandes perjuicios desde el ámbito de los posibles movimientos a los que se encuentran sujetas. El sistema de anclaje por medio de piedras permite que su estadía no se vea perjudicada por las oleadas del Titicaca.

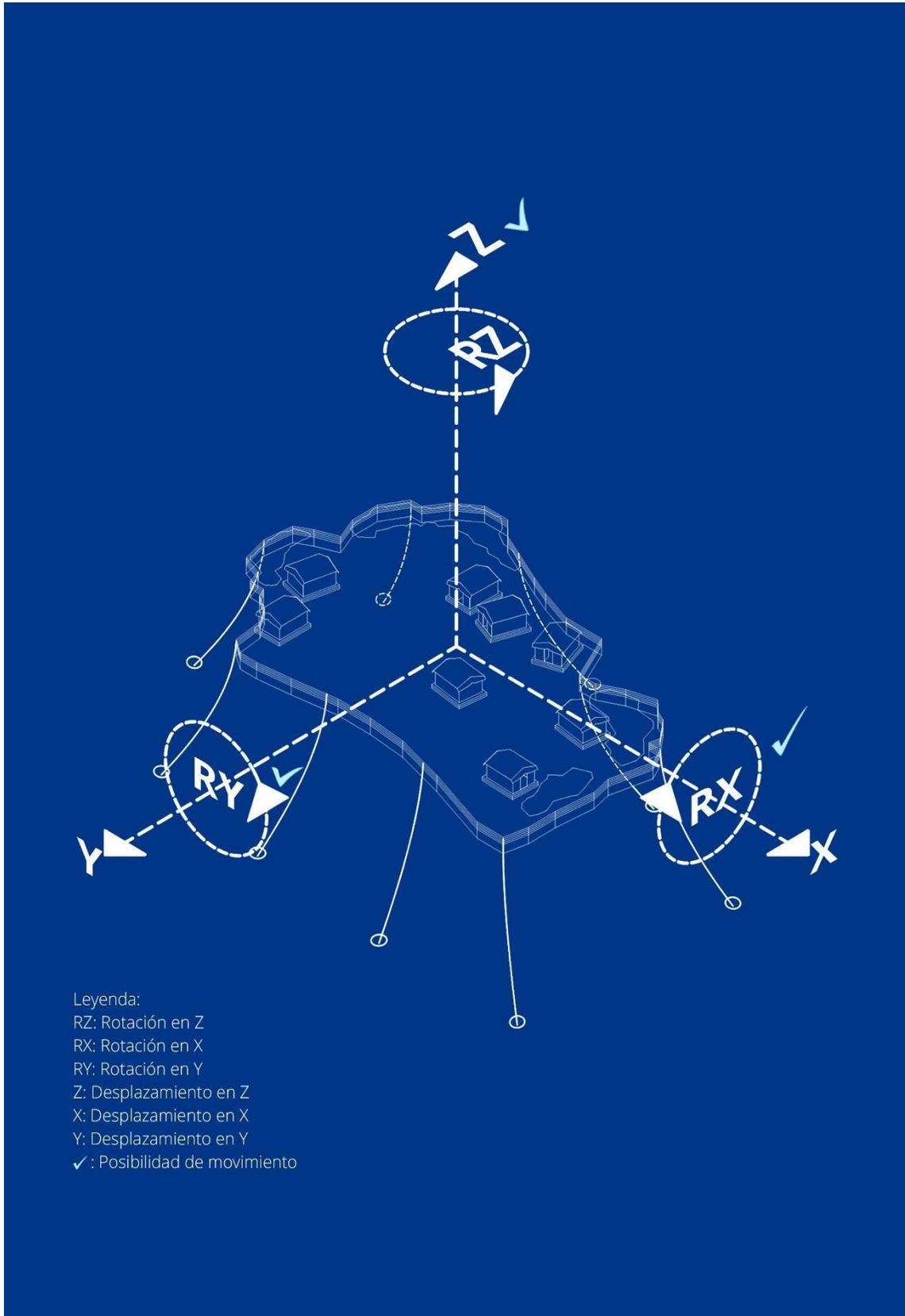


Figura 17. Diagrama de momento de posibles movimientos en isla Uro. Se aprecia el uso de anclas con piedras y cuerdas.

Fuente. Elaboración propia, diciembre de 2020, utilizando los conceptos de Koekoek, 2010.

5.1.5. Sostenibilidad

Materiales

La construcción de las islas Uro resulta ser una práctica artesanal, realizada con materiales extraídos en su mayoría de la zona. Cada isla está conformada esencialmente por las viviendas y por la base de totora que funge de cimiento flotante para todo el conjunto superior.

Por un lado, las bases flotantes de las islas de los Uros se encuentran elaboradas principalmente de totora, un material orgánico. Para la construcción de islas se requiere de las propias raíces de las totoras (quilles), las cuales se recortan en piezas de dimensiones adecuadas para el transporte (Prisco, Valencia y Vasilyeva, 2015). Los quilles se unen unos con otros mediante el uso de cuerdas y estacas de madera. En ese sentido, con excepción de las sogas, las bases boyantes de las islas se encuentran construidas netamente con materiales artesanales y orgánicos.

Por otro lado, para la construcción de las viviendas uro se emplean también materiales orgánicos. De acuerdo con Hidalgo (2007), las viviendas “tienen estructura de tiras de madera de eucalipto o troncos de la misma madera” (p.71). Esto da como resultado una vivienda liviana, capaz de ser transportada con facilidad. Además, los tabiques utilizados están elaborados en base a totora y se ubican envolviendo la estructura de madera (Hidalgo, 2007). Esto significa que la estructura externa o de recubrimiento de los hogares también hace uso de materiales de origen natural.

La energía incorporada de los materiales descritos es muy baja, dado que no se requiere de ningún proceso industrial para su extracción o producción. Las plantas son extraídas de las cercanías del lago, mediante el uso de lanchas o de embarcaciones hechas en base a totora (Prisco, Valencia y Vasilyeva, 2015). Con todo esto, siguiendo a Ching y Shapiro (2015), se infiere que las viviendas típicas de los uros están elaboradas con materiales poco contaminantes. En conclusión, la materialidad de las islas Uros poseen aspectos positivos que siguen los

lineamientos que una arquitectura ecológica espera. Los materiales empleados no son contaminantes y las dimensiones de la vivienda develan también la limitada cantidad de materiales utilizados en su construcción.



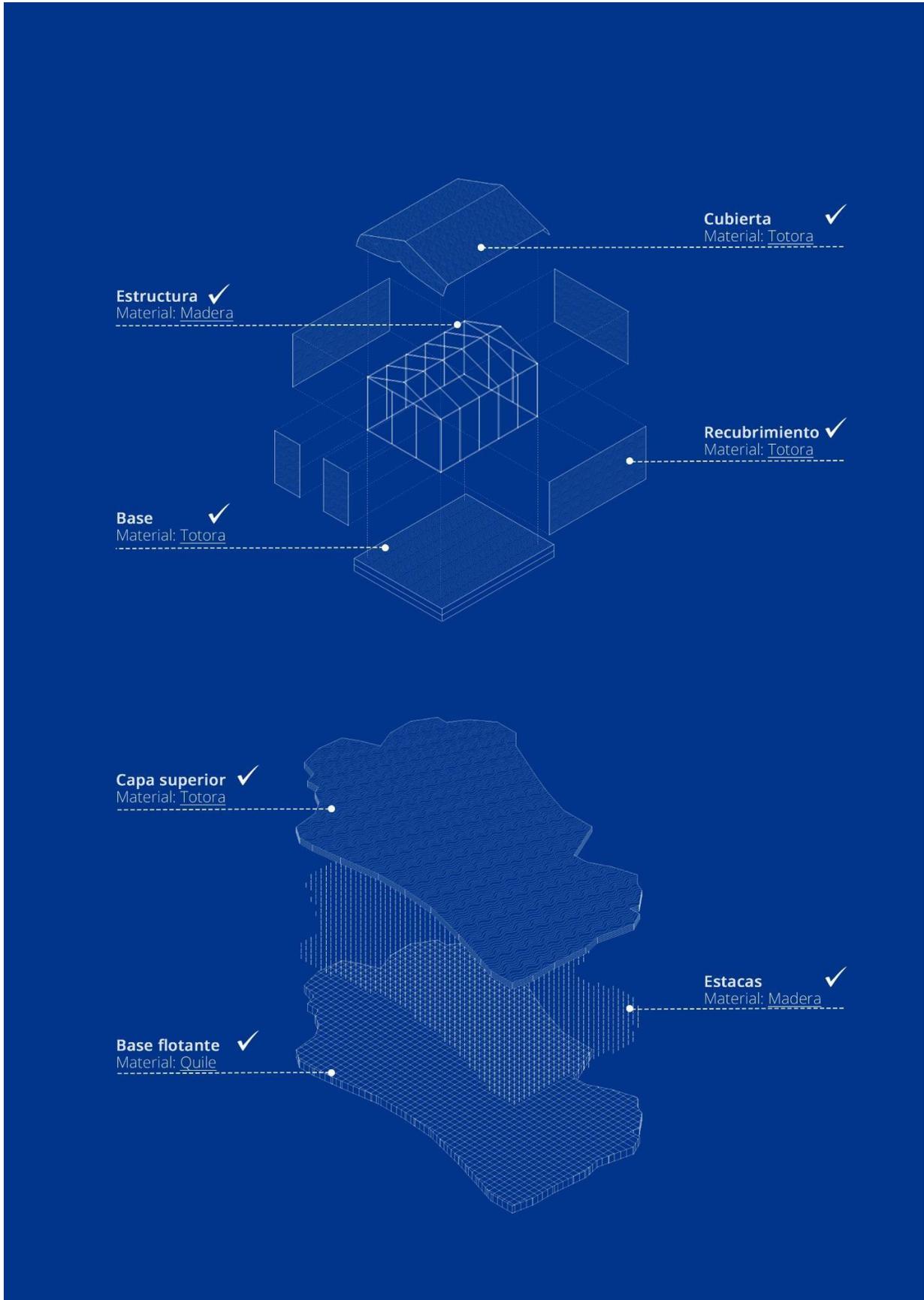


Figura 18. Diagrama de materiales utilizados en la base y la vivienda de una isla Uro.
Fuente. Elaboración propia, diciembre de 2020, utilizando la información de Prisco, Valencia y Vasilyeva, 2015.

La forma construida

La vivienda típica Uro posee una forma semejante a la de un paralelepípedo interceptado con un techo a dos aguas de 30 grados de pendiente aproximadamente. La planta típica de estos hogares es de 6m de largo y 3m de ancho (Hidalgo, 2007). Asimismo, la altura promedio de estas viviendas es de aproximadamente 3 metros en la cumbrera del techo a dos aguas.

El área de la planta de la vivienda es poca, con un total de 18m². Asimismo, el área de la envolvente externa posee un total de 62m². Aplicando una proporción entre las áreas de planta y envolvente se consigue un coeficiente equivalente a 3.43. Ahora, si se utiliza una altura de 2.4 en este hogar, el área de la base se mantendría intacta, pero el área de la envolvente sería 60m². El nuevo coeficiente de estas áreas sería de 2.83. Este nuevo resultado contempla una reducción del 17.4% respecto a los materiales utilizados en la vivienda uro. Sin embargo, si las viviendas se construyesen de tal modo, la calidad interior de los habitantes se vería comprometida debido a la disminución en altura de ciertas partes internas debido al techo en cumbrera.

De acuerdo con las recomendaciones de Ching y Shapiro (2015), se debe evaluar siempre si la decisión sobre la construcción es pertinente o no de acuerdo con los lineamientos de una arquitectura sostenible. Por lo general, una reducción de techo a 2.4m podría resultar apropiada, pero en el caso de estas viviendas, que también poseen una riqueza histórica elevada, resulta pertinente el propio diseño de los habitantes uros. Esta decisión es también consecuente con el requisito de la arquitectura sostenible, que también debe pensar en el habitar del propio usuario. Finalmente, se concluye que las viviendas siguen los lineamientos de una arquitectura ecológica. No se trata de solo optimizar la forma construida hasta reducir al máximo la cantidad de emisiones contaminantes al medio ambiente, también es necesario tener en consideración al

habitante, lo cual es contemplado en los hogares típicos de los Uros.

La calidad del ambiente interior

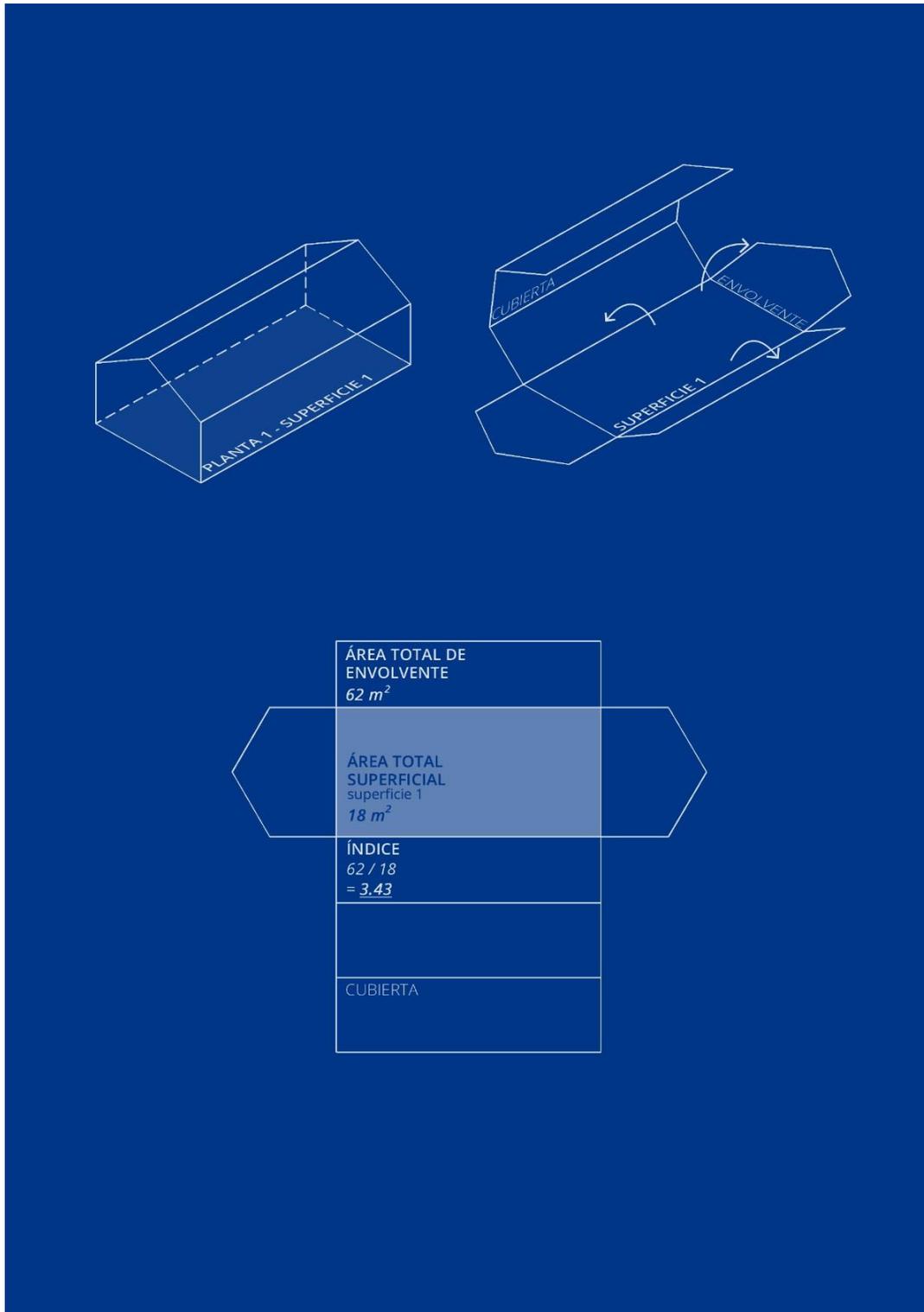


Figura 19. Diagrama de envoltente de vivienda uro. Se presenta las áreas de cada parte de su envoltente externo (Superficie y envoltente).
Fuente. Elaboración propia, diciembre de 2020, utilizando los conceptos de Ching y Shapiro, 2015.

Las islas flotantes de los Uros se encuentran aislados de la ciudad de Puno. El entorno próximo a ellos es el lago Titicaca, al cual se accede por medio de barcos de totora elaborados por ellos mismos o utilizando lanchas (Amapacoan Gaia, 2014). Dada esta condición, los habitantes uros no se encuentran expuestos a vientos contaminados por la presencia de carreteras transitadas o por el propio humo de cigarrillo por parte de personas transeúntes. Sin embargo, la presencia de las embarcaciones motorizadas sí podrían llegar a ser perjudiciales para ellos, dada la proximidad de estas con respecto a las islas.

Respecto al interior de la vivienda, el aire ingresa de forma libre. Las dimensiones compactas de la estructura y el hecho de contar con un solo programa (dormitorio) permiten que el aire ingrese sin complicaciones cuando la puerta se encuentra abierta.

Respecto la capacidad de los materiales utilizados en la infraestructura, Hidalgo (2007) afirma que la totora posee capacidades aislantes, acústicas y térmicas muy altas. Dado que las viviendas se encuentran protegidas en su totalidad con este material, así como en la misma superficie o suelo, el calor interno, en principio, se mantendría durante la noche. Además, según el Instituto Geofísico del Perú (2020), “el clima de Puno es frío, moderadamente lluvioso...” (párr. 2). Esto significa que la elección de los materiales queda sustentada desde un punto de vista de la conservación del calor interno debido al clima de Puno. Por lo tanto, se aproximan a los lineamientos de una infraestructura con confort térmico descrito por Ching y Shapiro (2015).

Con relación a la acústica de la isla, se observa que el principal transgresor del confort acústico es el motor de las lanchas de turismo. Su cercanía a las viviendas genera molestias en la estadía de los habitantes Uros. Así, de acuerdo con la teoría de Ching y Shapiro (2015), no existe un adecuado control acústico en las islas flotantes. Sin embargo, como ya se describió, el propio material puede ayudar a disminuir los efectos del ruido en el estar de los habitantes Uros.

Finalmente, la calidad de ambiente interior de los uros posee buenos y malos atributos. Las embarcaciones a motor pueden suponer un problema para la ventilación interna del hogar. Estas también pueden repercutir en el confort acústico en su interior. Asimismo, la materialidad es favorable para adquirir un confort térmico y acústico. Las dimensiones de los hogares permiten también que la ventilación se asegure.

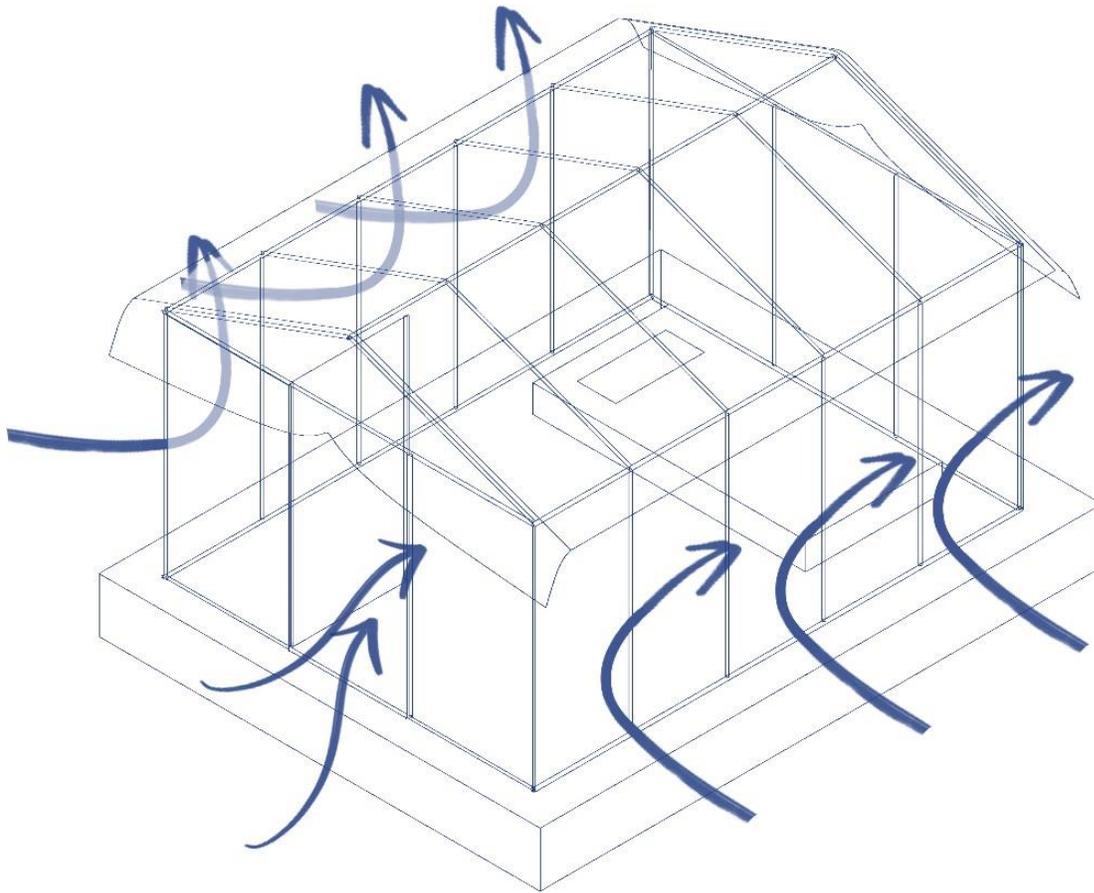


Figura 20. Diagrama de ingreso de viento dentro de vivienda típica Uro. Se observa que el viento ingresa fácilmente solo al abrir la puerta.

Fuente. Elaboración propia, diciembre de 2020.



Figura 21. Diagrama de elementos contaminantes sobre viviendas Uro.
Fuente. Elaboración propia.

5.2. Las viviendas de IJburg

El conjunto de viviendas flotantes de IJburg se encuentra ubicado en el barrio de Waterbuurt. Es uno de los proyectos de arquitectura boyante más grande realizado en el distrito de IJburg, un barrio creado de forma artificial en Amsterdam, Holanda (Municipality of Amsterdam, 2012). El conjunto se encuentra dividido en dos zonas: Waterbuurt East y Waterbuurt West. El primero fue pensado para que los propios ocupantes diseñen su vivienda. Por su parte, el segundo fue diseñado por la firma de arquitectura Architectenbureau Marlies Rohmer. Asimismo, junto a este conjunto se construyó un edificio con cimentación de muelles, diseñado por la firma de arquitectura Dok Architecten. La obra completa fue finalizada en el año 2010.

El proyecto tuvo un carácter innovador en su tiempo. Según Kurylek (2016), el conjunto realizado bajo la administración municipal fue experimental y pensado para que las enseñanzas proyectuales del mismo pudiesen servir posteriormente de base para proyectos similares. Sin embargo, pese a ser una idea innovadora y presentar ciertos contratiempos, las viviendas contaron con una buena acogida y se vendieron sin mucha complicación.

El diseño de los accesos a los hogares fue hecho por la oficina de arquitectura Villanova architecten. Este acceso comprende un sistema de muelles por donde los residentes pueden ingresar a sus viviendas (Municipality of Amsterdam, 2012). Dentro de la estructura de concreto de los muelles, se encuentran las instalaciones de servicios de las viviendas de Waterbuurt. Asimismo, los muelles sirven como espacio público para la comunidad de IJburg. Según la Municipality of Amsterdam (2012), no se planeó al conjunto residencial de Waterbuurt como una comunidad cerrada al público, por lo que el diseño de los muelles tenía que ser accesible para todos. Esto generó repercusiones en las viviendas del conjunto. Dado que tenía que cumplirse algunos requerimientos de seguridad, el diseño contempló barandas de acero, que fueron diseñadas siguiendo el ingreso de las viviendas con las que conectaría, ya que

luego estas podrían ser removidas.

Existen, en total, tres tipologías en la residencial de viviendas sobre el agua: Vancouver, Sydney y Seattle (Waterbuurt West, 2009). Las primeras constan solamente de una unidad de vivienda; las segundas, se agrupan de dos en dos; mientras que las terceras, de tres en tres. Dentro de la investigación, solo se profundizará en las viviendas flotantes de tipo Vancouver.



Figura 22. Conjunto Waterbuurt West.
Fuente. Archdaily.com, 2012.

5.2.1. Inundaciones

Las viviendas de IJburg se encuentran ubicadas en el lago IJmeer. Desde la fecha de su construcción hasta la actualidad, el conjunto residencial no ha sufrido inundación alguna. Sin embargo, debido al cambio climático descrito por la ONU, se puede

anticipar una posible inundación en la zona. Gracias a los datos suministrados por el Climate Central, organización centrada en la investigación sobre los efectos del cambio climático, se puede pronosticar qué zonas serán afectadas por inundaciones a principios del siguiente siglo. Como ya se mencionó en el tercer capítulo de esta investigación, hacia el año 2100, el aumento del nivel del mar será de 1m en los océanos del mundo. Debido a que IJmeer se encuentra próximo al océano Atlántico, se deduce que el agua llegará a ingresar a esta zona.

El BFE para la futura inundación descrita será de 1m, equivalente a la altura de la elevación de los océanos. De acuerdo con las indicaciones de la FEMA (2012), debido a que el BFE percibido es superior a los 3 pies (0.91m), esta futura inundación puede llegar a someter a esfuerzos considerables a las infraestructuras. En consecuencia, la integridad de la vivienda se podría ver vulnerada.

Respecto a la zona de emplazamiento, de acuerdo con la explicación del PEBLT, dado que las viviendas típicas de IJburg se ubican en un lago, la velocidad del agua en la zona es lenta. Según la FEMA (2012), existe una relación de proporcionalidad directa entre las fuerzas que ejerce el agua en movimiento (fuerzas hidrodinámicas) y la velocidad a la que el fluido se desplaza. Por lo tanto, para este evento futuro la infraestructura no sería afectada severamente debido a la propia naturaleza del agua de un lago. Asimismo, ya que las viviendas Vancouver son de tipo flotante, según precisan Barker y Coutts (2018), estas se encuentran adaptadas para mantenerse por encima del nivel del agua, impidiendo que el agua llegue a ingresar.

Finalmente, las viviendas Vancouver de IJburg presentan aspectos positivos y negativos para hacer frente al fenómeno de inundación futuro. Las características del lago permiten que los daños causados en la infraestructura no sean tan severos. Sin embargo, el nivel de agua que alcanzará comprometerá a la estructura de la vivienda y la estadía de los habitantes.

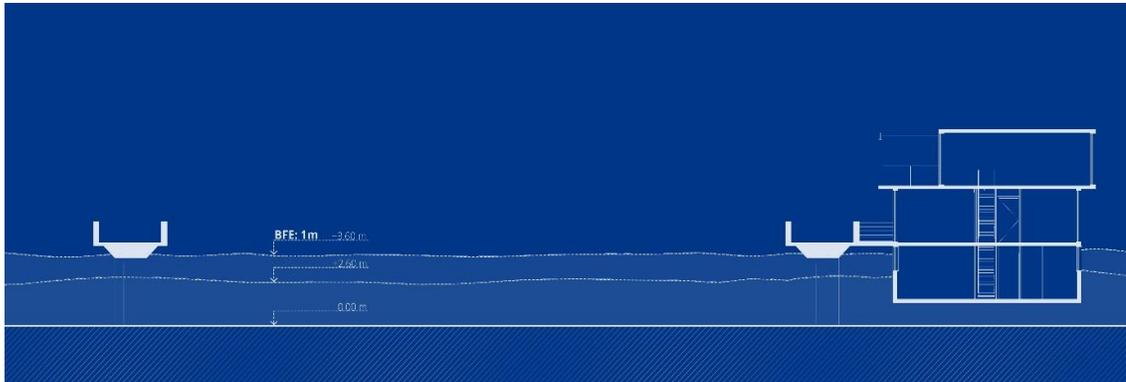
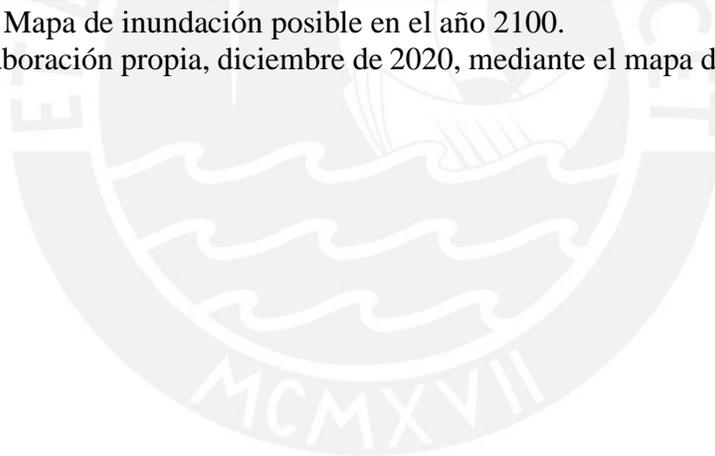


Figura 23. Mapa de inundación posible en el año 2100.

Fuente. Elaboración propia, diciembre de 2020, mediante el mapa de Climate Central.



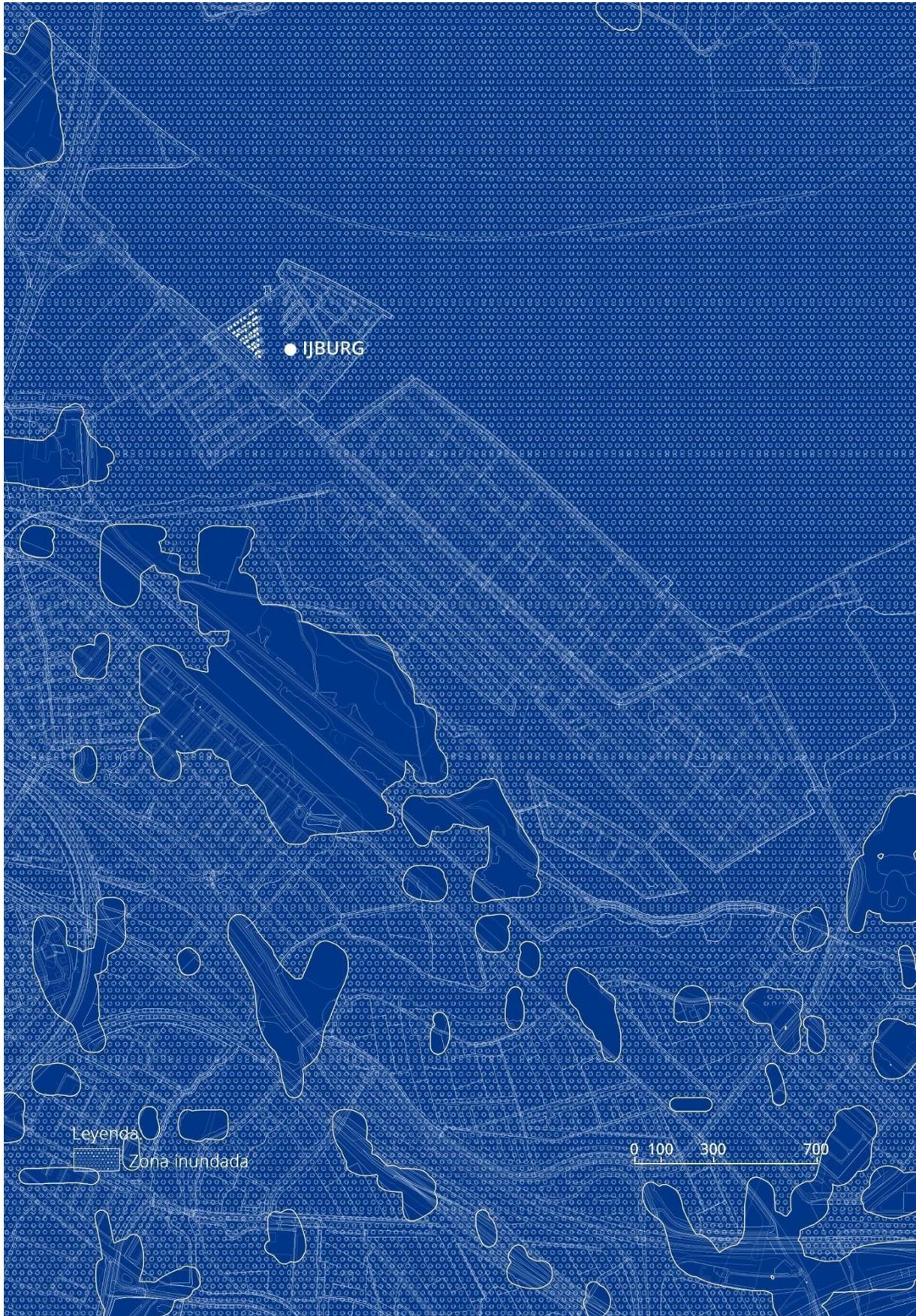


Figura 24. Mapa de inundación posible en el año 2100.

Fuente. Elaboración propia, diciembre de 2020, mediante el mapa de Climate Central.

5.2.2. Flotabilidad

Las viviendas flotantes de IJburg poseen bases elaboradas con concreto. Según la Municipality of Amsterdam (2012), las viviendas tienen un peso de casi 100,000 kilogramos, mientras que el peso de los mobiliarios y las instalaciones solo agregan 6 o 7 mil kilogramos. Gracias a la planimetría recopilada de Waterbuurt West (2009), se reconstruyeron las dimensiones globales de la vivienda Vancouver. Así, el volumen de la edificación resulta ser equivalente a $441m^3$. Por lo tanto, la densidad equivaldría a $225.51m^3/kg$. Este resultado es menor que la densidad del agua ($1000 m^3/kg$), por lo que, de acuerdo con el principio de Arquímedes, la infraestructura sería capaz de flotar sobre el agua.

Además, como afirma la Municipality of Amsterdam (2012), la estructura superior se hizo ligera en comparación a la base, utilizando un entramado de madera para los muros y las losas. De acuerdo con las recomendaciones de Mynett (2015), ya que no existen cargas excesivas en la parte superior de la estructura, las viviendas no se encuentran en peligro de hundirse.

De acuerdo con la Rijkswaterstaat (Dirección General de Obras Públicas y Administración de Aguas) (2020), la profundidad del lago IJmeer es de -2.6 MP. Esto significa que la distancia entre el ras superior del lago hasta la superficie más baja del mismo equivale a 2.6m. Como hemos anotado, siguiendo a Barker y Coutts (2018), la profundidad en la que un cuerpo normalmente logra flotar es de 1m. Así, se asegura una suficiente cantidad de agua para cuando la estructura se sumerja, desplazando el fluido y permitiéndole flotar.

Finalmente, se concluye que las viviendas de IJburg cumplen con los requisitos para flotar sobre el agua. Su forma y su peso resultan ser pertinentes, y el lago en el que se emplazan cumple también las condiciones necesarias para que esta infraestructura se

leve sobre el agua.

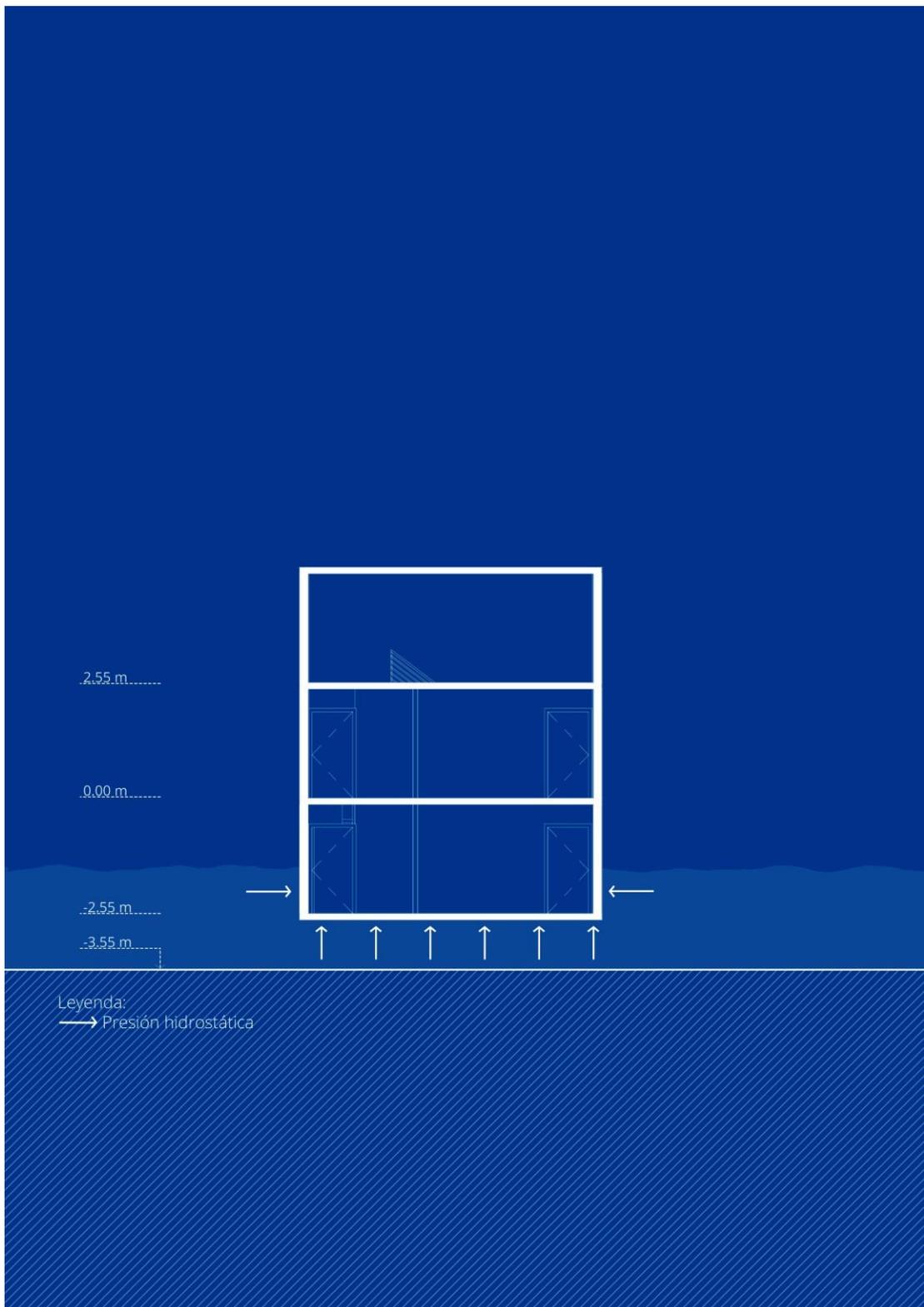


Figura 25. Diagrama de presión hidrostática sobre objeto flotante.

Fuente. Elaboración propia, diciembre de 2020, a partir de los conceptos de Koekoek, 2010.

5.2.3. Estabilidad

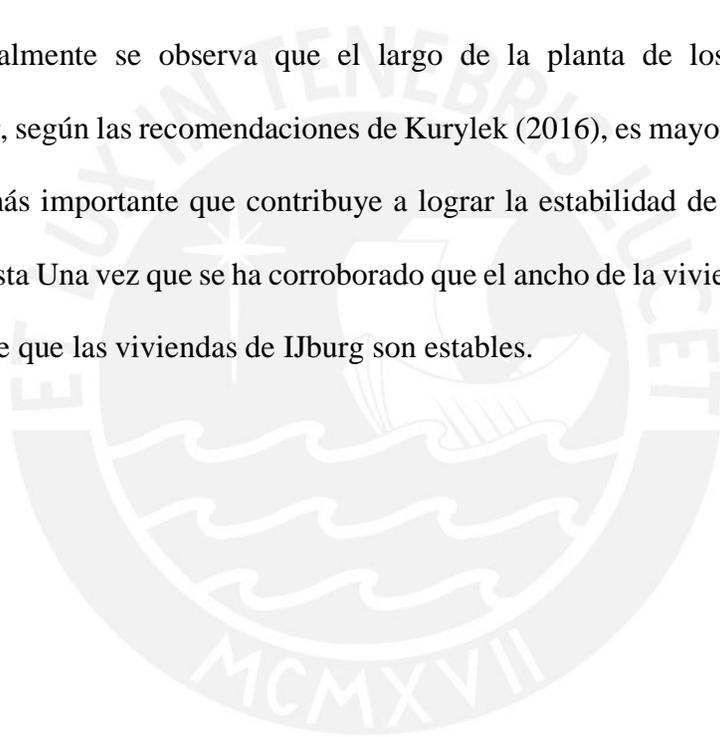
La vivienda boyante posee una forma regular, con una planta de dimensiones de 6.6m de ancho y 9.1m de largo. De acuerdo con las recomendaciones de Mynnet (2015), la planta cumple con el requisito de tener lados más dimensionados que los otros. Asimismo, dentro de las formas posibles, la forma rectangular elegida en esta vivienda sigue las recomendaciones de Winkelen. En ese sentido, las viviendas de IJburg poseen una geometría en planta favorable para soportar los fenómenos de volteo en una inundación.

En cuanto a la distribución interna de la vivienda, se utilizó las imágenes ofrecidas por Rohmer (2020) sobre el interior común en una vivienda flotante en IJburg. Se aprecia que, en el nivel -1, se ubican, por el lado oeste, una habitación menor y un baño; mientras que en el extremo este se ubican dos dormitorios de dimensiones mayores y con presencia de más mobiliarios. En el nivel 1, hacia el lado oeste se ubica una cocina-comedor y un pequeño baño, mientras que en el lado este se encuentran nuevamente dos habitaciones de grandes dimensiones e igual cantidad de muebles que los del piso anterior. En el último piso se ubica la sala con su respectivo sofá, televisión y mueble de apoyo en el lado oeste. Hacia el lado este se ubican dos escritorios y un sofá en la terraza. De acuerdo con las indicaciones brindadas por la Municipality of Amsterdam (2012), para que una construcción se encuentre estable es importante que las distribuciones de los pesos internos sean parejas. En caso contrario, se podrían generar tambaleos y degradar la seguridad interna de los habitantes. Analizando los pesos de los elementos se puede develar de forma aproximada que la estabilidad es conseguida dentro de la vivienda. Así, se confirma que la posición de los mobiliarios y objetos diversos contribuyen a generar un equilibrio interno.

El proceso constructivo de las viviendas Vancouver se realizó utilizando

materiales pesados en la base (concreto) y materiales ligeros en la parte superior (madera, principalmente) (Municipality of Amsterdam, 2012). Según las tres pautas que Mynett (2015) brinda para que una infraestructura asegure su estabilidad, la elección de los materiales, así como su respectiva ubicación, resultan sumamente importantes. Esto permite que el centro de gravedad se mantenga debajo del metacentro y por encima del punto boyante. Por consiguiente, las viviendas flotantes de IJburg son resilientes ante cargas que las puedan desequilibrar.

Finalmente se observa que el largo de la planta de los hogares flotantes Vancouver, según las recomendaciones de Kurylek (2016), es mayor a 9m. Por lo tanto, el factor más importante que contribuye a lograr la estabilidad de la vivienda será el ancho de esta. Una vez que se ha corroborado que el ancho de la vivienda es el adecuado, se concluye que las viviendas de IJburg son estables.



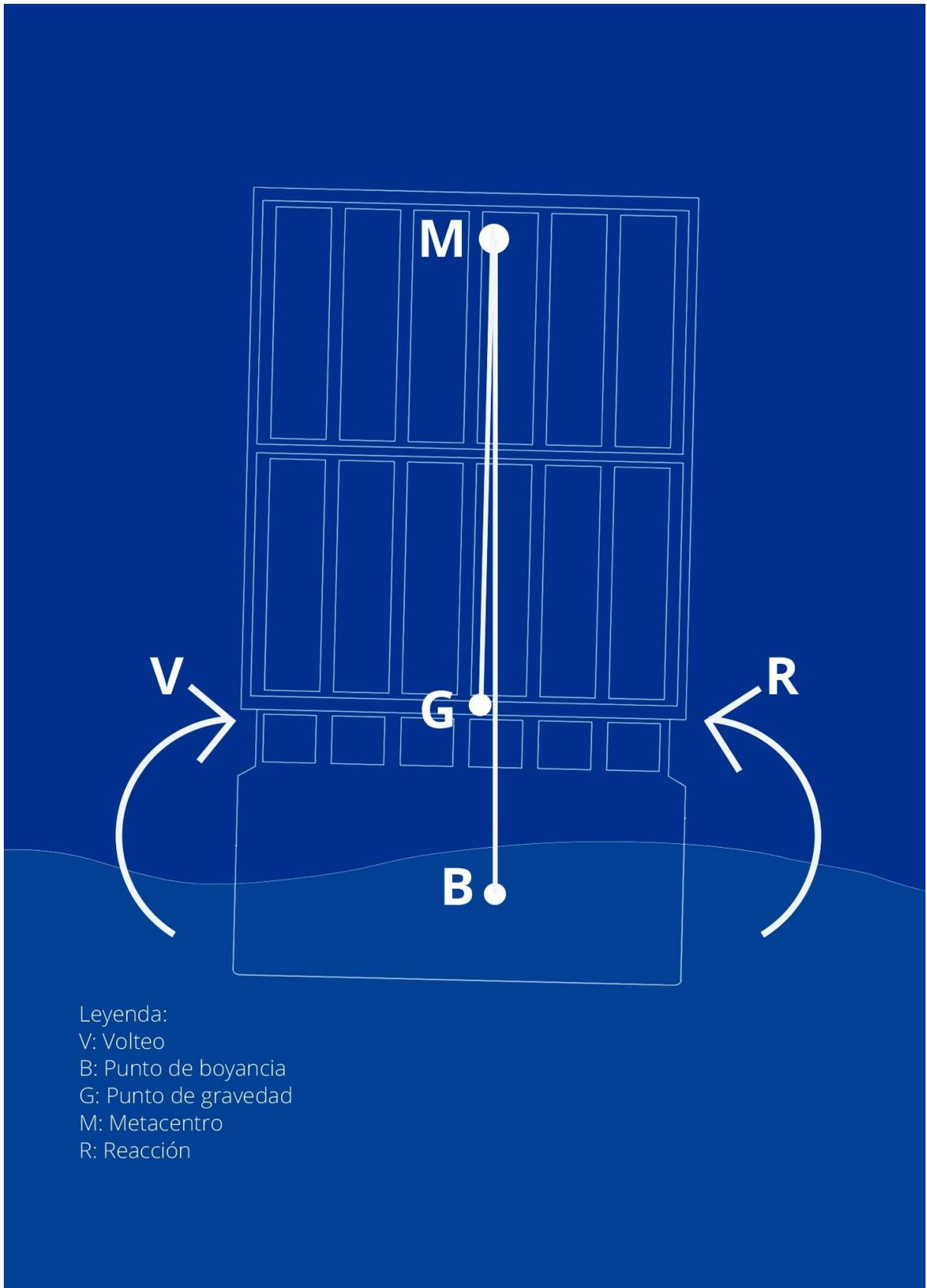


Figura 26. Diagrama de fuerzas de volteo interactuando con los tres puntos imaginarios de estabilidad.

Fuente. Elaboración propia, diciembre de 2020, mediante la teoría de Koekoek, 2010.

5.2.4. Posición fija

Las viviendas de IJburg presentan en su diseño un sistema de anclaje de dos pilares ubicados de forma diagonalmente opuesta en dos esquinas cada una. Esto significa que las viviendas sí poseen un elemento que las mantendrá sujetas al suelo cuando el fenómeno de inundación se produzca. Así, de acuerdo con las indicaciones de Koekoek (2010), los pares de viviendas quedan imposibilitados de desplazarse de forma horizontal. Respecto al movimiento vertical, este sigue siendo admisible. Sin embargo, debido a que el lago donde se emplaza posee aguas calmadas, como es característico en un lago, tales movimientos ascendentes no debiesen ser muy perjudiciales para la experiencia interna de las personas. Así, las crecidas del lago IJmeer no logran afectar considerablemente la estadía de los usuarios dentro de su tiempo de uso.

Respecto a los 3 posibles movimientos de rotación, el sistema de anclaje de las viviendas restringe el giro de ellos dentro del plano horizontal. Esto significa que, conforme a las anotado por Koekoek (2010), las viviendas no deberían rotar ante el empuje horizontal del agua. Asimismo, persiste aún la posibilidad de rotar en el eje x e y del dúo de viviendas. Sin embargo, la propia geometría de las viviendas ayuda a atenuar dichos movimientos.

En conclusión, las viviendas de IJburg poseen adecuadas condiciones para poder mantenerse en su lugar. El desplazamiento vertical y las rotaciones en los planos x e y se mantienen aún, pero por las condiciones de la zona y de la propia forma del par de hogares flotantes, no resultan ser problemas mayores para la estadía de los habitantes.

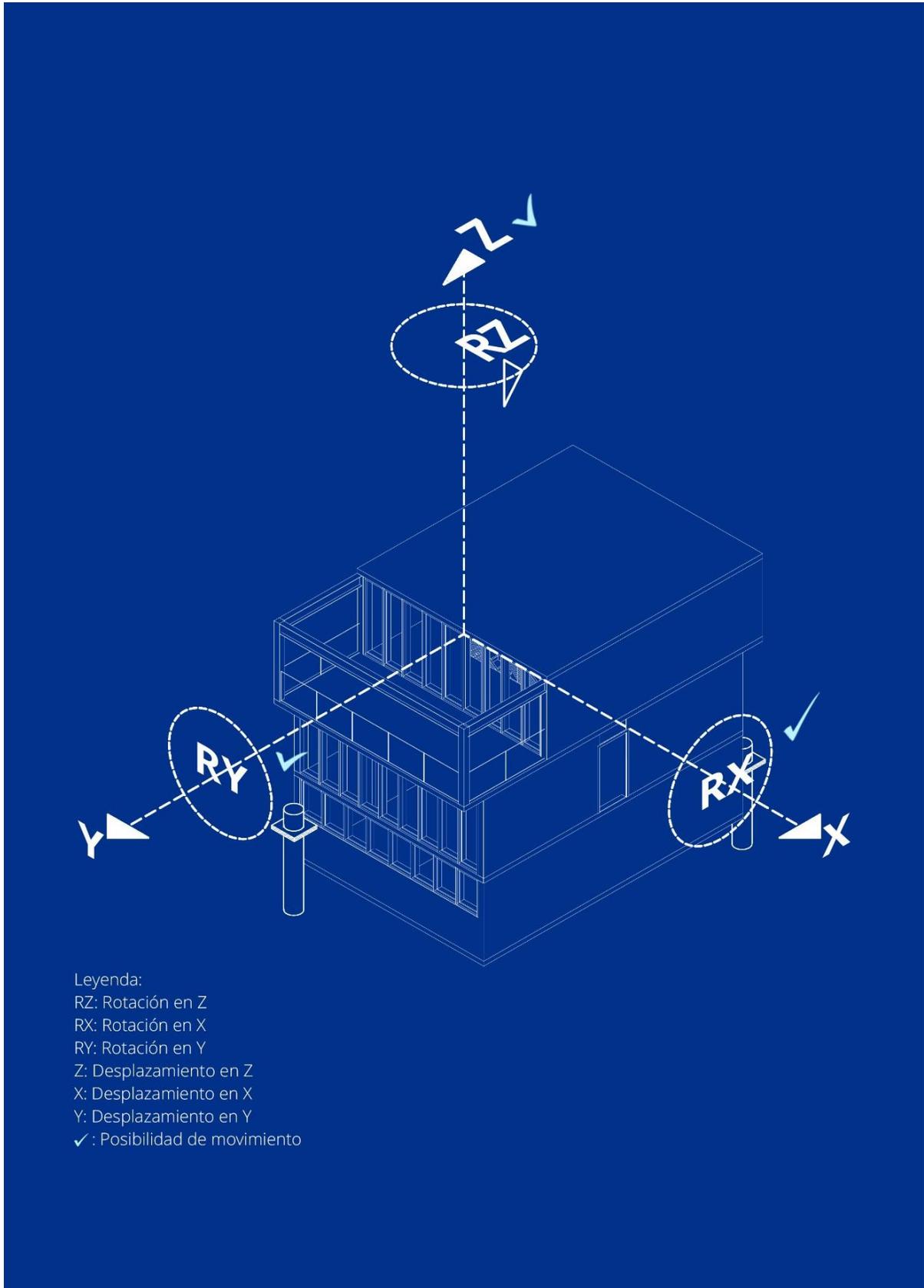


Figura 27. Axonométrica de vivienda IJburg. Se presenta las libertades de movimiento en la vivienda.

Fuente. Elaboración propia, diciembre de 2020, utilizando la teoría de Koekoek, 2010.

5.2.5. Sostenibilidad

- **Materiales**

Los materiales empleados en las viviendas flotantes de IJburg son concreto, acero y madera. De acuerdo con la Municipality of Amsterdam (2012), las viviendas han sido construidas utilizando madera, mientras que la base utiliza concreto. Asimismo, se percibe el uso de vidrio y perfiles de acero. De acuerdo con el CSIRO, como se citó en Fenner & Kibert (2017), el concreto y el acero son materiales altamente contaminantes; mientras que la madera posee un índice bajo de contaminación. Por consiguiente, de acuerdo con las indicaciones de Ching y Shapiro (2015), los materiales de las viviendas no cumplen en su totalidad con el requisito de utilizar materiales que no comprometan negativamente al medio ambiente.

Respecto a la arquitectura de la vivienda, se observa que no existe la presencia de techos altos. Gracias a la información proporcionada y reconstruida de Waterbuurt West (2009), los dos primeros pisos de las viviendas tienen aproximadamente 2.4 m de alto y el sótano 2.1 m. Asimismo, las dimensiones internas tampoco son muy grandes, evitando expandir demasiado el volumen general del edificio. Por lo tanto, de acuerdo con las indicaciones de Ching y Shapiro (2015), las viviendas Vancouver, a excepción del primer piso, presentan adecuadas dimensiones que permiten una buena estadía y un bajo deterioro del medio ambiente.

Se concluye que las residencias de IJburg poseen mayoritariamente aspectos positivos dentro de su construcción. Si bien se hace uso de materiales contaminantes, como el concreto o acero, se compensa con la madera del resto del hogar. Además, la cantidad utilizada de materiales se ha optimizado gracias al propio tamaño de la vivienda.

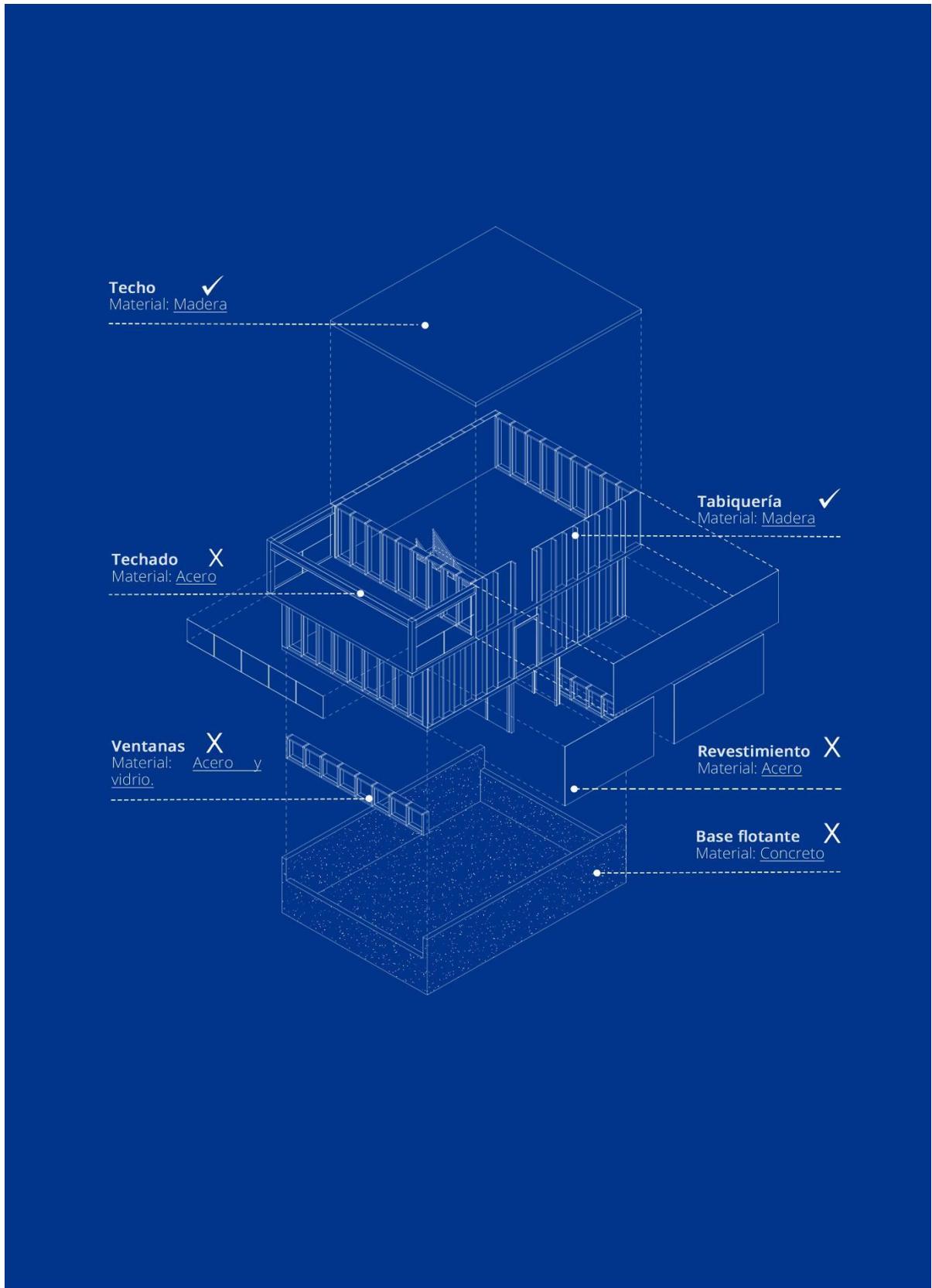


Figura 28. Axonométrica explotada de vivienda IJburg. Se presenta la materialidad de las partes de la vivienda.

Fuente. Elaboración propia, diciembre de 2020, utilizando la información de Municipality of Amsterdam, 2012.

- **La forma construida**

La forma de la vivienda flotante Vancouver se asemeja a la de un cubo. De acuerdo con la información recopilada y reconstruida de Waterbuurt West (2009), el área percibida de superficie en planta total es de 180.18 m^2 y la suma de las superficies de la envolvente exterior es de 304.98 m^2 . Aplicando una proporción entre ambas áreas, se consigue un coeficiente equivalente a 1,69.

La altura aproximada de las viviendas es de 2.4m. Según las indicaciones que refieren Ching y Shapiro (2015) para lograr la convergencia de una adecuada estadía interna y un sentido de responsabilidad sobre el medio ambiente, la altura propuesta por piso en la vivienda sí sigue las pautas de un diseño ecológico. Incluso, las dimensiones internas de los ambientes en relación con la función parecen permitir una estadía normal para el habitante. Por tanto, las viviendas Vancouver presentan adecuadas medidas de diseño.

En ese sentido, los hogares flotantes analizados sí poseen una forma construida adecuada. Sus dimensiones de altura, longitud y ancho del volumen general son justificadas con la calidad de espacio interno requerido por el habitante que la arquitectura sostenible también promueve.

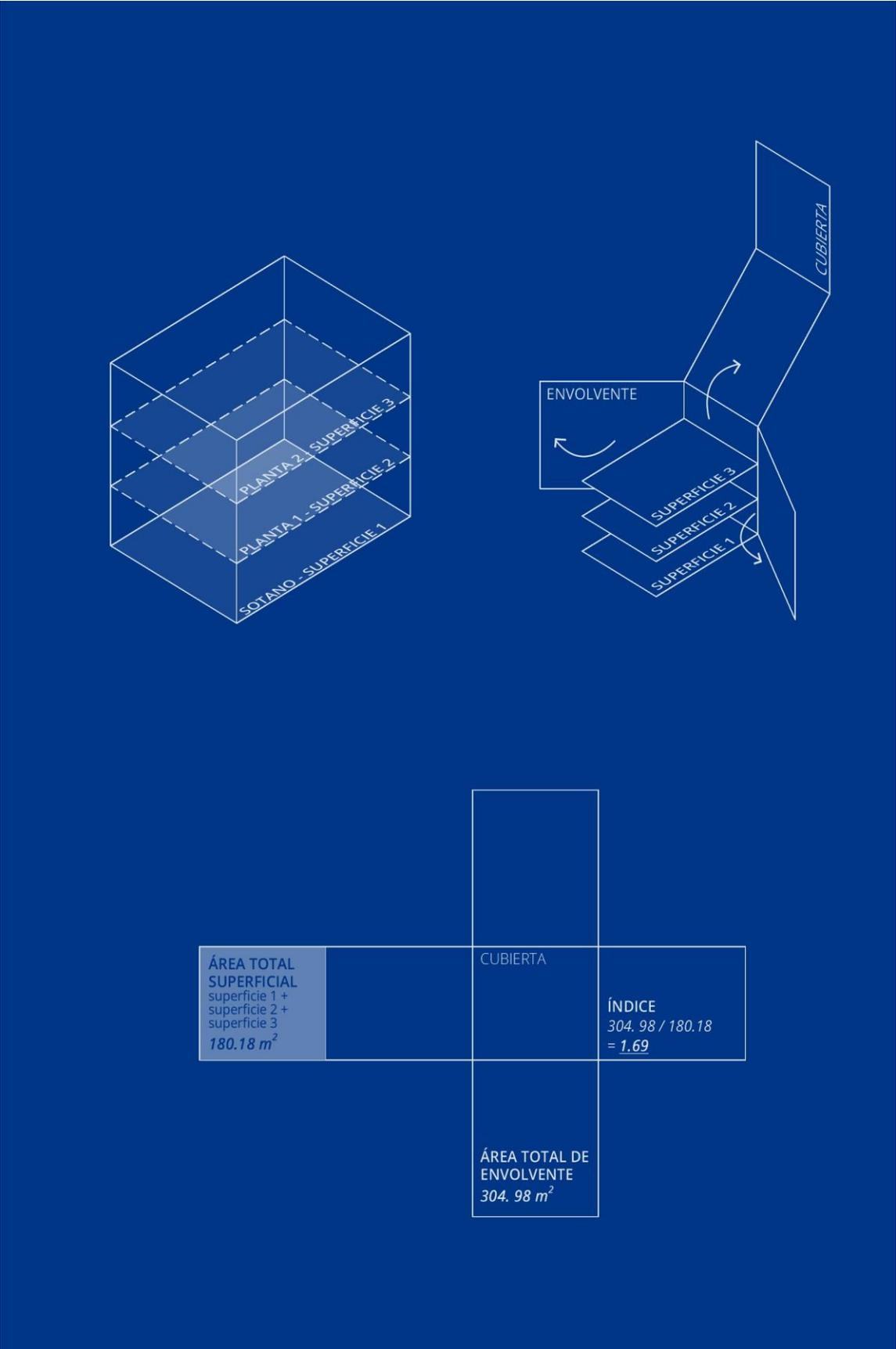


Figura 29. Diagrama de envoltente externo de vivienda Vancouver.
Fuente. Elaboración propia utilizando la teoría de Ching y Shapiro, 2015.

- **La calidad del ambiente interior**

Gracias a las imágenes proporcionadas por la herramienta Google Earth, se observa que existe la presencia de lanchas en las cercanías de algunas viviendas Vancouver. Dado que estos vehículos son motorizados y pueden desprender smog, según Ching y Shapiro (2015), las viviendas flotantes no se encuentran en una zona deseable. La polución podría llegar a contaminar el aire externo y propagarse hacia el interior del hogar. Debido a que IJburg se encuentra conectado con la ciudad a partir de sus sistemas de muelles, las residencias se encuentran liberadas de la posibilidad de que el smog de autos circulantes por alguna calle cercana llegue a afectarles. Sin embargo, el peligro de que algún transeúnte circule fumando sigue vigente, pues no existe un retiro prudente con relación al sistema de muelles.

Respecto a las dimensiones de la vivienda, los ambientes parecen haber sido diseñados de forma prudente, sin presentar un uso desmedido. Así, las medidas compactas, en principio, facilitan la circulación del aire al interior de la vivienda. Si se analiza el recorrido del viento en el interior de cada uno de los niveles se percibe que la mayoría de los ambientes consigue ventilación oportunamente. Los que tienen mayores complicaciones son aquellos que se ubican hacia el centro de la infraestructura. Todas las habitaciones poseen una ventana que las comunica con el exterior y por donde se filtra la ventilación. La cocina-comedor, la sala de estar y de estudio, y la terraza tampoco tienen problemas con la obtención del aire. Lo mismo ocurre con el baño principal del nivel -1 que sirve a las habitaciones de la planta. Sin embargo, el baño del segundo piso, así como los halls de recibimiento del primer nivel y del piso -1, no obtienen ventilación de forma directa. Esto genera que o bien se incumpla con una estadía adecuada, que es también el objetivo de la arquitectura sostenible, o bien se opte por el uso de sistemas de ventilación mecánicos que contribuyen con la contaminación

del medio ambiente. Por tanto, la ventilación en el interior de las viviendas de IJburg no está del todo optimizada.

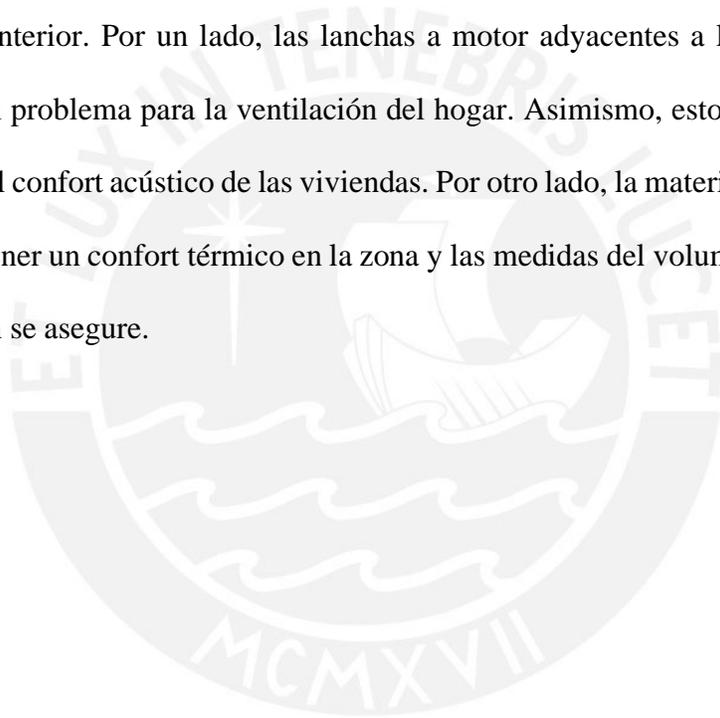
Con relación a los materiales empleados para la elaboración de la infraestructura, se advierte el empleo, por un lado, de la madera para la elaboración de la tabiquería, mientras que, por otro lado, se usa concreto para la cimentación y algunos elementos de acero para las terminaciones del techo y fachada. Según Ordoñez (2019), la madera es un material con cualidades suficientes para desempeñar un buen aislamiento interno de la infraestructura y el concreto posee mejores capacidades aún. Esto significa que los ambientes internos se encuentran resguardados de reducir su calor interno. Asimismo, el clima de Holanda tiene inviernos frescos e inviernos moderados, con temperaturas bajas en invierno entre los 2°C hasta los 6°C (Weather Online, 2012). Por lo tanto, los hogares se pueden ver beneficiados por el uso de elementos aislantes de calor que impidan perder la temperatura interna de los ambientes. Así, las viviendas se aproximan a las recomendaciones de Ching y Shapiro (2015) sobre el confort térmico que una construcción sostenible debe poseer.

Los ambientes internos se encuentran delimitados esencialmente por muros elaborados con madera. Siguiendo a Ordoñez (2019), la madera provee moderadas capacidades de aislamiento. Debido a su alta conductividad y resistencia, la madera se convierte en un buen aislante térmico que permite un mejor almacenamiento de calor en el espacio. Así, se logra un mayor confort térmico para los habitantes. Como hemos anotado, Weather Online (2012) afirma que la temperatura de Holanda posee inviernos frescos e inviernos moderados, con bajas temperaturas en invierno (entre los 2°C hasta los 6°C). En ese sentido, los hogares encuentran sustentadas sus capacidades térmicas, permitiendo contribuir a un confort térmico para los habitantes, según las indicaciones descritas por Ching y Shapiro (2015).

Respecto a la acústica del entorno, se aprecia que la principal fuente sonora que

puede perjudicar las actividades internas en la vivienda son las lanchas, debido a la proximidad de estos vehículos. Ya que no existen calles aledañas con tránsito de vehículos, pues el acceso al conjunto residencial se realiza a través del sistema de muelles, no existen mayores riesgos de una interferencia acústica indeseable de motores de autos.

Finalmente, se concluye que la calidad del ambiente interior en las viviendas Vancouver poseen aspectos positivos como negativos en relación con la calidad del ambiente interior. Por un lado, las lanchas a motor adyacentes a los hogares pueden suponer un problema para la ventilación del hogar. Asimismo, estos vehículos pueden estropear el confort acústico de las viviendas. Por otro lado, la materialidad es apropiada para mantener un confort térmico en la zona y las medidas del volumen permiten que la ventilación se asegure.



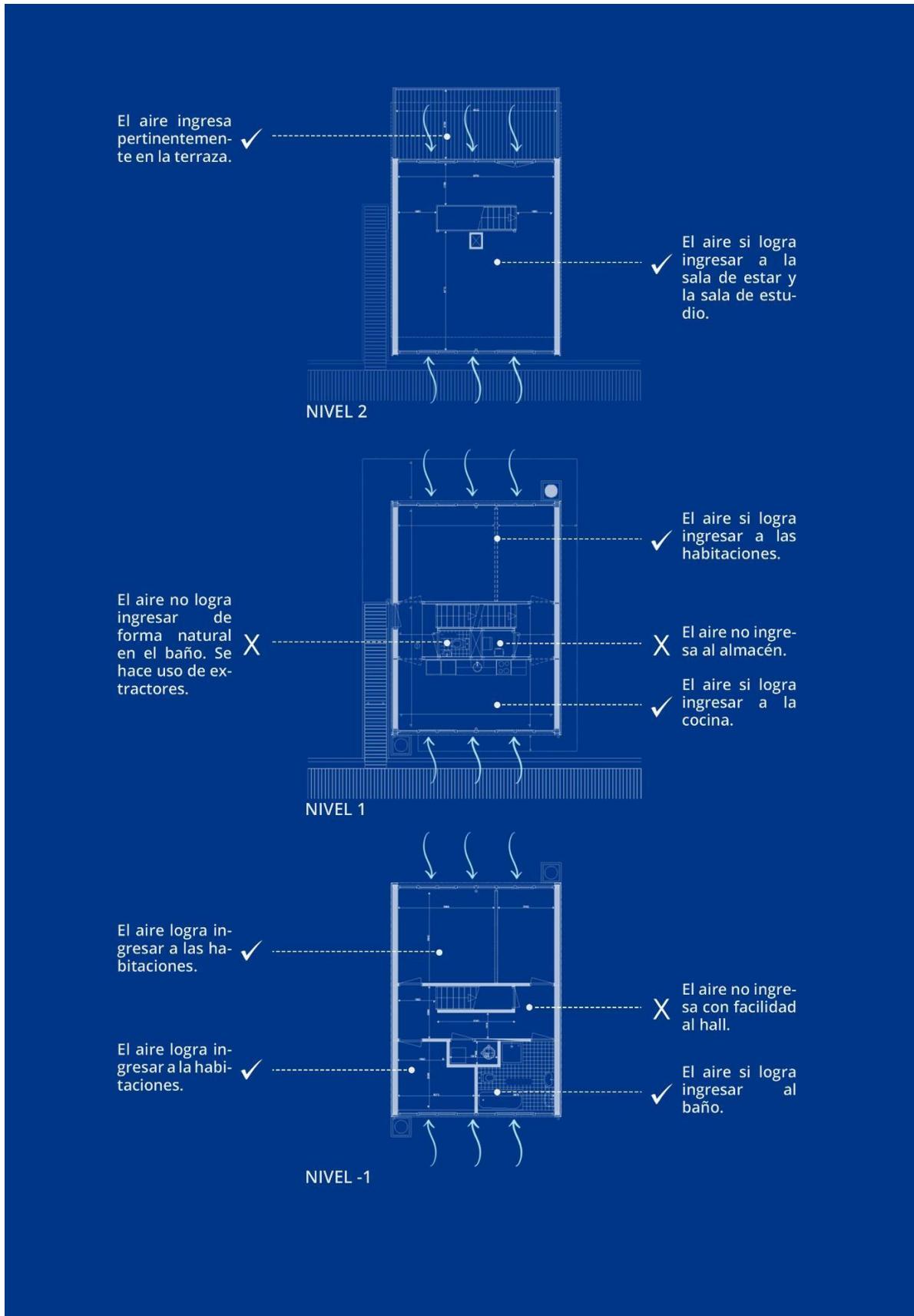


Figura 30. Diagrama de ventilación.
Fuente. Digitalización de planos de Fenuta, 2012.

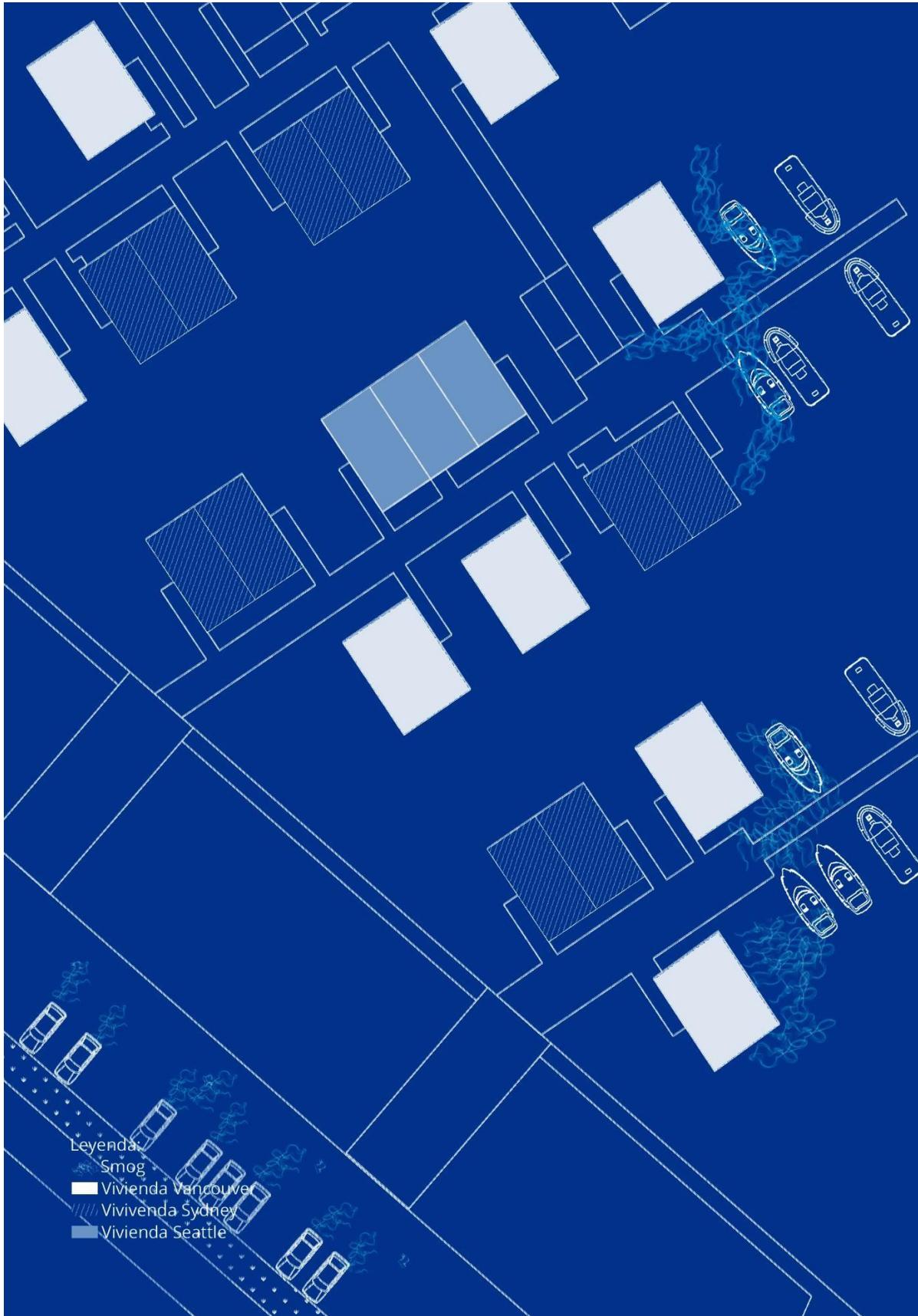


Figura 31. Elementos contaminantes en las proximidades de las viviendas de IJburg.
Fuente. Elaboración propia, diciembre de 2020, utilizando conceptos de Ching y Shapiro, 2015.

5.3. Las viviendas de Maasbommel

El conjunto de viviendas Maasbommel fue propuesto en el año 1998 en el marco de una nueva iniciativa del gobierno holandés denominado “Ruimte voor de rivier” (Espacio para el río). Esta resolución surge como consecuencia del desborde de los ríos Maas, Waal y Rhine en el año 1993 y 1995, que provocó el desalojo de 200,000 personas y el reforzamiento de los diques que debieron contener al fenómeno (Factor Architecten & Boiten raadgevende ingenieurs, 2011). Así, el nuevo método frente a las inundaciones ya no consistiría en resistir al agua, sino en convivir con ella.

En el año 1998, se desaloja una zona para acampar en Maasbommel, como consecuencia del trabajo sobre los diques que colapsaron. Debido a la pérdida de ingresos que esta operación supondría, se le encarga a Boiten engineers investigar sobre los posibles usos para el sitio (Factor Architecten & Boiten raadgevende ingenieurs, 2011). Después de los análisis realizados, la empresa concluye que era posible realizar proyectos de vivienda, siempre que estas fuesen seguras frente a nuevos fenómenos de inundación. Así, se inicia el diseño y construcción de los proyectos de vivienda flotante permanentes y anfibas de Maasbommel. La construcción es encargada a la constructora Dura Veermer, mientras que la oficina de arquitectos Factor Architecten se encargó del diseño (Factor Architecten & Boiten raadgevende ingenieurs, 2011). Cabe resaltar que las viviendas de Maasbommel fueron el inicio de una serie de proyectos que seguirían la iniciativa de convivencia con el agua.

El conjunto residencial está compuesto por un total de 46 viviendas. Catorce de ellas se encuentran flotando permanentemente. Las otras 32 viviendas permanecen en tierra firme, reposando en pares sobre cimientos en un muelle excavado en el talud del dique (Factor Architecten & Boiten raadgevende ingenieurs, 2011). Estas últimas son viviendas de tipo anfibia, las cuales se adaptan al nivel del agua una vez que esta empieza a ascender por alguna

inundación. En este capítulo, solo se realizará el análisis de los hogares anfibios.

5.3.1. Inundaciones



Figura 32. Conjunto de viviendas anfibias.

Fuente. ClimateADAPT, 2015.

Las viviendas anfibias de Maasbommel se encuentran ubicadas en el lago recreativo De Gouden Ham, siendo afectadas en el año 2011 por un evento de inundación. De acuerdo con Factor Architecten & Boiten raadgevende ingenieurs (2011), “as the water rose above 7 meters +NAP for the first time since 1995, the area flooded” [ya que el agua se elevó por encima de los 7 metros del NAP (Normaal Amsterdams Peil) por primera vez desde 1995, el área se inundó] (p.12). Esto significa que el nivel del agua del lago ascendió más de 7 metros por encima del ras del mar (el NAP consiste en una medida holandesa que sirve en Europa como estándar del nivel del mar y la unidad está en el sistema métrico).

La altura del agua habitual en el lago De Gouden Ham, es de +5 NAP (Weerts,

2019). Esto significa que el nivel del agua de la zona suele estar por encima de los 5 metros de la altura del mar. El BFE registrado en aquel lugar para esa fecha fue de un total de 2.2m. Según la FEMA (2012), la altura sería superior al límite aceptable de 3 pies de BFE. En ese sentido, si se produjese un evento similar, las fuerzas ejercidas por el agua podrían perpetuar la integridad de la edificación.

Además, debido a que la geografía de la zona es un lago, según la explicación del PEBLT, la velocidad del agua en la zona es lenta. De acuerdo con las indicaciones de la FEMA (2012), las fuerzas que ejerce el agua en movimiento (fuerzas hidrodinámicas) están en relación con la velocidad del agua. Por lo tanto, en un evento de inundación similar, la infraestructura no sería afectada severamente debido al lento desplazamiento de agua del lago. Asimismo, ya que las viviendas son flotantes, de acuerdo con Barker y Coutts (2018), estas se encuentran adaptadas al movimiento vertical, igualando siempre el nivel del agua. Por consiguiente, incluso con una variación del nivel del fluido, los hogares se encuentran preparados para afrontar las crecidas de agua.

Finalmente, las viviendas de Maasbommel se perciben como aptas para poder soportar eventos de inundación. Las características del lago permiten que las afectaciones en las infraestructuras sumergidas en eventos de inundación no sean severas. Además, la capacidad boyante de las viviendas ayuda a que el agua no llegue a inundar la vivienda.

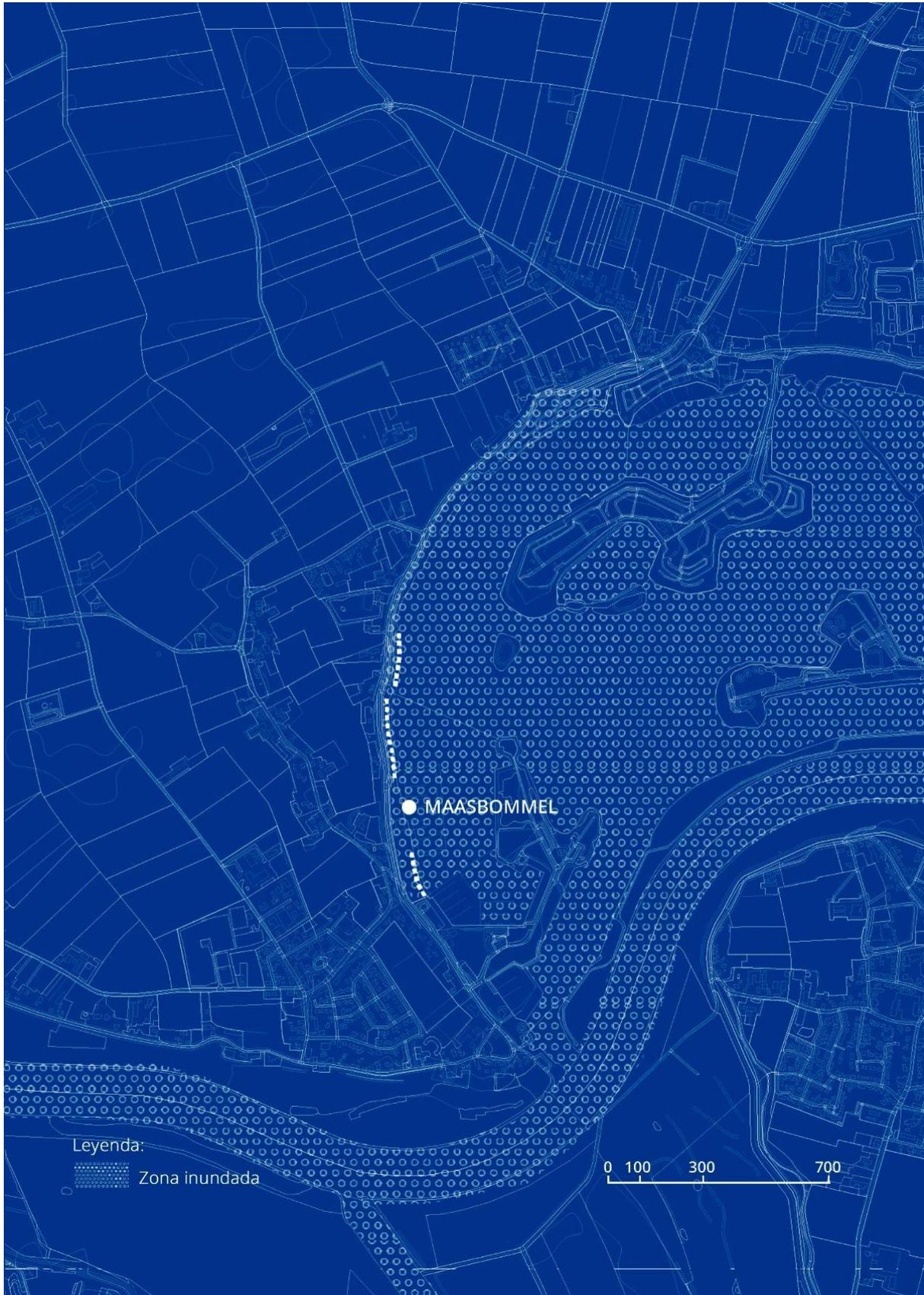


Figura 33. Plano de inundación de Maasbommel en el año 2011.

Fuente. Elaboración propia, diciembre de 2020, a partir de la información brindada por Factor Architecten & Boiten raadgevende ingenieurs, 2011.

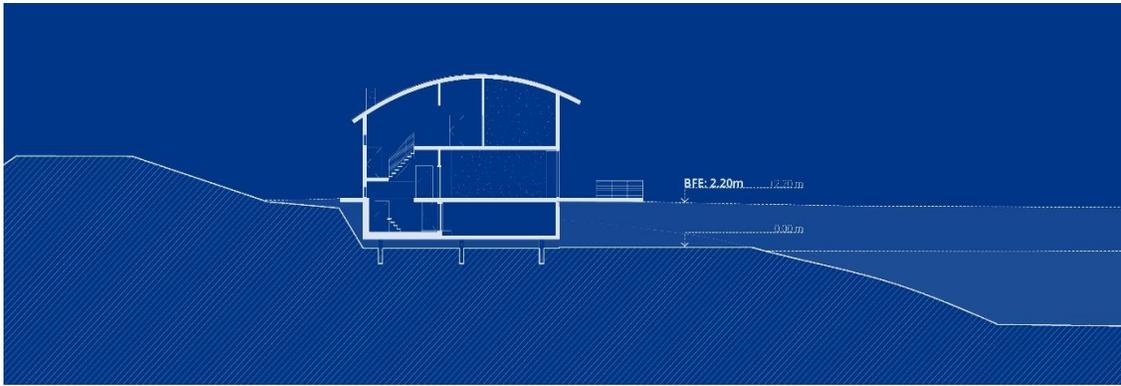


Figura 34. Corte longitudinal de vivienda anfibia de Maasbommel. Se aprecia el nivel del BFE en la inundación del año 2011.

Fuente. Elaboración propia, diciembre de 2020, a de la imagen recuperada de Urbangreenbluegrids.com, 2011.

5.3.2. Flotabilidad

Las viviendas anfibas de Maasbommel presentan bases pesadas, elaboradas a partir del uso de concreto. Dichos cajones no se encuentran rellenos en su interior, sino que son huecos. Según Factor Architecten & Boiten raadgevende ingenieurs (2011), los cajones de concreto poseen un peso de 70 toneladas. A partir de un trabajo de reconstrucción de la planimetría recopilado en el documento *Amphibious Architectures: The buoyant Foundation Project in Post-Katrina New Orleans* por Victoria Fenuta (2010) se logra obtener las dimensiones aproximadas de la vivienda. Así, se revela que el volumen aproximado de cada cajón de concreto es de 134.2 m^3 , por lo que la densidad resultante es de $521.6 \text{ m}^3/\text{kg}$, siendo esta menor a la del agua ($1000 \text{ m}^3/\text{kg}$). De acuerdo con el principio de flotabilidad de Arquímedes, al ser el agua más densa, la fuerza de reacción será mayor que la del peso de este cuerpo, por lo que la flotabilidad se asegura en condiciones de inundación.

La estructura superior es ligera en comparación con la base. El peso interior de las viviendas en ambos pisos, incluyendo a los habitantes y sus posesiones, es de 4 toneladas (Factor Architecten & Boiten raadgevende ingenieurs, 2011). Esto quiere decir que las cargas son mínimas, aumentando una cantidad mínima a la densidad total

del edificio. Por ello, de acuerdo con Mynnet (2015), se asegura que las cargas superiores de las viviendas no generen una descompensación de esfuerzos y que, finalmente, se hunda la estructura.

La profundidad que el lago De Gouden Ham llegó a alcanzar cuando ocurrió la última inundación producida en la zona fue de 7.2m (Factor Architecten & Boiten raadgevende ingenieurs, 2011). Esto es positivo para el cumplimiento de la flotabilidad en los hogares, pues excede la profundidad mínima de 1m descrita por los especialistas Barker y Coutts (2018). Así, se asegura una suficiente cantidad de agua para cuando la estructura se sumerja, desplazando el fluido y pudiendo así flotar.

Finalmente, se concluye que las viviendas de Maasbommel cumplen con las condiciones para que, durante un evento de inundación, la flotabilidad se asegure. Su densa base y la ligereza de la estructura superior permiten, en suma, que la estructura no se hunda. Asimismo, las propias condiciones del lago también facilitan que las fuerzas boyantes actúen sobre los cuerpos. Incluso, el propio testimonio de los habitantes de la zona asegura que, días después del fenómeno, las viviendas regresaron a su posición original (Factor Architecten & Boiten raadgevende ingenieurs, 2011). Entonces, queda corroborada la funcionalidad de estos hogares.

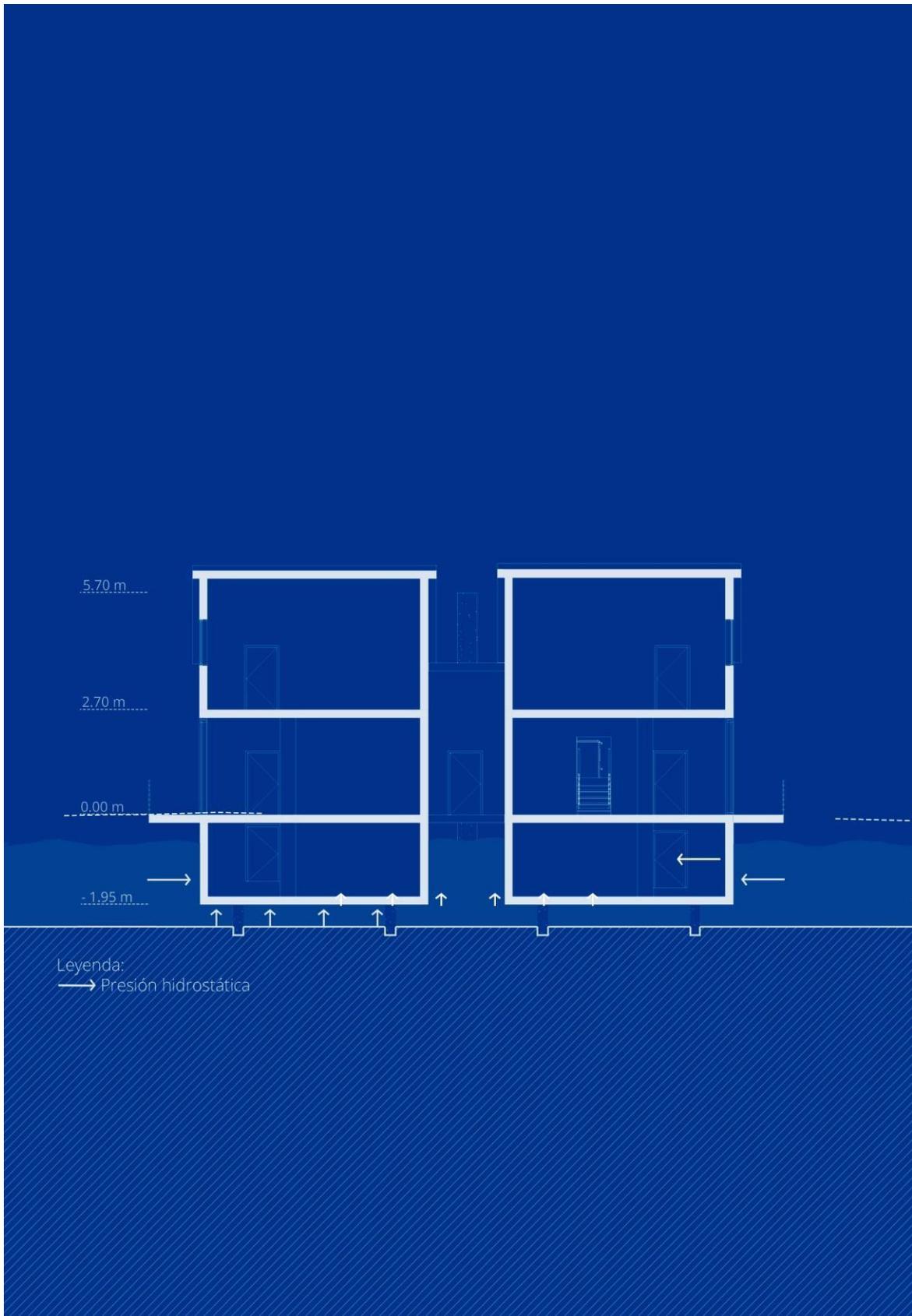


Figura 35. Diagrama de presión hidrostática sobre vivienda Maasbommel.
Fuente. Elaboración propia, diciembre de 2020, a partir de la información brindada por Factor Architecten & Boiten raadgevende ingenieurs, 2011.

5.3.3. Estabilidad

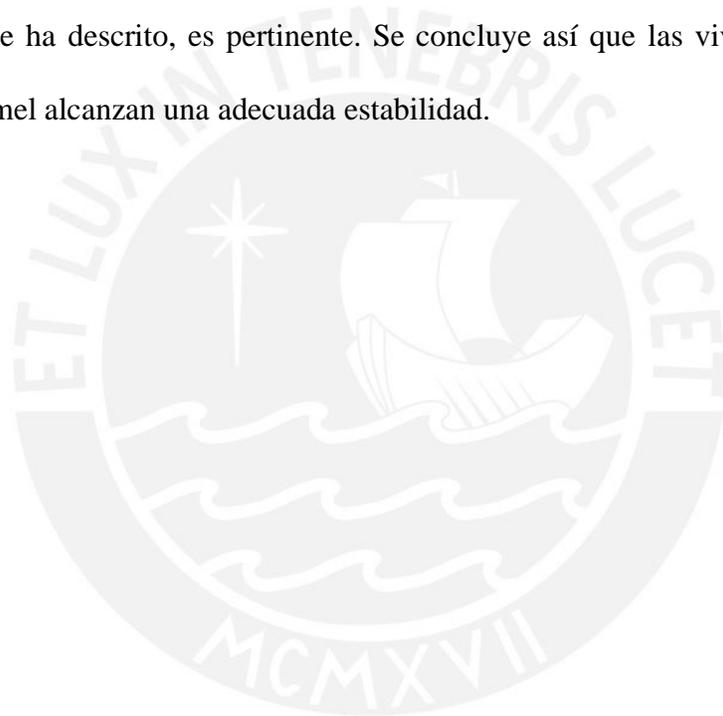
Gracias a las dimensiones extraídas del documento de Fenuta (2010), las viviendas poseen formas regulares, con un solar de dimensiones de 6.11m de ancho y 11m de largo. Cabe resaltar que las viviendas trabajan en conjunto (de dos en dos), por lo que el largo verdadero sería de 14 m aproximadamente y un ancho de 11m. Esto, de acuerdo con las recomendaciones de Mynett (2015), resulta pertinente, porque permite una mejor reacción ante el volteo.

En cuanto a la distribución interna de la vivienda, se utilizó las imágenes provistas por la página web Micazu para develar la ubicación habitual de los objetos internos. Se aprecia que en el nivel -1, los mayores pesos provienen de la zona de almacén y de la cama de una habitación. Ambas cargas se ubican contrapuestamente: el primero hacia el este y el segundo al oeste. En el primer nivel se observa que la cocina y el baño se encuentran situados en la zona oeste de la vivienda, siendo estos ambientes los de peso más considerable de acuerdo con la advertencia de la Municipality of Amsterdam (2012). Sin embargo, hacia el lado este del mismo piso se ubican mobiliarios de cargas considerables, como un sofá, un televisor y una mesa comedor. En el tercer nivel se encuentra situado el dormitorio principal en la zona este y el baño principal, que posee una mayor carga que el baño inferior. Si se examina las cargas de todos los elementos y sus respectivas posiciones, el resultado de las cargas es aproximadamente equiparable. Por lo tanto, de acuerdo con las recomendaciones que ofrece la Municipality of Amsterdam (2012), los hogares se ven resguardados de tambalearse y llegar a ser peligrosos.

Asimismo, el proceso constructivo en las viviendas se realizó utilizando materiales pesados en la base (concreto) y materiales más ligeros en la parte superior (madera, principalmente) (Factor Architecten & Boiten raadgevende ingenieurs, 2011).

Esto, de acuerdo con las recomendaciones de Mynett (2015), resulta una decisión apropiada, pues permite que el centro de gravedad se mantenga debajo del metacentro y por encima del punto boyante. Así, se asegura que la vivienda tenga la capacidad de devolverse a su posición ante algún movimiento de volteo por el agua.

Finalmente se observa que el largo de la planta final del par de viviendas, según las recomendaciones de Kurylek (2016), es mayor a 9 metros. Por lo tanto, el factor más importante que contribuye en la estabilidad de la vivienda será su propio ancho. Y este, como ya se ha descrito, es pertinente. Se concluye así que las viviendas anfibia de Maasbommel alcanzan una adecuada estabilidad.



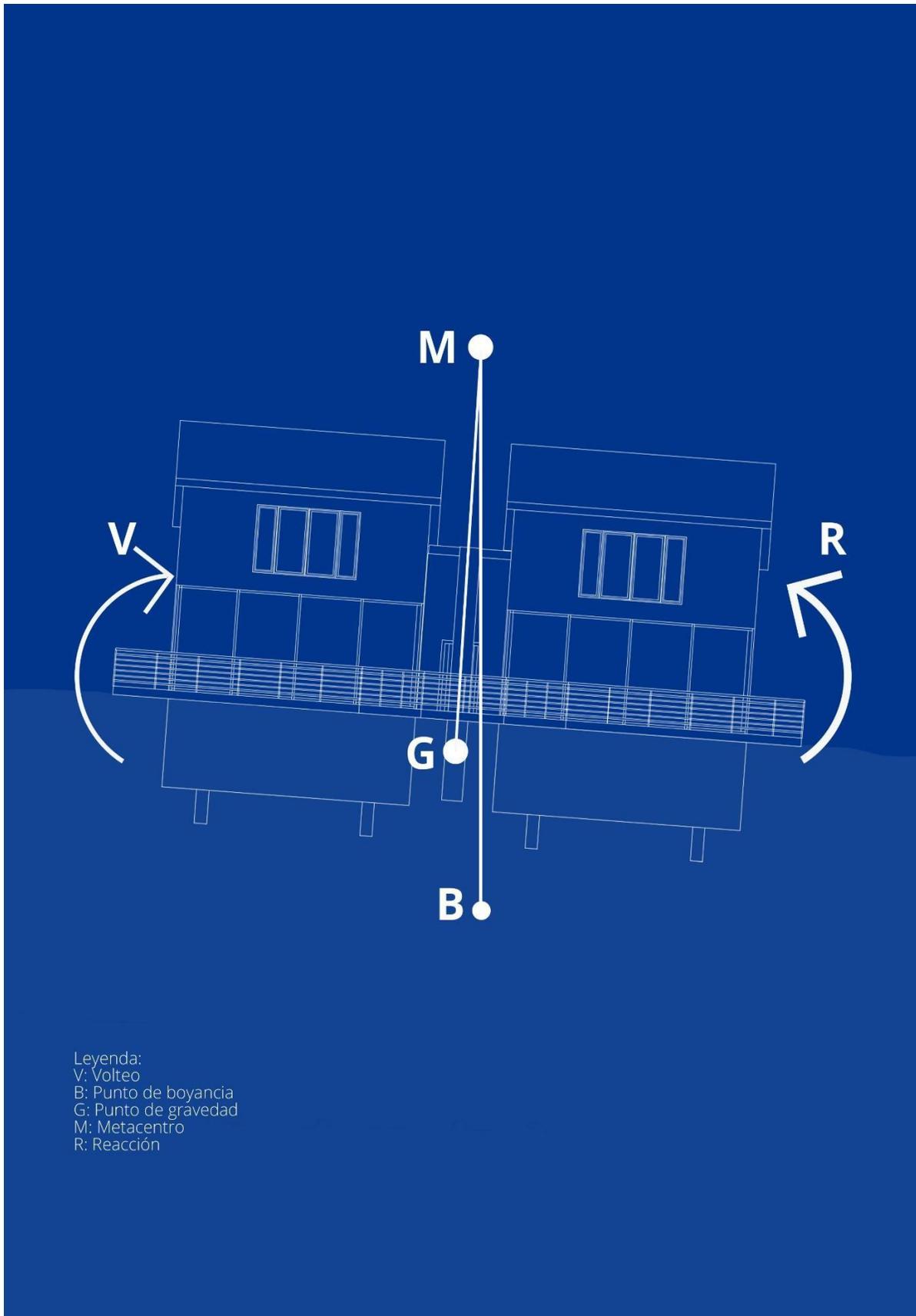


Figura 36. Diagrama de volteo y reacción en vivienda Maasbommel.
Fuente. Elaboración propia, diciembre de 2020, a partir de los principios de Koekoek, 2010.

5.3.4. Posición fija

Las viviendas de Maasbommel presentan en su diseño un sistema de anclaje de dos pilares ubicados en cada par de viviendas (Factor Architecten & Boiten raadgevende ingenieurs, 2011). Esto significa que las viviendas sí poseen un elemento que las mantenga sujetas al suelo cuando el fenómeno de inundación se produzca. Así, de acuerdo con las indicaciones de Koekoek (2010), los pares de viviendas quedan imposibilitadas de desplazarse de forma horizontal. Respecto al movimiento vertical, este sigue siendo admisible. Sin embargo, debido a que el lago presenta aguas calmadas, tales movimientos ascendentes no deberían ser muy perjudiciales para la experiencia interna de los usuarios. Incluso, dichos eventos tienen una tasa de 1 en cada 12 años (Factor Architecten & Boiten raadgevende ingenieurs, 2011). Así, las crecidas del lago De Gouden Ham no logran afectar considerablemente la estadía de los usuarios dentro de su tiempo de uso.

Respecto a los 3 posibles movimientos de rotación, el sistema de anclaje de las viviendas restringe el giro de ellos dentro del plano horizontal. Esto significa que, conforme a las explicaciones de Koekoek (2010), las viviendas no deberían de rotar ante el empuje horizontal del agua. Asimismo, persiste aún la posibilidad de rotar en el eje x e y del dúo de viviendas. Sin embargo, la propia geometría de las viviendas ayuda a atenuar dichos movimientos.

En síntesis, las viviendas de Maasbommel poseen adecuadas condiciones para poder mantenerse en su lugar. El desplazamiento vertical y las rotaciones en los planos x e y se mantienen, pero dadas las condiciones de la zona y de la propia forma del par de hogares flotantes, no resultan ser problemas mayores para la estadía de los habitantes.

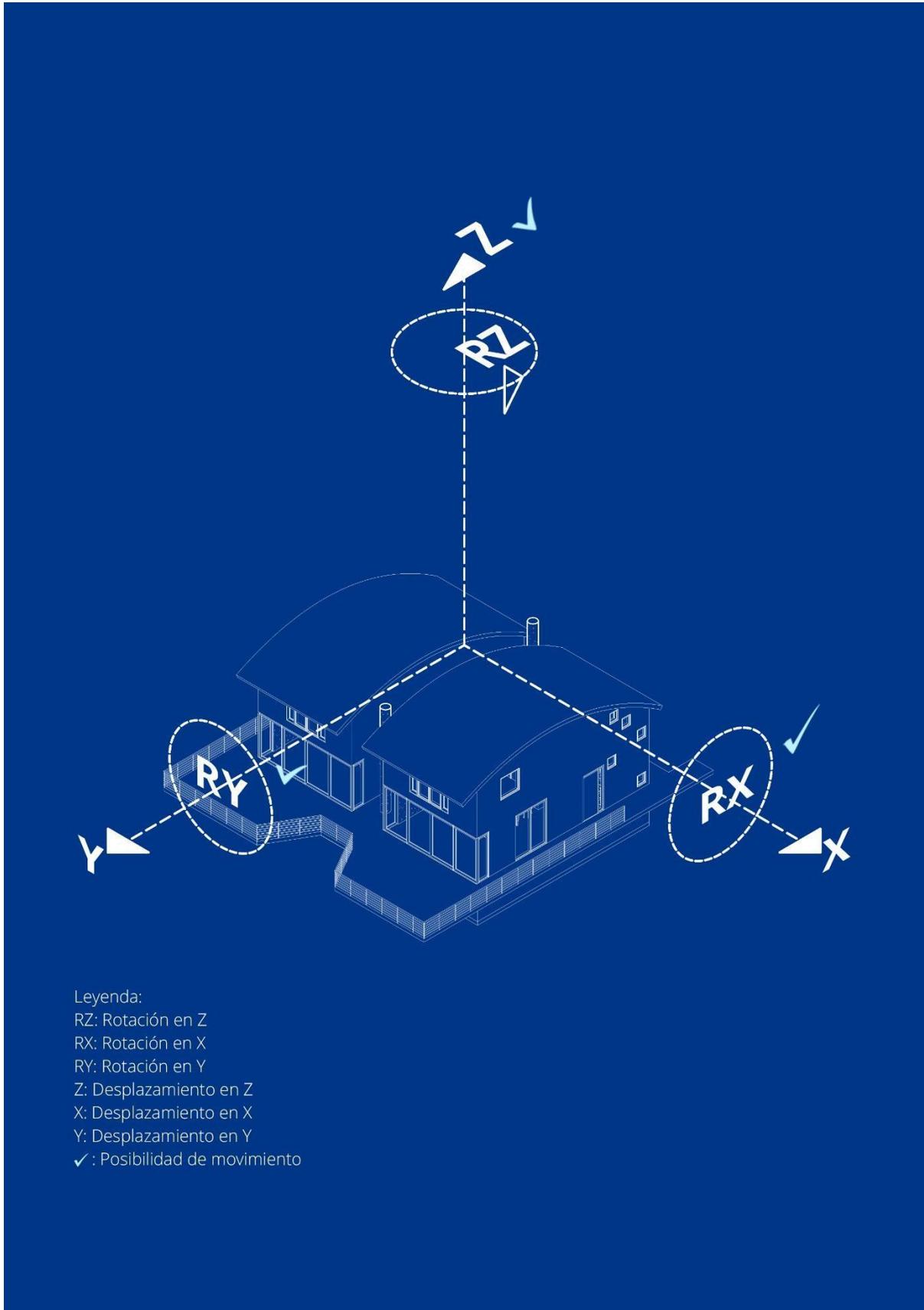


Figura 37. Imagen de los posibles movimientos en una vivienda anfibia de Maasbommel.
Fuente. Elaboración propia, diciembre de 2020, a partir de los principios de Koekoek, 2010.

5.3.5. Sostenibilidad

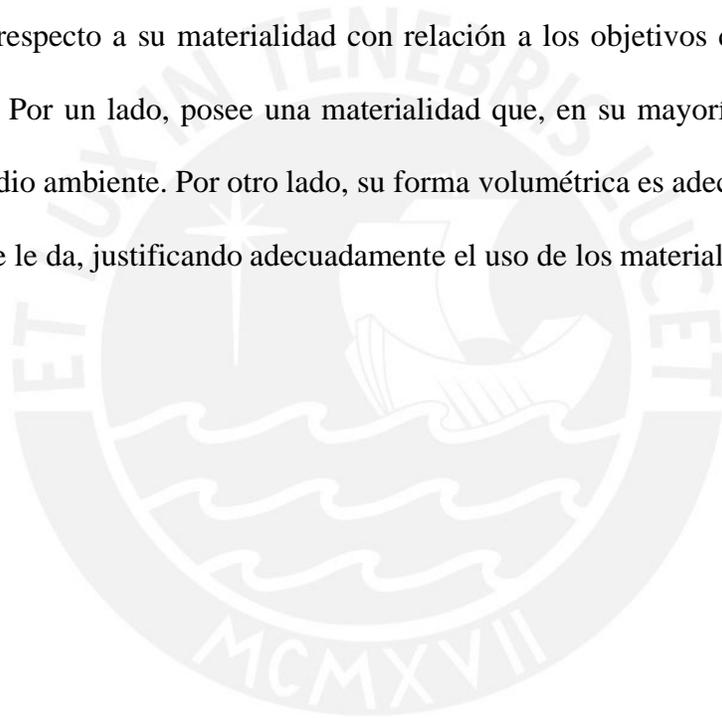
- **Materiales**

Los materiales empleados en la vivienda típica anfibia de Maasbommel son el concreto, el acero, el PVC y la madera. De acuerdo con Factor Architecten & Boiten raadgevende ingenieurs (2011), las viviendas utilizan un sistema básico de entramado de madera para la construcción de la tabiquería interna y externa, mientras que la construcción del techo requirió de acero, madera y PVC. Dado que la cantidad de tabiquería es considerablemente mayor respecto a la cuantía de los demás elementos del hogar, la parte superior de las viviendas se encuentra elaborada principalmente de madera. Por consiguiente, la armadura superior no es tan contaminante, ya que este material es uno de los elementos con menores cantidades de energía acumulada, de acuerdo con los resultados de la CSIRO. Respecto a la base de la vivienda típica, la cual se encuentra elaborada de concreto, la energía incorporada en este cemento sí resulta ser elevado, debido a la naturaleza de su materialidad. Incluso, el PVC del techo también posee un elevado índice de energía acumulada. Entonces, siguiendo a Ching y Shapiro (2015), las viviendas no cumplen con el requisito de evitar utilizar materiales contaminantes.

Asimismo, evaluando la arquitectura de las viviendas, existe la presencia de un techo alto en el último piso. Según Ching y Shapiro (2015), al proyectar una vivienda se debe reflexionar sobre la pertinencia de las decisiones proyectuales, pues una decisión inadecuada puede generar excesos en el consumo material. Evaluando el clima de la zona, Holanda es considerado un país lluvioso (NL Países Bajos, 2020). Por lo tanto, con el fin de que el agua discurra por la cubierta con facilidad, el techo necesita elevarse para que la pendiente no afecte la estadía de los habitantes. Así, la altitud de la cubierta queda sustentada para este caso en concreto. Respecto al resto de los ambientes,

se observa que las distribuciones internas son apropiadas en cuanto a sus dimensiones. No se observan lo suficientemente congestionadas, permitiendo que las actividades se desarrollen con normalidad. Incluso, la propia forma geométrica de la vivienda es relativamente simple (un cubo con un recorte en la parte superior), lo cual también se acopla a los lineamientos de Ching y Shapiro (2015). Por lo tanto, no existe un exceso de espacio en el interior ni se presenta un consumo exagerado de materiales.

Finalmente, las viviendas de Maasbommel poseen aspectos positivos y negativos respecto a su materialidad con relación a los objetivos de una arquitectura sostenible. Por un lado, posee una materialidad que, en su mayoría, es contaminante para el medio ambiente. Por otro lado, su forma volumétrica es adecuada respecto a los usos que se le da, justificando adecuadamente el uso de los materiales.



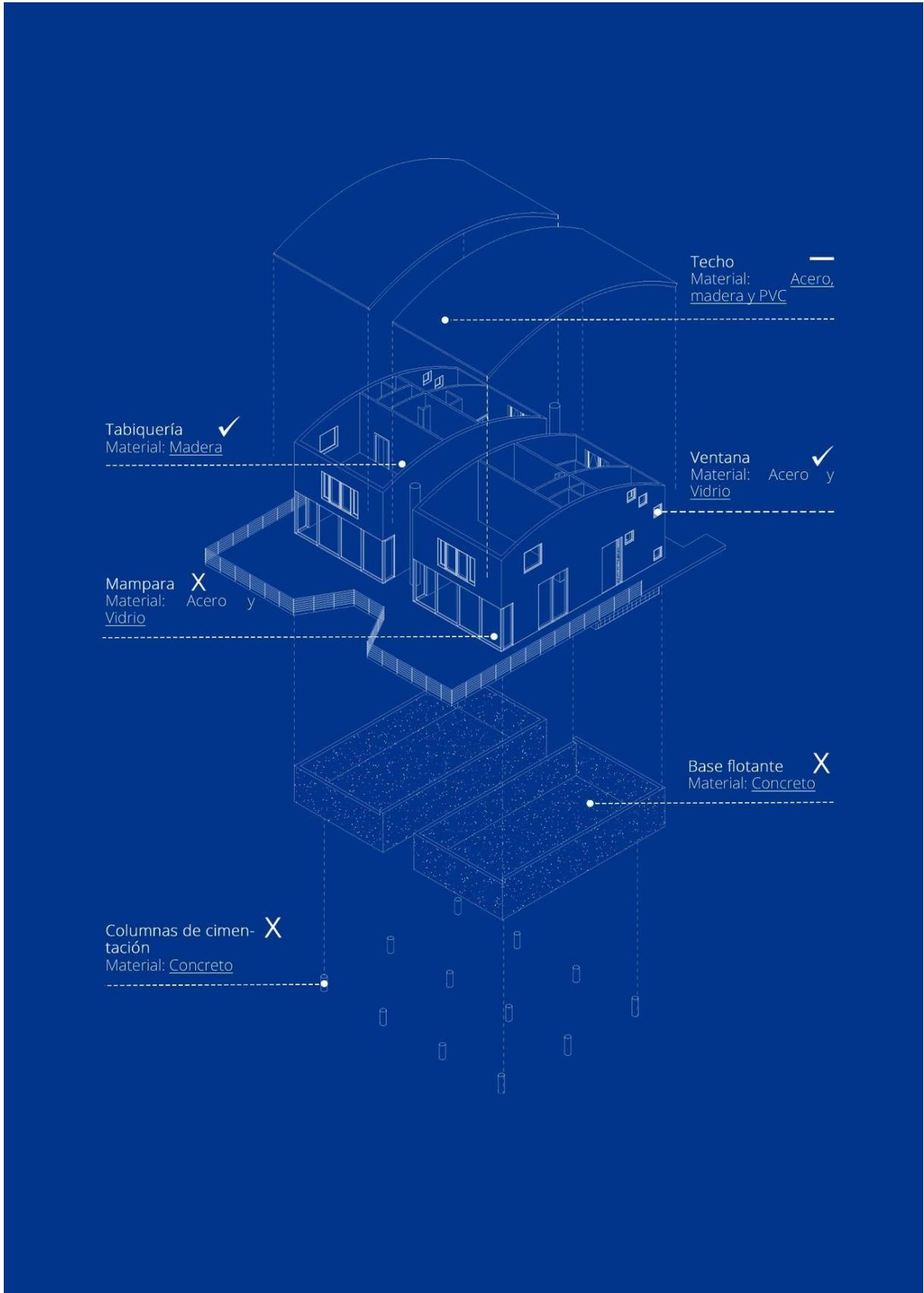


Figura 38. Materialidad de vivienda.

Fuente. Elaboración propia, diciembre de 2020, a partir de la información brindada por Factor Architecten & Boiten raadgevende ingenieurs, 2011.

- **La forma construida**

La vivienda anfibia típica de Maasbommel posee una forma similar a la de un cubo recortado en su zona superior. Gracias a las medidas obtenidas por (2010), el ancho y largo en planta es de aproximadamente 6.1 m y 11 m respectivamente. Asimismo, la altura de todos los niveles es de 1.9m, 2.5 m y 3.51 m aproximadamente de forma ascendente partiendo desde el nivel -1. El área percibida de superficie en planta para cada vivienda boyante es de 174.46 m^2 . Además, la suma de las superficies de la envolvente exterior es de 255.31 m^2 . Aplicando una proporción entre ambas áreas, se consigue un coeficiente equivalente a 1,46. Ahora si se utilizase una altura de 2.4, una altura adecuada para las personas de acuerdo con Ching y Shapiro (2015), en los dos primeros pisos del hogar (el último piso se mantiene debido a las lluvias y la consecuente necesidad de pendiente), el nuevo coeficiente en los hogares sería de 1.50. El resultado de esta operación resultaría en un aumento del 2% en las materias empleadas.

En primera estancia, solo considerando la cantidad de materiales empleados en relación con el coeficiente, las viviendas boyantes actuales resultan pertinentes. Sin embargo, a la arquitectura sostenible no solo le interesa que las infraestructuras respondan a la misión de evitar la contaminación del medio ambiente, sino que también deben adaptarse a las necesidades de los usuarios. Por esta razón, la segunda opción parece más pertinente. Esta asegura que el sótano sea un espacio realmente útil para el uso, y las variaciones en la cantidad de materias empleadas resulten ser mínimas.

En conclusión, la geometría actual de estos hogares no aplica de forma completa a los lineamientos de una arquitectura ecológica. Si bien no resultan tan equívocas las decisiones tomadas, la forma construida de la infraestructura no se adapta al requisito de pensar también en el propio usuario, condición que plantea la arquitectura sostenible.

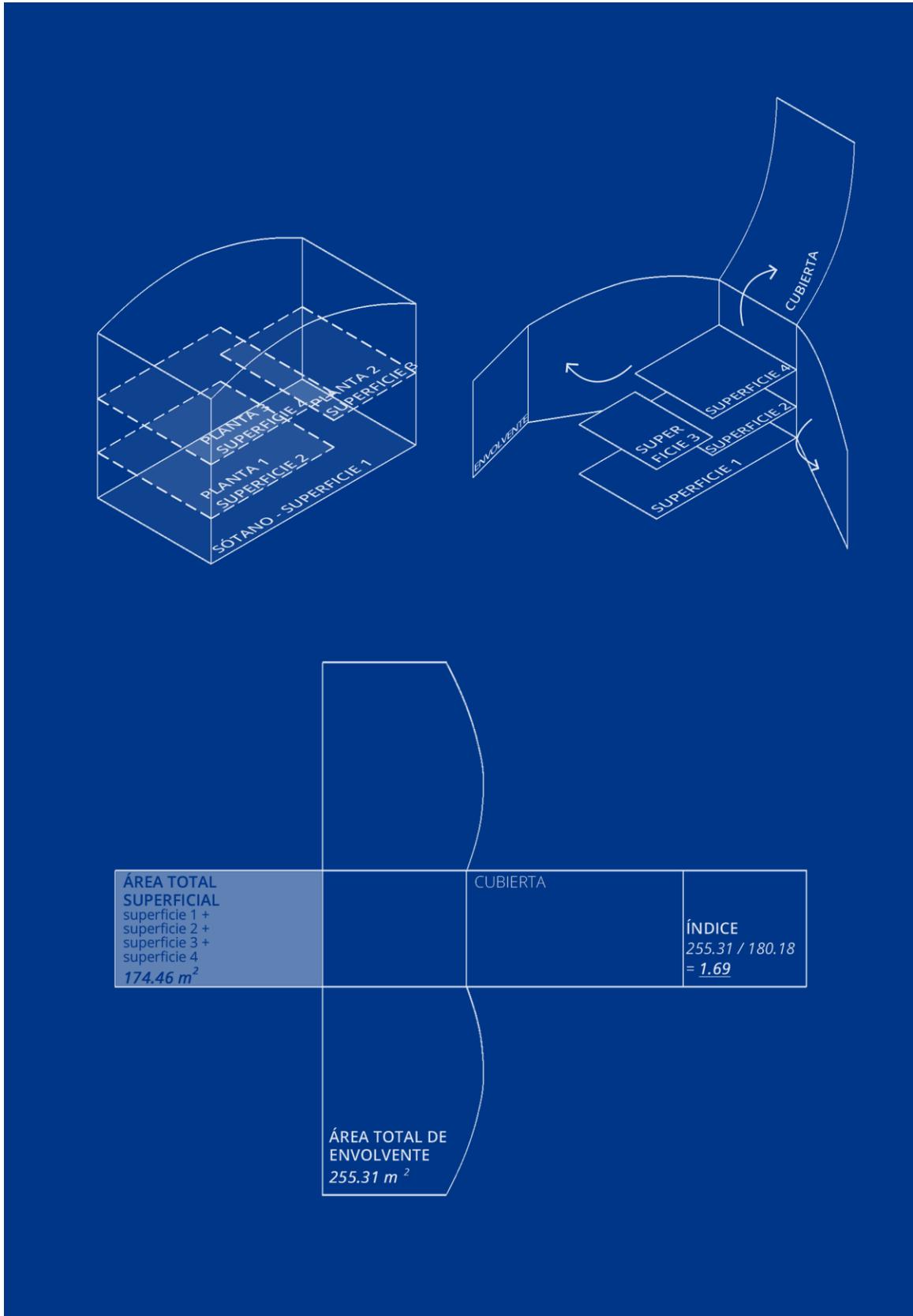


Figura 39. Diagrama de envoltente externo de la vivienda Maasbommel. Se aprecia el área de la envoltente y de la superficie, así como la relación entre ambos.
Fuente. Elaboración propia, diciembre de 2020, a partir de la teoría de Ching y Shapiro, 2015.

- **La calidad del ambiente interior**

De acuerdo con las imágenes recopiladas utilizando la herramienta Google Earth se observa que existe la presencia de una gran cantidad de vehículos y de lanchas próximas a las viviendas. De acuerdo con las recomendaciones de Ching y Shapiro (2015), las viviendas no se encuentran en una zona deseable, pues todos estos vehículos motorizados pueden contaminar el aire exterior que, posteriormente, ingresara al hogar. Asimismo, existe una adecuada separación entre la vivienda y la calle Bovendijk, la cual no aparenta ser muy transitada. Así, los hogares se encuentran asegurados de que se filtre aire contaminado, ya sea por el smog de los carros circulantes por la avenida o por otros contaminantes, como el humo de cigarrillos.

Respecto a las dimensiones de las viviendas, estas permanecen suficientemente compactas: los ambientes parecen dispuestos para optimizar la cantidad de espacio disponible. Si se evalúa el comportamiento del aire internamente se puede apreciar que existen ambientes donde este no circula de forma apropiada. En el nivel -1, no hay presencia de ventanas, lo cual impide que el aire ingrese a los ambientes. En el nivel 1, los baños resultan ser los espacios con menor captación del viento. En el nivel 2, no hay ventanas por donde se pueda filtrar el viento hacia el baño. Por lo tanto, de acuerdo con la teoría de Ching y Shapiro (2015), no todos los espacios en las viviendas obtienen de forma natural el aire del exterior. Esto, finalmente, repercute en la calidad de estar de los habitantes y podría llegar a requerir del uso de sistemas de ventilación mecanizados.

Los ambientes internos se encuentran delimitados por muros elaborados con madera. De acuerdo con Ordóñez (2019), la madera provee moderadas capacidades de aislamiento. Debido a su alta conductividad y resistencia, la madera se convierte en un buen aislante térmico que permite un mejor almacenamiento de calor en el espacio. Así, se logra un mayor confort térmico para los habitantes. Asimismo, el concreto es también

un adecuado material para generar aislamiento térmico (Ordoñez, 2019). Por lo tanto, los ambientes situados en el sótano pueden conservar el calor almacenado. Weather Online (2012) afirma que el clima de Holanda posee inviernos frescos e inviernos moderados, con bajas temperaturas en invierno (entre los 2°C hasta los 6°C). En ese sentido, los hogares encuentran sustentadas sus capacidades térmicas, permitiendo contribuir en un confort térmico para los habitantes, según las indicaciones descritas por Ching y Shapiro (2015).

Respecto a la acústica, el principal agente que puede interferir en el confort acústico es el tránsito de autos y lanchas. Debido a la proximidad a la que se encuentran ubicados el parqueo de vehículos y los muelles de las lanchas, el sonido puede impedir a los habitantes una estadía apacible. Respecto a la calle Bovendijk, existe una separación que contribuye a evitar el paso del sonido al interior. Así, en términos generales, el confort acústico no se encuentra del todo logrado en estos hogares.

En conclusión, la calidad del ambiente interior en las viviendas típicas de Maasbommel poseen aspectos positivos como negativos para el objetivo de una calidad de ambiente interior óptima. Por un lado, las lanchas a motor, así como los vehículos del estacionamiento adyacente, pueden suponer un problema para la ventilación del hogar y el confort acústico del mismo. Por otro lado, la materialidad es apropiada para mantener un confort térmico en la zona, dada las condiciones climáticas de Holanda, y las medidas del volumen permiten que la ventilación se asegure.

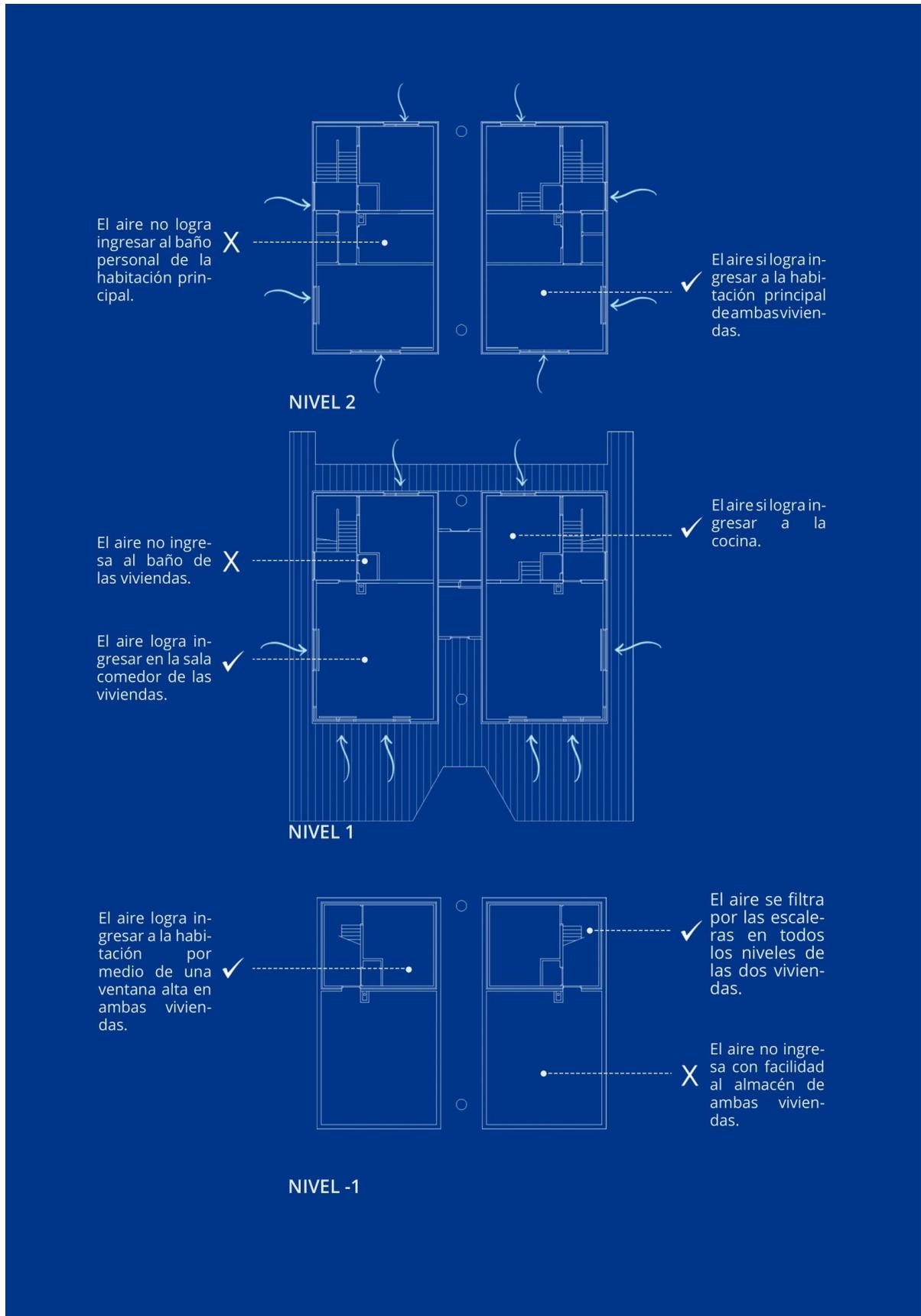


Figura 40. Diagrama de ventilación en viviendas típicas de Maasbommel.
Fuente. Digitalización de planos recuperados de Fenuta, 2010.

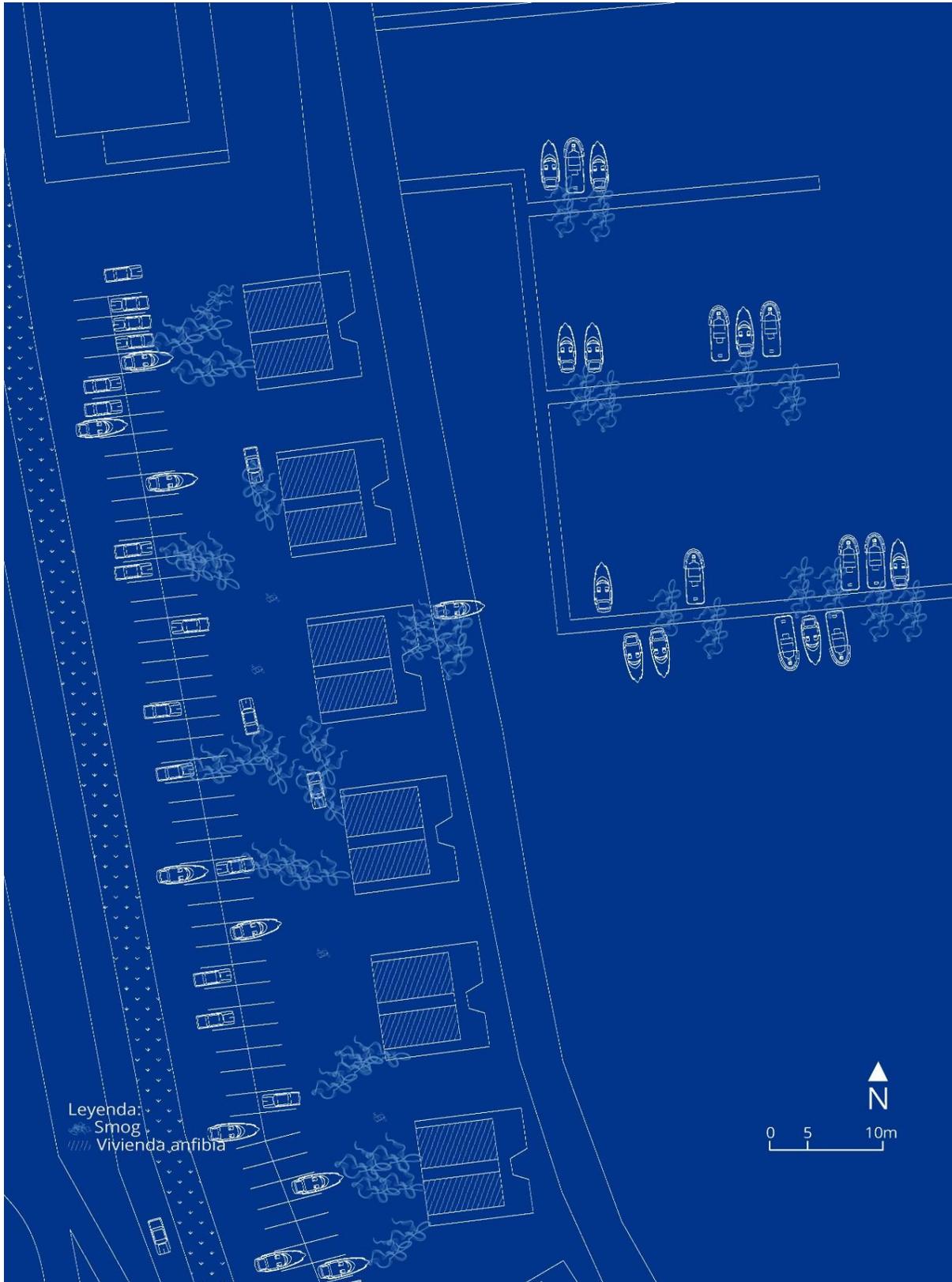


Figura 41. Plano de contaminantes externos en la zona. Se observa que las lanchas y carros son los principales agentes.

Fuente. Elaboración propia, diciembre de 2020, a partir de los planos recuperados de www.tudelft.nl

CONCLUSIONES

De acuerdo con el pronóstico que la ONU ha señalado, el mundo se verá afectado por fenómenos de inundación que impactará a las personas y los edificios que estos habitan. La presente investigación corrobora que la arquitectura flotante es una solución eficaz ante los fenómenos de inundación actuales y pronosticados al estar lo suficientemente adaptada para resguardar a sus habitantes durante estos eventos y contribuir en la reducción de estos fenómenos utilizando principios ecológicos. Esto ha sido posible gracias a los análisis presentados sobre los tres casos de estudio seleccionados, lo cual permitió desarrollar distintas conclusiones.

La primera conclusión más importante que devela este trabajo de investigación es que las estructuras boyantes son capaces de asegurar la estadía de los habitantes durante eventos de inundación si es que se mitigan los daños por inundaciones y se asegura la flotabilidad, la estabilidad y la posición fija de las estructuras flotantes.

En primer lugar, los problemas que las inundaciones pueden llegar a ejercer en las construcciones sobre el agua no necesariamente las afectan gravemente. Los daños son determinados en cierta medida por la velocidad a la que el agua se desplaza y por la altura de la inundación. En los tres casos de estudio, se observa que, al estar ubicados sobre un lago, el desplazamiento del agua es lento, por lo que los fenómenos de inundación no resultan ser tan perjudiciales para la estadía interna. Asimismo, las alturas examinadas son equivalente o superiores a 1m, lo cual sí puede influenciar negativamente en la integridad de las infraestructuras. Sin embargo, dado que las construcciones flotantes, por su propia condición boyante no se pueden inundar, estos daños resultan mitigados. Por lo tanto, se corrobora que las estructuras flotantes poseen ventajas respecto a las que no se elevan en el agua al limitar los daños de las inundaciones. Asimismo, se desprende también que los lagos resultan ser lugares adecuados para la construcción de estructuras flotantes.

En segundo lugar, las dificultades que se podrían percibir si una estructura no presenta cualidades flotantes se ven reducidas esencialmente si la ley de Arquímedes actúa sobre la edificación. En los tres casos de estudio se observa que la flotabilidad en las infraestructuras se asegura siempre que exista una presencia incipiente de pesos en mobiliarios o de la estructura superior en comparación al peso de la cimentación. Asimismo, en los tres casos estudiados, poseer una profundidad mínima de 1m ha servido para que las fuerzas boyantes eleven la estructura y esta pueda flotar. Por lo tanto, se concluye que, de seguir las características descritas y corroboradas, las estructuras boyantes son capaces de flotar y evitar hundirse en el agua.

En tercer lugar, los peligros generados por alguna falla en la estabilidad de la construcción pueden ser mitigados si existe un adecuado balance que permita alinear los tres puntos imaginarios para la estabilidad del cuerpo. Los tres casos de estudio presentan bases rectangulares largas, con un peso mayor al de la estructura superior que portan. Asimismo, para todos los ejemplos evaluados, se ha observado una distribución balanceada de los pesos internos. Todo ello contribuye a alcanzar el objetivo de una adecuada estabilidad. En conclusión, si una estructura boyante sigue estas características descritas será capaz de reducir los daños provocados por la inestabilidad.

En cuarto lugar, las posibles amenazas derivadas de no mantener en una posición fija a la estructura boyante pueden ser mitigadas si es que la estructura es sujeta mediante algún sistema que lo ancle. En los tres casos de estudio, esto se cumplió. Si bien, de los 6 posibles movimientos sujetos por estar en el agua, solo se ha conseguido limitar 3 de ellos. Sin embargo, de los otros tres, el desplazamiento vertical ayuda a que la infraestructura iguale el nivel del agua en una inundación, y los dos movimientos de volteo pueden verse reducidos si se tienen bases anchas.

La segunda conclusión más relevante que se rescata del trabajo de investigación es que la sostenibilidad permite a las construcciones flotantes disminuir la contaminación en el medio

ambiente. En los tres casos de estudio, los materiales empleados, la forma construida y la calidad del medio ambiente han conseguido que esta misión sea alcanzable.

En primer lugar, los materiales empleados en las tres viviendas no fueron todos ellos los más apropiados, según los lineamientos de la arquitectura ecológica. El caso de los Uros es quizá el ejemplo más exitoso en este punto, demostrando una arquitectura casi enteramente hecha de materiales orgánicos y artesanales. Los casos de Maasbommel y de IJburg, si bien constan de una materialidad criticable, sí utilizan en buena parte de su estructura superior materiales poco contaminantes. Se concluye así que la elección de una materialidad pertinente puede ayudar a disminuir los efectos del cambio climático.

En segundo lugar, si bien la forma construida de los tres casos consigue reducir el consumo material y, por ende, disminuir la contaminación en el ambiente, no precisamente en todos los ejemplos examinados se sigue con precisión los lineamientos de una arquitectura ecológica. En el caso de Maasbommel, las dimensiones de las infraestructuras no proveen de una adecuada estancia a los habitantes. Sin embargo, ello sí es percibido en los otros dos casos. En ese sentido, se concluye que la elección de una forma compacta y pertinente en espacio para el usuario contribuye al objetivo de lograr un mundo menos contaminado y, a la vez, satisfacer la estadía cómoda de los usuarios de estructuras flotantes.

En tercer lugar, la calidad del ambiente interior también ha sido capaz de reducir las emisiones contaminantes. En los tres casos de estudio se observan resultados distintos, debido a las propias particularidades de cada ejemplo. El confort térmico se ha visto reducido gracias la materialidad que los tres poseen. Asimismo, la calidad del aire no resultó ser adecuada en los tres ejemplos, debido a factores externos que contaminan el viento. También, la ventilación no se ha visto asegurada en los tres casos, como consecuencia de no poseer facilidades de ingresos en los ambientes. Respecto al confort acústico, en los tres casos se percibe que los factores externos han contribuido a que se vea perjudicado. Por lo tanto, se concluye que sí es posible disminuir emisiones contaminantes si es que las estructuras flotantes se sitúan en zonas alejadas

de factores externos que puedan contaminar el viento externo o que generen contaminación auditiva en el interior de la construcción, o si se asegura el ingreso del aire en los espacios internos.

En conclusión, las inundaciones pueden llegar a verse mitigadas si es que las infraestructuras flotantes disminuyen sus emisiones contaminantes sobre el ambiente al incorporar lineamientos de sostenibilidad en su construcción.



BIBLIOGRAFÍA

1. Amapacoan Gaia. (2014, 1 diciembre). *Construcción de la isla flotante Uros (Grupo étnico Aymara) Lago Titicaca* [Archivo de vídeo]. Recuperado de https://www.youtube.com/watch?v=yBnslGTaceE&t=144s&ab_channel=AmapacoanGaia
2. Architectenbureau Marlies Rohmer. (2012). *Waterwoningen IJburg* - Architectenbureau Marlies Rohmer [Archivo de vídeo]. Recuperado de https://www.youtube.com/watch?v=-qZSfOKy3SQ&ab_channel=MarliesRohmer
3. Arnaiz, K. (5 de noviembre de 2019). ¡Aquí viven en islas artificiales! UROS y TAQUILE en LAGO TITICACA. Viaje a Perú #4 [Archivo de vídeo]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=ozZyd3XGTRE>
4. Barker, R., y Coutts, R. (2018). Flood-aware design. En P. Buxton (Ed.) *Metric Handbook. Planning and Design Data*. Londres: Routledge.
5. Ching, F. y Shapiro, I. (2015). *Arquitectura ecológica: Un Manual Ilustrado*. Madrid: Editorial Gustavo Gili.
6. Climate Central. (2008). *Climate Central*. Recuperado de <https://www.climatecentral.org/>
7. Communities. (2007). *Improving the Flood Performance of New Buildings* [version PDF]. Recuperado de https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/7730/flood_performance.pdf
8. De Graaf (2009). *Innovations in urban water management to reduce the vulnerability of cities*. (Tesis doctoral, Technische Universiteit Delft, Holanda). Recuperado de <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3A817c33c6-f716-44ca-bb17-80d20ef2100e>

9. Department of City Planning of New York. (2013). *Urban Waterfront Adaptive Strategies*. Recuperado de https://www1.nyc.gov/assets/planning/download/pdf/plans-studies/sustainable-communities/climate-resilience/urban_waterfront.pdf
10. Dimick, D. (2015). *Photos from 1967 Reveal A Lost Culture in Iraq*. Nationalgeographic. Recuperado de <https://www.nationalgeographic.com/photography/proof/2015/09/21/photos-from-1967-reveal-a-lost-culture-in-iraq/>
11. Discovery Channel. (2013). Ampliación en Amsterdam [Archivo de video]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=iwxKd7Wuvbk>
12. Encyclopedia Britannica (1998) *Archimedes' principle*. Recuperado <https://www.britannica.com/science/Archimedes-principle>
13. Encyclopedia Britannica. (2020). *Center of gravity*. Recuperado de <https://www.britannica.com/science/centre-of-gravity>
14. Encyclopedia Britannica. (2020). *metacenter*. Recuperado de <https://www.britannica.com/science/metacentre>
15. Espino, M., Alburquerque, E., Segura, M. y Chura, R. (2017). Nivel hídrico y precipitaciones del lago Titicaca en relación con las variables de macroescala del océano Pacífico. *Tradicón, Segunda época*, (17), 36-43. <https://doi.org/10.31381/tradicion.v0i17.1364>
16. Factor Architecten & Boiten raadgevende ingenieurs. (2011). *Project review: Floating Homes «De Gouden Kust»*. Climate ADAPT. Recuperado de <https://climate-adapt.eea.europa.eu/metadata/case-studies/amphibious-housing-in-maasbommel-the-netherlands/11310092.pdf>
17. FEMA. (2012). *Engineering Principles and Practices for Retrofitting Flood-Prone Residential Structures*. Recuperado de https://www.fema.gov/media-library-data/20130726-1506-20490-2593/fema259_complete_rev.pdf

18. Fenner, A., & Kibert, C. (2017). *Sustainable Manufacturing: Design and Construction Strategies for Manufactured Construction*. Florida: University of Florida. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/328135368_Sustainable_Manufacturing_Design_and_Construction_Strategies_for_Manufactured_Construction/link/5bba93ba4585159e8d8bdbf3/download
19. Fenuta, E. (2010). *Amphibious Architectures: The Buoyant Foundation Project in Post-Katrina New Orleans*. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10012/5685>
20. Hallulli, A. (2018). *Flexible and energy self-sufficient floating cities in the north sea*. (Tesis de maestría). Technische Universiteit Delft, Holanda. Recuperado de <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3A66a9227b-23a2-4303-a72d-d13a9021c1a4>
21. Hewitt, P. (2007). *Física Conceptual*. Londres: Pearson Educación.
22. Hidalgo, J. (2007). *Aprovechamiento de la totora como material de construcción*. (tesis de licenciatura). Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
23. Hyde, R. (2008). *Bioclimatic Housing: Innovative Designs for Warmer Climates*. New York: Routledge.
24. INDECI. (2019). *Compendio estadístico del INDECI 2019*. Recuperado de <https://www.indeci.gob.pe/wp-content/uploads/2020/01/COMPENDIO-FINALBAJA.pdf>
25. Instituto Geofísico del Perú. (2020). *El clima en el Perú: Puno*. Recuperado de <http://met.igp.gob.pe/clima/HTML/puno.html>
26. Jha, A. K., Lamond, J. y Bloch, R. (2012). *Cities and Flooding*. World Bank Publications.
27. Kleyn, A. (2018). *Drijvende huizen voor wie tegen wiebelen kan (Casas flotantes para quienes pueden tambalearse)*. Recuperado de <https://www.ad.nl/wonen/drijvende->

[huizen-voor-wie-tegen-wiebelen-](#)

[kan~acaf5151/?referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F](#)

28. Ko. K.K.M (2015). *Realising a floating city. A feasibility study of the construction of a floating city.* (Tesis de maestría). Technische Universiteit Delft, Holanda. Recuperado de <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3Acb4bddef-1eb8-49ec-9ff9-670a30dd4b72>
29. Koekoek, M (2010). *Connecting Modular Floating Structures.* (Tesis de maestría). Technische Universiteit Delft, Holanda. Recuperado de <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3A33b59201-1718-4dda-98f8-ee16d5b7c023>
30. Kuryłek, A. (2016). Floating housing communities on the example of waterbuurt in Amsterdam osiedla na wodzie na przykładzie waterbuurt w amsterdamie. *Space & Form*, 27. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/330934919_FLOATING_HOUSING_COMMUNITIES_ON_THE_EXAMPLE_OF_WATERBUURT_IN_AMSTERDAM_OSIEDLA_NA_WODZIE_NA_PRZYKLAJDZIE_WATERBUURT_W_AMSTERDAMI
[E](#)
31. La República. (2019). Incremento de aguas dañó colegios y cultivos Puno en emergencia por inundaciones. *La República*. Recuperado de <https://larepublica.pe/sociedad/332187-incremento-de-aguas-dano-colegios-y-cultivos-puno-en-emergencia-por-inundaciones/>
32. Marca Perú. (2018). *Los Uros: Pueblo ancestral y originario del Perú.* Recuperado de <https://peru.info/es-pe/turismo/noticias/3/17/los-uros--pueblo-ancestral-y-originario-del-Peru#:~:text=Los%20Uros%2C%20habitantes%20de%20las,a%20la%20Ley%20N%C2%BA%2030729>

33. Maya, N (2017). *La situación actual de la etnia de los Uros Chulluni del lago Titicaca*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
34. Micazu. (2020). *Luxury water home with jetty*. Micazu. Recuperado de <https://www.micazu.com/vacation-rentals/netherlands/gelderland/maasbommel/luxury-water-home-with-jetty-29590/>
35. Ministerio de Economía y Finanzas (MEF). (2012). Guía simplificada para la identificación, formulación y evaluación social de proyectos de protección de unidades productoras de bienes y servicios públicos frente a inundaciones a nivel de perfil. Lima: MEF. Recuperado de https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/docs/instrumentos_metod/prevencion_y_desastres/GUIA_SERVICIO_DE_PROTECCION_VERSION%20FINAL_JUNIO_19.pdf
36. Ministerio de Agricultura (MINAGRI) (2006). *Inventario de fuentes de agua subterránea Iquitos*. Lima: MINAGRI. Recuperado de <http://repositorio.ana.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12543/4311/ANA0002810.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
37. Moraga, N. (2013). *Las Islas Flotantes de los Uros en el Lago Titicaca. Casiopea*. Recuperado de https://wiki.ead.pucv.cl/Las_Islas_Flotantes_de_los_Uros_en_el_Lago_Titicaca_ciudad_de_aguas
38. Municipality of Amsterdam. (2012). *Floating Amsterdam: The development of IJburg's Waterbuurt*. Recuperado de https://www.ansa.it/documents/1334931625986_AmsterdamFloating.pdf
39. Mynett, L (2015). *Building Technology for climate Change adaptation*. (Tesis de maestría). Technische Universiteit Delft, Holanda. Recuperado de

<https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3A3ad009ee-c440-4a78-99b6-d0ff25f4be3b>

40. NASA. (2010). *Ocean Worlds*. Recuperado de <https://earthobservatory.nasa.gov/features/Water>
41. NASA. (2017). *Sea Level Rise*. Recuperado de <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20180001313/downloads/20180001313.pdf>
42. NASA. (2020). *Global Surface Temperature*. Recuperado de <https://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/>
43. NL Países Bajos. (2020). La realidad sobre el tiempo en Holanda. Holland.com. Recuperado de <https://www.holland.com/es/turista/informacion/el-tiempo.htm>
44. Oilfield Publications. (2000). *Floating Structures: A Guide for Design & Analysis*. Londres: Oilfield Publications.
45. ONU. (2004). *Guidelines for reducing flood losses*. Recuperado de https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/flood_guidelines.pdf
46. ONU. (2010). *El derecho a una vivienda adecuada*. Recuperado de https://www.ohchr.org/Documents/Publications/FS21_rev_1_Housing_sp.pdf
47. ONU. (2013). *Sea Level Chinge*. Recuperado de http://www.climateChinge2013.org/images/report/WG1AR5_Chapter13_FINAL.pdf
48. ONU. (2015a). *Acuerdo de París*. Recuperado de https://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/spanish_paris_agreement.pdf
49. ONU. (2015b). *The Human Cost of Weather Related Disasters*. Recuperado de https://www.unisdr.org/files/46796_cop21weatherdisastersreport2015.pdf
50. ONU. (2017). *Sustainability*. Recuperado de <https://academicimpact.un.org/es/content/sostenibilidad>

51. ONU. (2019a). *Growing at a slower pace, world population is expected to reach 9.7 billion in 2050 and could peak at nearly 11 billion around 2100*. Recuperado de <https://www.un.org/development/desa/en/news/population/world-population-prospects-2019.html>
52. ONU. (2019b). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019. Recuperado de <https://www.acnur.org/5c93e4c34.pdf>
53. ONU-Habitat (2019a). *La vivienda en el centro de los ODS en México*. Recuperado de https://www.onu.org.mx/wp-content/uploads/2019/04/VIVIENDA_Y_ODS.pdf
54. ONU (2019b). *Las ciudades, “causa y solución” del cambio climático*. Recuperado de <https://onuhabitat.org.mx/index.php/las-ciudades-causa-y-solucion-del-cambio-climatico>
55. Ordóñez, A. (2019). Importancia del aislamiento de los edificios. [Entrada en blog] Recuperado de <https://www.seiscubos.com/blog/la-importancia-relativa-del-aislamiento-termico-de-los-edificios>
56. PEBLT. (1993). *Diagnóstico de daños por eventos extremos*. Recuperado de http://pelt.gob.pe/sirh/Plan_Director/Diagnostico-de-danos-por-eventos-extremos.pdf
57. PEBLT. (2001). *Programa de capacitación sobre el manejo de la totora*. Recuperado de http://www.alt-perubolivia.org/Web_Bio/PROYECTO/Docum_bolivia/21.03%20manual.pdf
58. Prisco, S., Valencia, L. y Vasilyeva, D. (2015). *Floating Community Centre for Los Uros Puno – Peru*. Milano: Politécnico Milano.
59. RIBA. (2020). *Learn the principles of flood resilient buildings*. Recuperado de <https://www.architecture.com/knowledge-and-resources/knowledge-landing-page/learn-the-principles-of-flood-resilient-buildings>

60. Rijkswaterstaat. (2020). IJmeer - informatie en waterdata. Recuperado de <https://www.rijkswaterstaat.nl/water/vaarwegenoverzicht/ijmeer/index.aspx>
61. Rohmer, M. (2020). Waterwoningen IJburg. Marlies Rohmer Architecture & Urbanism. Recuperado de <https://rohmer.nl/projects/waterwoningen-ijburg/>
62. SEV (2008). *SEV-advies inzake waterwonen (Advice of the Steering Group of Housing Experiments on floating houses)*.
63. Stopp, H. y Strangfeld, P. (2010). *Floating houses—chances and problems*. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/271423508_Floating_houses-chances_and_problems
64. Stopp, H., Strangfeld, P. y Malakhova, A. (2016). *Floating Architecture and Structures – an Answer to the Global Chinges*. Recuperado de https://www.corp.at/archive/CORP2016_130.pdf
65. TUDelft. (2020). *Top10NL*. Recuperado de <https://www.tudelft.nl/en/library/collections/map-room/map-collection/topographical-maps/top10nl/>
66. United Nations High Commissioner for Refugees. (2015). *UNHCR and Climate Change: An Overview*. Recuperado de <https://www.unhcr.org/540854f49>
67. Waterbuurt West. (2009). *Waterbuurt West, rustig wonen aan het water*. Recuperado de <http://www.waterbuurtwest.nl/>
68. Watson, D., y Adams, M. (2010). *Design for Flooding: Architecture, Landscape, and Urban Design for Resilience to Flooding and Climate Change*. Londres: Wiley.
69. Waterstudio. (2019). *Water World*. Recuperado de <https://www.waterstudio.nl/6482-2/>
70. Weerts, A. (2019). Drijvende woningen Maasbommel. Factor Architecten. Recuperado de <https://www.factorarchitecten.nl/project/drijvende-woningen-maasbommel/>

71. Waterbuurt West. (2009). *Waterbuurt West, rustig wonen aan het water*. Recuperado de <http://www.waterbuurtwest.nl/index.php?p=5>
72. Weather Online. (2012). *Climate of the World: The Netherlands*. Recuperado de <https://www.weatheronline.co.uk/reports/climate/The-Netherlands.htm#:~:text=The%20Netherlands%20have%20a%20temperate,cool%20summers%20and%20moderate%20winters.&text=Sometimes%20easterly%20winds%20can%20cause,temperatures%20sometimes%20far%20below%20zero>

