



# TRABAJO FIN DE GRADO

Grado en Fundamentos de la Arquitectura

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA / UNIVERSIDAD DE SEVILLA

## APLICACIÓN DE ESTRUCTURAS Y CERRAMIENTOS DESPLEGABLES A VIVIENDA-PROTOTIPO PARA FAMILIA DE REFUGIADOS

Autor: Ginés García González

Tutor: D. José Sánchez Sánchez, Catedrático de Universidad. Dpto. de  
Estructuras de Edificación e Ingeniería del Terreno

Grupo TFG B

D. Antonio Jaramillo Morilla (coordinador). Catedrático de Universidad. Dpto.  
de Estructuras de Edificación e Ingeniería del Terreno

D. Rafael Suárez Medina. Profesor de Universidad. Dpto. de Construcciones  
Arquitectónicas I

Julio de 2018

# Índice

<b>1. RESUMEN Y PALABRAS CLAVE</b> .....	<b>4</b>
<b>2. OBJETIVOS, JUSTIFICACIÓN Y UTILIDAD</b> .....	<b>5</b>
2.1. Descripción de los objetivos .....	5
2.2. Justificación y motivación .....	5
2.3. Ámbito de utilidad.....	6
<b>3. METODOLOGÍA DE TRABAJO</b> .....	<b>8</b>
<b>4. ESTADO DE LA CUESTIÓN</b> .....	<b>9</b>
4.1. Introducción .....	9
4.2. Publicaciones relacionadas con la temática estudiada .....	10
4.3. Reseña histórica .....	13
<b>5. ANÁLISIS</b> .....	<b>18</b>
5.1. Clasificación tipológica-temporal .....	18
5.2. Clasificación de estructuras desplegables formadas por paneles rígidos o segmentos fijos ...	20
5.3. Casos de estudio .....	20
5.3.1. Caso de estudio 1: Matriz .....	21
5.3.2. Caso de estudio 2: Just a minute .....	22
5.3.3. Caso de estudio 3: Cmax.....	23
5.3.4. Caso de estudio 4: Markies .....	24
5.3.5. Caso de estudio 5: WheelLY .....	25
5.3.6. Caso de estudio 6: TF64 - Alpha .....	26
<b>6. DIAGNÓSTICO</b> .....	<b>27</b>
<b>7. EXPOSICIÓN DEL MODELO A DESARROLLAR</b> .....	<b>28</b>
7.1. Datos previos.....	28
7.2. Observaciones y bases previas .....	30

<b>8. DESARROLLO DE LA PROPUESTA .....</b>	<b>32</b>
8.1. Estructura base soporte .....	32
8.2. Sistema estructural desplegable .....	34
8.2.1. Maqueta de trabajo .....	36
8.3. Sistema de cerramiento desplegable .....	37
8.3.1. Cubierta .....	37
8.3.2. Cerramiento vertical .....	38
8.3.3. Suelo .....	39
8.3.4. Material para cerramiento .....	39
8.4. Secuencia de despliegue .....	40
8.5. Dimensiones del modelo final .....	41
<b>9. FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO .....</b>	<b>42</b>
<b>10. ANEXOS .....</b>	<b>43</b>
<b>11. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>49</b>
Publicaciones .....	49
Referencias web .....	50

# 1. RESUMEN Y PALABRAS CLAVE

El mundo, tal como lo conocemos, cambia a una velocidad enorme. La tranquilidad en la que vivió la sociedad occidental tras la Guerra Fría parece haberse acabado por la aparición de múltiples guerras en la inmediatez de sus fronteras, y de descontroladas hambrunas que merman sociedades enteras. Asimismo, las catástrofes naturales casi siempre achacan y golpean a estas sociedades más necesitadas, algo totalmente injusto que debemos de colaborar entre todos para hacer la situación menos complicada de lo que es.

Esta investigación analiza la situación que existe actualmente en cuanto a los refugiados y a los tipos de viviendas que existen para estos realizadas con sistemas desplegados, cometiendo un breve recorrido histórico de este tipo de estructuras y analizando casos de estudio relevantes.

Una vez finalizado este análisis, se planteará y aportará una propuesta de vivienda-prototipo para una familia

de refugiados, realizados con estos sistemas, los cuales agilizan el proceso de implantación y transporte de los refugios.

## Palabras clave:

arquitectura; estructura;  
desplegable; refugiados; prototipo;  
protección; vivienda; familia.

## 2. OBJETIVOS, JUSTIFICACIÓN Y UTILIDAD

### 2.1. Descripción de los objetivos

El objetivo principal del presente documento es la aplicación de las estructuras y cerramientos desplegables a una vivienda-prototipo temporal para una familia de refugiados, determinando cuál será su sistema de plegado y desplegado.

Además, se desarrollarán los siguientes objetivos específicos asociados al objetivo principal:

- La identificación de prototipos de viviendas para refugiados con esquemas de funcionamiento similares al desarrollado en el presente trabajo a través del análisis de casos de estudio de arquitectura para cuestiones de emergencia.
- Establecer un ámbito de utilidad específico de la propuesta, fundamental para saber dónde se podría

usar, para qué, por qué y cómo.

- El conocimiento del funcionamiento de sistemas desplegables aplicables a soluciones para viviendas temporales.
- El planteamiento de unas nuevas futuras vías de investigación y trabajo que establezcan nuevas líneas de desarrollo de la temática estudiada.

### 2.2. Justificación y motivación

Con la premisa del tema actual por aquel entonces de los refugiados de la guerra de Siria, se desarrolló durante el curso 2016-2017 con el profesor Ignacio Sánchez-Cid en la asignatura de Proyectos 7 del Grado en Fundamentos de Arquitectura una actuación que perseguía dar respuesta a esta situación, planificando un asentamiento para refugiados para que estas personas tuvieran una cálida y humana acogida, planificando sus infraestructuras y sus viviendas. Además de prever el asentamiento, se proyectaron las viviendas que irían

colocadas en él. Una de esas viviendas fue la que se desarrollará en este trabajo, diseñada por el autor del presente documento.

Dado el poco tiempo de desarrollo para todo el trabajo, pues fueron 15 semanas para estudiar a fondo el asentamiento, diseñar 3 tipos de vivienda y sus sistemas constructivos correspondientes, además de proyectar algún equipamiento del lugar, finalmente quedó un tanto incompleta la parte más constructiva del proyecto, pues fue a la que menor tiempo se le dedicó y es algo que verdaderamente era una lástima y un poco frustrante a efectos personales.

Asimismo, la inquietud por resolver de alguna manera este prototipo siempre ha quedado ahí en un rincón de mi cabeza y es con el desarrollo de este tema cuando parece que vuelve a ver la luz, cuando me planteé resolver dicha parte técnica del proyecto en este Trabajo Fin de Grado. Compatibilizar esta inquietud con el desarrollo constructivo de esta vivienda a través de estructuras y cerramientos desplegados creo que es un acierto y viene muy al hilo debido a la rapidez de montaje y emergencia que requiere la

instalación, además de su fácil manejo y transporte a cualquier parte.

## 2.3. **Ámbito de utilidad**

Para esclarecer el funcionamiento y el interés de la vivienda-prototipo, es necesario establecer su ámbito de utilidad.

El módulo servirá para familias formadas por miembros de dos hasta seis personas, principalmente compuesta por padres e hijos, aunque en algún caso, también por intentar flexibilizar un poco su uso, cabría la posibilidad de albergar a personas ancianas en el mismo, siempre y cuando estén acompañadas por adultos. El tiempo de estancia será temporal, que podrá durar entre varias semanas o meses.

El prototipo se instalará en regiones con climas templados y sin temperaturas no muy bruscas ni extremas, pues en sus orígenes fue concebido para poder instalarse en Sevilla y localidades cercanas. En este caso, no será necesario que en el asentamiento se realice previamente la instalación general pensada para la asignatura de Proyectos 7, que consistía

en las instalaciones básicas de electricidad, agua y saneamiento a través de un murete de 40cm de altura para evitar el soterramiento de los conductos y facilitar la conexión de las viviendas a la red y su reparación en caso de averías. En este trabajo las instalaciones del asentamiento serán algo ajeno que no se resolverán, pero que la vivienda tendrá capacidad para adaptarse a estas una vez planificadas.

El propio prototipo albergará su estructura portante y los aparatos de cocina y baño básicos irán incluidos dentro ya colocados para su posterior conexión a la instalación general del asentamiento. Esta estructura portante estará formada por un marco rígido, el cual será el soporte fijo del sistema desplegable y que se separará del contacto directo con el terreno para ayudar al aislamiento, salubridad e higiene.



Campo de refugiados de Mentao (Burkina Faso)

### 3. METODOLOGÍA DE TRABAJO

La metodología de trabajo a seguir para realizar el presente documento será la siguiente:

En primer lugar, se ha puesto en contexto la situación actual en cuanto al tema de los refugiados y la importancia que tiene el que todas y cada una de estas personas posean un lugar digno donde vivir. Por otro lado, se ha indagado en una serie de publicaciones relacionadas con el tema de construcciones desmontables o portátiles con el uso de sistemas estructurales desplegados. A continuación, se ha realizado un breve recorrido histórico, partiendo desde los primeros sistemas desplegados hasta llegar a los recientes autores más destacados e importantes que trabajaron sobre estructuras de este tipo, centrándonos un poco más en estos últimos debido a que en este período temporal es cuando se producen los más importantes avances en relación con la temática propuesta.

En segundo lugar, se ha realizado un análisis en el que se ha hecho una clasificación tipológica-

temporal, que nos sirve para acotar el tipo de módulo en el que trabajaremos; y una clasificación de tipos de estructuras desplegadas compuestas por paneles rígidos o segmentos fijos para conocer los sistemas de plegado posibles que existen. Por otro lado, se ha realizado una búsqueda y se han elegido una serie de casos de estudio, en concreto seis, con la finalidad de establecer un análisis comparativo y obtener resultados de casos reales que nos sirvan para la propuesta final.

En tercer lugar, de todo el análisis anteriormente mencionado se ha realizado un diagnóstico y se han intentado sacar puntos en común que nos sirvan para el trabajo, finalizando y concluyendo la investigación realizada con una propuesta personal como solución constructiva al módulo que se presentaba desarrollar.

Por último, se han formulado unas nuevas vías de investigación y trabajo, y se ha recogido todo el material y la información bibliográfica, la cual la mayor parte ha sido gracias a la Biblioteca de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Sevilla, a la consulta de tesis doctorales y a artículos publicados en la web.

## 4. ESTADO DE LA CUESTIÓN

### 4.1. Introducción

El mundo, tal como lo conocemos, cambia a una velocidad enorme. La tranquilidad en la que vivió la sociedad occidental tras la Guerra Fría parece haber acabado por la aparición de múltiples guerras en la inmediatez de sus fronteras, y de descontroladas hambrunas que merman sociedades enteras. Europa, el conjunto de países con mayor desarrollo que nunca ha conocido la Historia, se convierte por ello en la principal esperanza que tienen millones de personas para asegurar su subsistencia. Y para alcanzar esa tranquilidad, poblaciones enteras se desplazan de sus problemáticos lugares de origen buscando alcanzar, por tierra o por mar, la soñada Europa.



Contenedores de agua en la wilaya de Smara, campamento de refugiados



Puesto de salud en campamento de refugiados Loge Maçonnique

Por ello somos testigos cada día de informaciones que de forma reiterada remueven nuestras conciencias al ver las situaciones en las que tantas personas malviven. Y lo que es peor, cuando logran alcanzar una situación en la que el miedo y el hambre no les golpean mortalmente, es la apatía de las sociedades que les recibimos las que lo hacen. Y vemos, casi como un mal inevitable, el hacinamiento de seres humanos entre el barro, el frío y la indiferencia de quienes somos sus prójimos.

Con la afluencia de personas refugiadas encontramos una primera situación de emergencia, que se da en espacios inmediatos a donde se desarrollan hechos que provocan la huida de una gran parte de su población. Es el caso fundamentalmente de las guerras, o del

terror que determinados grupos terroristas están generando en varias partes del mundo. Esta masiva llegada de personas debe contenerse en improvisados asentamientos, cercanos a las fronteras que acaban de cruzar, en los que lo prioritario es organizar a la población que llega, alimentarles y darles seguridad y un primer y básico cobijo.

Ante la masiva e imprevista llegada de decenas de miles de refugiados en catástrofes naturales o, lamentablemente en otras, catástrofes provocadas por las guerras, casi se hace como primordial la rapidez de respuesta ante las necesidades inmediatas que se presentan, y que derivan en el uso de estructuras no sólo efímeras sino, por su inmediatez de levantamiento, también de escasísima habitabilidad. Tiendas de campaña, estructuras textiles, o en el mejor de los casos módulos container suelen ser los elementos que resuelven de forma muy precaria el primer alojamiento de estas personas que huyen.

## **4.2. Publicaciones relacionadas con la temática estudiada**

Este trabajo de investigación, recopilación y ordenación de la información sobre las estructuras desplegables aplicadas a prototipos y sistemas de emergencia ha sido elaborado durante cuatro meses apoyándose en diferentes soportes bibliográficos, tales como publicaciones, artículos, libros y tesis.

Este tipo de construcciones para refugios en casos de emergencia es un tema muy estudiado, tanto por diferentes arquitectos conscientes de esta realidad que sufren millones de personas y que ponen sus servicios para ayudarlos, como por diferentes autores que han estudiado este tipo de construcción debido a su gran versatilidad, flexibilidad e interés que despiertan. Además, también ingenieros, alumnos universitarios y diferentes profesionales han realizado multitud de artículos e investigaciones que han sido de gran ayuda para la elaboración de este trabajo.

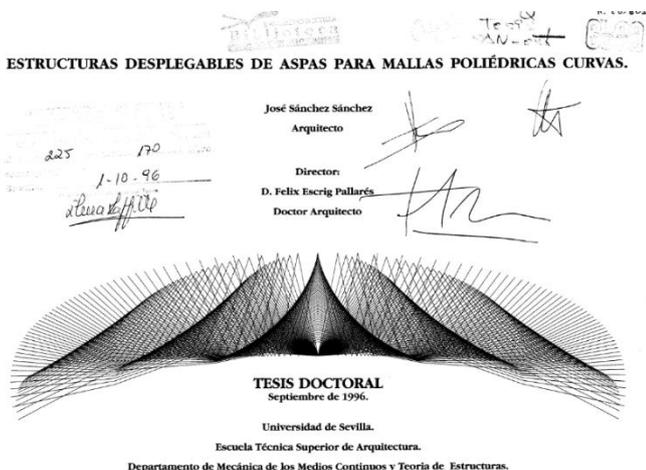
Por este motivo, la gran mayoría de las imágenes que se van a emplear para soportar este texto han sido sacadas de estos recursos, fundamentales para dar vida a la investigación.

Sin embargo, a pesar de todo esto, dentro de la documentación bibliográfica que se ha ido utilizando destacan algunos de los documentos que más han aportado al trabajo y que han sido una base fundamental del mismo.

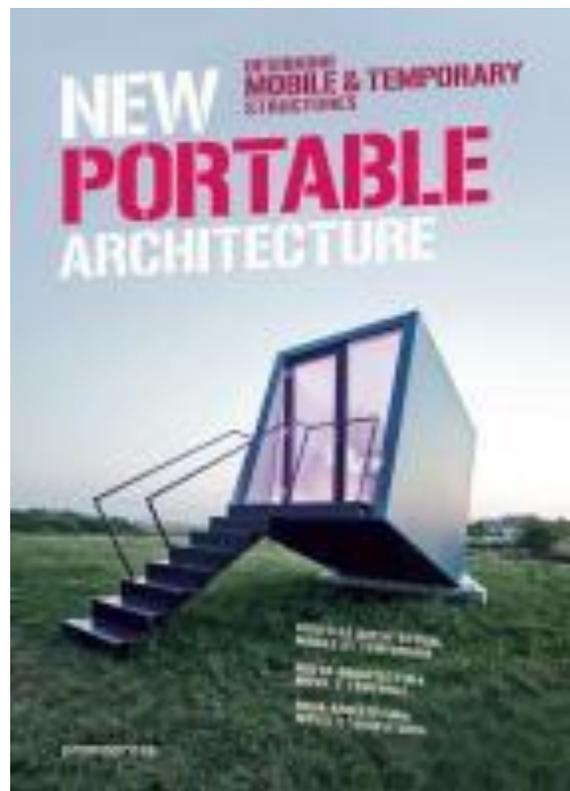
En primer lugar, ya que fue el primer documento consultado, la tesis doctoral, "Estructuras desplegadas de aspas para mallas poliédricas curvas" (1996), de José Sánchez Sánchez, tutor del presente trabajo. Me ayudó a conocer y esclarecer los turbios orígenes y las primeras estructuras

desplegadas que se conocen, además de ser consciente que este tipo de estructuras tiene un recorrido y un ámbito de estudio más complejo y amplio de lo que imaginaba.

Por otro lado, existen otros dos libros que fueron bastante útiles para sacar información sobre construcciones desplegadas, ligeras y transportables. El primero es *New Portable Architecture: Designing Mobile and Temporary Structures*, de Wang Shaoqiang, en el que se ofrecen bastantes referencias con diferentes técnicas constructivas de módulos y prototipos de fácil transporte y construcción ligera.



Portada de la tesis doctoral "Estructuras desplegadas de aspas para mallas poliédricas curvas" (1996), José Sánchez Sánchez



Portada de *New Portable Architecture: Designing Mobile and Temporary Structures*, Wang Shaoqiang

El otro libro es *Urgent Architecture: 40 Sustainable Housing Solutions for a Changing World*, de Bridgette Meinhold, el cual también expone diferentes ejemplos y casos, pero además haciendo una clasificación tipológica similar a la que hace ACNUR, y que se expone en el apartado 5.1 del presente documento.



Portada de *Urgent Architecture: 40 Sustainable Housing Solutions for a Changing World*, Bridgette Meinhold

Por último, cabe destacar dos organismos que, aunque no son textos ni publicaciones en sí, han sido de bastante provecho a la hora de encontrar información y comprender mejor la temática. El primero es la organización mundial ACNUR, la Agencia de la ONU para los Refugiados, cuya misión es salvar vidas, proteger los derechos humanos y construir un

mundo mejor para los refugiados. Las infografías en su web y los datos que ofrecen han sido muy útiles a la hora de ser más consciente de la situación que viven muchas personas hoy día.



Logotipo de ACNUR. Fuente: [www.acnur.org](http://www.acnur.org)

El otro organismo es la firma *Ten Fold Engineering*, cuyos sistemas, prototipos, estudios y avances en las estructuras desplegadas son muy notables en este campo. Sus diseños elegantes y vanguardistas han sido la principal inspiración para el prototipo de la propuesta propia final.



Logotipo *Ten Fold Engineering*. Fuente: [www.tenfoldengineering.com](http://www.tenfoldengineering.com)

### 4.3. Reseña histórica

Las construcciones desmontables y estructuras desplegadas han estado en uso desde antes que la humanidad empezara a construir tal y como hoy lo conocemos, aunque su origen no es del todo claro. Especialmente estas estructuras se han desarrollado de diferente manera a lo largo de los años, en diferentes épocas y lugares, sin un origen o principio claro.

Ya en su época, los egipcios desarrollaron una silla plegable cuya estructura estaba formada por un aspa, y cuyo asiento estaba formado por un textil para facilitar el plegado de dicho objeto, el cual es conocido comúnmente como silla de leñador.



**Silla de aspa egipcia.** Fuentes: Modular, ligero, trans-formable. Un paseo por la arquitectura ligera móvil. Félix Escrig /// Tesis doctoral de José Sánchez Sánchez: "Estructuras desplegadas de aspas para mallas poliédricas curvas"

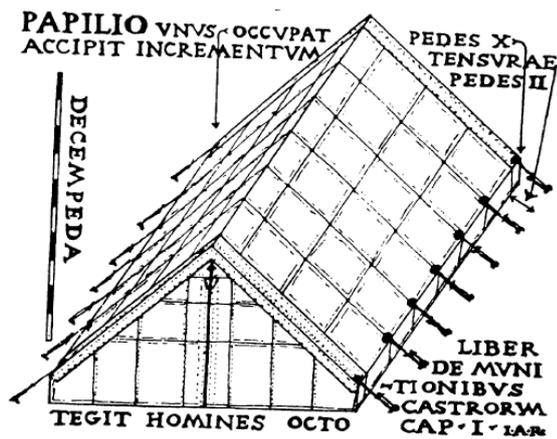
En el Antiguo Egipto también encontramos elementos de referencia compuestos por estructuras

desplegadas, tales como el parasol, usado aún en nuestros días. El mecanismo de plegado era tal y como lo conocemos en la actualidad, a través de articulaciones en los extremos de las barras unidas a un elemento perimetral y que se deslizan a través del soporte del parasol.



**Coliseo de Pompeya.** Fuente: Luisiana State University

Siguiendo cronológicamente, en la civilización romana también encontramos referencias más ligadas a la arquitectura: el *velum* de los anfiteatros y teatros romanos. Su mecanismo era similar al de las velas de un barco, teniendo la posibilidad de llegar a cubrir grandes luces. Por otro lado, la tienda romana o *papilio* es una de las primeras construcciones que encontramos con relación directa a las tiendas de campaña actuales.



*Papilio*, tienda romana. Fuente: Tesis doctoral José Sánchez Sánchez

Centrándonos ahora en lo que a vivienda respecta teniendo en cuenta nuestro tema de estudio, cabe destacar la condición nómada y no permanente de las primeras civilizaciones, que originó este tipo de arquitectura desmontable como necesidad. Así, surgieron construcciones tradicionales y familiares como por ejemplo el tipi y la yurta, que utilizan sofisticadas técnicas constructivas y complejos modelos habitacionales que no sólo han sido relevantes e importantes durante miles de años, sino que también están relacionados a algunas de las más sofisticadas técnicas constructivas de hoy día.

La tienda beduina incorpora puntales a compresión y membranas textiles que utilizan los mismos principios físicos que los actuales sistemas estructurales textiles.



Tienda beduina en Jordania. Fuente: <https://www.pacovidal.es/blog/category/jordania/>

Asimismo, el tipi, proveniente de América del Norte, puede ser comparado a la unidad habitacional, ya que en su esencia se trata de un espacio mínimo usado para la vida cotidiana del día a día. Esta tienda se construye adaptada al uso de membranas sin resistencia inherente, como las pieles animales. Además, éstos incorporaban tecnologías y sistemas avanzados, pero a la vez muy sencillos, como por ejemplo el uso de doble piel y técnicas de circulación y ventilación de aire natural para aclimatar las tiendas.



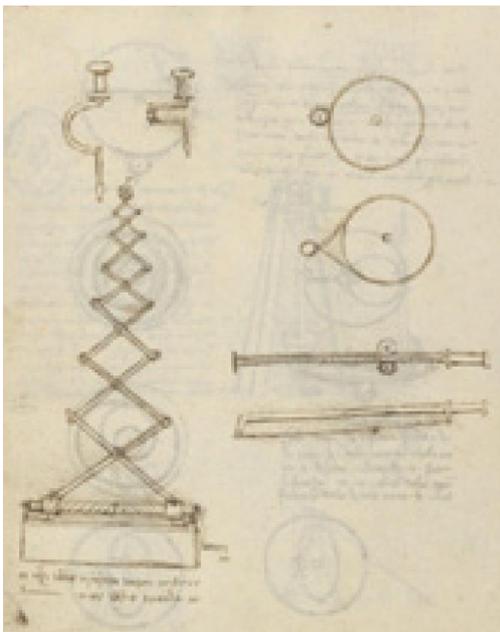
Ejemplo de tipi.

La yurta, proveniente de Asia, usa técnicas de construcción modulares y estructuras de muros basados en los principios de la geodesia, métodos que aún nos son familiares hoy día y cuyos principios han sido adaptados a las construcciones permanentes que actualmente conocemos.



Ejemplo de yurta en Mongolia

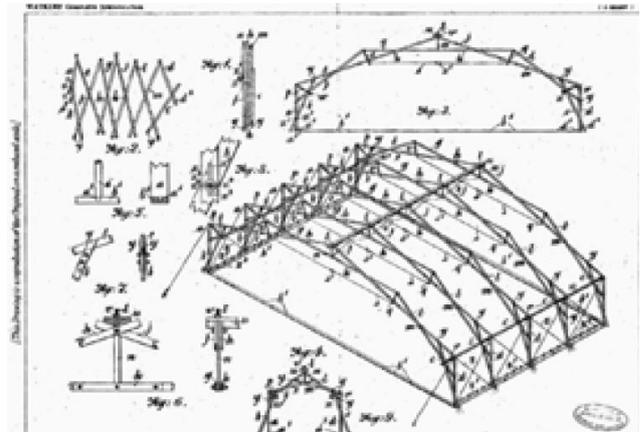
Por otro lado, el tan famoso autor del Renacimiento, Leonardo Da Vinci (1452-1519), estudió distintos



Dibujos de Leonardo Da Vinci. Fuente: Modular, ligero, transformable. Un paseo por la arquitectura ligera móvil. Félix Escrig

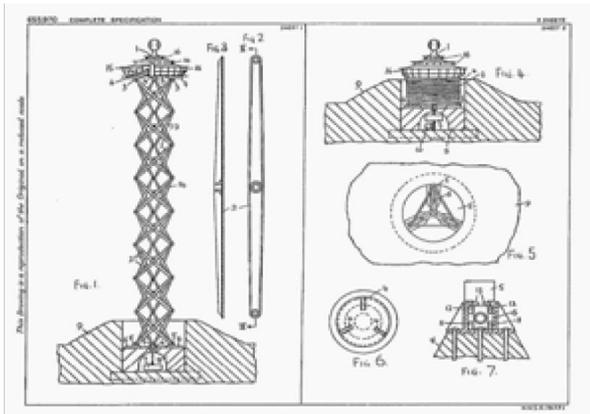
mecanismos desplegables y móviles, cuya información y documentos son los primeros de los que se tiene constancia que estudien estos mecanismos detalladamente.

Sin embargo, no fue hasta el siglo XX cuando se desarrollaron con mayor importancia estas estructuras ligeras y plegables. En 1914 surgió la primera patente, de la mano de Watkins, que consistía en un conjunto de barras unidas por articulaciones, que conformaban una tienda formada por una sucesión de arcos.



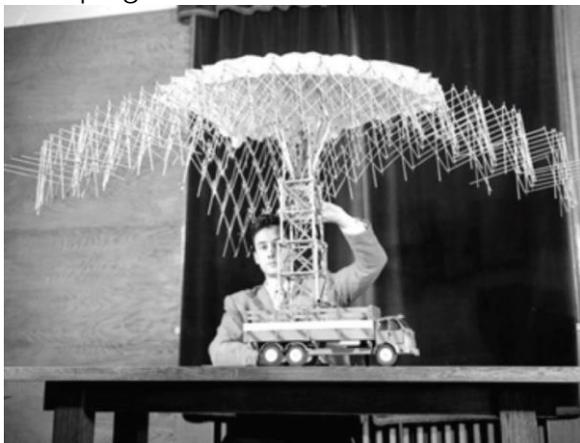
B. S. Watkins, "Improvement Supports for Tents Marquees Temporary Bridges and other Portable Structures". Fuente: Tesis doctoral "Estructuras espaciales desmontables y desplegables: estudio de la obra del arquitecto Emilio Pérez Piñero". Lina Puertas del Río

Posteriormente, en 1951, se publicó una nueva patente por parte de Hutchings, la cual presentaba una torre desplegable.



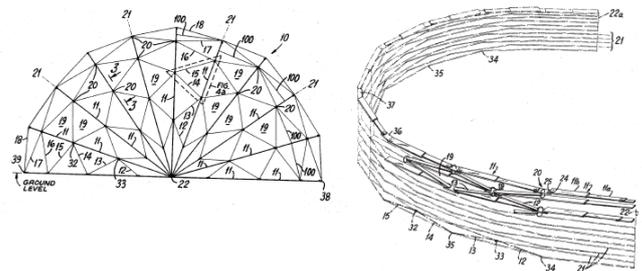
**Torre desplegable de Hutchings.** Fuente: XXX, Sistemas estructurales desplegables para infraestructuras de intervención urbana autoconstruidas. Jon Begiristain Mitxelena

Los avances del siglo XX permitieron desarrollar aún más el campo de las estructuras plegables. Aquí aparece la figura del arquitecto español Emilio Pérez Piñero, conocido internacionalmente por su gran aporte en el diseño de estructuras ligeras, adelantado en su tiempo en este campo y verdadero precursor de la plegabilidad de las mismas. Realizó numerosos estudios y diseñó diferentes patentes que contribuyeron mucho al desarrollo en el campo de las estructuras desplegables.



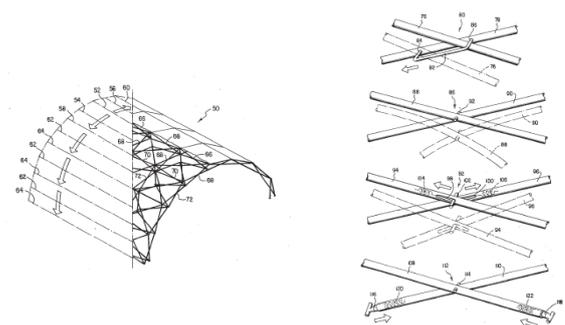
**Estructura para el VI Congreso de la UIA. Emilio Pérez Piñero.**  
Fuente: <http://arquiscopio.com/las-estructuras-desplegables-de-perez-pinero/>

Tras el trabajo de Pérez Piñero, muchos otros se basaron en sus estudios para realizar diversas patentes. Uno de ellos fue Albert Moore (patente nº US3325958, *Preassembled structural framework*). Su sistema puede aplicarse a superficies de simple y doble curvatura.



**Patente de Albert Moore.**

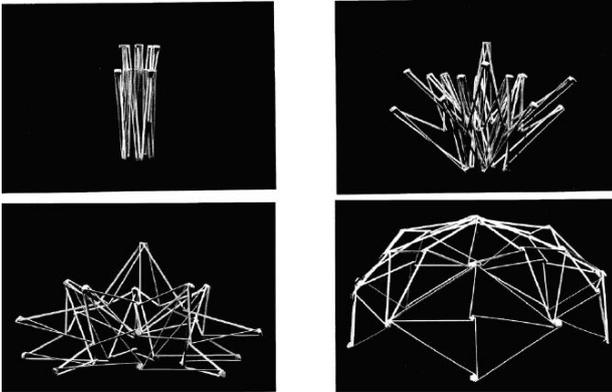
En 1977, y también basándose en Pérez Piñero, Theodore Zeigler registra su patente *Collapsible self-supporting structures*, que describe un sistema de malla de aspas de dos barras autoportantes.



**Patente de Theodore Zeigler, *Collapsible self-supporting structures***

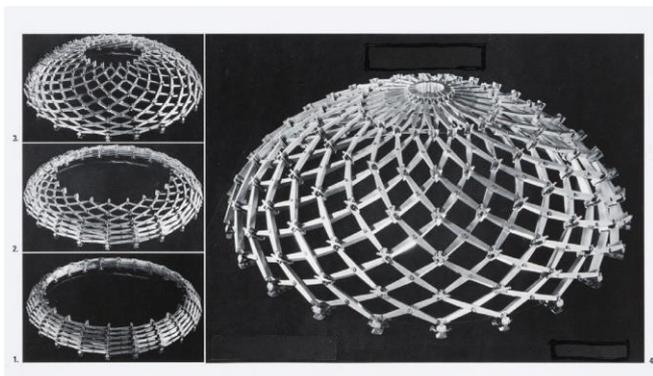
*Sobre la plegabilidad de los entramados*, tesis de Santiago Calatrava en 1980, estudia basándose en los poliedros y en cómo emplearlos para conseguir el correcto funcionamiento de

las estructuras desplegables con específica orientación a las mallas de aspas de múltiples barras.



Modelos de estudio de la tesis de Santiago Calatrava, "Sobre la plegabilidad de los entramados".

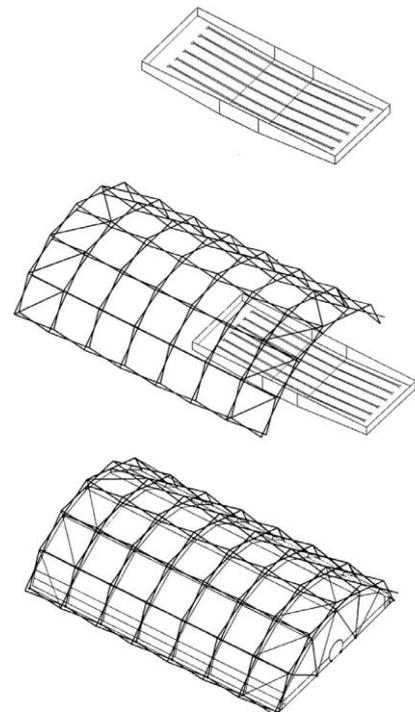
Otro caso que destacar es el de Hoberman y su *Iris Dome*, diseño de cúpula geodésica basada en la partición de la geometría de la cúpula en triángulos esféricos, los cuales introducen una estructura de aspas en el interior interconectando todos los triángulos y creando un despliegue uniforme perpendicular a la dirección vertical.



Iris Dome, Chuck Hoberman.

Por último, cabe destacar la obra de Félix Escrig, todo un referente que recogió el testigo de Emilio Pérez

Piñero en el diseño de estructuras transformables de mallas de aspas. Junto con José Sánchez Sánchez, tutor del presente trabajo, llegó a diversas soluciones construidas en patentes, además de realizar una clasificación y un estudio completo de estas estructuras. Entre sus obras destacadas, cabe mencionar la cubierta de la Piscina San Pablo en Sevilla. Esta estructura ovoidal sin soportes adicionales ni barras en diagonal para rigidizar el módulo cuadrangular compuesta de aspas de cuatro barras es el ajuste usando todo el potencial de fabricación y cálculo de nuestros días de la obra de Pérez Piñero.



Sistema para cubierta de Piscina San Pablo. Félix Escrig, José Sánchez, Juan Pérez Valcárcel (1996).

## 5. ANÁLISIS

Contando con la multitud de casos de estudio de refugios desplegados y desmontables que pueden encontrarse, teniendo en cuenta tanto su tiempo de uso como su forma de plegado y transporte, se realizará previamente una clasificación de ambos términos para ordenar los distintos casos de estudio que vendrán a continuación y acotar más aún el modelo de estudio final.

Los casos de estudio posteriores nos servirán para analizar casos reales y ver cómo otros han propuesto resolver casos similares, recurso bastante útil antes de comenzar a diseñar.

### 5.1. Clasificación tipológica-temporal

Según ACNUR, se establecen diferentes tipos de alojamiento que dependen de las características de la zona y de la temporalidad del refugio, tanto para dar amparo rápido como para dar un techo a los refugiados que se encuentran años en la misma situación:

#### 1. Refugios para emergencias.

Son diseñados para hacer frente a situaciones de emergencia a las que hay que responder de inmediato.

Son ligeros, fáciles de transportar y son montados en poco tiempo. Tienen un coste bajo, por lo que se puede disponer de varias unidades. Se utilizan en situaciones de emergencia para dar cobijo en grandes oleadas de llegadas de refugiados y pueden ser reutilizados para futuros refugios.



Refugio para emergencias. (Ver caso de estudio 5). Fuente: ACNUR

#### 2. Tiendas para largas estancias.

Diseñadas para aquellos refugiados que han de pasar más tiempo en ellas.

Son más duraderas que las anteriores ya que mezclan algodón y poliéster para resistir a la lluvia y otros factores ambientales, por lo que se

utilizan en situaciones en las que las condiciones climatológicas son complicadas. Requieren solo un mantenimiento básico y son las más utilizadas en los campos de refugiados donde las estancias son más largas.

Se usan también para familias numerosas o con necesidades especiales.



**Tiendas para largas estancias.** (Ver caso de estudio 3). Fuente: ACNUR

### 3. Unidades de refugio

Creadas para estancias más largas y con más necesidades.

Son adecuadas para situaciones adversas. Son modulares y permiten una mayor comodidad a las familias. Disponen de sistemas de ventilación y electricidad, y pueden construirse en terrenos irregulares, además de ser ensambladas con paneles rígidos por equipos constructores sin grandes

conocimientos. Son prototipos muy estudiados y diseñados para un óptimo servicio.

Se utilizan en estancias más largas y con mayores necesidades, para familias de varios miembros que necesitan más comodidad y en zonas con un clima más complicado. Dentro de este último grupo se encontraría el prototipo sobre el que trabajaremos en este documento.



**Unidades de refugio.** (Ver caso de estudio 6). Fuente: ACNUR

## 5.2. Clasificación de estructuras desplegadas formadas por paneles rígidos o segmentos fijos

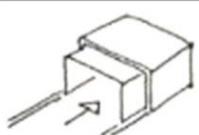
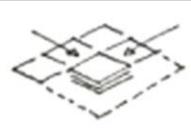
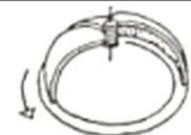
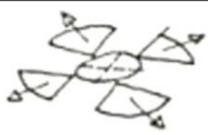
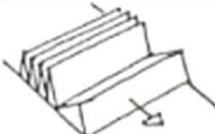
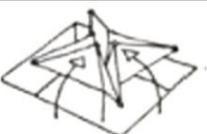
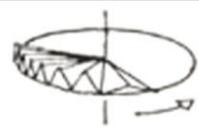
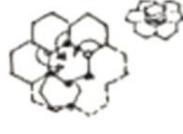
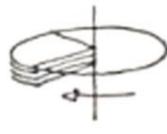
Una vez clasificado y acotado el tipo de refugio, será necesario aclarar y clasificar los tipos de estructuras desplegadas para paneles rígidos o segmentos fijos en función del tipo de movimiento y la dirección de este.

Hay que aclarar que esta no es una clasificación para todas las estructuras desplegadas en general, sólo para las de este tipo. Esta es la clasificación que propone Frei Otto en

1971, arquitecto alemán e ingeniero de estructuras conocido por el uso de estructuras ligeras, en particular estructuras textiles y de membranas, y que vemos interesante incluir en este trabajo debido a su claridad en la clasificación (*ver tabla inferior*).

## 5.3. Casos de estudio

Se han seleccionado un total de 6 casos de estudio, en los que el tipo de movimiento del sistema estructural y dirección de este (partiendo de un eje central) tuvo especial relevancia, identificando sus materiales y descripción geométrica.

Tipo de movimiento	Dirección del movimiento			
	Paralelo	Central	Circular	Periférico
Deslizante				
Plegado				
Rotatorio				

Clasificación de estructuras desplegadas formadas por paneles rígidos o segmentos fijos; Frei Otto, 1971. Fuente: Noémi Friedman. Investigation of highly flexible, deployable structures: review, modelling, control, experiments and application. Other. École normale sup

### 5.3.1. Caso de estudio 1: Matriz

Nombre del proyecto: Matriz.

Año: 2015

Localización: Lima (Perú)

Arquitectos: Facultad de Arquitectura y Urbanismo de Pontificia Universidad Católica del Perú

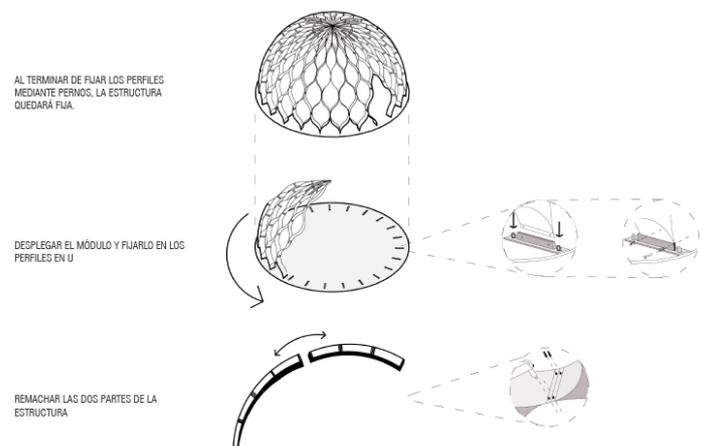
Tipo: tienda para larga estancia.  
Estructura plegada circular.

Descripción: el objetivo del proyecto era crear una vivienda que respondiera a las características y peculiaridades del clima, que fuera transportable, modular, fácil de montar y desmontar y resistente. Cada módulo está compuesto por una base circular de PVC donde la estructura, formada por montantes flexibles de aluminio, se fija al suelo. Una segunda piel de aislamiento de aluminio protege el módulo de las temperaturas extremas.

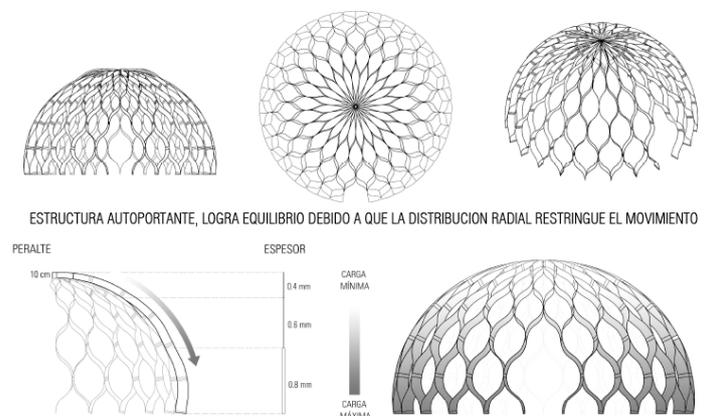
Descripción geométrica: el resultado es una estructura autoportante semiesférica que logra el equilibrio gracias a su distribución radial que restringe el movimiento.



Vista exterior del prototipo. Fuente: [https://static.designboom.com/wp-content/dbsub/353011/2015-11-09/img\\_2\\_1447089793\\_c74d97b01eae257e44aa9d5bade97baf.jpg](https://static.designboom.com/wp-content/dbsub/353011/2015-11-09/img_2_1447089793_c74d97b01eae257e44aa9d5bade97baf.jpg)



Montaje de la estructura. Fuente: [https://static.designboom.com/wp-content/dbsub/353011/2015-11-09/img\\_8\\_1447089793\\_45c48cce2e2d7fbdea1afc51c7c6ad26.jpg](https://static.designboom.com/wp-content/dbsub/353011/2015-11-09/img_8_1447089793_45c48cce2e2d7fbdea1afc51c7c6ad26.jpg)



Geometría estructural. Fuente: [https://static.designboom.com/wp-content/dbsub/353011/2015-11-09/img\\_3\\_1447089793\\_eccbc87e4b5ce2fe28308fd9f2a7baf3.jpg](https://static.designboom.com/wp-content/dbsub/353011/2015-11-09/img_3_1447089793_eccbc87e4b5ce2fe28308fd9f2a7baf3.jpg)

## 5.3.2. Caso de estudio 2: Just a minute

Nombre del proyecto: Just a minute.

Año: 2015

Localización: Nepal

Arquitectos: Barberio Colella ARC

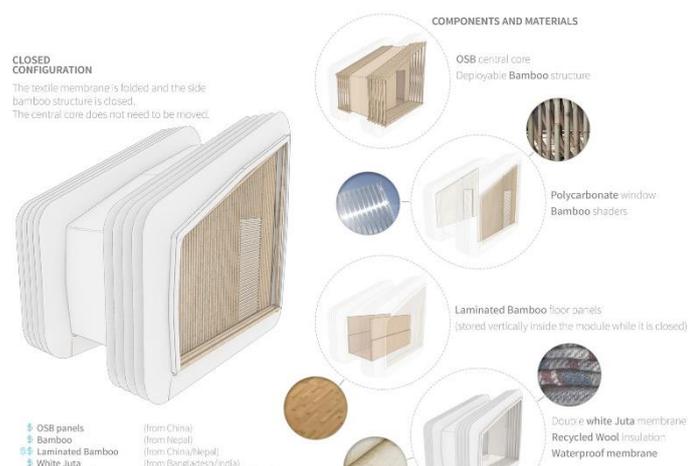
Tipo de estructura: tienda para larga estancia. Estructura plegada paralela.

**Descripción:** la idea principal del proyecto es usar materiales locales para construir una vivienda que pueda ser construida rápidamente, ligera y compacta para ser transportada, duradera (a pesar de su temporalidad) y económica. Su fabricación no requiere tecnologías complejas o avanzada mano de obra, sólo una serie de simples movimientos para ensamblar las piezas. La estructura modular permite organizar el proceso constructivo por etapas en una línea de montaje.

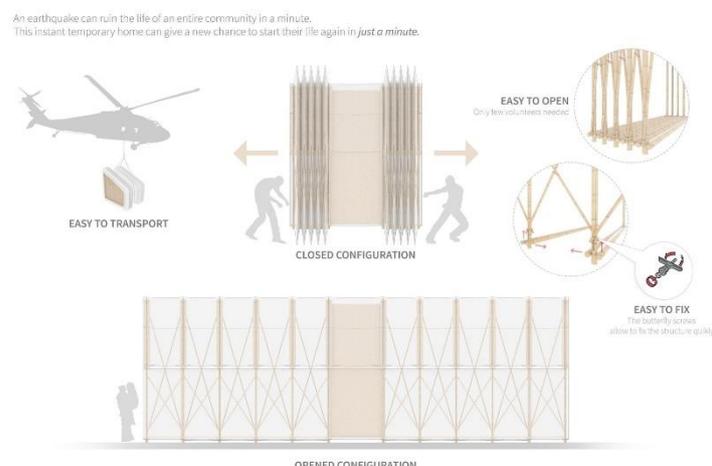
**Descripción geométrica:** el uso de una estructura desplegable hecha de bambú y la envolvente textil permite transportar la casa plegada ocupando un espacio de 2.5x4m y, una vez abierta, obtener un espacio de 4x7.11m.



Vista exterior del prototipo. Fuente: <https://architizer.com/projects/just-a-minute-emergency-house/>



Materiales. Fuente: <https://architizer.com/projects/just-a-minute-emergency-house/>



Transporte. Fuente: <https://architizer.com/projects/just-a-minute-emergency-house/>

### 5.3.3. Caso de estudio 3: Cmax

Nombre del proyecto: Cmax.

Año: 2016

Localización: Argentina

Arquitecto: Nicolás García Mayor

Tipo de estructura: tienda para larga estancia. Estructura plegada central.

Descripción: el sistema Cmax aporta zona de estar y dormitorio para toda una familia de hasta 10 personas, además de contener un núcleo húmedo con instalaciones sanitarias para 3 personas, separado del resto del refugio por ligeras paredes de plástico. Dos personas pueden fácilmente montar el refugio de manera rápida debido a su ligereza.

Descripción geométrica: el uso de materiales plásticos y textiles hace que el módulo pueda ser desplegado sin herramientas. Su elevación con respecto al suelo y la protección mediante membranas resistentes hace que sus inquilinos estén protegidos en todo momento de la climatología.



Montaje del refugio. Fuente: <http://www.cmaxsystem.com/living-quarter/>



Refugio y sanitarios. Fuente: <http://www.cmaxsystem.com/main-features/>



Transporte de los módulos. Fuente: <http://www.cmaxsystem.com/transportation/>

### 5.3.4. Caso de estudio 4: Markies

Nombre del proyecto: Markies.

Año: 1985

Localización: Holanda

Arquitectos: Bohtlingk Architectur

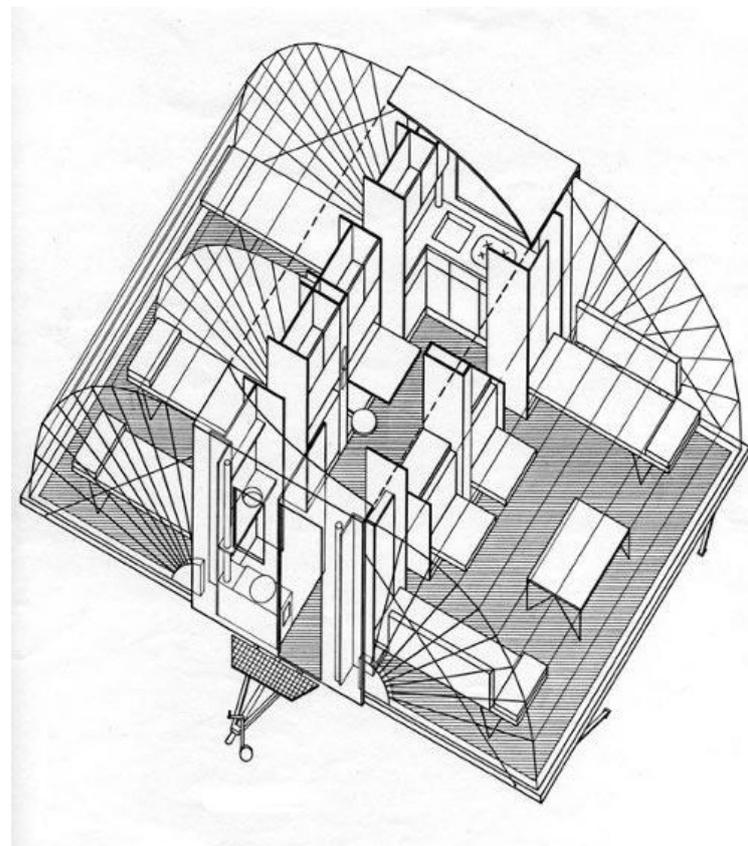
**Tipo de estructura:** tienda para larga estancia. Estructura plegada central.

**Descripción:** diseñado principalmente en acero inoxidable, el objetivo era diseñar una caravana que ocupara el menor espacio posible mientras se viajaba para después desplegar las paredes y ampliar el espacio una vez se acampara para albergar el espacio de dormitorio, trabajo o zona de descanso.

**Descripción geométrica:** posee toldos desplegados en forma de acordeón desde los laterales de una caravana rectangular, uno opaco para la zona privada y uno transparente para la zona pública. Mide 2 x 4.5m, y cuando se extiende logra ampliar su superficie útil tres veces más.



**Módulo desplegado.** Fuente: <https://faircompanies.com/articulos/10-caravanas-del-futuro-viviendas-temporales-y-de-recreo/>



**Esquema axonométrico de distribución interior.** Fuente: <https://faircompanies.com/articulos/10-caravanas-del-futuro-viviendas-temporales-y-de-recreo/>

### 5.3.5. Caso de estudio 5: WheelLY

Nombre del proyecto: WheelLY.

Año: 2009

Localización: Roma, Italia.

Arquitectos: ZO\_loft Architecture & Design

Tipo de estructura: refugio para emergencias. Estructura plegada central.

Descripción: lugar de almacenamiento portátil y tienda expandible, este refugio está compuesto por un marco de aluminio con dos tubos extensibles a los lados hechos con neopreno reciclado. Puede ser transportado por una persona rodando, empujando su mango de aluminio. Además, tiene la posibilidad de ser patrocinado por empresas en los laterales del refugio cuando está plegado para pagar el costo de este.

Descripción geométrica: sus dimensiones cuando está plegado son de 40cm de ancho y 120cm de diámetro, por lo que puede ser fácilmente transportado. Cuando se abre, llega a ocupar 3.40m.



Refugio desplegado. Fuente: <https://inhabitat.com/wheelly-sustainable-homeless-shelter/>



Transporte del refugio. Fuente: <https://inhabitat.com/wheelly-sustainable-homeless-shelter/>



Interior del refugio. Fuente: <https://inhabitat.com/wheelly-sustainable-homeless-shelter/>

### 5.3.6. Caso de estudio 6: TF64 - Alpha

Nombre del proyecto: TF64 – Alpha.

Año: 2017

Localización: Reino Unido.

Arquitectos: Ten Fold Engineering

**Tipo de estructura:** refugio para emergencias. Estructura plegada paralela. Cerramiento plegado rotatorio.

**Descripción:** el módulo puede ser fácilmente transportado por un camión estándar. Son auto implantables en el terreno, y una vez descargado puede estar listo para su uso en 10 min. Está construido en robustos chasis de acero y paneles compuestos. Posee la posibilidad de ser conectado a una red de abastecimiento ya existente o ser totalmente independiente.

**Descripción geométrica:** el módulo abierto puede proporcionar 64m<sup>2</sup> de espacio útil; y cerrado puede almacenar 20m<sup>3</sup> de mobiliario y equipos incluyendo particiones interiores, baños y cocinas. Tiene la posibilidad de adaptarle otros artificios, como escaleras, balcones y marquesinas acoplados en la unidad.



Transporte del módulo. Fuente: <https://www.tenfoldengineering.com/#0>



Implantación del refugio en terreno. Fuente: <https://www.tenfoldengineering.com/#0>



Dimensiones interiores del módulo. Fuente: <https://www.tenfoldengineering.com/#0>

## 6. DIAGNÓSTICO

Teniendo en cuenta toda la información recopilada en los apartados anteriores de análisis, justificamos de esta manera que la solución de realizar la construcción del prototipo con un sistema desplegable sería acertada teniendo en cuenta la inmediatez que supone una emergencia.

En los anteriores casos de estudio observamos como estos sistemas son comúnmente usados debido, la mayoría de ellos, a la facilidad de transporte y, por otro lado, a la ligereza que estas viviendas tienen.

Para refugios con una estancia de duración un poco más prolongada, como es el caso de estudio 6, estos sistemas pierden la facilidad de transporte y agilidad que tienen las tiendas más comunes, llegándose en algunos casos, dependiendo de las dimensiones, a transportar sólo uno o dos módulos en un camión.

Sin embargo, la durabilidad que tienen estos con respecto a los refugios tipo tienda, comodidad, prestaciones y resistencia no tienen ninguna comparación, por lo que servirían para

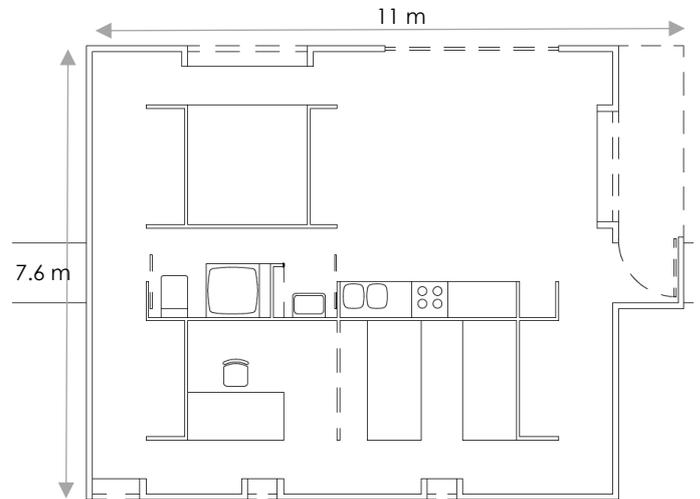
otros casos excepcionales en los que las condiciones lo requieran; ya sea por dificultades climatológicas o por número de personas a acoger y/o estado de salud de estas, por ejemplo.

A continuación, se expondrá la planimetría y la información del modelo original a realizar con las características de este tipo de refugio, así como algunas consideraciones previas que se han tenido en cuenta a la hora del diseño y a la aportación en forma de prototipo para el presente trabajo de investigación.

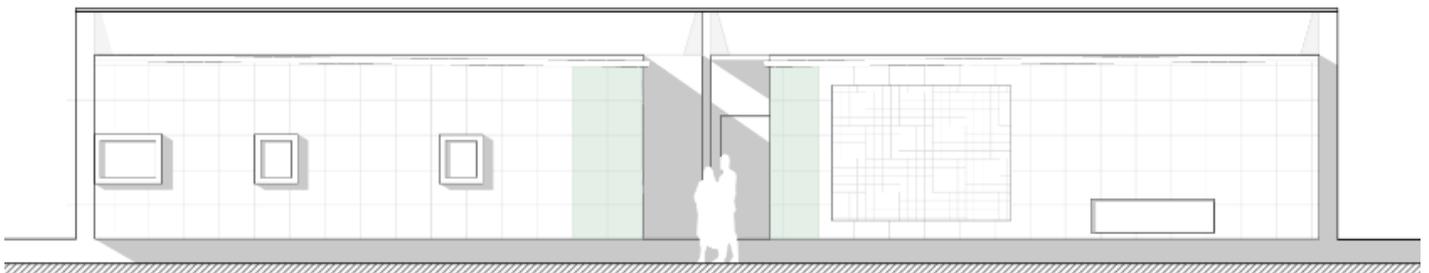
# 7. EXPOSICIÓN DEL MODELO A DESARROLLAR

Como se ha descrito previamente, el modelo sobre el que se trabajará para desarrollar su parte constructiva desplegable se trata de una vivienda para refugiados proyectada en la asignatura de Proyectos 7. A continuación, se expone su planimetría y la documentación existente previa al inicio del presente documento.

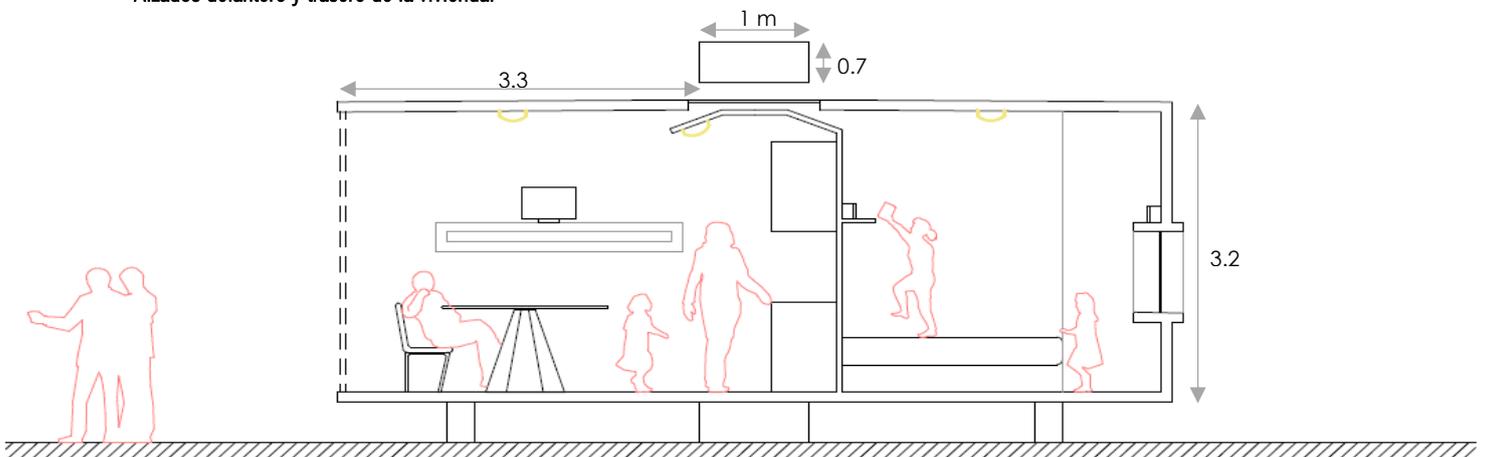
## 7.1. Datos previos



Vista en planta del modelo

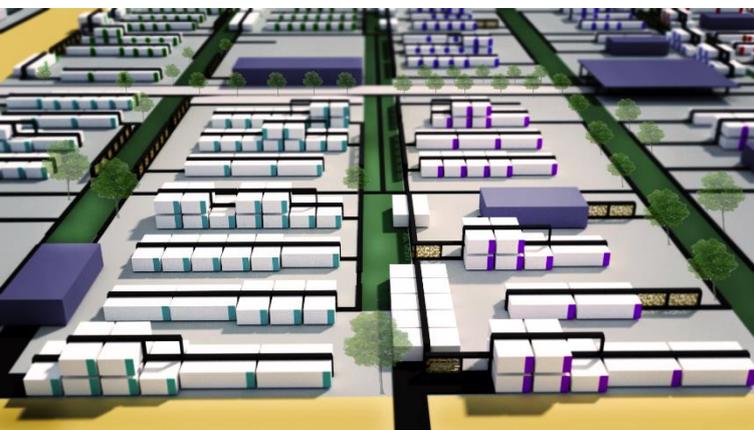


Alzados delantero y trasero de la vivienda.



Sección por salón-cocina-dormitorios.

En el módulo original que recogerá a familias de refugiados, la idea principal surgió teniendo en cuenta el eje central estructurador en el que se apoya el módulo. En la idea de proyecto concebida originariamente, tanto el marco central que envolvía al refugio y le daba rigidez como el mismo refugio en sí eran independientes. Estos se apoyaban además en otro elemento autónomo: un murete de 40 cm de altura, el cual era el eje estructurador principal del asentamiento por el que discurrían todas las instalaciones, además de crear mobiliario urbano tales como bancos, parterres, fuentes, etc.



Vista general del asentamiento origen

Asimismo, para que todo el trabajo tenga ahora una unidad y para que ambos elementos presentes en la idea original no sean interdependientes entre sí, es decir, no sea necesaria la construcción de toda la infraestructura del asentamiento para que el módulo funcione, se realizarán posteriormente

algunas modificaciones en el proyecto, las cuales se tratarán en el apartado siguiente (7.2. *Observaciones previas, análisis y conclusiones*).

Por otro lado, siguiendo la misma línea que en el proyecto para el asentamiento, donde las viviendas se ordenaban en torno al murete por donde discurrían las instalaciones, la vivienda original se compone de una banda central de instalaciones que la estructura y ordena,

A este eje principal central compuesto por las zonas húmedas, se les incorporan a sus laterales las habitaciones y el salón. La circulación se establece por los bordes de la vivienda, estableciendo por ahí zonas de almacenamiento.

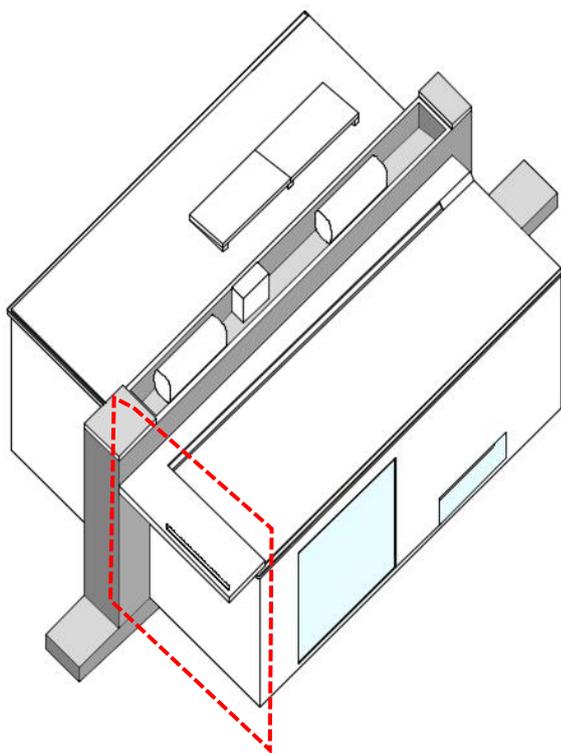


Ideograma-esquema de funcionamiento y usos

## 7.2. Observaciones y bases previas

Teniendo en cuenta la tipología y morfología de la vivienda, se considerarán unas bases previas para el correcto funcionamiento del prototipo desplegable, siendo estas imprescindibles para que no difiera de la idea del proyecto concebido originariamente.

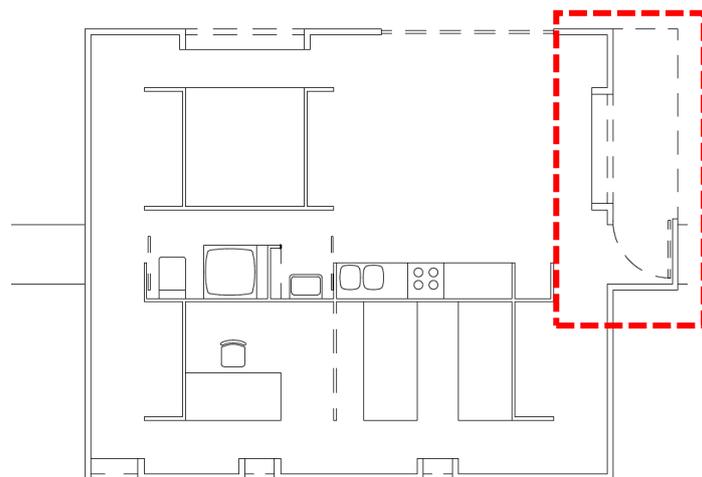
Como primer requisito, se intentará no modificar mucho más allá las dimensiones originales del modelo totalmente desplegado, siendo estas de 10m de longitud x 7.6m de ancho x 3.8m



Voladizo y puerta de entrada saliente al módulo. Vista en perspectiva

de alto en total medidos en volumen exterior (ver planimetrías en apartado anterior 7.1. Datos previos).

La parte de la entrada y su respectivo voladizo se eliminarán para hacer el módulo mucho más compacto y fácil en el plegado.



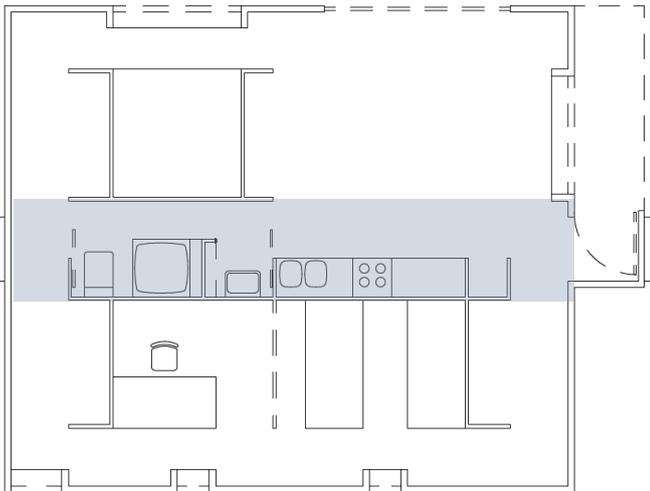
Voladizo y puerta de entrada saliente al módulo. Vista en planta.

Por otro lado, el núcleo central que incluye todas las instalaciones básicas sanitarias y de cocina para la vivienda será invariable. Este núcleo central tendrá un ancho de 1.6m teniendo en cuenta el proyecto original. Así, este núcleo será la pieza desde donde se desplegarán los componentes del refugio.

El mobiliario, tales como camas y mesas, serán insertados en la vivienda a posteriori.

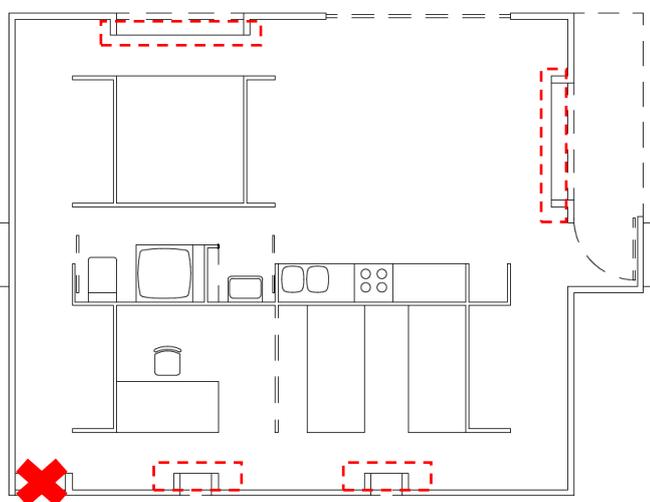
mejorar la estanqueidad del hueco, ya que este punto será un punto conflictivo a la hora del despliegue.

Por último, se considerará que la estructura desplegable esté dentro del propio cerramiento del módulo para ahorrar espacio en el mismo, o en su defecto en el exterior de la superficie útil para que esta no sea descontada.



**Núcleo húmedo central**

Asimismo, las ventanas, que hasta ahora estaban pensadas con sus marcos plegados hacia el interior para conformar también repisas y estantes dentro de la vivienda, ahora se considerarán sin estos pliegues para que así el prototipo al plegarse pueda ocupar menor espacio. Además, el hueco situado en la esquina del ala de las habitaciones se eliminará para evitar complejidades en la construcción y



**Modificación de huecos**

## 8. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

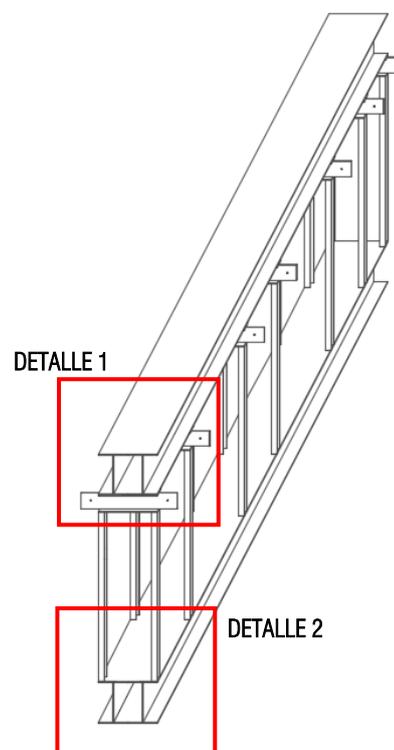
A continuación, se desarrollará la vivienda-prototipo teniendo en cuenta todas las observaciones expuestas en el apartado anterior. El desarrollo se centrará en la explicación del funcionamiento del sistema soporte y del sistema estructural desplegable. Además, se desarrollará el plegado de los cerramientos y se definirán sus correspondientes materiales.

### 8.1. Estructura base soporte

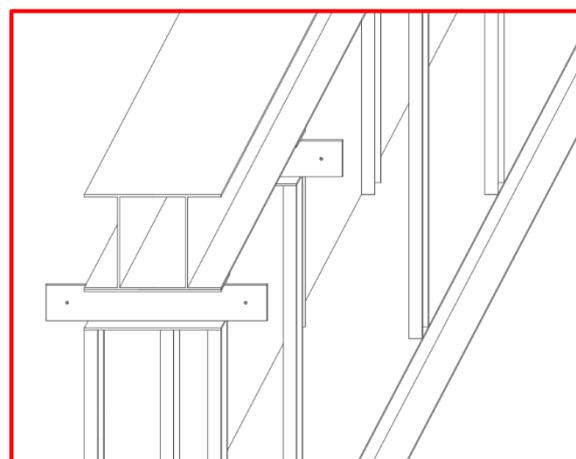
En primer lugar, debemos esclarecer que el sistema desplegable necesitará una estructura o chasis fijo que será la base desde donde el prototipo será tomado para poder transportarlo a otra parte y desde donde partirá el desplegable.

Este chasis fijo estará compuesto por vigas y pilares metálicos que conformarán en conjunto un marco soporte prefabricado.

Como se observa en la imagen inferior, está formado por diferentes piezas que veremos a continuación:



Perspectiva del marco soporte fijo



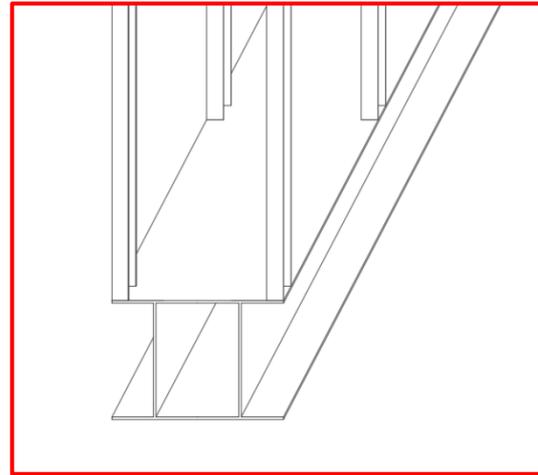
DETALLE 1

La parte superior de la estructura base estará formada por una viga metálica conformada de acero. Esta pieza contendrá dos alas para ganar resistencia, dejando un hueco en

su interior de 48x67cm para albergar instalaciones. Para facilitar las reparaciones y sustituciones de piezas de estas, los fragmentos que forman ambas almas tendrán un hueco de 30x30 cm cada 1 metro a lo largo de la viga.

Esta viga conformada irá apoyada en otras vigas de acero de perfil IPE 300, en cuya alma irá soldada una placa metálica a la cual luego se le acoplará el techo desplegable de la vivienda. Esta placa deberá de contener unos orificios para tal efecto, siendo estos el eje de rotación del mencionado techo del prototipo.

Por otro lado, estos perfiles IPE 300 estarán sustentados por dos pilares de acero HEB 100. La separación entre ambos en ancho de eje a eje será de 90 cm, dejando un espacio libre de 80 cm, suficiente teniendo en cuenta el espacio disponible en el interior de la vivienda y la posterior instalación de la puerta de acceso al prototipo, que se situará en un extremo del marco base entre dos de los soportes. La distancia longitudinal entre estos pilares será 1.20m o 2.00m, dependiendo del lugar en el que se coloquen en el interior.



DETALLE 2

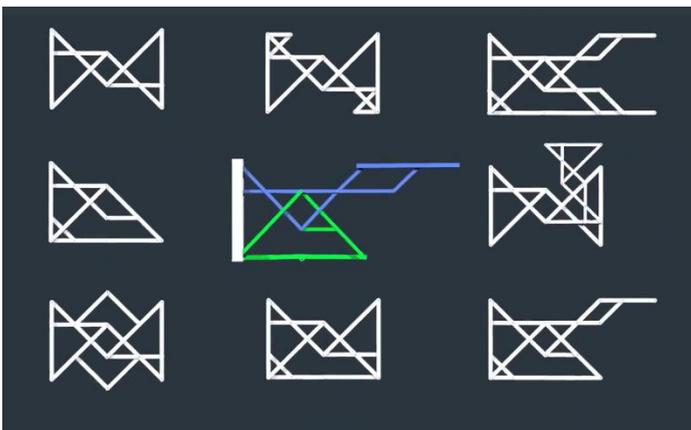
La parte inferior del soporte base, al igual que la parte superior, estará también formada por el mismo tipo de viga de acero conformada realizada con dos almas para dejar un hueco en su interior de las mismas dimensiones que la superior para dejar paso a las instalaciones de saneamiento.

Para facilitar también reparaciones o sustituciones de piezas del saneamiento, ambas almas tendrán huecos de 40x40 cm cada 1 metro a lo largo de la viga.

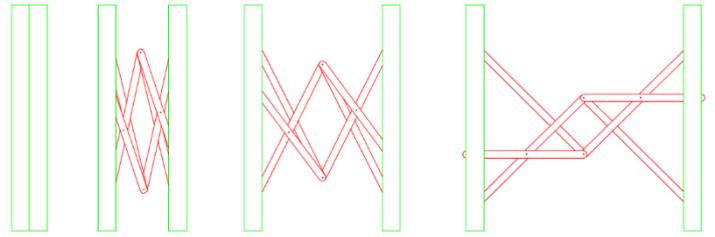
## 8.2. Sistema estructural desplegable

El sistema estructural desplegable que se utilizará para construir el refugio está basado en el explicado caso de estudio número 6, desarrollado por la compañía *Ten Fold Engineering*.

De entre los diseños que tiene esta empresa inglesa de ingeniería se ha optado por el que explicaremos a continuación, debido a que se ha encontrado más información, y su funcionamiento veremos que es sencillo y su movimiento acorde para lo que se busca.

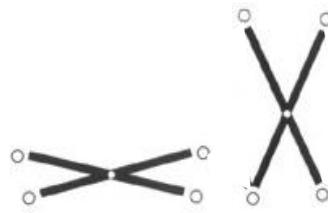


Ejemplos de otros diseños de *Ten Fold Engineering*. Fuente: <https://www.tenfoldengineering.com/#section-what-we-do>

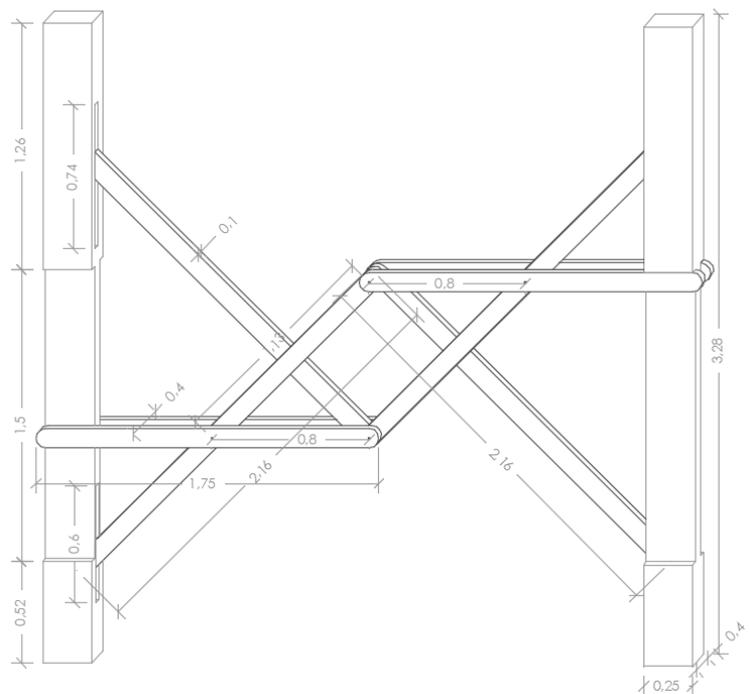


Desplegado del sistema estructural elegido

Como se aprecia en el esquema anterior, su funcionamiento es similar al de un sistema desplegable de aspas simple, pero con la ventaja que permite desplegarse en paralelo a su segmento origen y con el mismo rango de abertura, algo que es necesario y que



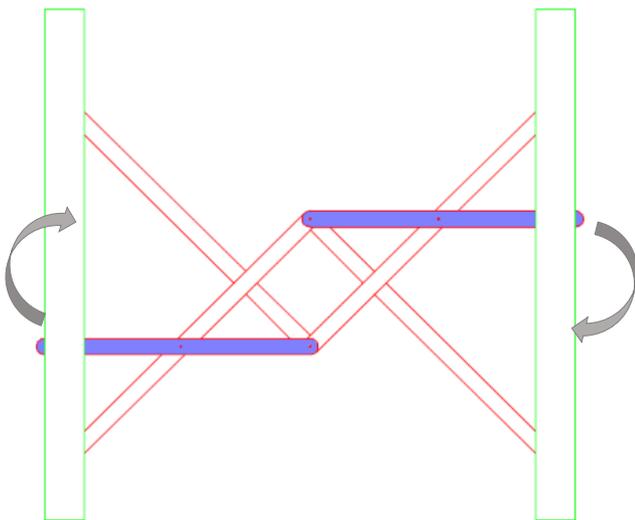
Estructura de aspas simple. Diferencia de altura plegada y desplegada



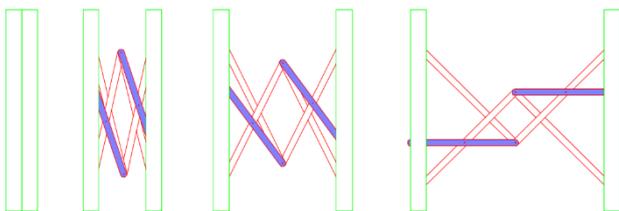
Sistema estructural desplegable acotado

facilita la construcción del módulo de la vivienda.

Para que se produzca el movimiento deseado, las barras que quedan en horizontal una vez se despliega el sistema deben quedar libres en sus extremos externos, rotando así sobre el eje central y dando estabilidad al plegado, por lo que estas barras podemos decir que marcan la diferencia con respecto a un sistema de aspas simple y son de vital importancia.

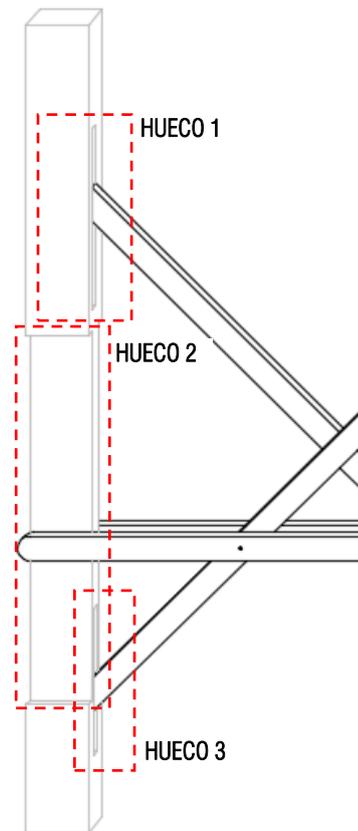


Barras de estabilización del plegado



Rotación de barras de estabilización de plegado

Sabiendo este movimiento, estas barras y los soportes extremos del sistema desplegable deberán dejar hueco para su abatimiento, por lo que en el diseño habrá que considerarlo. También habrá que considerar dejar un espacio para el giro de las barras<sup>1</sup> que van unidas a los soportes.

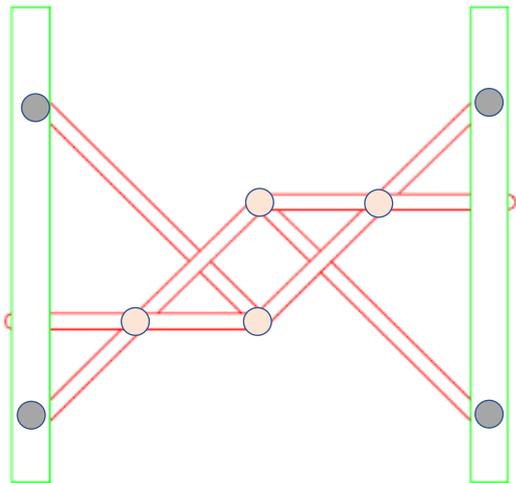


Huecos en soportes extremos

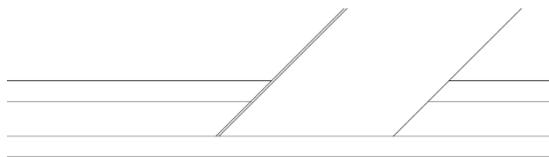
Por otro lado, el sistema constará de 8 rótulas o articulaciones en total: 4 que irán a ambos extremos y que unirán las barras a los soportes, quedando estas posteriormente ocultas

<sup>1</sup> A esta conclusión se ha llegado tras realizar la maqueta de trabajo que se explicará en el apartado siguiente y comprobar los fallos de esta. Así pues, como la maqueta se realizó antes de redactar este apartado, ésta no contemplará los huecos mencionados para el giro de las barras que van a los soportes.

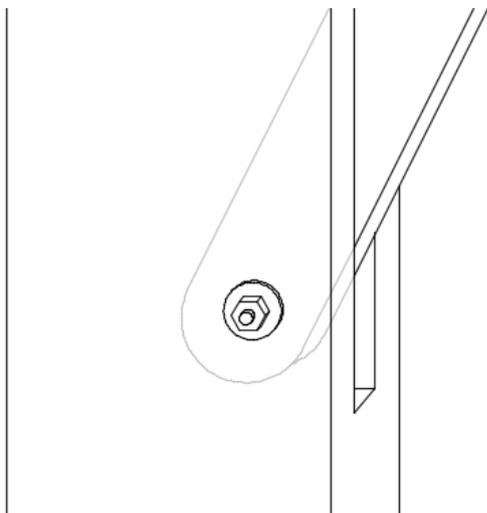
por los mismos soportes y otras 4 articulaciones que quedarán uniendo las barras entre sí en la zona central.



Articulaciones en soportes y en barras



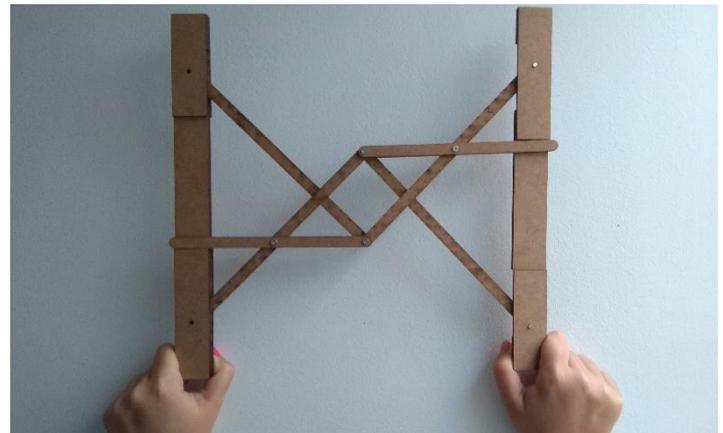
Unión tipo central



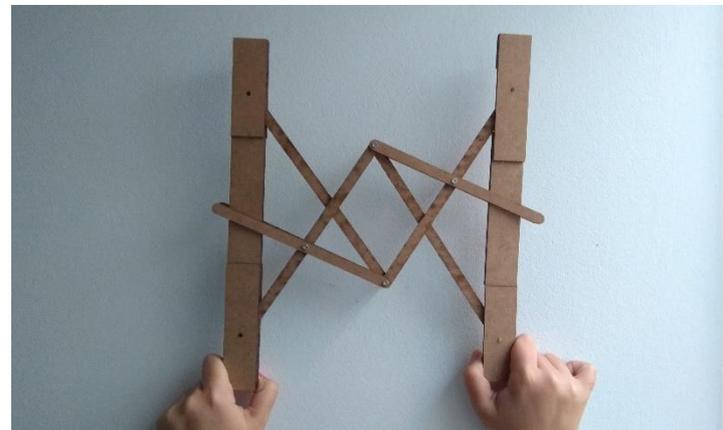
Unión tipo extremo

## 8.2.1. Maqueta de trabajo

Para comprobar el funcionamiento del sistema desplegable, se ha llevado a cabo una maqueta de trabajo realizada en madera DM de 3mm y cortada con láser para ajustarla con precisión.

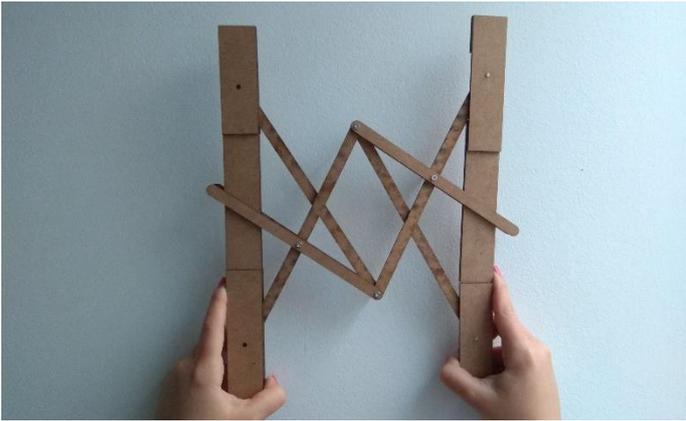


Maqueta de trabajo desplegada

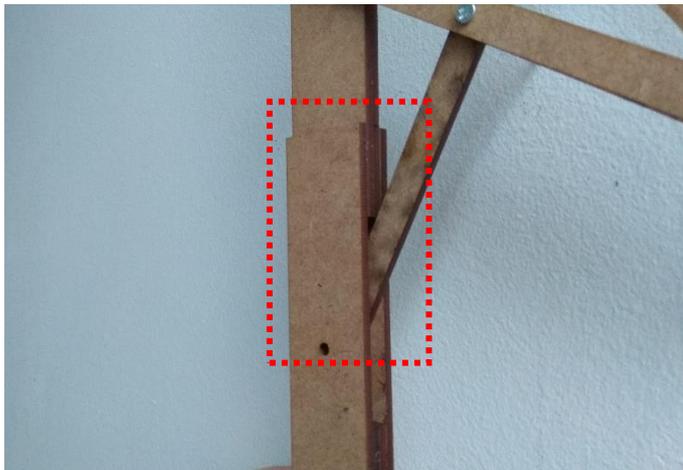


Plegado de maqueta de trabajo

Tras su elaboración, se observa que el plegado de las barras funciona correctamente, aunque los huecos realizados para la rotación de las barras en los soportes no son aún suficientes, por lo que la maqueta no llega a plegarse completamente.



Plegado máximo de la maqueta



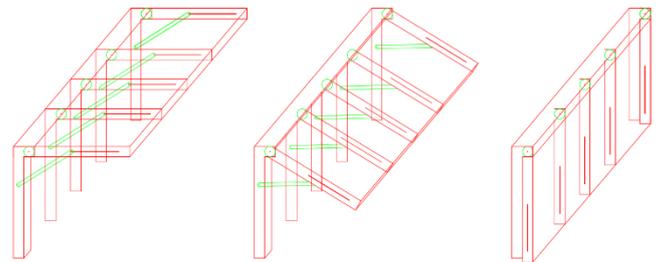
Hueco insuficiente para plegado

## 8.3. Sistema de cerramiento desplegable

Debido a su capacidad aislante del exterior, los cerramientos del módulo estarán formados por paneles composite rígidos, por lo que estos deberán de plegarse también para ocupar el menor espacio posible y facilitar agilizar su construcción.

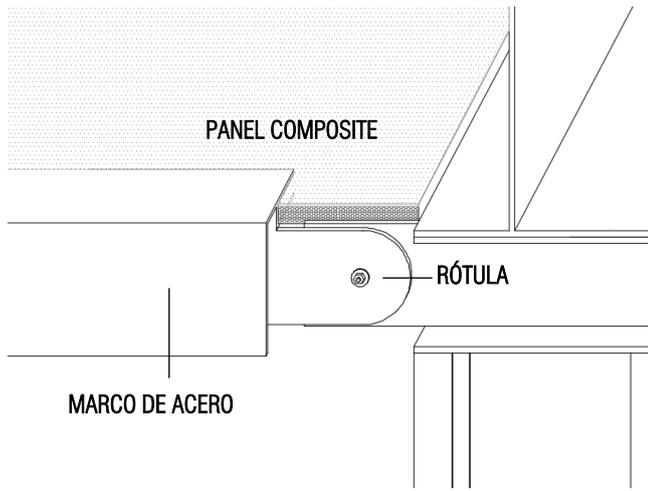
### 8.3.1. Cubierta

La cubierta del módulo se desplegará gracias a unas barras de acero que se colocarán a ambos laterales del panel que la conformará. Estas barras tendrán en uno de sus extremos un perno fijo al soporte base, que permitirá el giro de esta, y en el otro extremo un perno deslizante que permitirá que el panel gire 90° para plegarse.

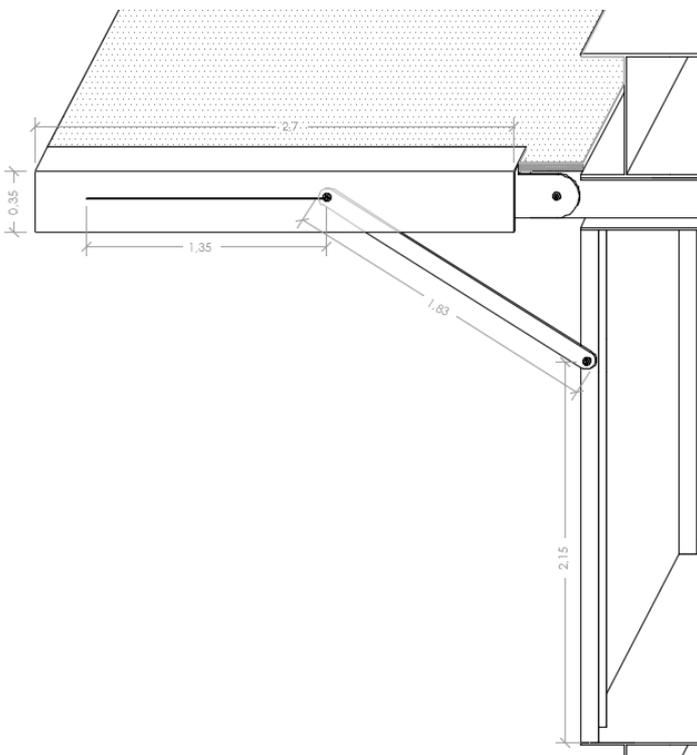


Esquema básico general de plegado de la cubierta

Asimismo, el panel tendrá un marco fijo de acero al que se le acoplará todo este sistema de barras y donde el panel composite irá empotrado y encajado, el cual conformará la hoja estanca y aislante de la cubierta. Igualmente, este marco tendrá en su unión con el soporte vertical base una rótula para facilitar el giro. El panel composite tendrá 5 cm de espesor en cubierta y su acabado superficial será tal para que sea posible la evacuación de aguas pluviales, teniendo como mínimo una pendiente hacia el exterior del 1%.



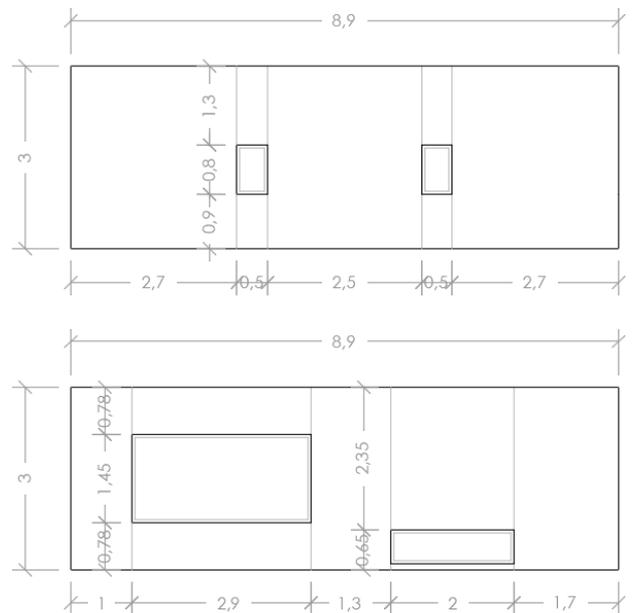
Detalle de rótula unida a base soporte fija



Acotado de elementos de sistema desplegable de cubierta

## 8.3.2. Cerramiento vertical

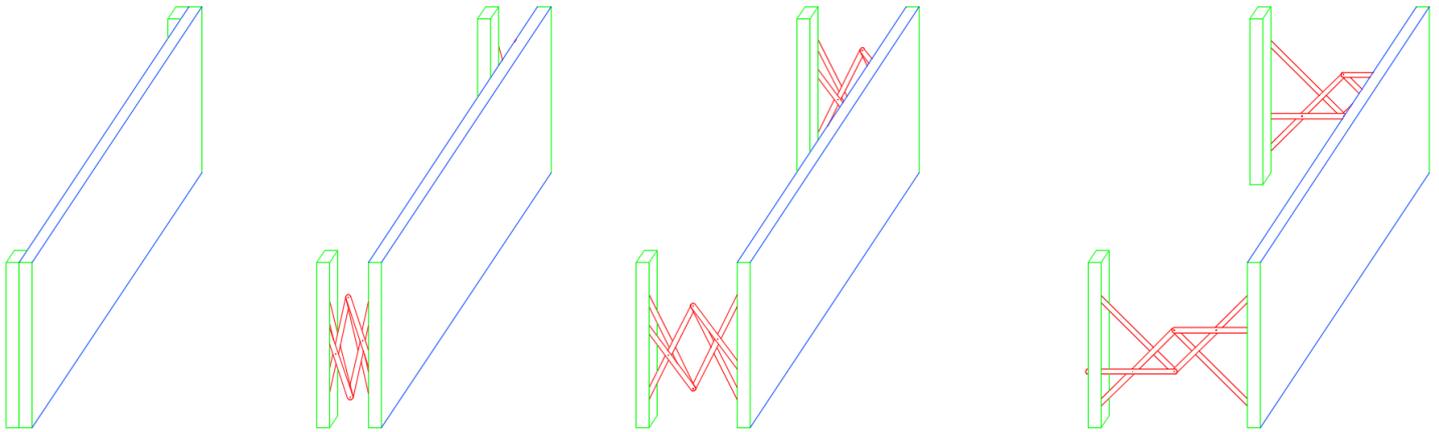
El despliegue del cerramiento vertical se divide en dos: cerramiento frontal y cerramiento lateral. Ambos estarán formados por una hoja estanca de paneles composite de 5 cm de espesor.



Dimensiones de paneles frontales y situación de huecos

El cerramiento frontal será una pieza única cuyo movimiento irá acompañado por el sistema estructural desplegable, como se aprecia en el esquema (figura 1).

Para los cerramientos laterales, que cubrirán la zona donde se encuentra el sistema estructural desplegable, se realizarán paneles con charnelas unidas a los soportes fijos por

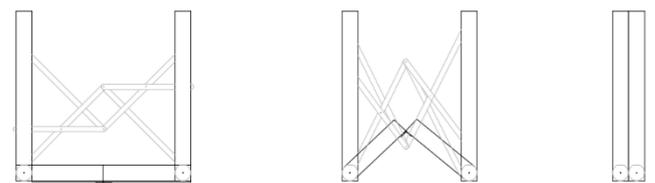


**Figura 1. Esquema de despliegue del cerramiento vertical frontal** el interior, de forma que estos cerramientos se desplegarán abatiéndose sobre estos una vez lo haya hecho el cerramiento frontal en su totalidad (para ver esquema de despliegue, ver tabla de clasificación de estructuras desplegadas formadas por paneles rígidos o segmentos fijos, apartado 5.2. Esquema de sistema desplegable rotatorio fijo.)

### 8.3.3. Suelo

El suelo del módulo será una pieza con una junta central que permitirá el pliegue de este. Su movimiento irá acompañado por el que los soportes del sistema estructural desplegable realicen.

Esta pieza, además de la junta central, tendrá dos rótulas a ambos extremos en su unión con los soportes



**Esquema de pliegue de panel de formación de suelo**

que hagan permitir el movimiento de despliegue.

Con los datos del fabricante del panel composite, teniendo en cuenta la luz entre apoyos y una carga supuesta de  $2\text{kN/m}^2$ , suponemos un espesor para el suelo de 20cm. Este panel estará enmarcado por un perfil de acero para darle rigidez al conjunto y permitir que se una a los soportes.

### 8.3.4. Material para cerramiento

El sistema para hacer las viviendas prefabricadas es el sistema COMPOPLAK.

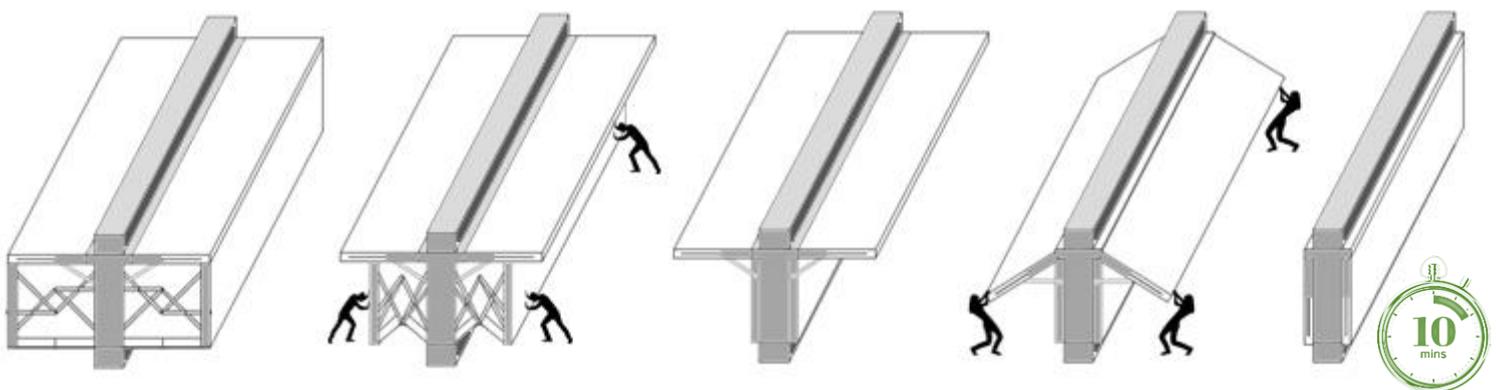
Esta patente consiste en hacer una mezcla de resinas de poliéster, fibra de vidrio, poliestireno expandido, y otros plásticos, con el fin de lograr un compuesto resistente y aislante a su vez, pudiéndose usar tanto como soporte vertical como para los forjados y la creación de la formación de pendiente.

Con esta mezcla se realizan una serie de paneles de dimensiones limitadas a 3000x5000 cm. De este modo, la distribución de los paneles en fachada se adaptará a estas medidas, teniendo en cuenta que hay que lograr el mayor número de paneles iguales.

## 8.4. Secuencia de despliegue

El módulo en su totalidad tendrá diferentes pasos en su pliegue y despliegue, que serán los siguientes:

1. Comenzando desde el modelo totalmente desplegado, el primer elemento que hay que recoger serían los cerramientos interiores laterales, que se abatirán hacia el interior hasta quedar paralelos a la banda central de núcleos húmedos.
2. Posteriormente, se empujarán hacia el interior los cerramientos frontales para recoger estos y el panel que formará el suelo.
3. A continuación, sólo y exclusivamente una vez que los elementos del paso anterior estén totalmente plegados, se procederá a recoger el panel que forma el techo del módulo.



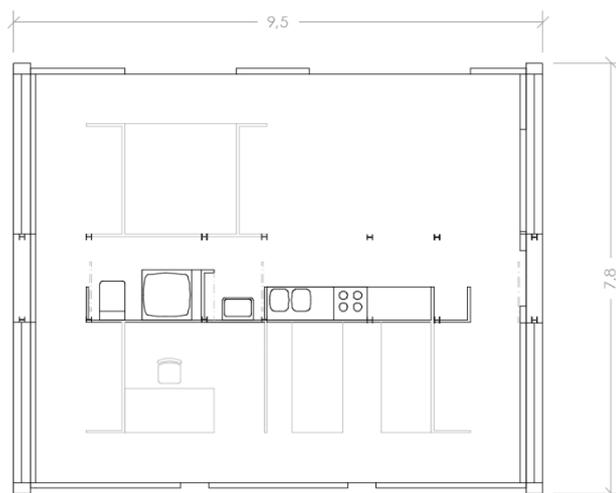
Secuencia de despliegue

4. Por último, obtenemos el módulo totalmente plegado y listo para su transporte a otro emplazamiento.

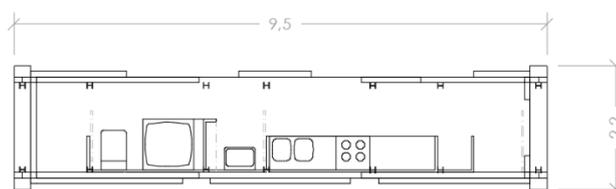
El tiempo que se ha estimado para el total plegado del prototipo es de 10 minutos. Para este dato, nos hemos basado en la información que la empresa *Ten Fold Engineering* ofrece para uno de sus prototipos, el cual es similar al propuesto, pero con la diferencia en que se despliega con un motor automático en 5 minutos. Por ello, suponemos que manualmente la vivienda tardaría en desplegarse en el doble de tiempo.

## 8.5. Dimensiones del modelo final

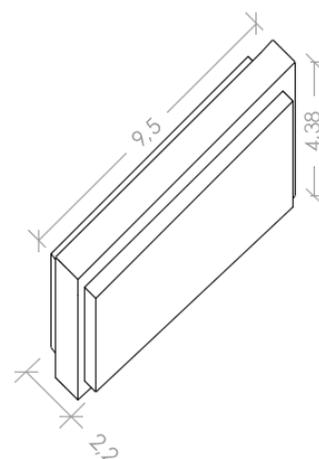
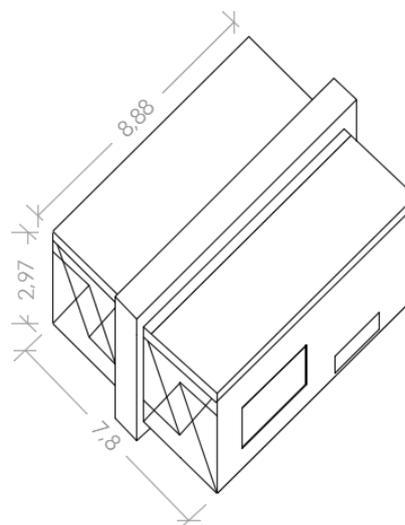
Por último, comprobaremos las dimensiones del modelo final en planta para ver las medidas que ocuparía desplegado y plegado:



Planta del modelo desplegado



Planta del modelo plegado

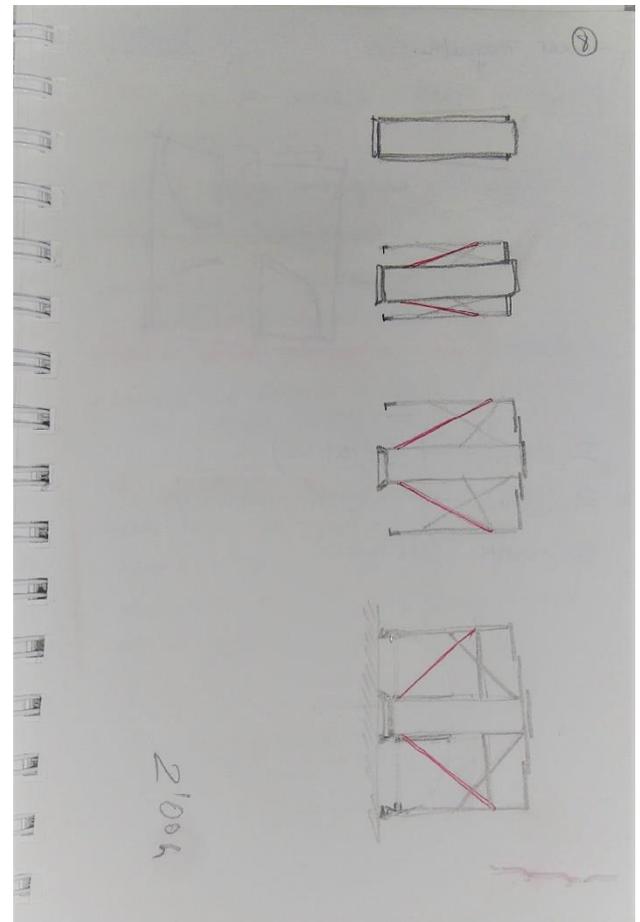
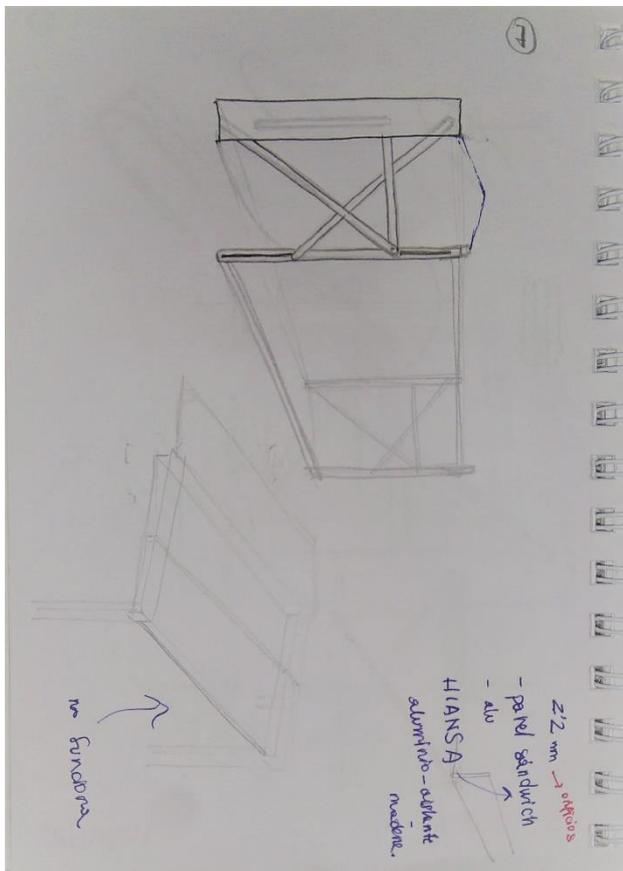
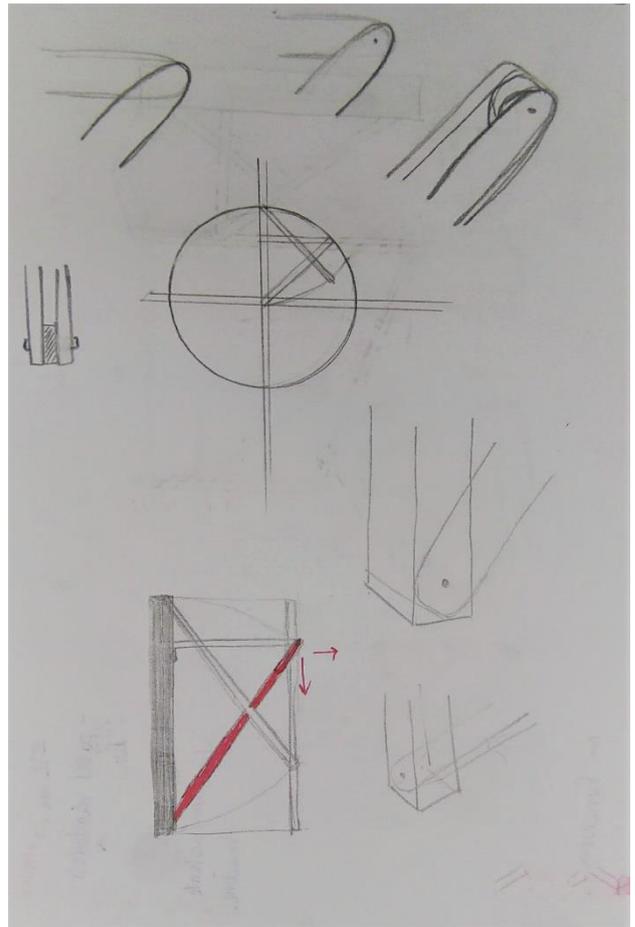
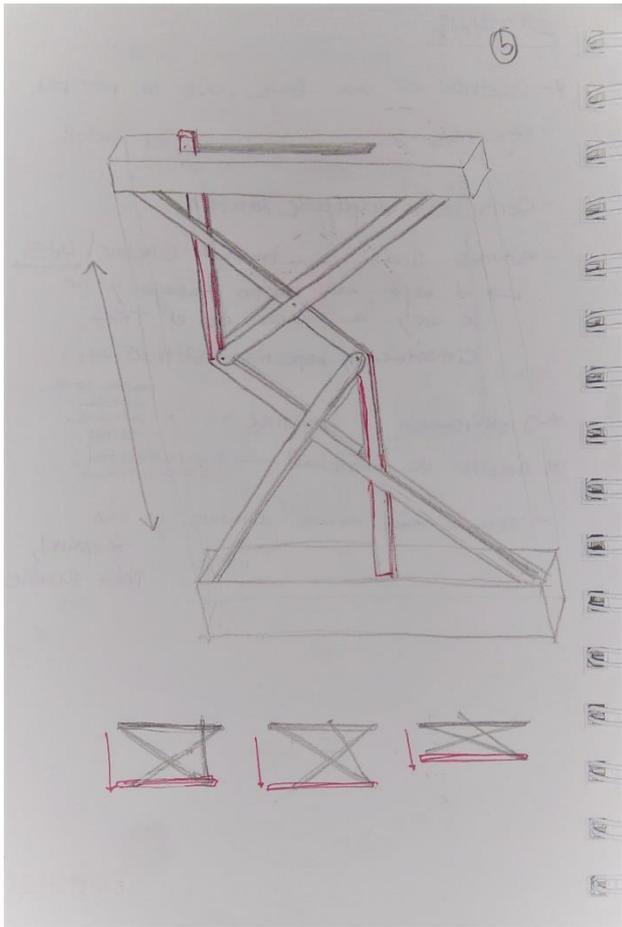


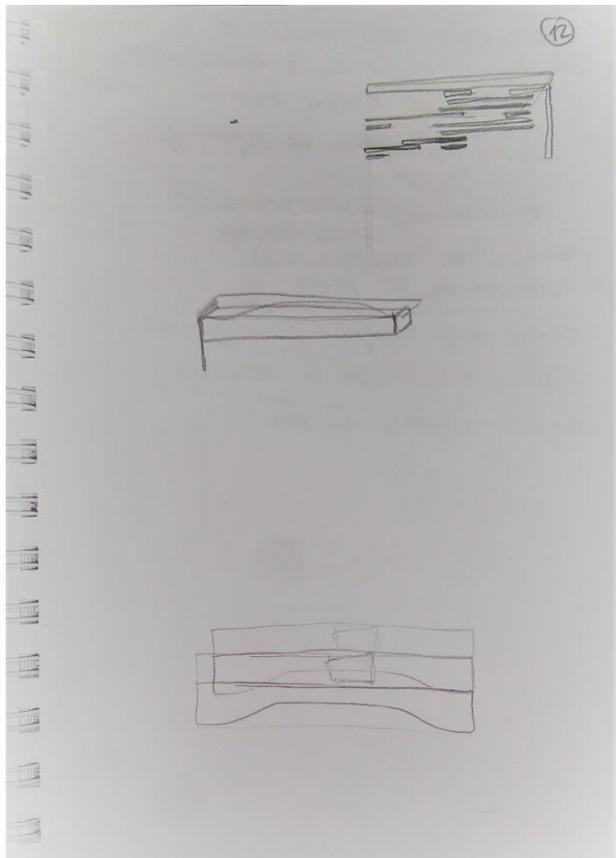
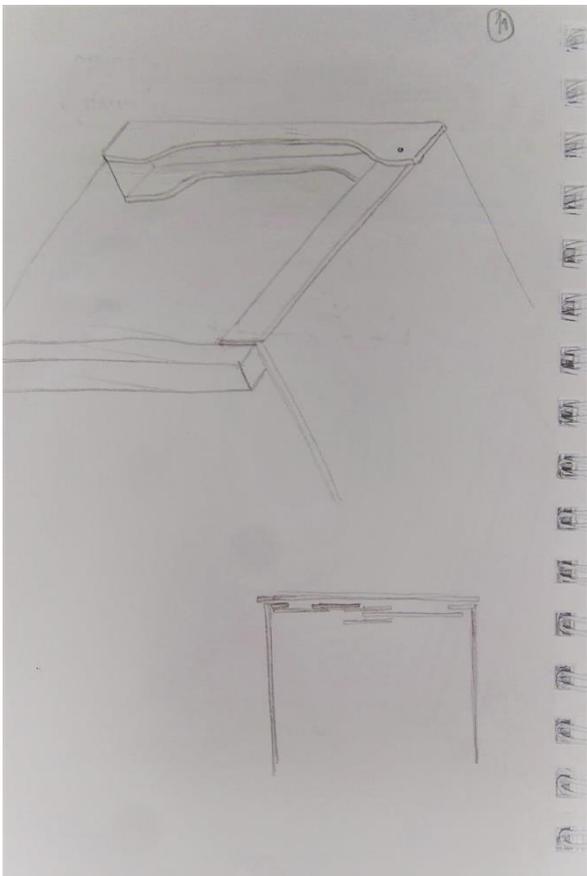
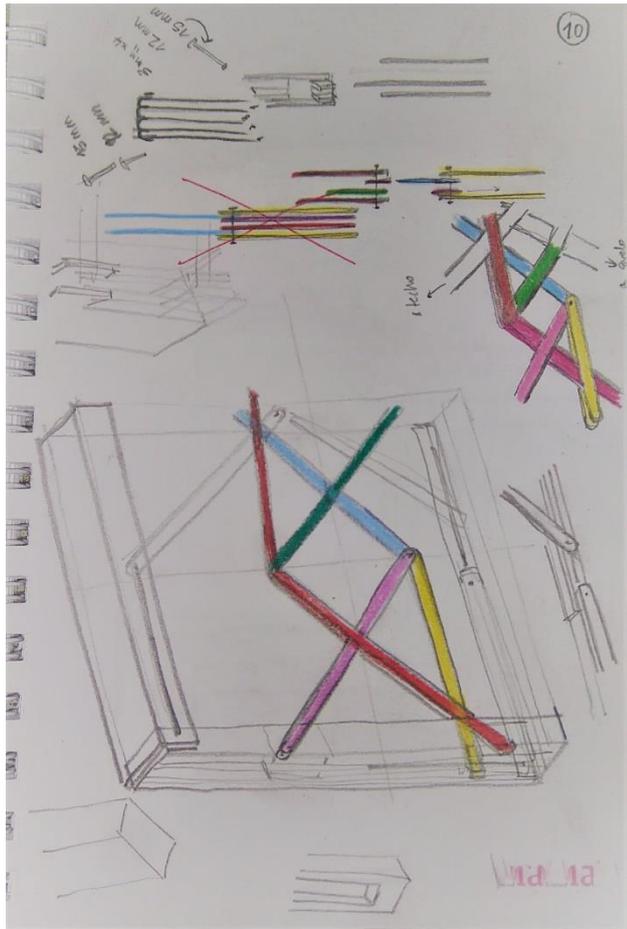
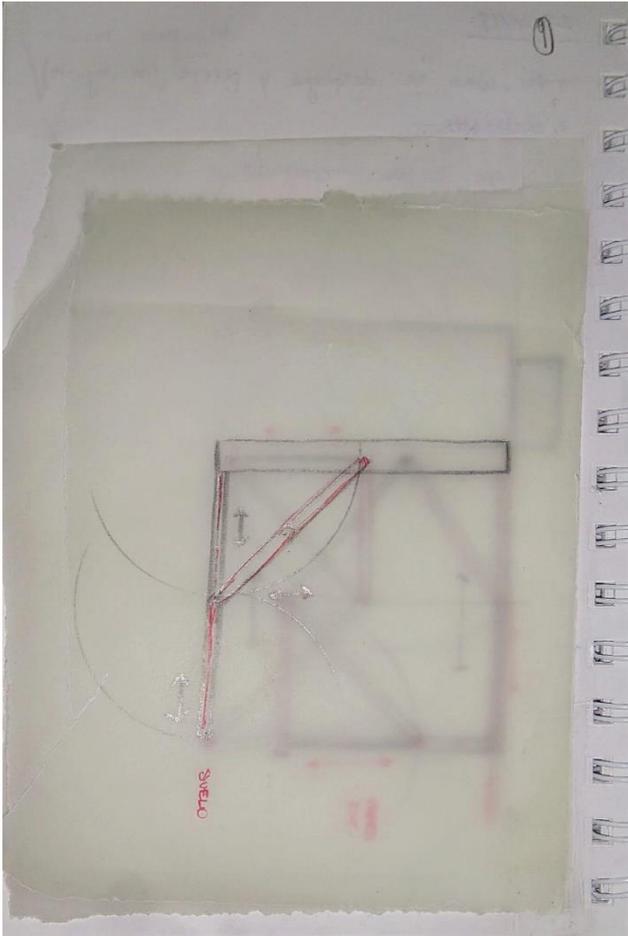
## 9. FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO

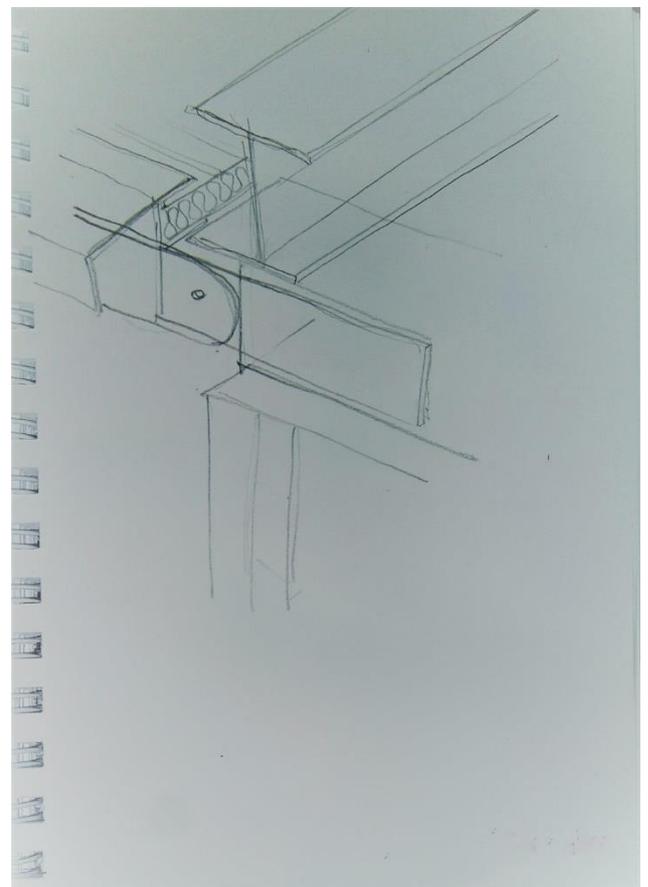
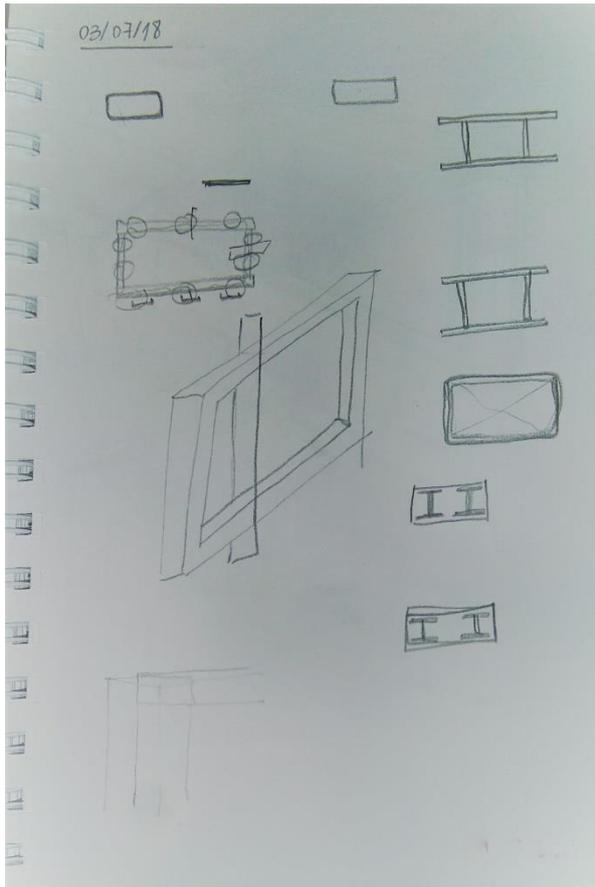
Como futuras líneas de investigación, se proponen las relacionadas a la definición completa de la propuesta de refugio, como son:

1. La resolución de los aspectos relacionados al apoyo con el terreno del módulo, como por ejemplo el estudio de la necesidad o no de realizar mejoras o modificaciones en el terreno a la hora de apoyar el prototipo.
2. Perfeccionamiento y estudio de la conexión a las instalaciones básicas de luz, agua y saneamiento; y una posible mejora para hacer el módulo autosuficiente colocando paneles solares.
3. Aspectos estéticos, en concreto con la resolución de los acabados interiores.
4. Resolución de la ventilación natural en el interior del habitáculo.
5. Comprobación, dimensionado y cálculo del sistema estructural, con más detenimiento en la base soporte fija para conocer verdaderamente si tiene la resistencia suficiente con los perfiles actualmente pensados.
6. Solución de impermeabilización y estanqueidad de juntas formadas por los pliegues de los diferentes cerramientos de composite.
7. Estudio económico para conocer la verdadera viabilidad del proyecto.









Tipo de panel a usar en el prototipo de vivienda:



#### Descripción del material

Panel ligero homogéneo en construcción seca, a base de EPS, poliuretano, poliéster y fibra de vidrio.

#### Áreas de aplicación

Para aplicación en construcción tanto de cerramientos exteriores como de particiones interiores en edificación.

#### Características Técnicas

Determinación de propiedades según guía EDTA ETAG 016:

Espesores de panel:  
20 / 30 / 50 / 100 / 150 / 200 mm

#### Superficies

De superficie rugosa en ambas caras, por este motivo acepta cualquier tipo de revestimiento.

#### Acabado Final

En la cara lateral se dispone de un ranurado para la introducción de una guía que servirá como unión entre paneles, que se realizará por medio de soldadura química. La fijación al soporte puede necesitar la utilización de un perfil.



#### CUADRO DE CARGAS

Carga (Kn/m <sup>2</sup> )	1,00	2,00	3,00	4,00
Luz (m)	2,20	1,70	1,40	1,20
Defor. max (mm)	7,33	5,66	4,66	4,00

NOTA Defor. max L/300  
Panel COMPOPLAK espesor 100mm

#### Tolerancias

Longitud	± 0,5 % hasta un máximo de ± 30 mm
Anchura	± 0,5 %
Espesor	± 3 %
Rectangularidad	< 10 mm /mL

#### Valores Característicos

Resistencia a tracción	≥ 150 Kpa					
Reacción al fuego*	E					
Reacción al fuego del sistema constructivo**	B-s1,d0					
Resistencia a la compresión al 10% de deformación	≥ 100 Kpa					
Estabilidad dimensional en condiciones específicas (70°C - 90%HR)	L 0% / A 0% / E -0,2%					
Peso por m <sup>2</sup>	6 kg/m <sup>2</sup> (100mm), 9 kg/m <sup>2</sup> (200mm)					
Conductividad térmica λD W/m K	≤ 0.035					
Resistencia térmica (Rt) m <sup>2</sup> K/W	20 mm	30 mm	50 mm	100mm	150mm	200 mm
	0.55	0.85	1.45	2.85	4.30	5.70
Transmitancia Térmica (U) W/ m <sup>2</sup> K	1.80	1.15	0.70	0.35	0.25	0.20
Resistencia funcional y estructural al choque de cuerpo duro	Apto					
Resistencia funcional y estructural al choque de cuerpo blando	Apto					
Resistencia estructural a la carga vertical excéntrica	Apto					
Resistencia a la flexión	0.603 N/mm <sup>2</sup> - 54.16 N/mm <sup>2</sup>					
Módulo de elasticidad	0.499 N/mm <sup>2</sup>					
Resistencia a carga vertical axial	0.001 mg/(Pa.h.m.)					
Permeabilidad al vapor de agua	716 μ					
Factor de resistencia a la difusión del vapor de agua	0.30 Wp (Kg/m <sup>2</sup> )					

**Comportamiento al sismo:**  
Según ensayos realizados, los paneles ensayados muestra una gran ductilidad previa a la rotura y escaso peso propio lo que lo convierte en un sistema idóneo para su empleo en zona sísmica.

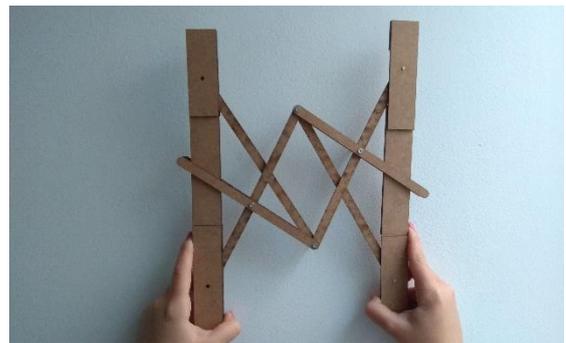
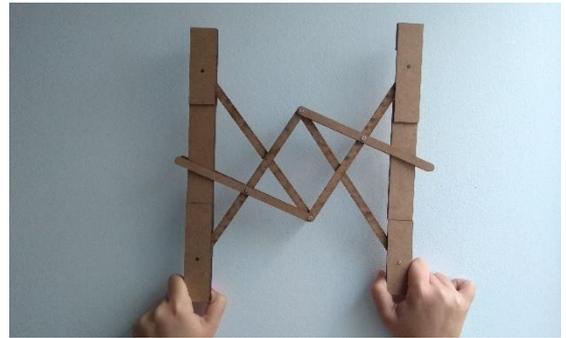
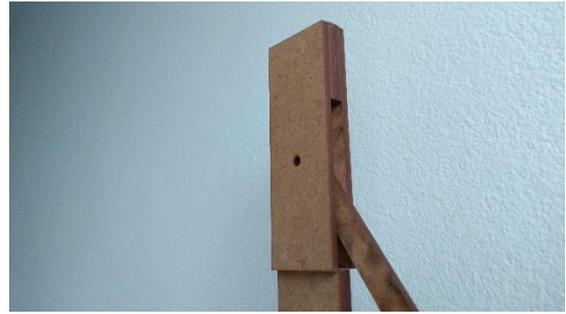
NOTA: Ensayos realizados por AIDIMA (Instituto Tecnológico) y CTCÓN (Centro tecnológico de la Construcción).

\* Ensayos de acuerdo con la norma UNE-EN ISO 11925-2:2011, quedando clasificada según norma UNE-EN 13501-1:2007+AL:2010.

\*\* Consultar sistema constructivo.

www.compoplak.com

Resto de fotografías de la maqueta de trabajo:



# 11. BIBLIOGRAFÍA

## Publicaciones

Alanís Ramos, J. C. (2017). Estrategias de generación de formas optimizadas estructuralmente. Universidad de Sevilla.

Barras, E. E. D. E. (1984). Estructuras espaciales de barras desplegadas. Informes de la construcción, 36(365), 35-45. Recuperado a partir de <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/1895/2428>

Candela, F. (1993). Arquitectura transformable. Textos de Arquitectura: Publicación de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Sevilla. Arquitectura (Vol. 1). Sevilla; Universidad de Sevilla. Recuperado a partir de <http://fama.us.es/record>

Comité Español ACNUR. (s. f.). Protección en Emergencias, 12.

Fenci, G. E., & Currie, N. G. R. (2017). Deployable structures classification: A review. International Journal of Space Structures, 32(2), 112-130.

<https://doi.org/10.1177/0266351117711290>

Kronenburg, R. (2003). Portable architecture. (A. Press, Ed.).

Meinhold, B. (2013). Urgent architecture: 40 sustainable housing solutions for a changing world. New York: W.W. Norton & Company. Recuperado a partir de <http://fama.us.es/record>

Normale, D. E. L. E., & Cachan, S. D. E. (2012). Investigation of highly flexible, deployable structures: review, modelling, control, experiments and application emi Friedman to cite this version: Présentée par Civilité FRIEDMAN Noémi.

Pérez de Lama, J., Lara Bocanegra, A. J., & Vázquez Carretero, N. J. 1971-. (2014). Yes, we are open!: fabricación digital, tecnologías y cultura libres. Sevilla: Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Universidad de Sevilla. Recuperado a partir de <http://fama.us.es/record>

Pérez, I. C. (2017). DESMONTABILIDAD Y RIGIDEZ: Estructuras desplegadas y espaciales fijas. Universidad Politécnica de Madrid.

Puertas del Río, L. (1990). Estructuras espaciales desmontables y desplegadas. Informes de Construcción, 42(409), 11.

Rivas Adrover, E. (2015). Estructuras desplegadas: arquitectura, ingeniería y diseño. Barcelona: Promopress.

Sánchez Sánchez, J. (1996). Estructuras desplegadas de aspas para mallas poliédricas curvas. Universidad de Sevilla.

Shaoqiang, W. (2014). New portable architecture: designing mobile & temporary structures. Barcelona: Promopress.

Venegas del Valle, J. C. (2016). Estudio geométrico de mallas transformables de «triaspas» basado en el trabajo de Emilio Pérez Piñero. Universidad de Sevilla.

Vidal, M. M. (2001). Cálculo Dinámico de Estructuras Desplegadas.

## Referencias web

Comité Español ACNUR. (2017). Anatomía de un campo de refugiados. Anatomía De Un Campo De Refugiados; 2016, 6-8. Recuperado a partir de <http://recursos.eacnur.org/anatomia-campo-de-refugiados-atencion-y-necesidades>

Coruña, U. de. (s. f.). dHabitat:: Recursos :: En línea :: Habitáculos :: Habitáculos 01. Recuperado 22 de abril de 2018, a partir de [http://www.udc.es/dhabitat/recursos/en\\_linha/habitaculos/paxina01/](http://www.udc.es/dhabitat/recursos/en_linha/habitaculos/paxina01/)

Engineering, T. F. (s. f.). TEN FOLD Engineering - YouTube. Recuperado 22 de abril de 2018, a partir de <https://www.youtube.com/user/tenfoldeengineering/featured>

Felipe Ferrer. Editado por: Juliana Neira. (2015). Deployable emergency module resolves protection needs. Recuperado 1 de abril de 2018, a partir de <https://www.designboom.com/architecture/deployable-emergency-module-peruvian-coast-11-10-2015/>