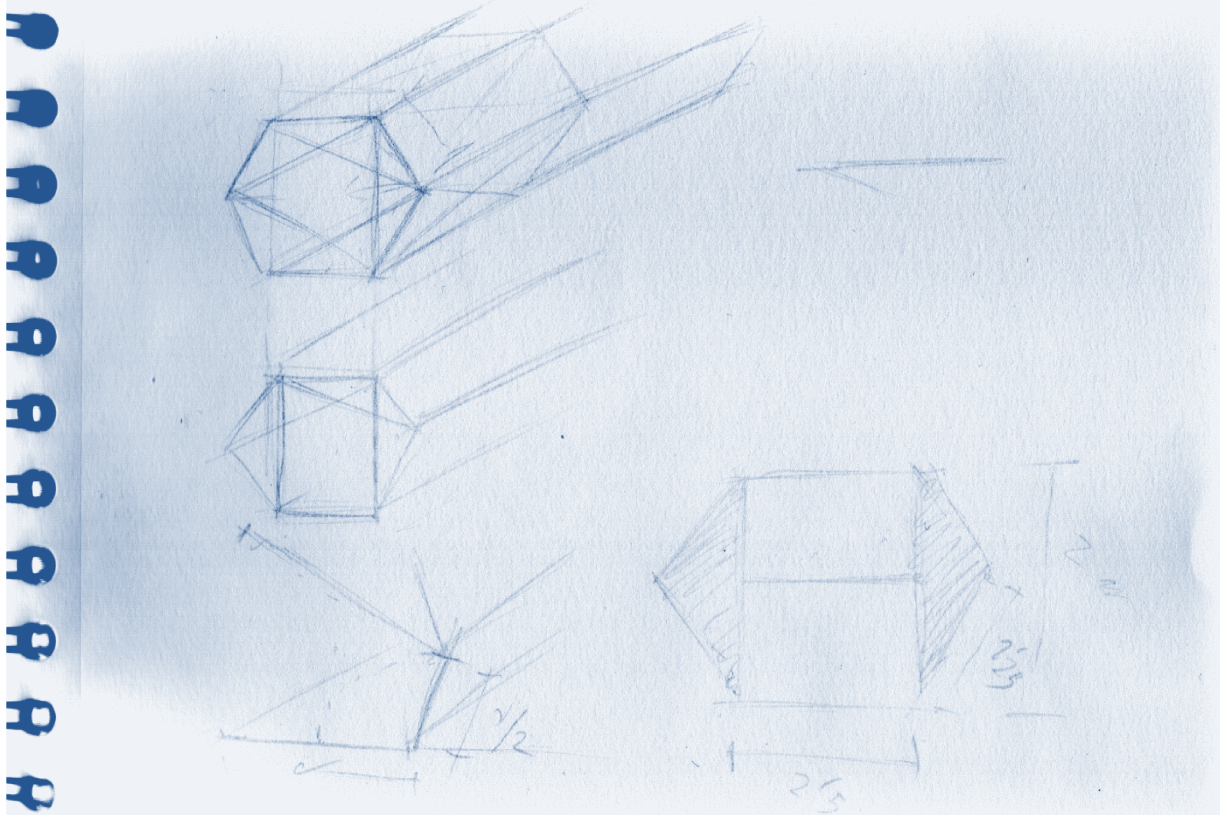


Estudio comparado de soluciones para estructuras plegables utilizables en construcciones de emergencia



Ignacio Lauwers Alonso

MES-F0043 // Agustín Pérez García

21/01/2016

Tabla de contenido

Capítulo 1 – Estudio del estado del arte

1.1 Manifiesto de proyecto	4
1.2 Búsqueda de Patentes	5
1.2.1 Tipología contenedor plegable	5
1.2.2 Tipología hinchable.....	6
1.2.3 Tipología volumen expandible.....	6
1.2.4 Tipología piel atirantada.....	7
1.2.5 Resistencia a condiciones extremas: Portable modular tornado and hurricane shelter kit	8
1.2.6 Resistencia a condiciones extremas: Tornado or hurricane shelter.....	8
1.3 Clasificación e idoneidad de los tipos actuales.....	9

Capítulo 2 - Estudio de referentes

2.1 Estudio de cargas consideradas en el cálculo.....	10
2.1.1 Nieve.....	11
2.1.2 Sismo.....	11
2.1.3 Viento	12
2.1.4 Impacto	14
2.2 Leap S1.....	17
2.2.1 Análisis estructural Leap S1	18
2.3 NYC Emergency Housing Prototype.....	20
2.4 NOEM - El Refugi.....	21

Capítulo 3 - Conclusiones de los estudios

3. Conclusiones del estudio de referentes.....	22
--	----

Capítulo 4 - Propuesta

4.1 Aproximación y diseño de la geometría.....	23
4.2 Dimensiones	25
4.3 Cálculo de la carga de viento específica para el modelo diseñado	26
4.4.1 Materiales-Paneles de acero.....	28

4.4.2 Materiales-Paneles de composite	28
4.4.3 Materiales-Paneles de aluminio.....	29
4.5.1 Habitabilidad-Inundación.....	29
4.5.2 Habitabilidad-Salubridad.....	32
4.5.3 Habitabilidad-Ventilación	33
4.5.4 Habitabilidad-Incendios.....	33
4.6.1 Auxiliares-Anclaje a suelo y apoyos	34
4.6.1.1 Auxiliares-Precarga de los anclajes	36
4.6.2 Auxiliares-Articulaciones.....	36
4.6.3 Auxiliares-Tirantes	38
4.7.1 Cálculo-Acero	40
4.7.2 Cálculo-Composite	45
4.7.3 Cálculo: Aluminio.....	48
4.8 Estabilidad al desplazamiento.....	50
4.9 Estabilidad al vuelco.....	51
4.10 Montaje	52
4.11 Agregación.....	55
4.12 Logística y transporte.....	57
4.12 Ficha técnica	59
4.13 Despiece y costes aproximados	60

Capítulo 5 - Materialización

5. Prototipo.....	62
-------------------	----

Capítulo 6 – Bibliografía

6. Bibliografía.....	64
----------------------	----

1 Introducción

1.1 Manifiesto de proyecto

Como consecuencia de los cambios climáticos, es necesario buscar nuevas soluciones que se puedan aceptar incluso en las condiciones más extremas, y como nómada que es el ser humano por naturaleza, dichas soluciones deben de ser susceptibles de transportarse, lo que implica un impacto para el medio ambiente inferior respecto a las soluciones tradicionales.

Como consecuencia de las guerras en las que está sumergido el mundo en la actualidad, impera dar una solución que sea útil a la vez que mejore la situación de las personas afectadas.

Por otra parte, no solo las guerras pueden resultar destructivas, sino también muchos elementos de la naturaleza. Tanto en Estados Unidos como en Australia se realizan refugios contra los tornados y huracanes que se repiten en las temporadas de predominio de dichos fenómenos, siguiendo las directrices de normas como la Americana ICC500. Dichos refugios se realizan frecuentemente en forma de habitaciones muy pequeñas de hormigón, con un acceso elevado para evitar las inundaciones que llevan aparejadas estos fenómenos, con el agravante de que frecuentemente las viviendas donde se ubican dichos refugios suelen estar realizadas en madera.

Nos corresponde a los arquitectos ofrecer formas de resolver la situación de personas que se encuentran sometidas a condiciones climatológicas extremas, y además a aquellas que además pueden estar en una situación transitoria lejos de su hogar, como es el caso de los refugiados de guerra, y que no siempre se encuentran en unas condiciones benignas de entorno.

Ello pasa por diseñar modos de habitar en principio temporales, fácilmente construibles, desmontables, almacenables y transportables en gran número, económicos, con escaso mantenimiento, además de seguros, estables frente a condiciones extremas, y habitables.

Este trabajo se propone como objetivo conseguir diseñar un refugio transportable con un comportamiento aceptable para las peores condiciones a las que pueda estar sometido, que cumpla con las exigencias para reemplazar a la mayoría de sistemas actuales como son la construcción de habitaciones de hormigón en el subsuelo, con el riesgo de inundación que suponen, o de no poder salir al exterior por acumulación de materiales depositados por tornados, huracanes o las propias inundaciones, además de sustituir a las construcciones, que provisionalmente se realizan, cuando suceden catástrofes naturales o emergencias humanitarias.

1.2 Búsqueda de Patentes

La búsqueda de patentes nos permite ir más allá de los modelos de refugios que encontramos habitualmente y encontrar aquellos refugios u objetos que incorporan un diseño de interés, o lo que es lo mismo, que no se quedan en simples bocetos sino que puedan ser trasladados a la realidad. [1]



Espacenet search results on 25-06-2016 08:10

6 results found in the Worldwide database for:
hurricane shelter in the title
Displaying selected publications

Publication	Title	Page
US9021750 (B1)	Portable modular tornado and hurrican...	2
US5671568 (A)	Hurricane shelter	3
US5794389 (A)	Hurricane home shelter	4
US2006143995 (A1)	Hurricane Shelter	5
US2003126805 (A1)	Tornado or hurricane shelter	6
DE10041972 (A1)	Hurricane-protected shelter comprises...	7

Espacenet es uno de los organismos de la Oficina Europea de Patentes que se dedica a la difusión de las mismas y a las que cualquier ciudadano puede acceder.

1.2.1 Tipología contenedor plegable

공개특허 10-2014-0123496

(19) 대한민국특허청(KR)	(11) 공개번호 10-2014-0123496
(12) 공개특허공보(A)	(43) 공개일자 2014년10월22일

(01) 국제分类号(Int. Cl.) B60D 86/22 (2006.01) B60D 90/00 (2006.01)	(71) 출원인 인베스티스 에이알 에스피에이 인베, 진영진, 조영 호, 최진호, 최진호
(21) 출원번호 10-2014-709227	(72) 발명자 최호, 권성현, 조영 호, 최진호, 최진호
(22) 출원일자(국제) 2013년12월21일 실용특허공보일자 2014년07월18일	(74) 대리인 김영환, 김성기
(85) 번역출원일자 2014년07월18일	
(86) 국제출원번호 PCT/CL2012/000075	
(87) 국제공개번호 WO 2013/091126	
(88) 국제공개일자 2013년09월27일	
(89) 유선공개일자 2013년12월11일 특허(CL)	

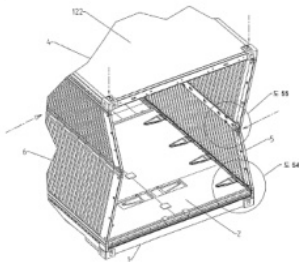
본해 청구항 수: 총 50 항

(54) 발명의 명칭: **플래팅 폭풍을 운송을 위한 접이식 컨테이너 및 접기 위한 관련 방법**

(57) 요약

플래팅 상층의 해상 및/또는 육상 운송을 위한 접이식 컨테이너는, 저수, 내장 및 수평도에 관한 모든 190 표준을 충족하고, 조립된 후에 있는 단일 용처를 1)에서 2)로 신속하게 변경 할 수 있도록 설계된 접이식 컨테이너의 플랫트 상층 패키지의 운송 및 보관을 위해 수직 방향으로 직립될 수 있다. 컨테이너는 주로 요소들, 즉, 위쪽 및/또는 아래쪽

참조 도 - 3023



US 2015/029885A1

(19) United States	(36) Pub. No.: US 2015/029885 A1
(12) Patent Application Publication	(43) Pub. Date: Oct. 22, 2015

(54) STACKABLE AND COLLAPSIBLE CONTAINER

(71) Applicant: **Georg E. Kochanowski, Sprighorn, OH (US)**

(72) Inventor: **Georg E. Kochanowski, Sprighorn, OH (US)**

(21) Appl. No.: 14/788,083

(22) Filed: **Jan. 30, 2015**

Related U.S. Application Data

(65) Continuation of application No. 14/972,180, filed on Nov. 5, 2015, now Pat. No. 9,082,726, which is a continuation of application No. 13,675,483, filed on Nov. 13, 2012, now Pat. No. 8,578,413, which is a continuation of application No. 13,935,923, filed on Aug. 2, 2011, now Pat. No. 8,508,618, which is a continuation of application No. 12,754,198, filed on Apr. 5, 2010, now Pat. No. 8,011,523, which is a continuation of application No. 11,049,684, filed on Aug. 4, 2006, now Pat. No. 7,303,832.

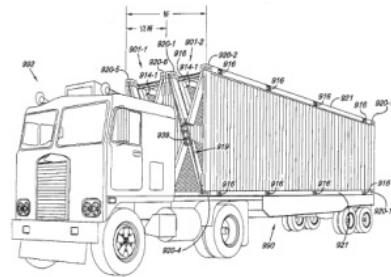
Publication Classification

(51) Int. Cl.
B60D 21/02 (2006.01)
B60D 90/00 (2006.01)
B60D 86/52 (2006.01)

(52) U.S. Cl.
CPC ——— B60D 21/0299 (2015.01); B60D 86/52 (2015.01); B60D 90/00 (2015.01)

ABSTRACT

Structures, methods, and systems associated with a stackable and collapsible container are provided. One structure includes a stackable and collapsible container having at least four eco-collapsible, load bearing vertical support members attached to vertical walls of the container and capable of supporting the weight of other containers. A top surface is included having a number of sections which include a pivotal connection to one another and which are collapsible about the pivotal connection to an interior of the container. A bottom surface is included having a number of sections which include a pivotal connection to one another and which are collapsible about the pivotal connection to an interior of the container. The top and the bottom surfaces of the container can be flexibly positioned in a number of collapsed states.




Esta tipología¹ se encuentra en múltiples patentes, tanto en su versión horizontal como vertical, e implica que dos de los cuatro lados se subdividan en dos caras, que al cerrarse, estas se pliegan hacia el interior para ocupar

¹ Dos patentes de la tipología. Derecha patente US 2015/029885 A1, registrada en EEUU; Izquierda patente 10-2014-0123496, registrada en China.

el mínimo espacio posible. De esta forma cuando no están en uso los contenedores pueden ocupar únicamente su volumen sin huecos. Sin embargo esta estructura no aguanta esfuerzos horizontales importantes y las aristas obligatoriamente son uniones rígidas con posibilidad de articularse.

1.2.2 Tipología hinchable

Esta tipología² hace referencia a una construcción muy rápida de montar y la más eficiente en espacio ocupado en relación al volumen que permite albergar. Sin embargo, posee el inconveniente de necesitar un aporte continuo de energía, además de tener un mantenimiento elevado y ser poco resistente a acciones externas.



US 2016/0061033 A1

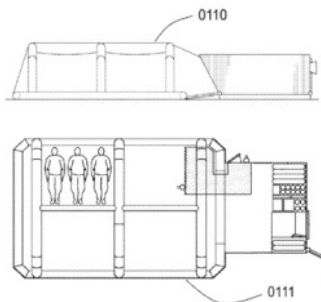
(19) United States
 (12) Patent Application Publication (30) Pub. No.: US 2016/0061033 A1
 Roscili (43) Pub. Date: Mar. 3, 2016

(54) METHOD AND APPARATUS FOR PROVIDING CONTROLLED ATMOSPHERE IN MOBILE MINE REFUGES
 (71) Applicant: CHEMBO SHELTER, INC., Allentown, PA (US)
 (72) Inventor: Edward V. Roscili, Easton, PA (US)
 (21) Appl. No.: 14/809,135
 (22) Filed: Aug. 28, 2015

Publication Classification
 (51) Int. Cl. E22F 2/06 (2006.01)
 (52) U.S. Cl. CPC E22F 2/06 (2013.01)

ABSTRACT
 A system, device and method for rapid delivery of clean air to occupants of a deployed mine refuge from a surface source after the refuge has been deployed and before the self-contained air has been consumed or before the temperature in the refuge has increased to hazardous levels to which a drilling rig is used to a borehole in close proximity to the mine refuge's underground location and a supply duct is lowered through the borehole to the underground mine near the refuge; upon hearing an alarm sounded by the system, a refuge occupant would exit the refuge, using existing personal breathing protection, to retrieve the duct and connect it to the mine refuge.

Related U.S. Application Data
 (60) Provisional application No. 62/043,075, filed on Aug. 28, 2014.



Su uso principal es para aquellos casos en los que se requiera una acción inmediata y se cuente con poco espacio, por ejemplo que solo pueda ser transportado en helicópteros muy pequeños o en caso de necesitarse intervenciones rápidas tras una catástrofe y no existan otros medios disponibles.

1.2.3 Tipología volumen expandible

Se trata de una tipología³ que permite reducir su volumen en función del número de elementos rígidos que lo compongan. En su forma más básica cuenta con dos sólidos rígidos, pero es frecuente observar tres o incluso cuatro elementos.

² Patente referida a la tipología hinchable US 2016/0061033 A1, registrada en EEUU

³ Dos patentes de la tipología volumen expandible. Derecha patente NO 2006/328448 B1 registrada en Noruega; Izquierda patente US 1999/005966956 A, registrada en EEUU

US005966956A

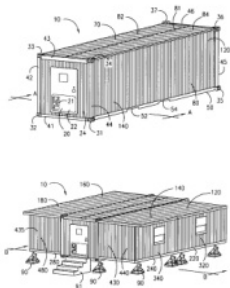
United States Patent [19] [11] **Patent Number:** **5,966,956**
Morris et al. [45] **Date of Patent:** **Oct. 19, 1999**

[54] **PORTABLE REFRIGERATED STORAGE UNIT**
 [75] Inventors: **Leland M. Morris, Boca Raton, James Rogers, Quincy, both of Fla.**
 [73] Assignee: **Shelter Technologies, Inc., Boca Raton, Fla.**
 [21] Appl. No. **08/948,508**
 [22] Filed: **Nov. 12, 1997**
 Related U.S. Application Data
 [60] Provisional application No. 60/051,153, Nov. 30, 1996.
 [51] Int. Cl.⁷ **F25D 23/12; E04H 7/16**
 [52] U.S. Cl. **62/289.1; 62/371; 52/309; 52/71; 52/79.5**
 [58] Field of Search **62/440, 259.1; 62/371; 52/364, 68, 69, 71, 79.5**

[56] **References Cited**
 U.S. PATENT DOCUMENTS
 2,167,577 7/1949 Storr 5209
 2,395,491 2/1946 Smith 5209
 2,980,856 5/1959 Sun Ken Che 5209
 2,904,805 9/1959 Coxe et al. 5209
 2,992,626 7/1961 Sackett 5209
 3,107,116 10/1963 Meador 52/79.5
 3,162,424 5/1965 Bergmann
 3,195,190 7/1965 Main

[57] **ABSTRACT**
 A portable unit which is foldable to be shipped and transported as a standard cargo shipping container is disclosed. The portable unit may function as a portable shelter which may be easily transported and usable on a variety of terrains and surfaces without a foundation. The portable shelter contains a refrigeration system which provides air conditioning and/or heating for living quarters or for controlled environment microclimate, such as a portable nursery used in emergency situations.

17 Claims, 14 Drawing Sheets



1.2.4 Tipología piel atirantada

Se trata de una tipología⁴ que hace referencia a la tradicional tienda de campaña con varillas de fibra de vidrio y una superficie que separa el interior del exterior. La superficie trabaja a tensión mientras que las varillas a compresión, siguiendo la lógica de la naturaleza de dichos materiales.

US005842495A

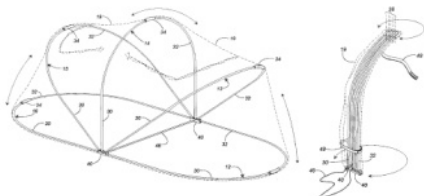
United States Patent [19] [11] **Patent Number:** **5,842,495**
Egnew et al. [45] **Date of Patent:** **Dec. 1, 1998**

[54] **CONCEALMENT SHELTER**
 [75] Inventors: **James C. Egnew, Larry A. Luckhart, both of Sevierville, Ky.; Kevin Byrck, Jr., Oneida, Tenn.**
 [73] Assignee: **Shelter Pro, LLC, Sevierville, Ky.**
 [21] Appl. No. **746,240**
 [22] Filed: **Nov. 7, 1996**
 [51] Int. Cl.⁷ **E04H 15/44**
 [52] U.S. Cl. **135/133; 135/137; 135/144; 135/147; 135/114**
 [58] Field of Search **135/132, 133, 135/126, 134, 138, 143, 144, 147, 151, 153, 114**

[56] **References Cited**
 U.S. PATENT DOCUMENTS
 2,098,840 6/1952 Robin
 3,213,861 5/1970 Johnson 135/132
 3,764,654 2/1974 Bala 135/98
 3,995,649 12/1976 Babcock 135/133
 4,116,266 9/1978 Stauer et al. 135/133 X
 4,227,542 10/1980 Beaulieu 135/132
 4,236,247 12/1980 Hise
 4,271,806 6/1980 Ferguson
 4,422,828 1/1984 New Woodhain
 4,583,311 4/1986 Hant et al.
 4,761,919 1/1988 Griffin 135/133 X
 4,831,036 5/1989 Swanson 135/132 X
 4,838,254 6/1989 Hant

[57] **ABSTRACT**
 A portable shelter or camouflage support structure is formed by a plurality of bow formers that are pivoted at opposite bow ends for facile development about a substantially common axis or a cluster of parallel axes. Each bow former is having two or more rigid bow elements that are joined end-to-end by a polymer tubing splice joint with a substantial separation space between the two opposing ends of the rigid elements whereby the tensionally collapsed bow of the bow former elements is further folded upon itself to reduce the length and bulk of the structure without resort to independently attached and assembled elements.

11 Claims, 13 Drawing Sheets



(12) PATENT
 (19) NO (11) 328448 (13) B1

NORGE
 (51) Int. Cl.
 66/0 88/2 (2006/01)

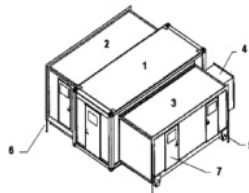
Patentstyret

(21) Søknadsnr. 2000019 (86) Inngangsdag og søknadsdato 2000.01.02
 (22) Vrig dag 2000.01.02 (89) Utvalgsdagsføring 2000.01.02 (93) Prøvedag 2000.07.03
 (41) Ann. tid 2001.02.22
 (45) Skjedt

(73) Erverver Scandinavian Shelter Systems Grinvald AS, Begrunsvæder 40, 6886 GRIMSTAD
 (72) Oppfinner Andre Thorsen, Svingen 43, 4678 GRIMSTAD
 (74) Fullmektig Oslo Patentforretning AS, Postboks 7507 Nydalen, 0308 OSLO

(54) Beskrivelse Ekspanderbar container
 (59) Avlerte US 2007/0079573 A1, US 2067282, US 6-109963
 (97) Søsnevning

En ekspanderbar container av boks-i-boks type som har en sentral seksjon og første og andre sideseksjoner sammensjåvet deri i en transportposisjon. Sideseksjonene er bevegelige og delvis understøttet på hydraulisk opererte teleskopbjelker til en lateralt utvidet bruksposisjon. Gulvet i den første sideseksjonen er hengslet i sin ytre ende til nedre del av ytterveggen av den første seksjonen, slik at det kan svinges mellom en vertikal transportposisjon og en horisontal bruksposisjon jevnt med gulvet i den sentrale seksjonen. Den andre sideseksjonen senkes ned noe når den bevegelse lateralt utover slik at også dets gulv blir jevnt med gulvet i den sentrale seksjonen i bruksposisjon.

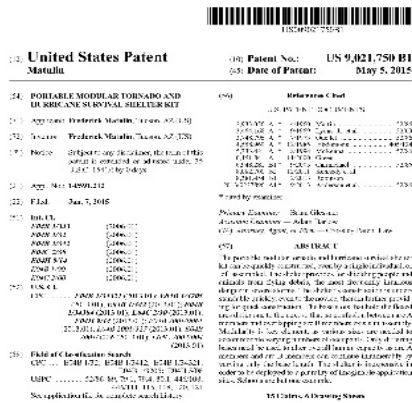


Tiene la ventaja de no requerir medios auxiliares, ser muy ligero, económico y fácilmente transportable. Por contra, estructuralmente es débil, susceptible a los incendios y al deterioro, y su limpieza en ocasiones suele ser compleja.

⁴ Patente de la tipología piel atirantada, US 1998/005842495

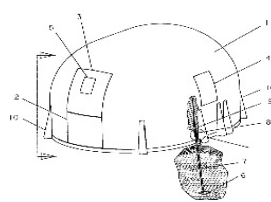
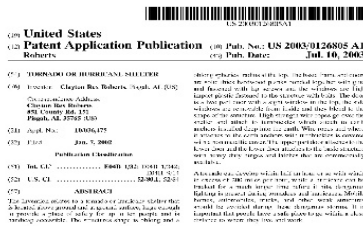
1.2.5 Resistencia a condiciones extremas: Portable modular tornado and hurricane shelter kit

Se presenta como una patente⁵ diseñada como un hangar de la segunda guerra mundial, pero en vez de usar placas de hormigón prefabricadas, se usan paneles más ligeros, pero con las mismas ventajas de resistencia y de modularidad. Tiene el inconveniente de ser necesarios múltiples medios auxiliares para su montaje dado que no se ha concebido como refugio plegable, si bien se afirma que es transportable.



1.2.6 Resistencia a condiciones extremas: Tornado or hurricane shelter

Esta patente⁶, se ha diseñado a modo de cúpula arriostada, lo que le confiere unas buenas condiciones de resistencia frente a huracanes. Su perfil bajo permite su uso también por personas que requieran una célula accesible. No es modulable ni plegable, lo que en cierta parte supone una vuelta al concepto de bloque de hormigón como refugio inamovible y con una única utilidad.



⁵ Patente US 2015/9021750B1, con registro en EEUU
⁶ Patente US 2003/0126805 A1

1.3 Clasificación e idoneidad de los tipos actuales

Existen en la actualidad varios tipos y modelos que pueden agruparse en función de sus características generales y que a continuación analizaremos:

A.- Atirantada, de piel fina -tejidos, membranas y/o film- que se atirantan sobre varillas o segmentos hinchados, cuya propia rigidez generan arcos o postes y reciben los esfuerzos de compresión que equilibran las tensiones de la piel.

B.- Hinchada, de piel fina que delimitan un volumen sometido a mayor presión que la atmosférica que equilibra las tensiones de la piel.

C.- de capsula o elemento autoportante rígido.

D.- de caja o elemento montado a base de piezas rígidas unidas entre sí in situ.

Los problemas y ventajas de estos grupos son los establecidos en la tabla siguiente.

Tabla 1 - Idoneidad de las soluciones actuales

	Piel atirantada	Piel hinchada	Capsula rígida	Caja rígida
Durabilidad				
Fuertes Vientos				
Nieve, impacto ramas...				
Lluvias intensas				Variable
Temperaturas extremas			Variable	Variable
Incendio				
Aislamiento Térmico				
Aislamiento acústico				
Estanqueidad				Variable
Ventilación				
Flotabilidad			Variable	
Volumen útil/superficie exterior				
Altura útil/superficie base	Variable			
Buen habitar		Variable		
Facilidad de uso				
cocinar y calentar				
Mantenimiento-limpieza	Variable			
Peso reducido				
Fácil transporte				Variable
Fácil montaje			No necesario	
Fácil desmontaje			No necesario	
Fácil reutilización	Variable	Variable		
Reducido coste fabricación				
Fácil reciclaje	Variable	Variable		Variable
equipos complementarios de fácil disponibilidad	No necesario		No necesario	No necesario

■ Especialmente idóneo
 ■ Poco idóneo

2 Estudio de referentes

Los referentes a analizar son aquellos que cumplen con las características que se pueden explotar para el diseño del futuro proyecto, detalladas a continuación:

- Resistencia respecto a acciones dinámicas que se pueden producir, o de previsión frente a emergencias
- Plegables y transportables
- Modularidad parcial o completa, prefabricación

2.1 Estudio de cargas consideradas en el cálculo

Dado que para analizar estructuralmente un elemento, se tiene que analizar previamente qué cargas influyen en el mismo, se establece en este apartado aquellas acciones que son más influyentes.

Para el análisis vamos a considerar fundamentalmente una situación bidimensional con un cálculo tridimensional del prototipo, ya que fundamentalmente nos interesa la sección para el análisis de las solicitaciones ya que nos permitirá comprender el funcionamiento de la estructura de forma mucho más sencilla que con una situación directamente tridimensional. Consideramos cargas estáticas y dinámicas. Dentro de las estáticas consideramos despreciable el peso propio ya que en comparación con los otros esfuerzos es mínimo, y al final dentro de todas las posibles cargas aplicables, como se demuestra en los apartados a continuación, la más desfavorable sin duda es el viento. Para el cálculo, no mayoraremos las cargas puesto que aquellas para las que se van a dimensionar son cargas accidentales, considerando como la más desfavorable de todas ellas y que para el dimensionamiento frente a nieve y sismo, se cogen los valores más restrictivos que generan la mayor demanda estructural de la que se tiene constancia.

2.1.1 Nieve

Tabla 2 - Registro de nevadas más importantes

	Lugar	Fecha	Pulgadas	Centímetros
1 Mes (U.S.)	Tamarack, Calif.	Enero 1911	390	991
24h (N. America)	Silver Lake, Colo.	14 Abril, 1921	76	195.6
24h (Alaska)	Thompson Pass	29 Diciembre	62	157.5
19h (France)	Bessans	5 Abril, 1969	68	173
1 tormenta(N. America)	Mt. Shasta Ski Bowl, Calif.	13 Febrero, 1959	189	480
1 tormenta (Alaska)	Thompson Pass	26-31Diciembre,1955	175	445.5
1 estación (N. America)	Mount Baker, Wash.	1998-1999	1140	2895.6
1 estación (Alaska)	Thompson Pass	1952-1953	974.5	2475
1 estación (Canadá)	Revelstoke Mt. Copeland, British Columbia	1971-1972	964	2446.5

Según la tabla⁷ de récords del ejército de EE.UU. creemos considerable estimar una nevada intensa de 2000 mm (máximo en 24 horas, considerado tiempo de limpieza, además de improbabilidad de la nieve de mantener una altura mayor sin sufrir desmontes por el deslizamiento de las partículas), estimándose la nieve nueva una densidad del 10% de sólidos [3] (90% huecos), lo que entendido con el peso específico del agua en 10kn/m^3 , supone una carga aplicable de **2kN/m^2** [4]

2.1.2 Sismo

Con respecto al sismo, si bien es una carga que puede producir una destrucción prácticamente absoluta en muchas ciudades, en el caso del prototipo podemos considerarla prácticamente despreciable debido a que tiene muy poca masa susceptible de ser movilizada por parte de una acción dinámica como el sismo, la fuerza estática equivalente sería prácticamente despreciable en comparación con otras acciones, la frecuencia del oscilador que supone el modelo es demasiado alta en comparación con las frecuencias de los sismos por ser tan corto con respecto a la masa ya que la frecuencia de las ondas secundarias y primarias están en el entorno del Hertzio y este modelo superará sin duda esa frecuencia, y además el modelo es muy flexible con lo que puede disipar muy fácilmente esa energía. [5]; [6]

En la tabla 3 se establecen las magnitudes para los sismos de magnitud mayor de los que se tiene constancia.

⁷ Tabla con los récords de las nevadas máximas registradas por el ejército de EE.UU.

Tabla 3 - Sismos con magnitudes más importantes registrados

Lugar	Fecha	Magnitud
Chile	1960	9.5
Alaska	1964	9.2
Northern Sumatra	2004	9.1
Honshu, Japón	2011	9.0
Kamchatka	1952	9.0
Chile	2010	8.8
Ecuador	1906	8.8
Alaska	1965	8.7

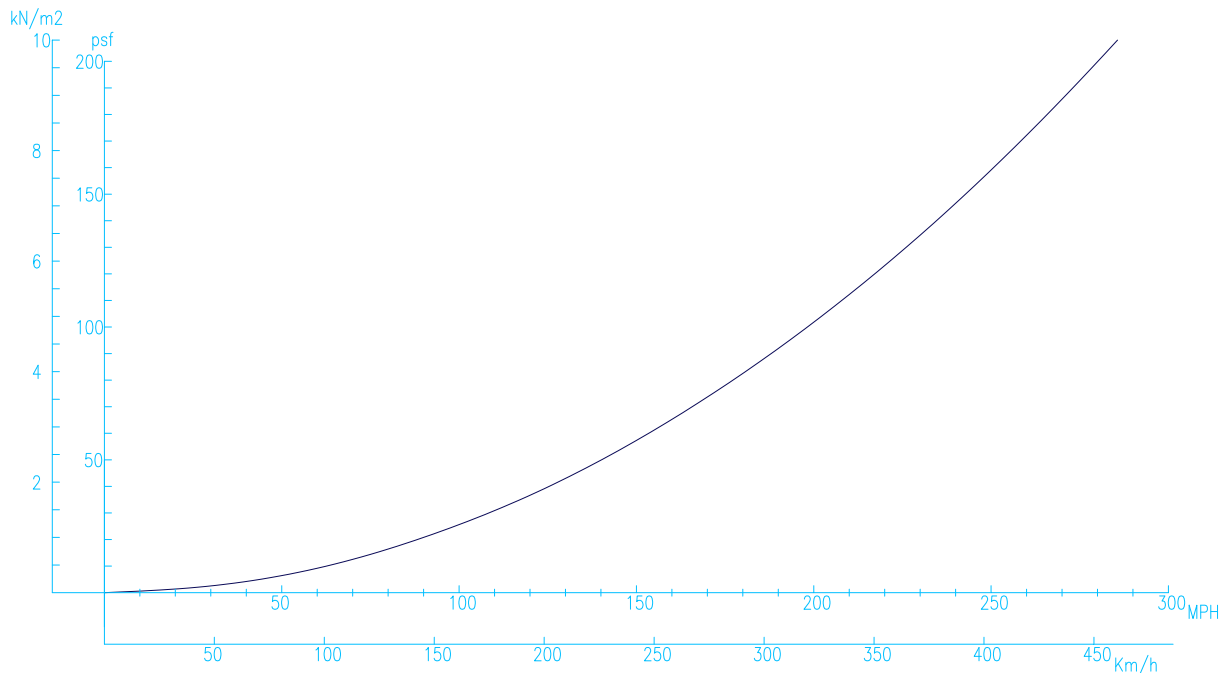
2.1.3 Viento

Para entender por qué el viento se trata de la acción que es más desfavorable al proyecto, se tiene que entender la concepción geométrica del mismo, y es que cuando, por ejemplo, le aplicamos una acción vertical, dadas las luces relativamente cortas, este esfuerzo se transmite rápidamente a los laterales, y los tirantes, únicamente han de soportar el esfuerzo vinculado a la excentricidad relativa de los dos paramentos laterales. Sin embargo, si aplicamos una carga horizontal, el prototipo pasa a trabajar como un voladizo, y el camino de las cargas es mayor, ya que de por sí las cargas no se transmiten directamente, sino que trabajan dos tirantes paralelos de los seis de la cara reforzada, y un tercer tirante vertical para equilibrar la diferencia de tensión que existe entre estos dos tirantes y estabilizar la estructura, por lo que, en resumen, la carga tiene que pasar al menos por dos tirantes y sus respectivas caras trabajando a compresión, lo que lo hacen por una parte mucho más complejo, y al trabajar el sistema como un voladizo los esfuerzos son mayores. Todo ello unido a una carga por viento mucho mayor a la de nieve hace que definitivamente sea la carga más desfavorable.

Para el cálculo de la carga de viento la vamos a resolver a partir de la ecuación de Ensewiler [7]. Esta ecuación supone la aplicación de una fuerza continua de viento sobre una superficie plana adimensional, por lo que en parte se trata de una simplificación obtenida de forma empírica y que no es exacta, pero nos garantiza quedarnos por el lado de la seguridad. Se ha empleado el software Wolfram Mathematica⁸ para su trazado.

⁸ Wolfram Mathematica 10.2.0.0; Wolfram Research, Inc.

Fig. 1 - Solución de la ecuación empírica Velocidad-Presión



La ecuación en si es la siguiente, pero en ella si bien si que se entra en millas por hora, la presión nos la da en libras por pie cuadrado.

$$P = 0.00256 V^2$$

Lo siguiente es determinar la velocidad del viento de cálculo delo prototipo. Para ello, nos basaremos en una tabla de valores que ha elaborado por M. Mesuhlman, de la consultoría Chicago Wind Expert, en su caso para la resistencia de fachadas.

-Test de Aire y Agua: 0-75MPH

-Test de Diseño Estructural: 85-155MPH

-Test de Sobrecarga Estructural por viento: 105-200MPH

-Huracán Categoría 2: 110-130MPH

-Huracán Categoría 3: 130-150MPH

-Huracán Categoría 4: 150-160MPH

-Huracán Categoría 5: 160+ MPH

Para viento, vamos a exigir que la estructura pueda estar preparada para soportar huracanes de categoría 5 según la escala de Saffir-Simpson (la categoría 5 es para aquellos huracanes que superen la categoría 4 y se consideran catastróficos, entendiéndose que el viento supera los 250

kilómetros por hora (160MPH), produciendo la destrucción de algunos edificios, inundaciones en planta baja e implica la evacuación masiva de las áreas residenciales).

Ello nos lleva a que el refugio disponga de anclajes a suelo desacoplables en caso de emergencia mediante mecanismo rápido, sobre todo para casos de inundaciones.

Para considerar además el caso más desfavorable de los test de sobrecarga estructural, debemos considerar la velocidad de viento a nivel de suelo (media sobre el refugio) de 200 mph (322 kph; 85m/s). Ello implica una presión del viento de 105 libras por pié cuadrado (psf), que implican 5.027 kilopascales, o lo que es lo mismo, **5 kN/m²**, que corresponde con la gráfica dibujada anteriormente.

El record de velocidad medida está en 253 mph o lo que es lo mismo, 407 kph (Australia's Bureau of Meteorology; Ciclón Olivia, Australia 1996); sin embargo consideramos que se trata de una velocidad récord medida en la parte más desfavorable de un ciclón de dimensiones considerables y que sería improbable que dicha condición se repitiese. [8]

2.1.4 Impacto

Para el análisis de impacto, se elige como referencia la normativa americana ICC500 [9], ya que en ella se detalla el caso de impactos de objetos producido por tormentas, en colaboración con la NSSA – National Storm Shelter Association.

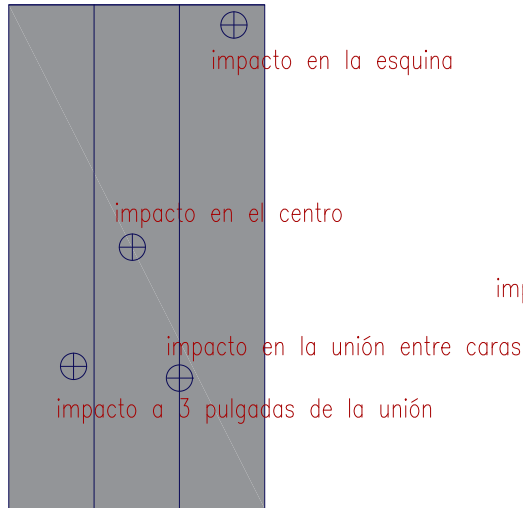
En la sección 305 de dicha norma - Debris Hazard – se establece la diferencia entre tornado y huracán. Si bien ambos consideran el mismo factor de velocidad para el impacto de un objeto, el peso de dicho objeto a considerar varía siendo de 9 libras para el caso del huracán, mientras que para el tornado se establece en 15 libras, 6,8Kg para el caso que nos ocupa por ser este el más desfavorable. Por otra parte, se indica que debe considerarse un impacto a 0.4 veces la velocidad de cálculo del viento para superficies verticales, y de 0.1 veces para superficies horizontales. Las superficies con menos de 30 grados respecto a la horizontal se considerarán horizontales.

En cualquier caso, según especifica la normativa, los parámetros se adecúan a test que se deben de realizar de forma empírica según el siguiente esquema, y con las tolerancias establecidas en el apartado 804 de la ICC500 – Missile Impact Testing.

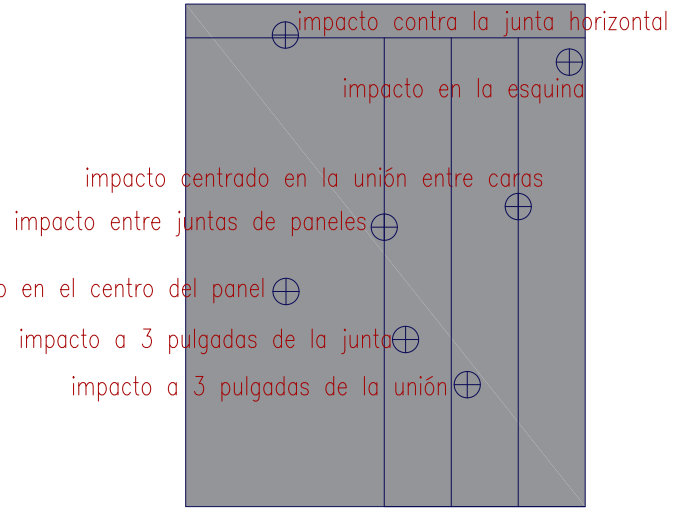
Se establece que no es necesario someter a un mismo panel a más de tres impactos, salvo que el propio diseño o las indicaciones del laboratorio lo establezcan.

Fig. 2 - Zonas de impacto para el ensayo según ICC500

PANELES CONTINUOS



PANELES CON JUNTAS



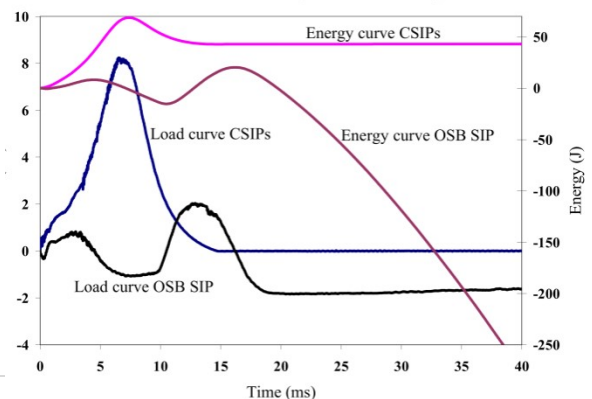
Sin embargo, dado que el objeto de este proyecto es el diseño y no el análisis empírico, nos remitimos al artículo "THERMOPLASTIC COMPOSITE STRUCTURAL INSULATED PANELS (CSIPS) FOR BUILDING CONSTRUCTION; S.T. Smith"[10]. En este artículo se analizan empíricamente paneles con estructura composite frente a los que son tradicionales en América de madera. En el estudio se realizan dos análisis, uno con impacto a alta velocidad y otro con impacto a baja velocidad.

Análisis a baja velocidad (LVI)

Este análisis supone un ensayo a baja velocidad considerando la caída de un elemento desde una altura para una determinada energía. En este caso la energía que se consideró fueron 68 Julios. La finalidad es determinar la capacidad de absorber y disipar la energía de impacto determinada.

Como se puede observar en la Fig. 3, el principal problema de los paneles tradicionales de madera, es la incapacidad para soportar la energía del impacto con el tiempo, lo que lleva a la rotura del panel y por tanto resulta incapaz de absorber este impacto. Por el contrario, el panel de composite, al ser capaz de disipar dicha energía y transformarla en movimiento conjunto de la placa, esta

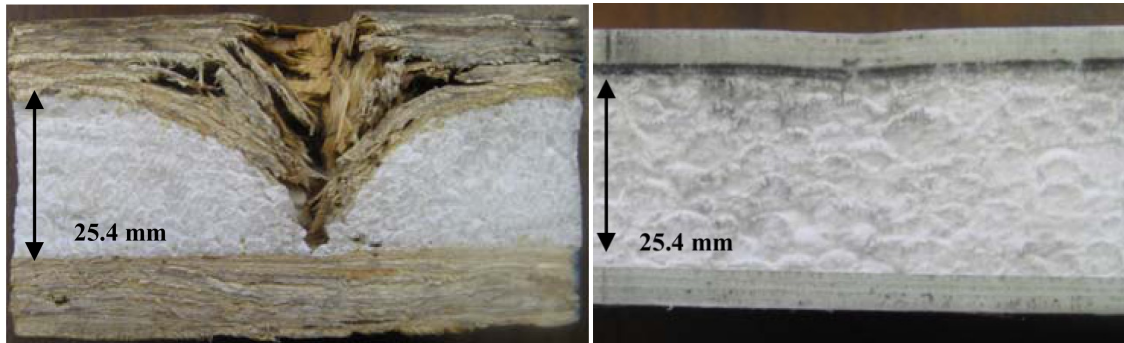
Fig. 3 - Representación Carga-Energía



energía no se concentra en un punto sino que se reparte uniformemente al ser un material homogéneo.

Por eso no hay puntos de menor capacidad de disipar energía por los que pueda fallar, y eso implica que la resistencia a ser atravesado por un objeto es mucho mayor.

Fig. 4 - Muestra tras los impactos a baja velocidad

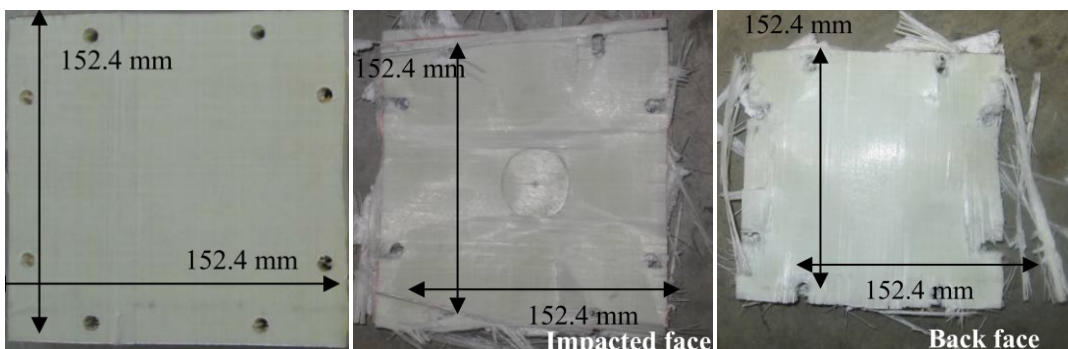


Como puede observarse en la Fig. 4, tras los impactos a baja velocidad, el panel de madera prácticamente ha colapsado mientras que el de composite queda exclusivamente una deformación plástica.

Análisis a alta velocidad (HVI)

Para este caso, se simuló el impacto que produciría el mismo objeto equivalente del LVI 6'15Kg; estos se toman según la normativa australiana en vez de los 6'8Kg que establecía la americana ICC500, a una velocidad de 100 MPH, lo que supone que el análisis se está haciendo para una velocidad del aire libre de 250MPH, en carga vertical, tal y como indica la ICC500, pero en su versión australiana, ya que esta también cuenta con los mismos factores. Para este análisis, dado que la energía a disipar será de 1300J, muy lejos de los 68 a los que ya se había producido la rotura de los paneles de madera, se va a descartar realizar con ellos el análisis por lo que únicamente se analizarán los paneles de composite.

Fig. 5 - Muestra tras los impactos a alta velocidad



Tras el ensayo de impacto, como se puede observar con el objeto lanzado a 100mph (44,7m/s), el objeto no ha conseguido traspasar el panel, si bien

es cierto que ha producido una intensa deformación y el panel de la cara impactada se han desgarrado las fibras al intentar disipar parte de la energía del proyectil. También se puede observar que se han desgarrado las fibras en las sujeciones lo cual implica que las fibras han estado trabajando a tracción durante el impacto. Si bien el laboratorio concluye que el panel es capaz de resistir el impacto satisfactoriamente, el hecho de haber usado un panel de unos 150 mm que haya trabajado a tracción no significa desde un punto objetivo que los resultados sean concluyentes, ya que en una superficie mayor y sin estar restringida a desplazamiento como es el prototipo objeto de este trabajo, puede que los resultados no hubieran sido tan satisfactorios.

Si nos remitimos por otra parte al estudio "PERFORMANCE OF STRUCTURAL INSULATED PANELS WITH RIGID SKINS SUBJECTED TO WINDBORNE DEBRIS IMPACTS - Wensu Chen, Hong Hao"[11], en el cual se emplean paneles con una de las capas externas de madera OSB, un composite con mucha carga de virutas y de 6mm de espesor, y la otra cara de 0.4mm de acero, con una capa intermedia, al igual que en el ensayo anterior de 250mm de poliestireno expandido.

En este caso, se ha disparado el mismo proyectil establecido en la normativa australiana (6'15Kg), a distintas velocidades debido a que el cañón de aire no estaba normalizado, pero sí que se han empleado instrumentos de precisión para medir su velocidad.

Fig. 6 - Análisis de las muestras tras el impacto

Espécimen	Impacto	Velocidad	Piel frontal	Piel reverso	Resultado
1OSB1	Centrado	17	0.4mm Acero	6mm Madera	Atravesado 68cm
1OSB2	Centrado	15	0.4mm Acero	6mm Madera	Atravesado 12.5cm
1OSB3	Centrado	17	6mm Madera	0.4mm Acero	Atravesado 14cm
1OSB4	Centrado	17	0.4mm Acero	6mm Madera	Rechazo
1OSB5	Esquina	17	0.4mm Acero	6mm Madera	Atravesado 24cm

Como puede observarse, aquellos paneles que incorporan la capa de 0'4mm de metal sufren rotura de los mismos a una velocidad de unos 17m/s. La velocidad objetivo para que cumplan los requisitos de la normativa deberían de ser 44m/s. Todos estos valores nos permiten hacernos una idea de hasta qué punto supone la consideración de la normativa, y ayuda para futuros diseños o materiales.

2.2 Leap S1

El LEAP [S1] se trata de un refugio alpino pensado fundamentalmente para un uso semiprivado, generalmente organizaciones o mantenido por estas, con un cierto carácter de refugio equipado con lo necesario para pasar incluso una estancia prolongada con bastante confort. [2]

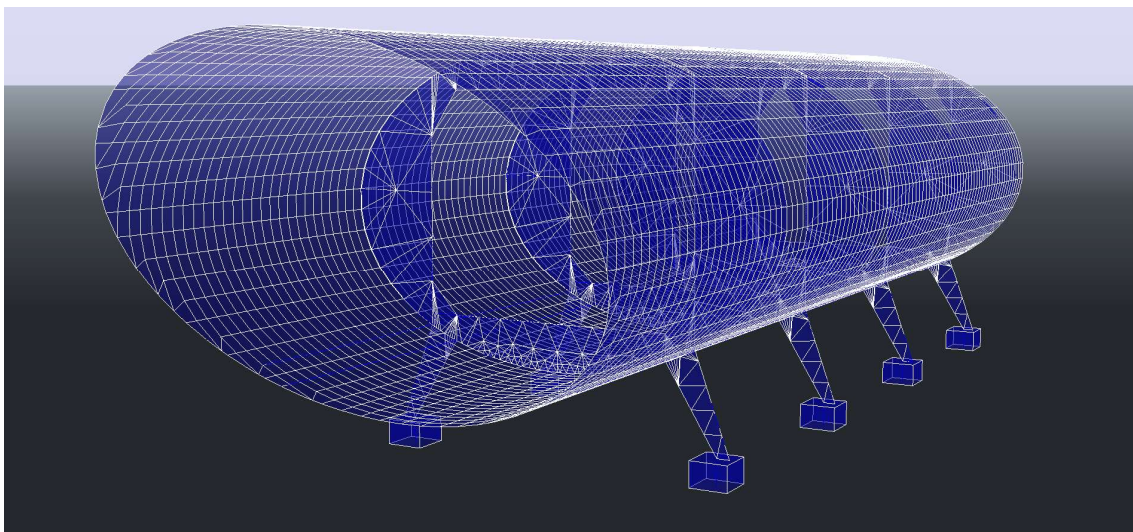
Fig. 7 - Localización alpina y agregación de módulos



2.2.1 Análisis estructural Leap S1

Este refugio, pensado más como una “vivienda” de montaña a la que se le puede obtener un rendimiento económico, permite establecer un primer punto de partida en el que basarnos y observar el comportamiento para posteriormente realizar nuestras conclusiones y optimizar al máximo nuestro prototipo. Para ello, se ha modelado como elementos finitos a partir del software *Architrave*⁹, y se le han aplicado las mismas cargas que con las que evaluamos el prototipo. Dichas cargas se encuentran referidas en el apartado 2.1-*Cargas consideradas en el cálculo del refugio*

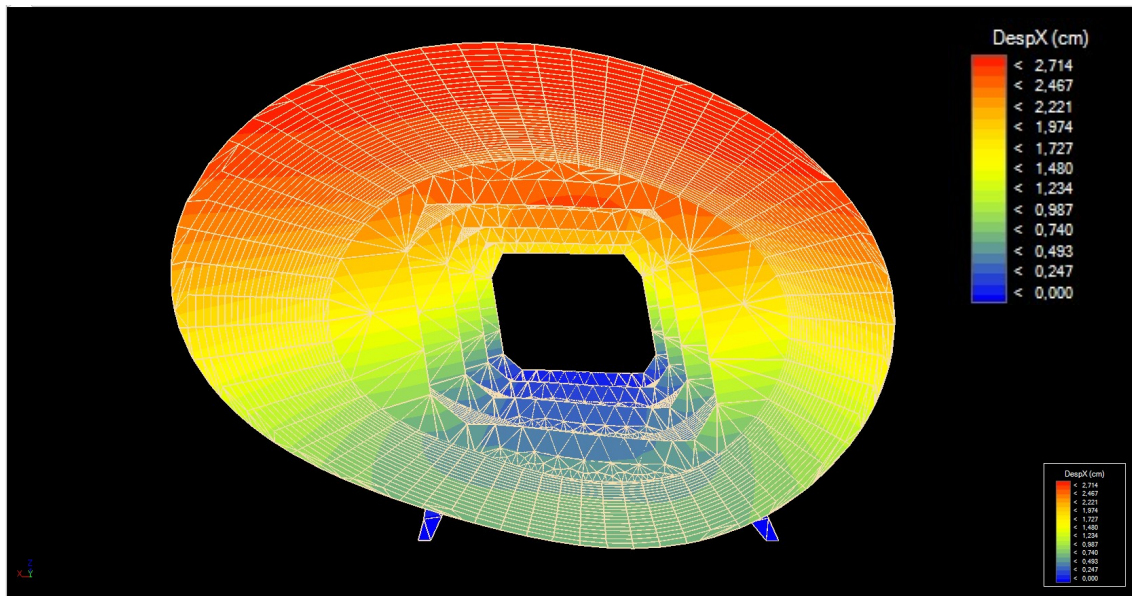
Fig. 8 - Modelo por elementos finitos del refugio alpino LEAP S1



⁹ Architrave® 2014 v1.0; Universidad Politécnica de Valencia

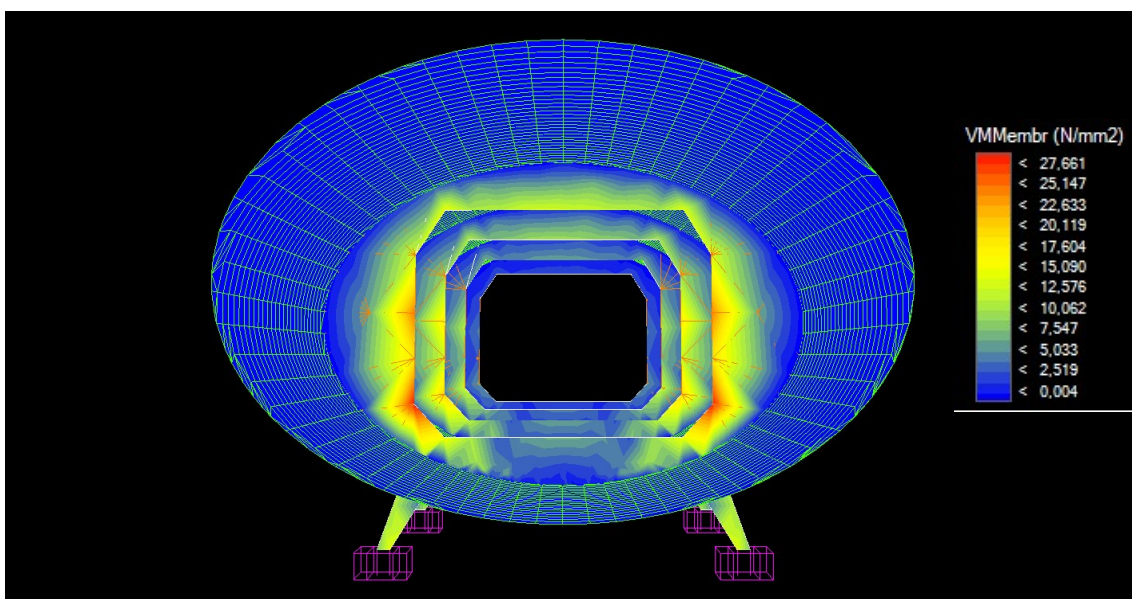
Como se puede observar, se han incluido unas pantallas de refuerzo internas dado que los desplazamientos sin tenerlas en cuenta y considerando los mismos materiales que los de nuestro prototipo, llevaban al colapso de la estructura (rotaba y se plegaba al aplicarle la carga horizontal).

Fig. 9 - Deformaciones frente a la carga de 5kN de viento aplicada lateralmente al LEAP S1



Las tensiones en membrana existentes, que comprobamos para observar que no se produce fallo elástico, son las existentes en la siguiente figura.

Fig. 10 - Tensiones principales de membrana frente a la carga de 5kN de viento aplicada lateralmente al modelo LEAP S1



Dado que en el modelo S1 las secciones de unión reducen el paso, se ha considerado que en esas secciones se incluyen en el modelo unas pantallas de refuerzo con lo que los resultados son admisibles. Esto nos lleva a

considerar que si bien los desplazamientos respecto a las cargas aplicadas eran muy reducidos, ello era a cambio de una rigidez inadmisibles para la configuración con la que estamos trabajando. Por eso, en el diseño del prototipo, es muy importante considerar cierta flexibilidad del modelo a cambio de reducir esfuerzos, lo que será así mismo de mucha utilidad a la hora de absorber cualquier esfuerzo de naturaleza dinámica, ya que dicha deformación se traducirá en una disipación de la energía, y por tanto unos esfuerzos mucho menores. Ello se puede observar simplemente aplicando la ecuación de la fuerza: $F=m*a$, donde la aceleración se determina como $a=\Delta v/t$, y el tiempo depende a su vez de la distancia que se recorre para pasar de la velocidad de impacto a 0m/s. Al incrementarse la distancia se reduce la aceleración y por tanto la fuerza aplicada sobre el modelo.

2.3 NYC Emergency Housing Prototype

El refugio NYC Emergency Housing Prototype ha sido dimensionado para ser transportado, ya que al no ser plegable sino totalmente prefabricado y montado en taller, tiene que ocupar un volumen máximo de los medios de transporte. Por eso, son importantes las dimensiones con las que se proyecta, ya que aunque el prototipo será plegable, es importante que las dimensiones máximas cumplan con los transportes habituales tanto terrestres como marinos o aéreos. Esto se encuentra reflejado en el apartado *4.2-Dimensiones*.



10

Además, si observamos la construcción de este modelo, se introduce el aislamiento en el mismo plano estructural para reducir al máximo las pérdidas de espacio, junto con las triangulaciones para mantener los planos rígidos en las dos direcciones de estos. Este modelo no lo vamos a analizar estructuralmente, aunque trabaja de tal forma que el techo y el suelo se

¹⁰ Izquierda: agregación de varios modelos NYC Emergency Housing Prototype. Derecha: ensamblaje del propio modelo en fábrica.

comportan como dos planos indeformables, transmitiendo los esfuerzos a los cerramientos laterales dos a dos. Considerar la rigidez tanto del techo como del suelo en su plano es muy importante si el modelo lo admite, ya que ayuda a transmitir esfuerzos a puntos estratégicos sin necesidad de una estructura continua. [12]

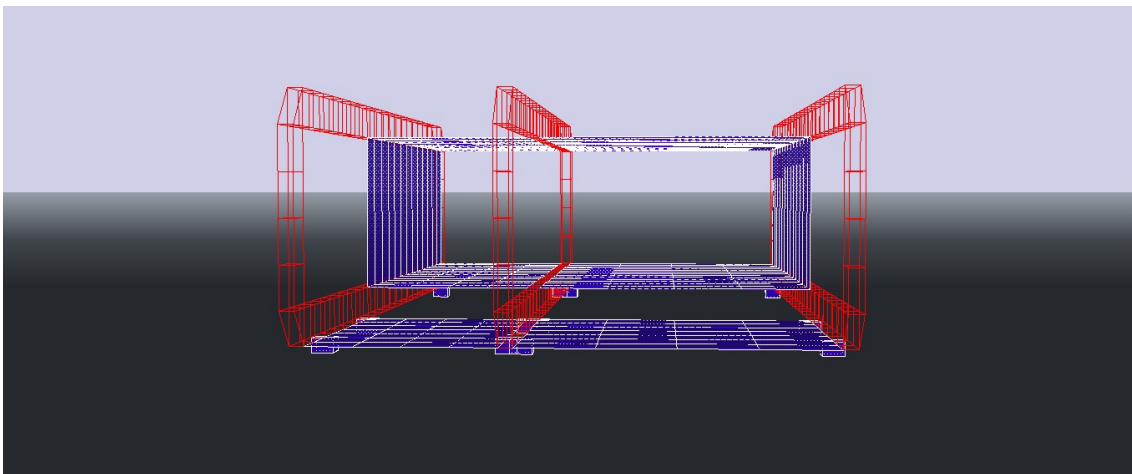
2.4 NOEM - El Refugi

Este tipo de vivienda, lo consideramos en el estudio por prefabricarse parcialmente para acabar de montarse in situ. En este caso se emplea una estructura independiente de los paramentos.



El problema de este tipo de construcción es que funciona por planos paralelos, con lo que observamos que la resistencia a cargas verticales es muy alta con respecto al coste de la construcción, pero sin embargo la resistencia a esfuerzos laterales es prácticamente nula si no se arriostra con ningún elemento, lo que hace que descartemos por completo esta forma "unidireccional" de trabajar de la estructura, que si bien simplifica y abarata mucho los costes, a cambio no obtenemos unas prestaciones suficientes como para considerar que podemos emplear este modelo para el prototipo que se pretende diseñar. [13]

Fig. 11 - Modelado a partir de barras y elementos finitos del modelo



¹¹ Imagen del modelo El Refugi, una vez instalado.

3. Conclusiones del estudio de referentes

Patentes analizadas: las patentes tienen la ventaja de que hay un interés comercial fuerte detrás de ellas, lo que implica que el proyecto tiene cierta predisposición a su producción en masa. Existen elementos que se repiten comúnmente en ellas como es la utilización de la mínima variedad posible de materiales y técnicas, lo que abarata mucho su coste y producción, además que frecuentemente simplifica el mantenimiento y reduce incompatibilidades. Por otra parte hay que considerar la modularidad, lo que como en el caso anterior, simplifica la producción, y además su montaje. Las patentes también tienen en común el empleo de elementos que realizan distintas funciones o se integran entre sí, con la finalidad de ahorrar al máximo el espacio.

Conclusiones acerca de los referentes analizados:

S1: se pueden establecer distintas secciones, trabajando como una sucesión de planos aproximándose a la forma cilíndrica pero incluyendo pantallas de refuerzo. Modularidad y prefabricación junto con el uso de paneles estructurales multicapa para minimizar las pérdidas energéticas.

NYC Emergency Housing Prototype: El plano del techo y el suelo pueden servir para la transmisión de esfuerzos. Además, la estructura se puede incorporar en el mismo plano que el aislamiento térmico.

El Refugi: Las secciones con marcos permiten trabajar muy bien en ese plano, si bien no contra esfuerzos perpendiculares a los mismos.

Como resultado del análisis se propone un modelo de refugio de caja a base de piezas rígidas, que se pliega o reduce su volumen para el transporte, en material económico y ligero, fácilmente reciclable, pero que pueda flotar, y cuyo montaje y desmontaje sea sencillo, recurriendo para ello a modelos similares a los obtenidos en estructuras como los Tensegrity o la papiroflexia. Se pretende poder hacer uso en cualquier zona tanto climática como orográfica, habiendo para ello podido movilizar transporte aéreo, recurrir a transporte marítimo o terrestre motorizado, o por el contrario pueda ser transportado manualmente. Y dado que está previsto que se utilice tanto como espacio o volumen de protección personal/familiar, como de almacenamiento, quirófano, consulta, laboratorio, cocina, etc. este no se ha previsto que esté equipado, entendiéndose que este equipamiento será objeto de transporte diferenciado.

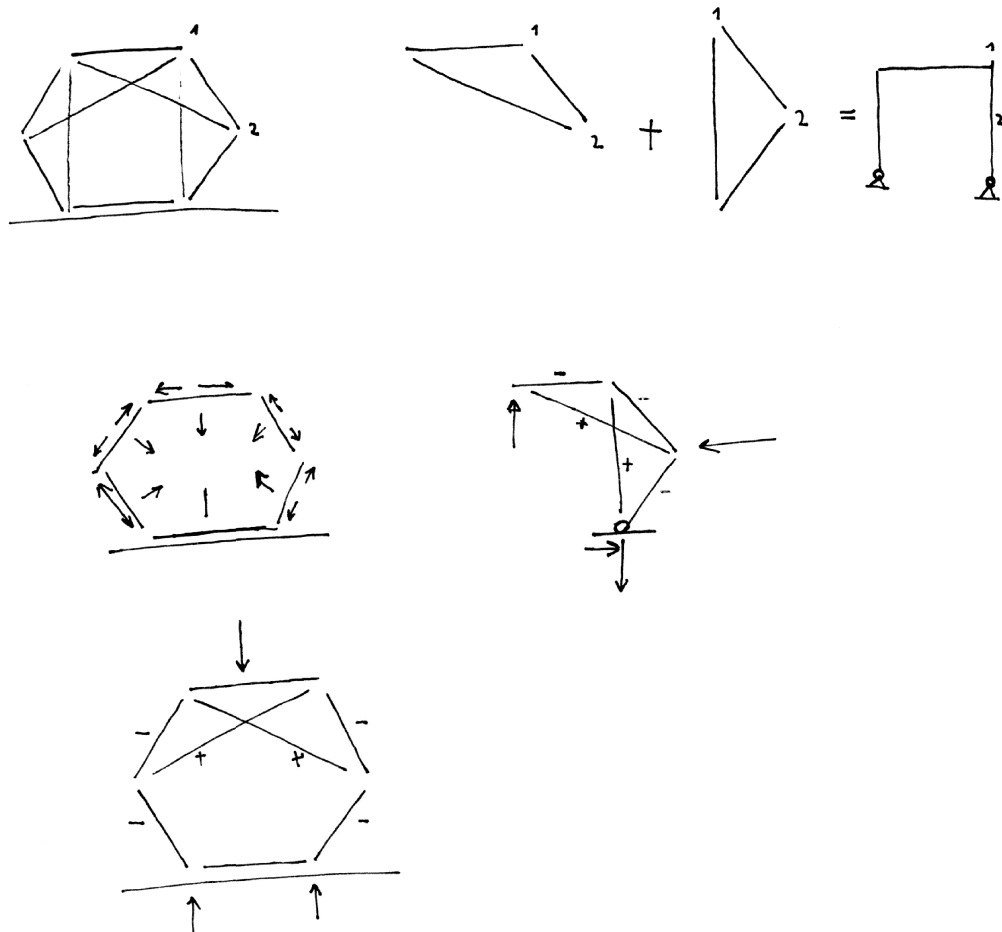
4. Propuesta de prototipo

4.1 Aproximación y diseño de la geometría

Para el diseño del prototipo, resulta indiscutible establecer a priori una forma de trabajar la estructura, porque esta condicionará la geometría del modelo.

Con la finalidad de un funcionamiento coherente de la estructura, establecemos que las secciones trabajen a compresión o a tracción, sin contar con las acciones externas, de forma que de por sí, la estructura, no tenga esfuerzos impuestos por sí misma, como sucedía en el S1.

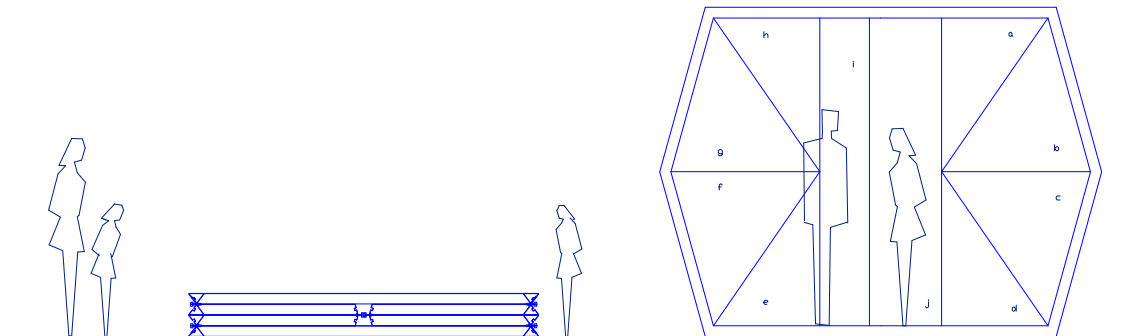
Fig. 12 - Primeros esquemas del funcionamiento de la estructura. Piezas traccionadas y comprimidas



Para optimizar el espacio buscamos que la estructura se encuentre en el mismo plano que el aislamiento térmico, por lo que optamos por la opción de trabajar con paneles estructurales multicapa. De esa forma nos encontramos con que la estructura es aislamiento y piel a su vez. Ello nos dará numerosas ventajas como veremos a lo largo del proyecto.

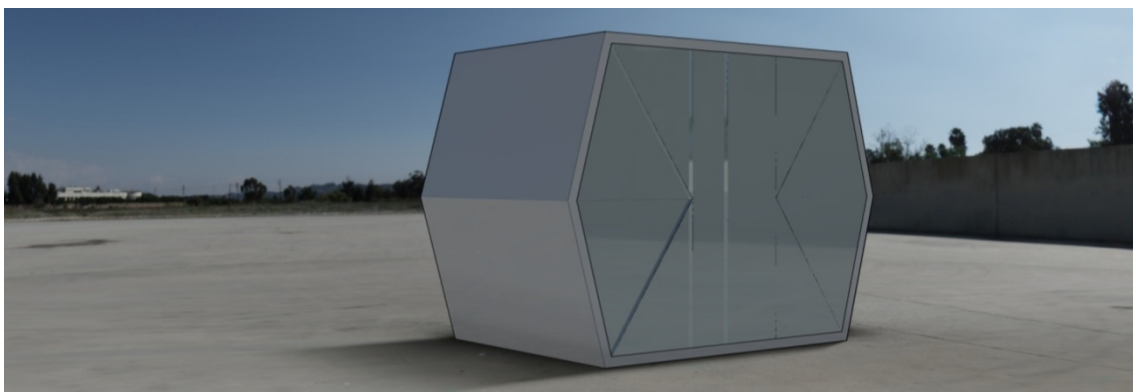
Además, para que sea plegable contamos con que se dividirá en varias superficies planas dado que las curvas encarecen mucho la producción y la ventaja que posee un cilindro frente a un prisma rectangular es el mayor volumen contenido interior frente a la superficie exterior, lo que en principio resulta muy interesante por reducir la superficie expuesta a diversos factores, entre otros las pérdidas o ganancias térmicas. También la condición indispensable es que el refugio sea transportable, por eso, la forma debe permitir ocupar el mínimo espacio cuando esté transportándose.

Fig. 13 - Propuesta y despiece de paneles frontales.



Por todo ello, establecemos que un prisma hexagonal tiene una forma óptima para cumplir con las características anteriormente descritas, ya que se aproxima a un prisma cilíndrico al reducir la superficie de piel con respecto a su volumen interior, además es barato y sencillo de construir, y a su vez es plegable. Por otra parte, un prisma hexagonal hueco podemos rigidizarlo mucho con tirantes que hagan la forma estable de por sí, mucho más que un prisma rectangular al conseguir una triangulación interna, y con respecto a la compacidad en su transporte, si se dimensiona ya no como un hexágono sino haciendo que sus cuatro lados cortos midan cada uno la mitad que los largos.

Fig. 14 - Propuesta, imagen del modelo.



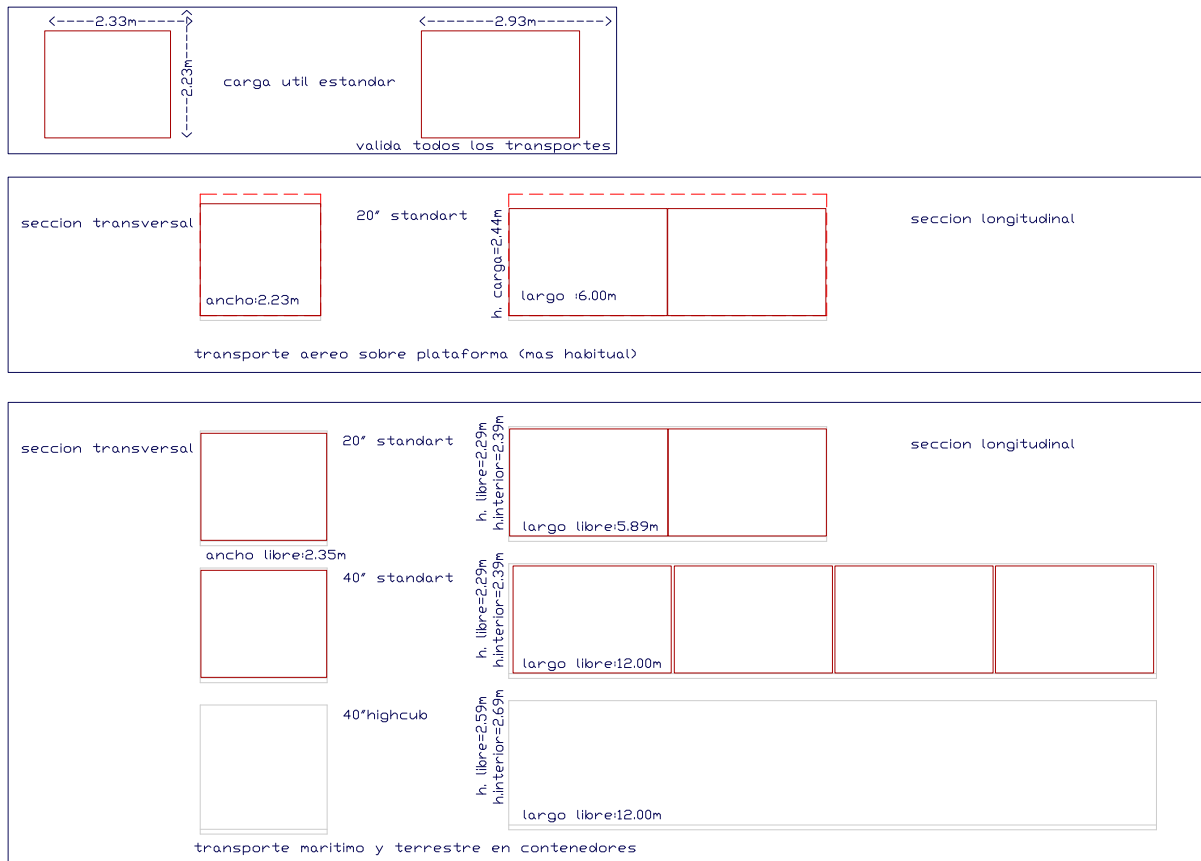
Así, plegándolos hacia el interior con un eje de rotación desfasado, conseguimos que se quede todo en un volumen compacto, sin desperdiciar un centímetro cúbico de aire.

4.2 Dimensiones

Las dimensiones del refugio, tal y como hemos aprendido en el análisis del NYC Emergency Housing Prototype, deberán ser tales que se puedan incorporar a un contenedor marino-terrestre y aéreo sin dificultad. Para considerar el espesor establecemos que el panel estructural multicapa es de 100mm, unas dimensiones que sin ser tan grandes como el panel de 150mm permiten un aislamiento considerable.

Las dimensiones más habituales de contenedores, y aquella que consideramos óptima son las siguientes:

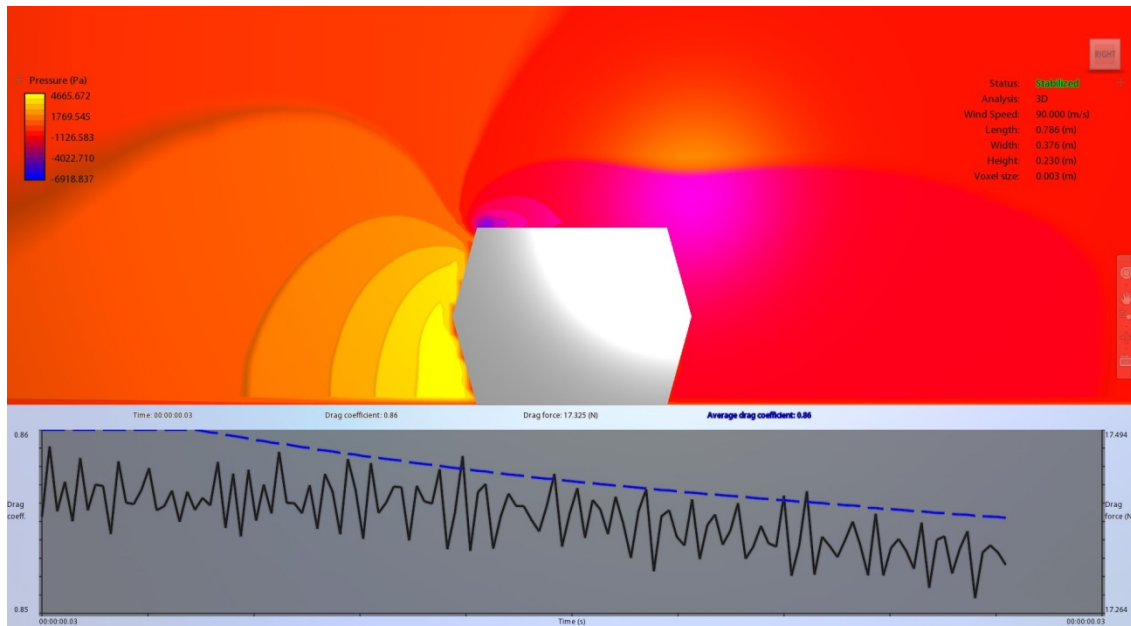
Fig. 15 - Dimensiones según los contenedores de transporte tipo comercialmente más empleados.



4.3 Cálculo de la carga de viento específica para el modelo diseñado

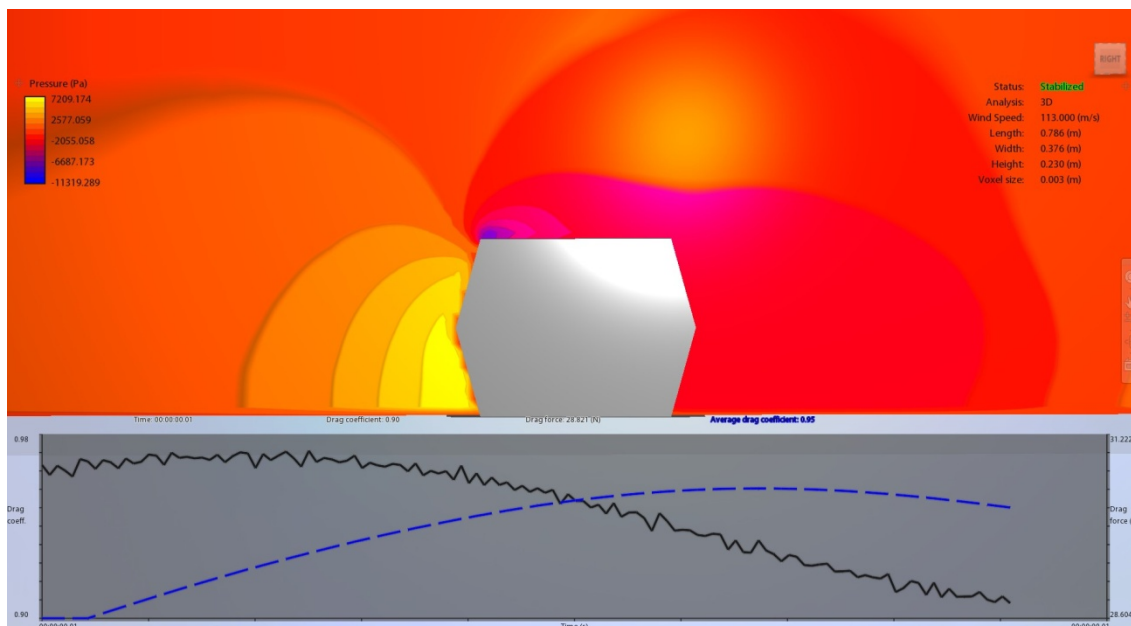
Además, se puede comprobar de forma más exacta mediante programas de Mecánica de Fluidos Computacional (CFD). En este caso hemos empleado el software Autodesk Flow Design, obteniendo resultados muy similares, ya que nos da una fuerza de arrastre de 17.325 kN, y dado que el lateral tiene 6m² expuestos, supondría una fuerza de unos 3kN/m².

Fig. 16 - Presión del aire para 200MPH (90m/s) obtenida con el software Autodesk Flow Design

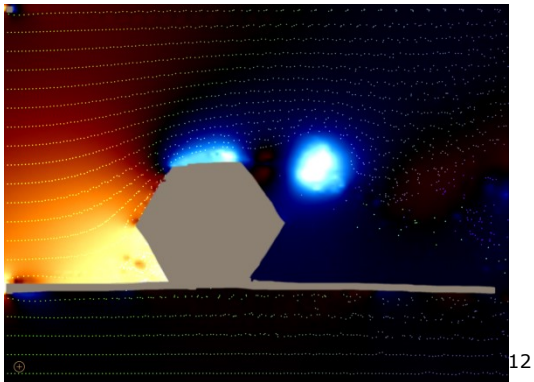


En el caso de haber tomado la velocidad récord de 253 Mph, supondría una carga de arrastre de 28.821 kN/m², lo que supone una carga de 4.8kN/m².

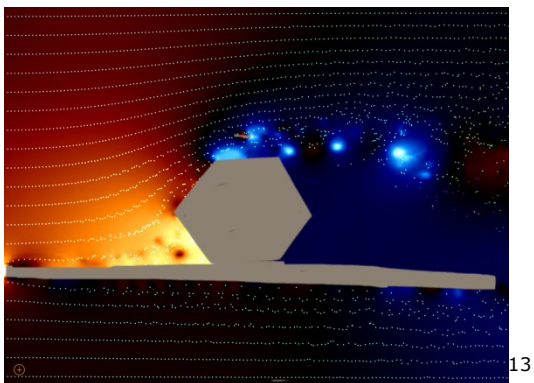
Fig. 17 - Presión del aire para 250MPH (113m/s) obtenida con el software Autodesk Flow Design



En cualquier caso, esta diferencia se debe fundamentalmente a que el cálculo según la ecuación de Enswiler responde a un cálculo bidimensional mientras que mediante el Flow Design se ha realizado un cálculo tridimensional, que en principio es más preciso y suele producir valores inferiores, dado que las partículas de aire tienen muchos más caminos por los que desplazarse, y siempre se van a ir por aquellos que resultan más "fáciles", o lo que es lo mismo, por los que supone una pérdida de energía inferior. De todas formas se van a emplear los 5kN/m^2 que nos daba la ecuación, ya que de esta forma también cumplimos con la velocidad máxima registrada de viento en cálculo tridimensional. Por otra parte, existen mecanismos que pueden reducir en parte las cargas de viento que recibe la estructura. Para analizarlas, usaremos la aplicación para iOS "Free Wind Tunnel", que no proporciona resultados numéricos pero si proporciones entre presiones.



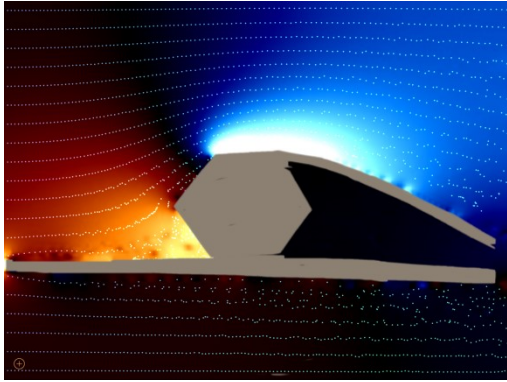
El primer caso, es incorporar un ala en el vértice del elemento. De esta forma, se suprimen los vórtices que se producen volviendo a establecer un régimen laminar en la superficie.



El segundo, suponer que se incorpora una lona desde el último vértice para eliminar las turbulencias en la parte de sotavento. De esta forma se evita el arrastre adicional que producen dichas turbulencias.

¹² Formación de vórtices en las aristas desprotegidas. Free Wind Tunnel para iOS

¹³ Formación de vórtices reducidos debidos a la incorporación de un ala en las aristas superiores. Free Wind Tunnel para iOS



Como puede observarse, el método que más reduce las turbulencias es el de la lona. Sin embargo, produce un enorme efecto ala de avión, lo que produce una succión muy importante que puede llegar a levantar el refugio, por lo que este caso es interesante solo en casos extremos de viento y si se dispone de un terreno que permita anclar con seguridad el refugio, ya que de lo contrario sería mayor el riesgo de elevación que el del empuje horizontal.

Por ello, la recomendación es establecer un ala en el vértice si se dispone de datos exactos de las características meteorológicas ni del terreno, o en su defecto, no disponer nada si las condiciones de espacio en el transporte y facilidad constructiva imperan, ya que la diferencia no es tan grande e igualmente se deberá anclar al suelo.

4.4.1 Materiales-Paneles de acero

Dado que existen numerosas alternativas en el mercado de paneles, vamos a analizar fundamentalmente tres casos, los paneles de acero, los de composite y los de aluminio. Los de madera y derivado se descartan por su elevado peso en relación con sus propiedades.

El acero tiene la ventaja de que es un material conocido por la humanidad desde hace mucho tiempo, lo que supone que en la actualidad es relativamente económico, fácil de conseguir y con unas propiedades mecánicas considerables, pero a cambio posee una densidad muy elevada.

4.4.2 Materiales-Paneles de composite

Los paneles de composite tienen la ventaja de tener fibras, lo que además de las ventajas que comportan de ligereza y resistencia, supone que frente a un impacto no se produce un efecto de desgarre en cadena como sucede con el acero al producirse una concentración de tensiones que rompe linealmente la chapa, sino que se deforman las fibras hasta el máximo de rotura, en el que se rompen esas fibras pero no las contiguas, con lo que se

¹⁴ Restablecimiento del régimen laminar al incorporar una lona en prolongación del plano superior. Free Wind Tunnel para iOS

disipa energía de forma mucho más eficaz. Tienen el inconveniente de ser un material relativamente nuevo con un coste de producción considerable, ya que normalmente los paneles con mejores prestaciones se tienen que consolidar en autoclaves a baja presión para extraer el aire entre las fibras y que la resina pueda llegar a todas ellas. Existen adhesivos especiales como Sika Tack Panel, que permiten su unión mecánica con propiedades estructurales muy buenas y de forma industrial. El composite es un material que se usa frecuentemente en la industria de la biomecánica.

4.4.3 Materiales-Paneles de aluminio

El aluminio tiene un gran inconveniente, y es su toxicidad a la hora de extraerlo de la naturaleza de la bauxita, ya que no se encuentra en estado natural de forma pura. Sin embargo, una vez extraído es un metal absolutamente reciclable, que además cuenta con propiedades como una nada despreciable resistencia mecánica, además de ser un metal extremadamente ligero, muy cerca del peso del composite. Además, su óxido es pasivizante, lo que evita que se oxide. Su mecanización es relativamente fácil y existe soldadura específica para el aluminio.

4.5.1 Habitabilidad-Inundación

Para el análisis del riesgo de inundación se toma también como referencia la normativa americana ICC500, artículo 401 en el que se establecen los límites mínimos de protección frente a la inundación.

El inconveniente de las disposiciones que se establecen, es que hacen referencia al nivel más alto del que se tiene constancia en el área, sobre el que hay que sumar una altura de dos pies (610mm) a el acceso probable del agua al refugio, o sumarla a la máxima altura de inundación que produciría en dicha zona un huracán de categoría 5.

En nuestro caso, al ser un refugio transportable, no se puede determinar una inundación en una zona, ya que estos valores dependen de la topografía, y si alguien tiene la mala fortuna de decidir instalar el refugio en un río, cualquiera de los cálculos de inundación sería insuficiente. Además, la normativa americana está enfocada sobre los refugios permanentes que suelen instalarse anexos o en el interior de las casas, los cuales tienen frecuentemente una boca sobreelevada para evitar estos fenómenos de inundación y evitar quedar atrapados bajo los sedimentos arrastrados.

Sin embargo, resulta mucho más útil dadas las características del prototipo, no intentar esforzarse en luchar contra los problemas sino evitarlos. Por eso que con los materiales que se ha realizado el prototipo, es mucho más útil permitir que flote antes que restringirlo a una elevación dada, lo encarecería mucho su fabricación y no aportaría ventaja alguna. Por ello, para que

trabaje de esta forma se deben de observar que cumpla los criterios de flotabilidad, estabilidad, y amarre al suelo.

Para resolver el criterio de flotabilidad, buscaremos que la flotabilidad de el modelo, menos su peso propio, sea superior al peso del número de personas máximo en su interior.

Para ello, procedemos con las densidades y volúmenes de los materiales que componen el prototipo, que son las establecidas en la siguiente tabla:

Tabla 4 - Densidades de los materiales empleados

Material	Densidad - Kg/m ³	Volumen - m ²	Peso m ²
Poliuretano rígido inyectado	30	0.1	3.00Kg
Acero	7850	0.002	15.7Kg
Composite	1540	0.003 (1,5mm)	4.62Kg
Aluminio	2700	0.002	5.4Kg

Superficie total: 26.2m² (incluyendo laterales)

Peso total con acero: 489.94

Peso total con composite: 199.644Kg

Peso total con aluminio: 220.08Kg

Flotabilidad del panel inferior

Superficie: 6.53m²

Volumen: 0.653m²

Flotabilidad: $0.653 \times 1000 = 653\text{Kg}$

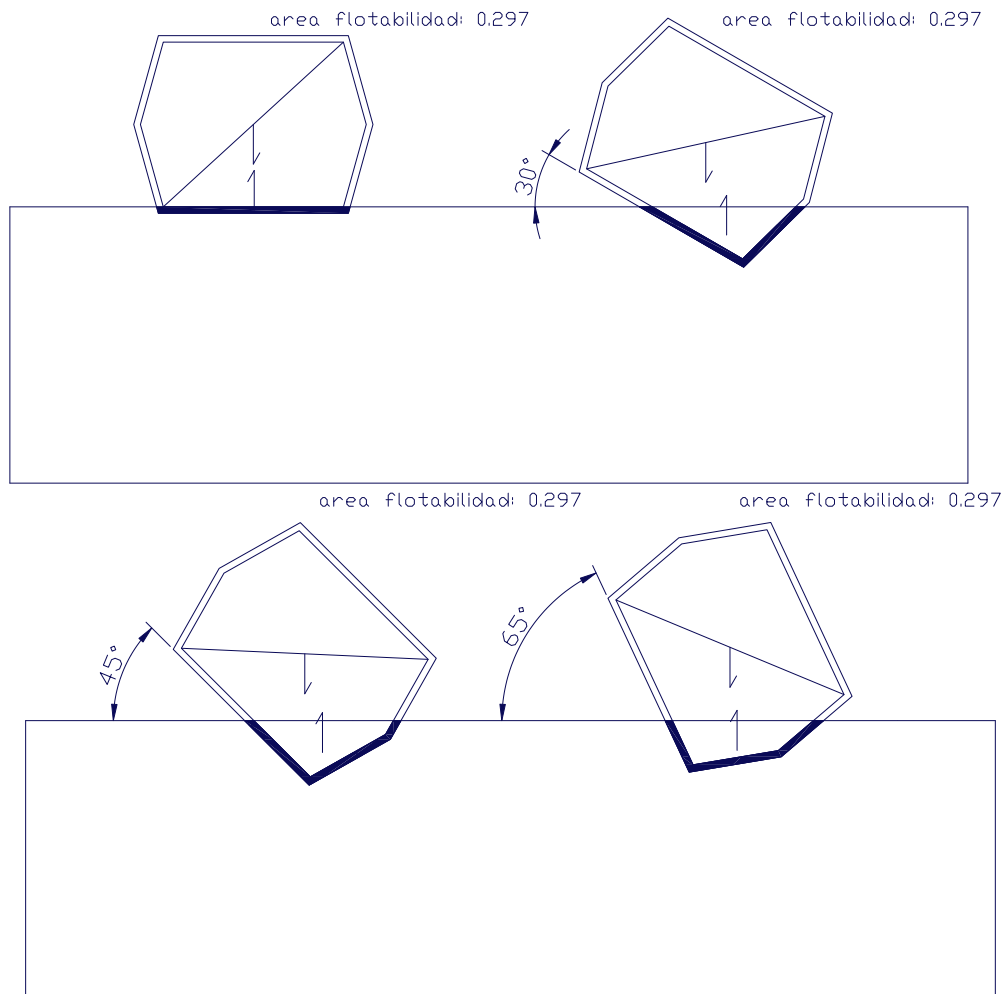
Por motivos de ligereza y resistencia plantean tres alternativas: el acero, el composite y el aluminio.

El acero tiene la ventaja de poderse manipular fácilmente, es barato y con unas propiedades mecánicas buenas. Sin embargo, su elevada densidad es un verdadero problema ya que casi 490Kg es un verdadero problema, tanto por la reducción de la flotabilidad que supone, como de su difícil transporte y manejabilidad.

Por ello, la flotabilidad del panel inferior es de 635Kg, si le descontamos los 200Kg que pesa el refugio, tenemos una capacidad total de 435Kg de flotabilidad, considerando el límite como aquel para el cual entraría agua a los pies del refugio. Consideramos que esta flotabilidad cumple de sobra con los requisitos que se le puede exigir. Según el criterio de diseño basándonos en la industria de los ascensores, supondría una capacidad para cinco personas más 60Kg en concepto de elementos auxiliares y equipaje.

La estabilidad al vuelco se determina por el momento que produce el vector de flotabilidad respecto al centro de gravedad. Cuando el centro de gravedad supera al vector de flotabilidad, se produce el vuelco. Dado que el proceso continuo para determinar la estabilidad depende de la forma, en vez de realizarlo a partir de gráficas continuas, lo realizaremos para comprobar la estabilidad frente a un ángulo de vuelco de 30° . Para ello, tenemos que comparar las áreas y el centro de gravedad del volumen.

Fig. 18 - Relación entre las componentes flotabilidad y centro de gravedad para los distintos ángulos de inclinación.



Como puede observarse en las figuras anteriores, el diseño del prototipo en sí mismo para la carga y condiciones de este análisis (carga máxima aplicada en la vertical del centro de gravedad), implica que al menos hasta 65° de inclinación tenga una estabilidad positiva, lo que significa que de por sí solo no va a ser posible su vuelco sin una acción externa que lo modifique hasta un nuevo estado. Sin embargo, con ángulos próximos a esos 65° , el par de estabilización se vuelve demasiado reducido, y puede llegar un punto en el que por encima de esa inclinación el prototipo no sea capaz de volver a su posición inicial por sí solo. A 90° esta estabilidad positiva se vuelve

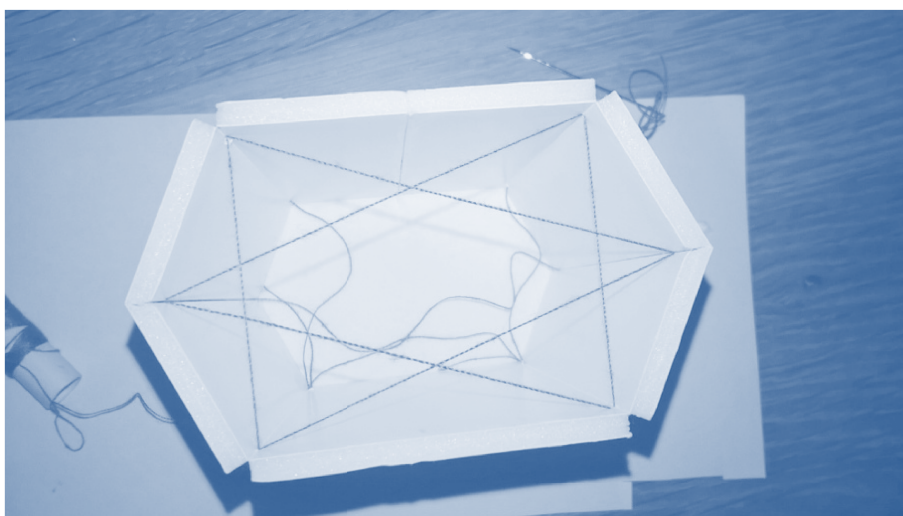
neutra, y más allá de estos 90° se vuelve negativa suponiendo un riesgo de vuelco.

La flotabilidad total de la célula supone 2420 Kg.

4.5.2 Habitabilidad-Salubridad

Nuevamente haciendo referencia a la normativa ICC500, dado que para condiciones de este prototipo es imposible pero tampoco apropiado cumplir el código técnico, nos remontamos a las especificaciones mínimas de estas para dotar el prototipo con las condiciones básicas para la habitabilidad humana.

Fig. 19 - Maqueta de trabajo.



Según el apartado 703 de la ICC500, los refugios para huracanes, deberán contar con las siguientes facilidades: ventilación natural y mecánica, sanitarios, suministro de agua, luz, energía y un equipo de primeros auxilios. Dicha ventilación la desarrollamos en el apartado siguiente, mientras que por otra parte, para los sanitarios se establece que para refugios para una y dos familias no se requieren facilidades sanitarias según la tabla 703.2; así mismo según la tabla 703.3 tampoco es necesario suministro de agua corriente.

Respecto al suministro energético, en los artículos 703.4; 703.5 y 703.6 se establece que no se requiere suministro energético para refugios de menos de 50 personas que no sean comunitarios, y que las luces de emergencia podrán ser sustituidas por iluminación personal disponible en el kit de emergencia con un mínimo de capacidad para dos pilas tipo "D" con bombilla incandescente, o iluminación con una capacidad equivalente y que debe de estar en un lugar visible e identificado, de fácil acceso. En nuestro caso lo incluiremos en la caja de supervivencia correctamente identificada de colores vistosos y con reflectantes.

4.5.3 Habitabilidad-Ventilación

Si bien la ICC500 hace referencia a la ventilación mecánica, establece que esta hace falta cuando la normativa de edificación así lo establezca. El problema es que tal y como sucede en los aviones y cualquier tipo de elemento crítico, cuantos más elementos mayor riesgo hay de que alguno de ellos falle, por lo que en el caso de este prototipo no creemos necesaria una ventilación mecánica a excepción de agregaciones de varios de estos elementos que puedan generar un complejo de grandes dimensiones.

Respecto a la ventilación natural, se exige un mínimo de 4 pulgadas cuadradas por persona. Consideramos que la máxima ocupación puntual con respecto a la ventilación es de 10 personas, si bien la nominal es de 2 personas por motivos de espacio y flotabilidad. Con ello, significa una ventilación mínima de 40 pulgadas cuadradas, o lo que es lo mismo, 258cm². Se establecerá este tipo de ventilación en forma de aireadores regulables dispuestos en la parte superior de las caras del prototipo.

Un ejemplo de aireador¹⁵ es el de la imagen de la derecha, con un área de ventilación de 53 mm², incorpora unas entradas en forma de zigzag para evitar la entrada de agua al interior. Tiene un diámetro de 160mm



4.5.4 Habitabilidad-Incendios

El poliuretano es estable hasta 290°C sin presencia de oxígeno. Entre los 290 y los 350°C se empieza a disgregar con una emisión de gases muy reducida. Sin embargo, las Aramiditas, el material de los tirantes, son estables y mantiene sus capacidades mecánicas hasta los 500°C. La conductividad total (la inversa de la transmitancia) suponiendo la efectiva únicamente la del poliuretano, sería de 5.4w*k-1, habiendo considerado un área de 26.2m² y los puentes térmicos despreciables debido a su reducido espesor de 2mm. Según el artículo de Sergey V. Ushakov[14], las condiciones del aire de un incendio suelen estar entre los 300 y 500°, mientras que la materia en combustión alcanza los 800°. Si tenemos en cuenta un diferencial de temperatura de 300° con respecto al interior, supondría una transferencia de 140w aproximadamente.

Tabla 5 - Tabla de transmitancias de los materiales potencialmente utilizables.

	Transmitancia W*m-1*k-1	Espesor	Resistividad W-1*m*k
Acero	50	2mm	4*10-5
Composite	0.13	3mm	0.23
Aluminio	235	2mm	8*10-6
Polycarbonato	0.21		
Poliuretano	0.02	97-98mm	4.85-4.9

¹⁵ Aireador en espiral de 160mm originalmente diseñado para barcos.

La entalpía del aire es de $1\text{kJ/Kg}\cdot\text{K}$ aproximadamente, lo que significa que con una densidad de $0,8333\text{Kg/m}^3$, harán falta 250Kj para subir la temperatura del aire interior de 30 a 45°c , lo que implica que $250000/140=1785\text{s}$ harán falta para hacer el interior totalmente inhabitable (30 minutos). Se ha considerado el diferencial de 300 grados porque son temperaturas que se alcanzan en el ambiente de forma eventual, no continua.

Por otra parte, la energía desprendida por una persona es de 85w en reposo, por lo que mantener una temperatura interior mínima no es un problema, si bien debemos centrarnos en la renovación del aire.

La densidad del oxígeno es de 1.429Kg/m^3 , por lo que se parte de unas condiciones iniciales de $6,00\text{kg}$ de oxígeno en el aire para el volumen útil de 20m^3 , mientras que el mínimo tolerable para alcanzar un contenido mínimo del 19% (el exigido en minería) en su interior serían $5,43\text{Kg}$ de oxígeno, o lo que es lo mismo, el consumo máximo admisible es de 400 litros de oxígeno. Dado que una persona consume 0.2l de oxígeno por minuto en una actividad de media a alta, supondría que con un aforo de 5 personas, se podría sobrevivir durante 400 minutos en su interior sin ventilación externa (6 horas y media).

4.6.1 Auxiliares-Anclaje a suelo y apoyos

Para el anclaje al suelo de estructuras ligeras, normalmente se usan unos anclajes helicoidales superficiales que adquieren gran capacidad de tracción debido a la gran cantidad de suelo implicado. Sin embargo, el inconveniente que presentan es que al ser superficiales, los vientos fuertes o el agua en movimiento pueden erosionar la superficie del terreno reduciendo drásticamente la capacidad portante de los mismos. Por eso, se elige disponer una patente de Earth Anchor, en la cual se clava un dispositivo a través de una varilla y un martillo, y posteriormente se tensa. De esta forma, este dispositivo de mayor profundidad en comparación con el helicoidal permite anclar con seguridad el prototipo. Como contrapartida, es un dispositivo para un solo uso ya que una vez anclado no se puede retirar fácilmente, aunque dado que la varilla que hace de tirante puede engancharse roscada, esta parte sí que se puede retirar sin mayor complicación.

La recomendación que establecemos es usar este elemento cuando el prototipo pueda estar sometido a fuertes esfuerzos horizontales o riesgo de inundación, y el tradicional tubo helicoidal para los casos donde no se prevean condiciones extremas.

¹⁶El proceso de montaje es el siguiente:

1-Con la ayuda de una varilla, se introduce en el suelo a un número de golpes determinado dependiendo de la dureza del suelo y la capacidad requerida de anclaje

2-Se retira la varilla del dispositivo.

3-Con la ayuda de un tensor (puede estar ya anclado al prototipo), se precarga

4-Tras la precarga, el dispositivo habrá rotado aumentando su capacidad portante hasta el máximo de 90°.

En la tabla inferior se pueden observar las capacidades de carga establecidas por el fabricante para su serie Duckbill [15]

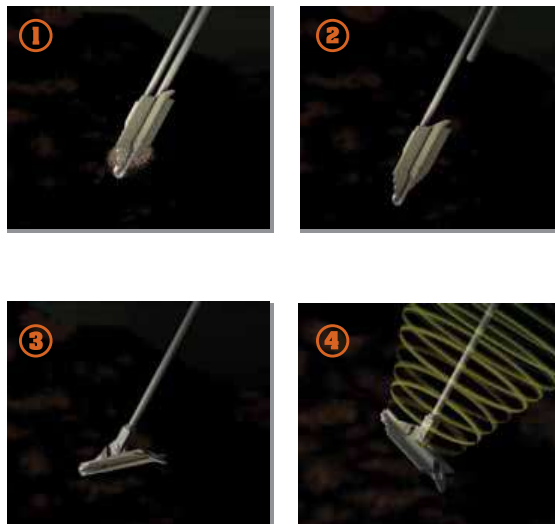


Tabla 6 - Especificaciones del modelo de ancla de suelo

Modelo	Carga de trabajo recomendada	Capacidad de carga	Profundidad de instalación
40	135Kg	216Kg	0.5m
68	485Kg	765Kg	0.85m
88	1325Kg	2745Kg	1.05m
138	2250Kg	4410Kg	1.5m

En nuestro caso, se decide escoger el de 138mm por ser el de mayores prestaciones de la serie ya que en nuestro caso se trata de un elemento crítico debido a que es imprescindible para proteger la vida humana. Existen otras series con capacidades mecánicas superiores, pero requieren equipamiento adicional para su instalación.

¹⁶ Proceso de montaje, ilustración del fabricante Earth-Anchor

4.6.1.1 Auxiliares-Precarga de los anclajes

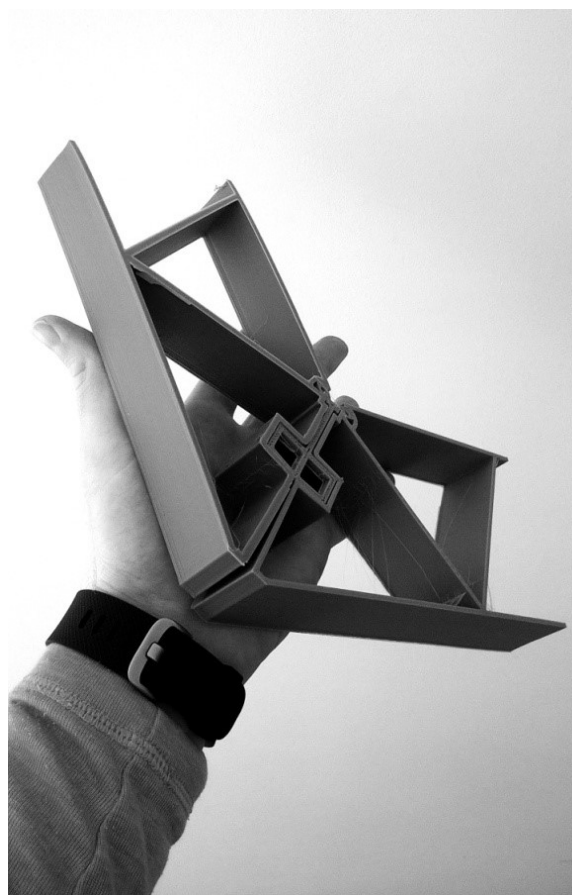
¹⁷Los anclajes anteriores exigen una precarga, ya que de lo contrario una acción dinámica instantánea podría reducir mucho su capacidad mecánica. Por eso, se pretensarán con tensores roscados, con capacidad mecánica suficiente para soportar las acciones que se puedan transmitir las cargas, fundamentalmente la de viento. Es imprescindible conseguir un buen tensado para evitar que se acelere el prototipo y dicha aceleración genere esfuerzos mayores sobre los elementos de sujeción.



Por otra parte, podemos considerar que la profundidad a la que deben de disponerse las anclas de suelo viene determinada por un número de golpes con un martillo estándar, con un peso determinado y que será incluido en el conjunto del refugio. De esta forma, la profundidad será proporcional a la resistencia del terreno, y si bien numerosos factores pueden acabar afectándola, mediante el uso de coeficientes de seguridad se puede corregir dicho error.

4.6.2 Auxiliares-Articulaciones

¹⁸Las uniones entre las piezas se tratan de articulaciones que se han diseñado basándonos en una perfil de SAPA¹⁹ diseñado en origen como marco de fácil montaje de ventanas, modificándola para permitir el anclaje simultáneo de dos paneles, tener cierta resistencia a cortante en la unión por las excentricidades que se puedan producir, y además sellado frente a la lluvia. Todo ello manteniendo las piezas completamente articulables desde una posición hasta otra, y transmitiendo los esfuerzos por contacto por omegas, con lo que se reduce al mínimo la posible fatiga del perfil de unión al no haber piezas sometidas a flexión de valor cambiante. A la derecha se observa una pieza impresa en Poli Lactic Acid (PLA) a escala natural para comprobar el diseño que se ha realizado para este trabajo.



¹⁷ Modelo de tensor doble anillo de Würth

¹⁸ Articulación impresa en 3d, diseño propio para la célula tipo.

¹⁹ SAPA PROFILES España; SAPA group. SAPA es una industria dedicada a la extrusión de perfiles en aluminio para múltiples usos.

Este tipo de articulaciones, permiten almacenar el prototipo en un espacio compacto, rotando prácticamente sobre la arista lo que minimiza prácticamente a cero el espacio consumido por este mecanismo que se integra en la placa.

Fig. 20 - Detalle de articulación cerrada

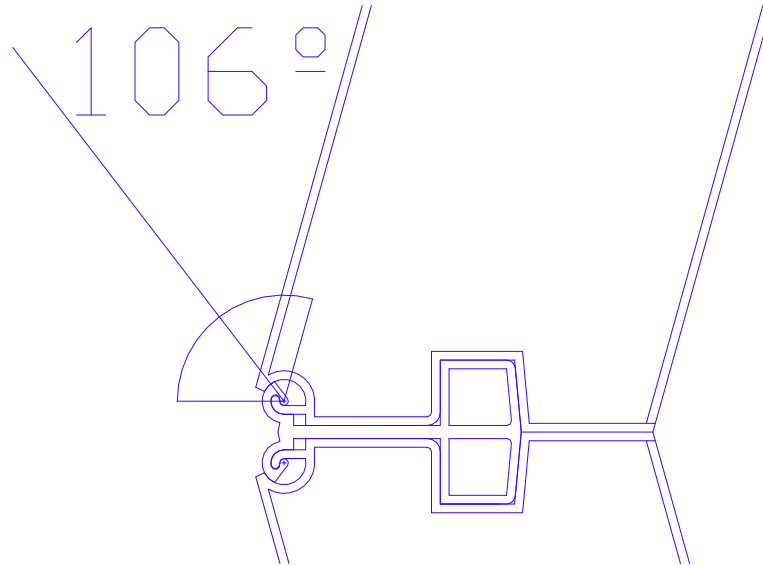
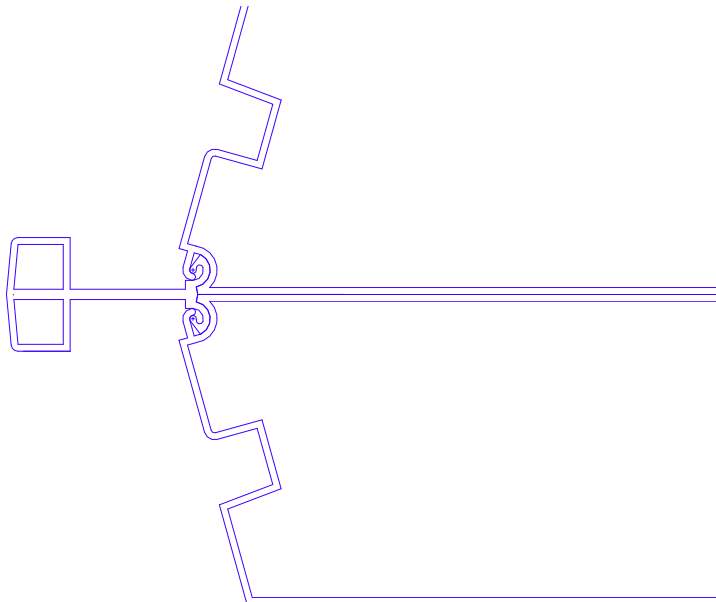


Fig. 21 - Detalle de articulación abierta



4.6.3 Auxiliares-Tirantes

Para la elección de los tirantes nos hemos decantado por aquellos de compuestos poliméricos, ligeros y con una gran durabilidad, además de elevadas prestaciones. Por otra parte su ductilidad permite mayor absorción de impactos y acciones dinámicas, además de ser más seguros dado que ante una emergencia se pueden cortar con un cuchillo de mano al tener una fibra más blanda.

Se ha elegido las líneas de Cousin-Trestec "All-Black" [16], fabricada en fibra Technora (Dyneema), la cual es muy resistente a la abrasión, totalmente estable hasta temperaturas de 500°, además de ser muy difícil de enredarse, según las propias indicaciones del fabricante.

Para el predimensionado se ha elegido de sección de 6mm

Tabla 7 - Cargas de trabajo de las líneas All-Black de Cousin-Trestec

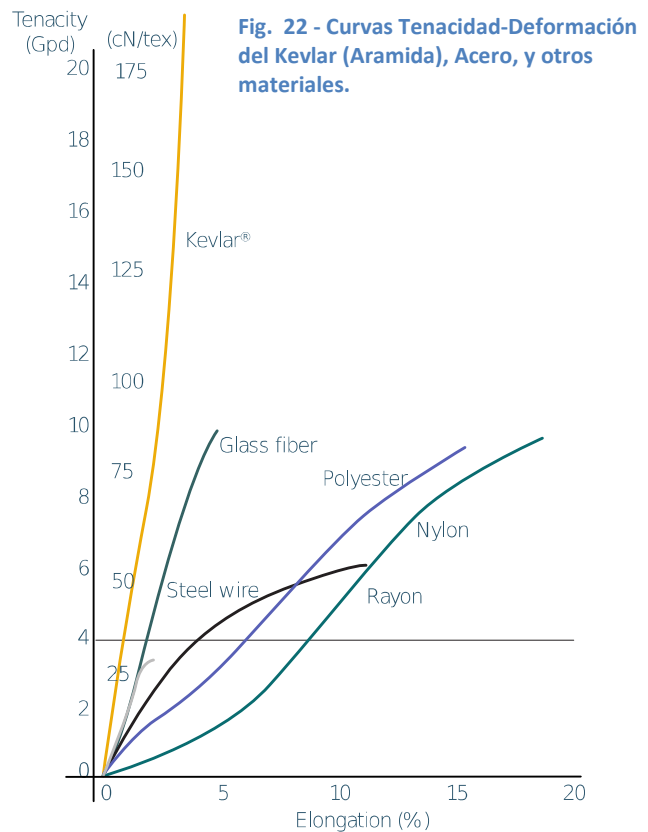
\varnothing mm	2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20
g/ml	5	7	11	17	19	37	55	83	111	156	200	240
Carga Kg	600	1000	1500	2100	2700	4600	7100	10200	14500	20200	26000	30000

Para los tirantes, se han elegido las líneas "All-Black", de Cousin Trestec, usando fibra Technora, de Dyneema. Se trata de una fibra muy ligera y lo suficientemente rígida como para no producir enredos.

El fabricante establece la tensión máxima que pueden soportar estas líneas de 6mm, que es 2700Kg y el alargamiento en esta tensión, que según indica el fabricante es del 4%. La fibra technora, según indica el fabricante es un compuesto de poli-parafenileno teraftalamida (PPTA), lo que significa que es una para-aramida, o en otras palabras, Kevlar²⁰. Según el estudio realizado por Ali Hammood y Zainab Redeed "Characterizations of Environmental Composites" [17], de la Universidad de Kufa, Irak, el kevlar no es solo mucho más resistente que el acero con una tensión de rotura que puede alcanzar los 3500MPa, frente a los 1500 que se llegan a obtener sólo con algunos aceros, además de coincidir prácticamente con su límite elástico. Sin embargo, la propiedad que más nos interesa es la Tenacidad, o lo que es lo mismo, energía absorbida antes de entrar en rotura. Para el acero suele estar en valores cercanos a los 6 MJ m⁻³, mientras que el Kevlar según la ficha técnica de DuPont alcanza los 50 MJ m⁻³ (22Gpd); lo que significa que absorbe muchísima más energía antes de su rotura. Como relación de la tenacidad con la tensión de rotura, se define que el módulo elástico es relativamente bajo.

²⁰ kevlar es el nombre comercial de la firma DuPont, la empresa que desarrolló estos polímeros cristalinos

En el diagrama, extraído del estudio de Ali y Zainab, se puede observar que las versiones de kevlar para aplicación en balística tienen mayores cargas de rotura. Sin embargo, lo que nos interesa es que tras la rotura, no se produce una pérdida completa de resistencia, sino que esta se prolonga hasta valores cercanos al 10% de su elongación, lo que significa que tiene capacidad portante y de absorber energía. Esto para acciones estáticas no tiene trascendencia dado que la fuerza va a ser la misma y tras la rotura va a seguir previsiblemente aplicada la fuerza máxima. Sin embargo, para acciones dinámicas, estas ven reducido el valor de la fuerza aplicada

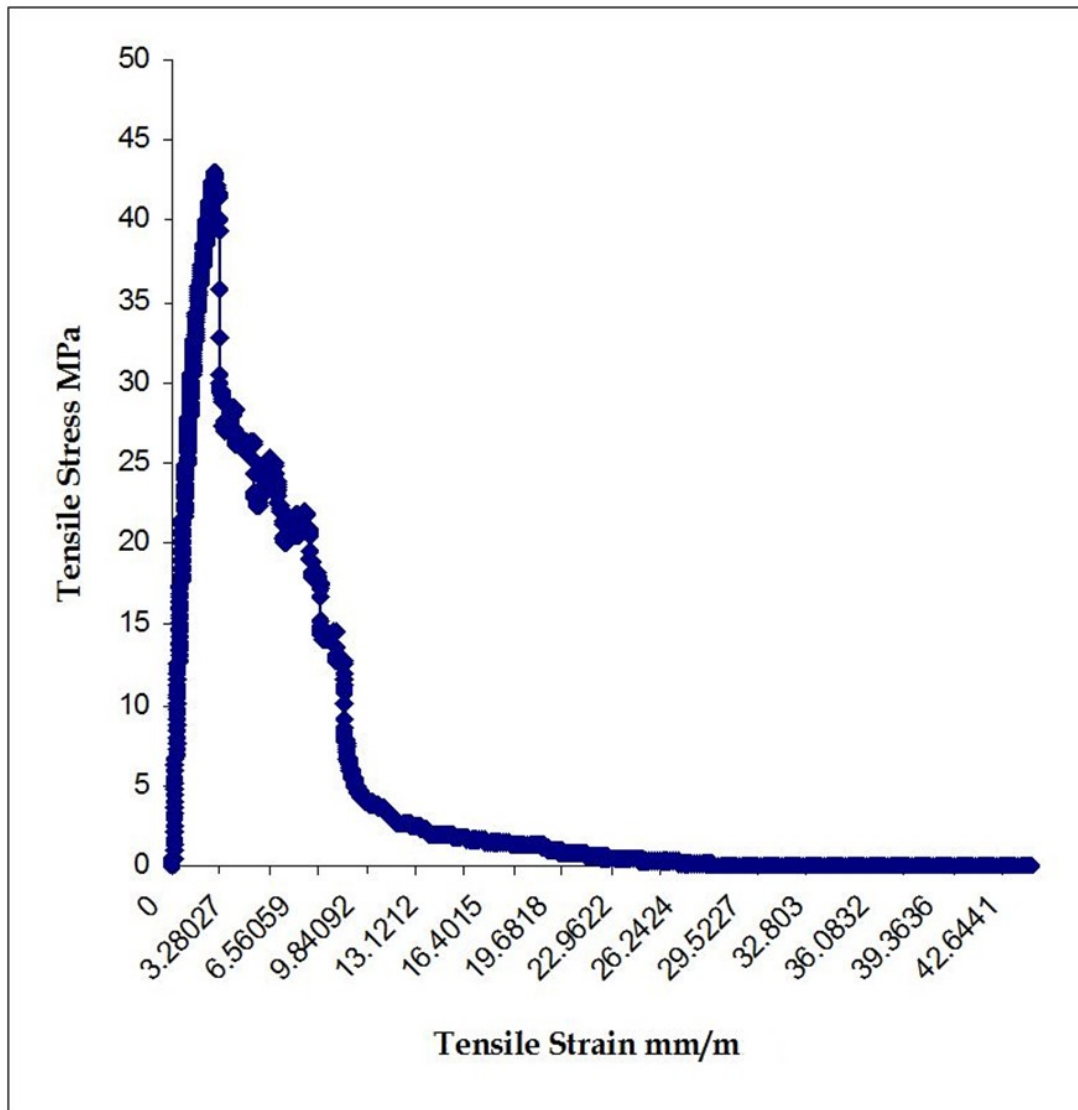


equivalente con la deformación, o lo que es lo mismo dependen de la capacidad para disipar energía del material. Es entonces cuando esta capacidad cobra especialmente relevancia dado que si se produce un impacto contra el prototipo, por ejemplo en el caso de un huracán, si este supera la carga máxima de rotura de los tirantes, la energía que estos disiparían tras su rotura reduciría tanto la fuerza equivalente de impacto que probablemente llegaría a disiparse toda la energía sin que exista una rotura física del elemento, con lo que más allá de haberse destensado las líneas y haber reducido sus cualidades no se producirían daños a las personas.

Hay que destacar que por diseño, el prototipo está pensado para que se rompan antes los tirantes que las placas. De esta forma se asegura una rotura mucho más plástica. En la página siguiente observamos la curva tensión-deformación empírica del Kevlar según el estudio anterior.

También, podría plantearse la sustitución de las barras de acero por líneas de kevlar en la construcción, ya que se trata de un polímero muy estable, y con propiedades que garantizarían una rotura mucho más plástica que el acero.

Fig. 23 - Curva Tensión-Deformación de la fibra Aramida.



4.7.1 Cálculo-Acero

Lo primero que debemos hacer es el cálculo de un panel equivalente dado que los paneles estructurales multicapa no isotropos y por tanto el Software Architrave no permite calcularlos directamente.

Se tratan de unos paneles estructurales multicapa de poliuretano inyectado, contando en su piel externa con dos chapas de acero de 1mm cada una, y un espesor total de 100mm

Para hallar el momento de inercia total de la chapa (si bien teóricamente no haría falta puesto que el panel trabajará a compresión simple) aplicamos el teorema de Steiner.

Momento de inercia de cada chapa [y]

$$I = \frac{1000 * 1^3}{12} = 83.3mm^4$$

Con lo que aplicando Steiner se queda de la siguiente forma:

$$\text{Inercia [y]: } ((83.3 + 1000*49.5^2))*2 = 4900666.66 \text{ mm}^4$$

Además, el área del acero por metro cuadrado es de 2000mm², y su peso de 15700g como se ha determinado en el apartado 4.5.1-Inundación

Para determinar la inercia equivalente, ya que el Architrave no está diseñado para el cálculo con materiales heterogéneos, volvemos a la ecuación de la inercia:

$$4900666.66 = \frac{1000 * h^3}{12} \quad \text{De donde } h = 38.89mm$$

Para hallar el peso equivalente se debe de dividir el peso por metro cuadrado entre los milímetros del espesor equivalente, lo que nos da 403 Kg/m³

$$15700/38.89=403kg/m^3$$

Recordamos que el módulo de elasticidad del acero es de 210000MPa

Fig. 24 - Modelo de barras y elementos finitos en AutoCAD

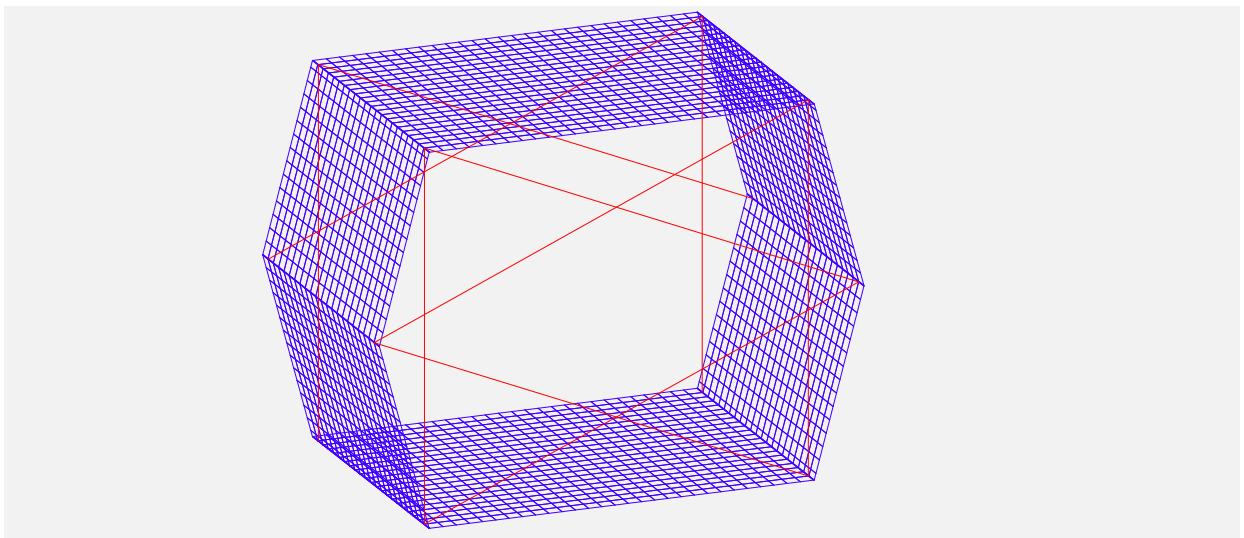
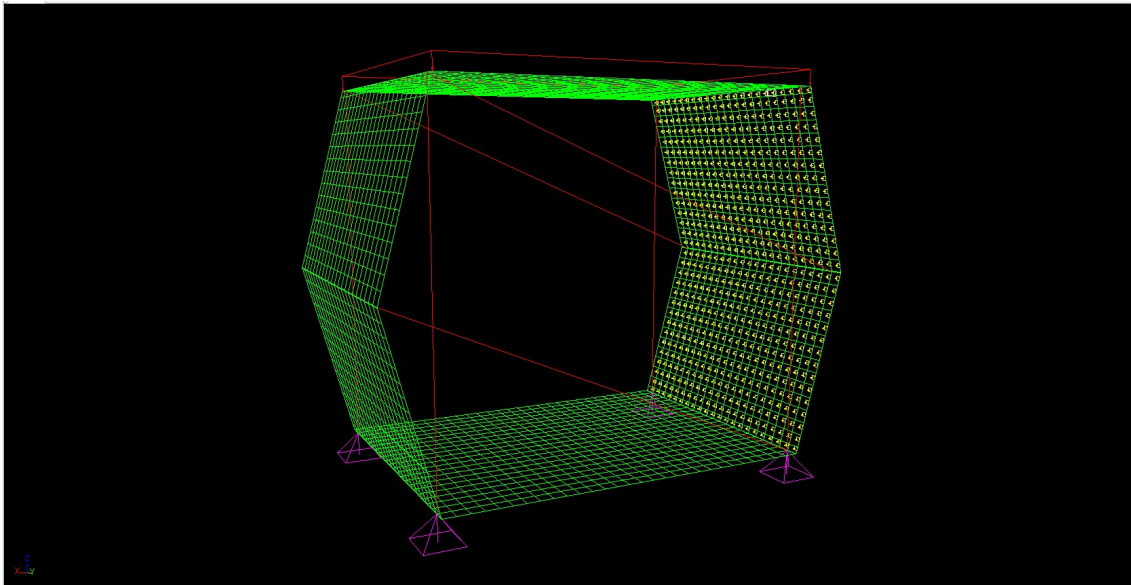


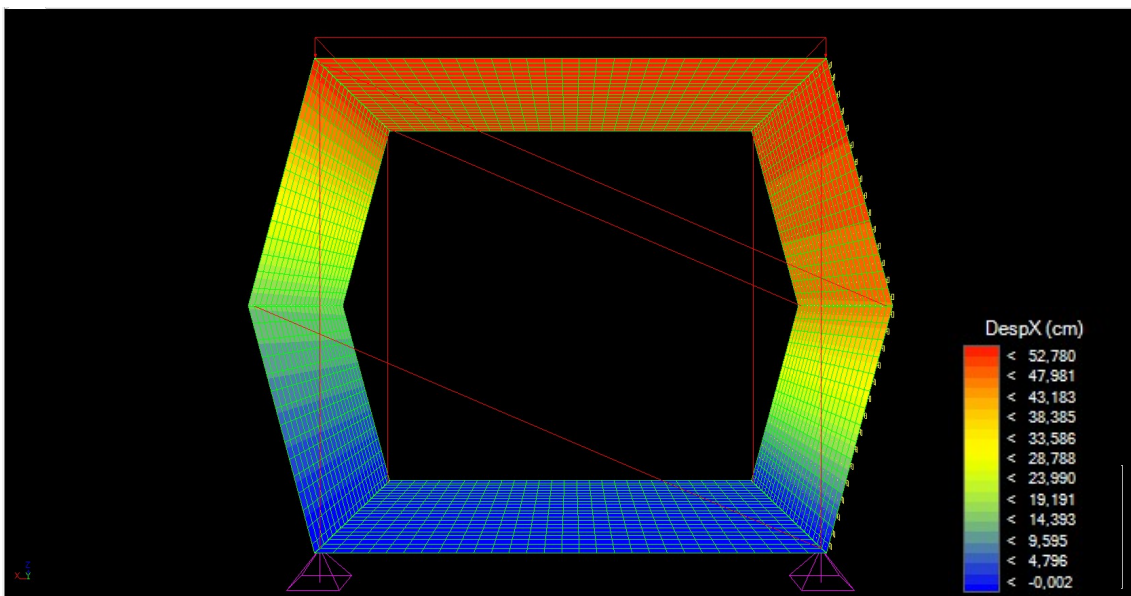
Fig. 25 - Modelo de barras y elementos finitos en Architrave



Se ha prestado una atención fundamental en permitir al máximo la flexibilidad del modelo para reducir al máximo las cargas estáticas equivalentes respecto a las cargas dinámicas. Es la contraposición al refugio americano para el cual se tienen que gastar muchos metros cúbicos de hormigón y acero, al ser un elemento totalmente rígido para poder absorber los impactos, y a su vez cobran bastante dimensión en vertical para poder evitar las inundaciones, con lo que suponen un enorme gasto en recursos además de la inmovilidad y el impacto que suponen.

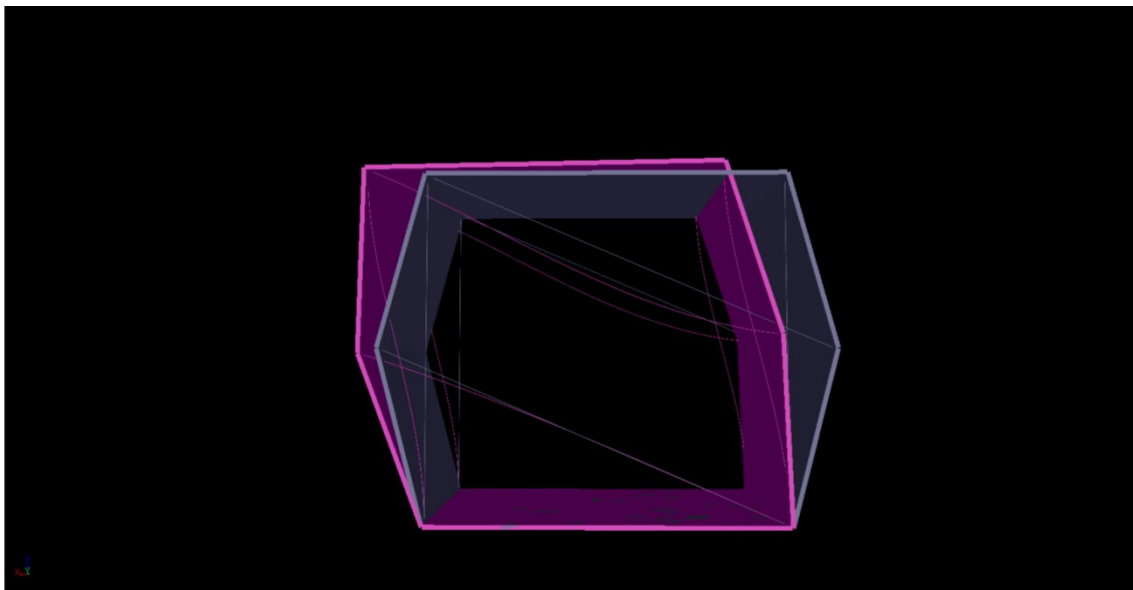
Para el cálculo de los desplazamientos se considera la hipótesis más desfavorable, que es la del viento, ya que con una fuerza equivalente de 5kN/m^2 , supera a cualquier otra:

Fig. 26 - Desplazamientos en dirección x aplicada al modelo la fuerza de 5kN de viento



Aparentemente, 52 centímetros son demasiados, pero se deben principalmente a que la transmisión de cargas se realiza a partir de varias barras. Si bien es cierto que en una estructura convencional esto es un aspecto negativo, en este caso esta transmisión sucesiva por una parte reduce las cargas dado que se transmiten de manera muy uniforme ya que todas las placas pasan a trabajar a compresión, y además ese movimiento, una vez tenido en cuenta en el desarrollo de los paramentos, permite disipar una cantidad enorme de energía frente a acciones dinámicas, ya que al transformar una acción dinámica en una fuerza estática es función directa del desplazamiento que esta produce. Por eso que al haber permitido tanta flexibilidad, se reduce al mínimo la carga que soporta. Este efecto es el mismo que emplean los juncos en la naturaleza, que al ser tan flexibles son muy resistentes al paso de las tormentas, al contrario que sucede con las plantas de arroz. Abajo se puede observar la deformada para entender mejor el funcionamiento de este mecanismo de flexibilidad, que acaba funcionando como una polea pero en dos dimensiones en vez de en una, reduciendo las cargas a pesar de aumentar el recorrido, lo que a su vez permite disponer de líneas de menor dimensión y más flexibles.

Fig. 27 - Deformaciones para la hipótesis de viento sin mayorar

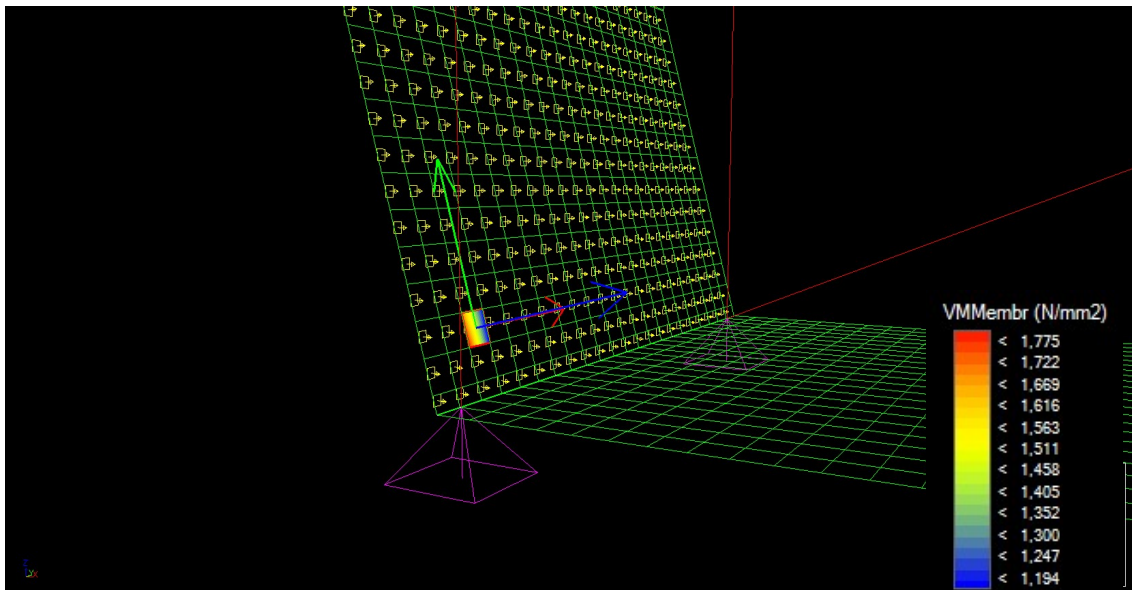


Como se puede observar, gran parte de la flexibilidad es debida a la independencia que existe entre tracciones y compresiones, lo que produce el "efecto polea" que hace aumentar esa flexibilidad.

Tensiones de membrana:

Las tensiones, si bien se podrían disponer refuerzos en las esquinas, probablemente no sean necesarios ya que los perfiles extruidos a los que se anclan los tirantes transmiten de forma considerablemente uniforme sobre la arista las tensiones y evitan las concentraciones de esfuerzos.

Fig. 28 - Tensiones en los elementos finitos

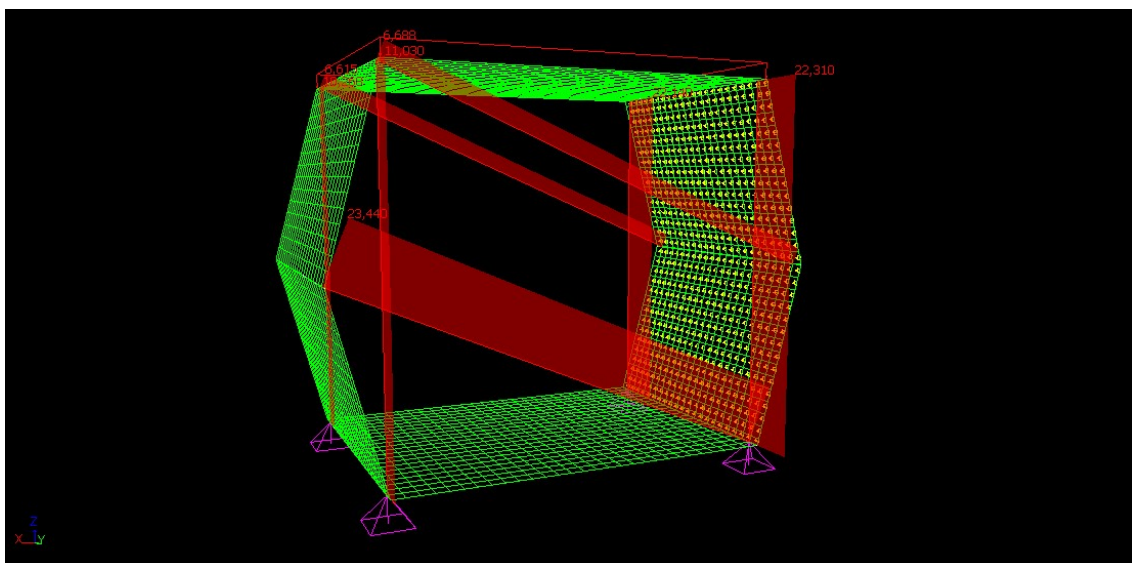


Cálculo de tensiones reales, dado que para el Architrave se empleó una simplificación de los elementos para convertir los paneles sándwich en paneles homogéneos equivalentes.

-Para ello, lo que hacemos es una vez conocidas las tensiones existentes en el modelo (-1.5N/mm^2), y lo multiplicamos por el espesor del panel simplificado (38.89), lo que nos da un resultado de 58.335 N/mm . Lo dividimos entre los 2 milímetros que comprenden el panel, y obtenemos una tensión de 29.175 N/mm^2 . Recordamos que incluso la aleación más débil común en el mercado, el 1050-0, soporta una carga en rotura de 90 N/mm^2 .

Tensiones de barras

Fig. 29 - Tracción producida en las barras para la hipótesis de viento.



Para el cálculo de los esfuerzos en las barras se han eliminado aquellas que trabajaban a compresión a través de un proceso iterativo dado que el software Architrave no es capaz de distinguir entre barras y cables. Como se puede observar en el modelo de esfuerzos, ninguna de las barras supera la tensión de rotura de las barras establecida por el fabricante, 26,47kN. Como se ha considerado para las acciones la más desfavorable de la que se tiene registro, no se han considerado coeficientes de mayoración de las acciones debido a que considerar la incertidumbre en este caso sería suponer que van a existir acciones más desfavorables que las registradas, lo que no tiene mucho sentido ya que si suponemos eso, realmente nunca llegaríamos a conocer el alcance de la fuerza de la naturaleza y no podríamos establecer ningún coeficiente de incertidumbre.

4.7.2 Cálculo-Composite

Al igual que con el acero, se debe de calcular un material equivalente para los paneles composite. Se tratan de unos paneles estructurales multicapa de composite con poliuretano rígido inyectado, contando con un espesor total de 100mm. Para hallar el momento de inercia total del panel, si bien teóricamente las chapas trabajan a compresión simple excepto por la carga aplicada, aplicando el teorema de Steiner:

Momento de inercia de cada placa [Y]

$$I = \frac{1000 * 1.5^3}{12} = 281.25mm^4$$

Con lo que aplicando Steiner se queda de la siguiente forma:

$$\text{Inercia [y]: } ((281.5 + 1000*49.25^2))*2 = 4851688 \text{ mm}^4$$

Además el área del composite es de 3000mm² y su peso de 4620g como se ha determinado en el apartado 4.5.1-Inundación Para determinar la inercia equivalente, ya que el Architrave no está diseñado para el cálculo con materiales heterogéneos, volvemos a la ecuación de la inercia:

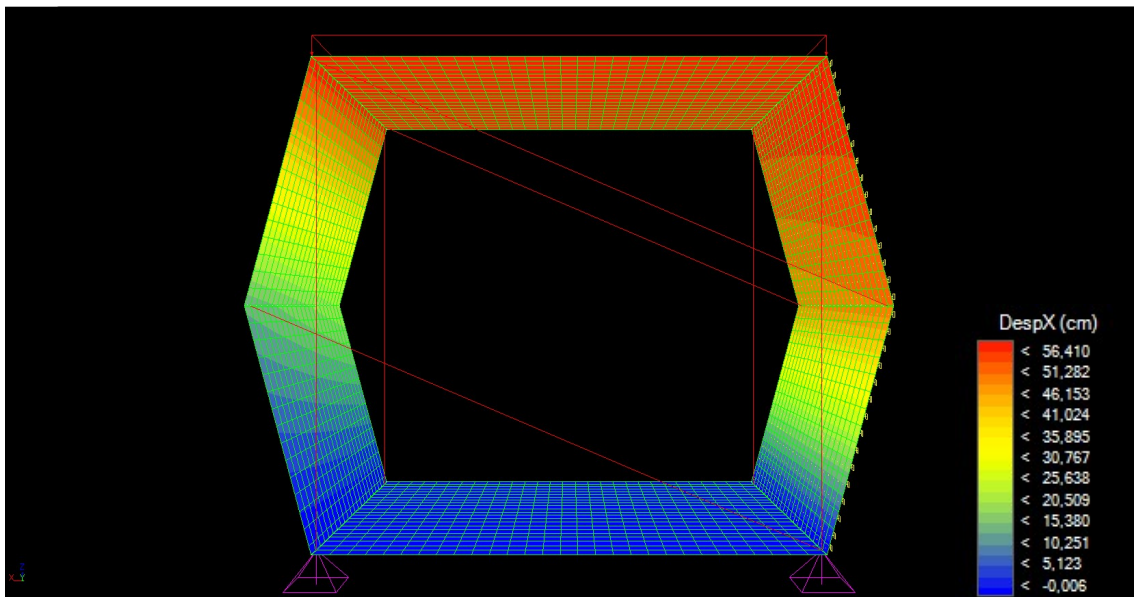
$$4851688 = \frac{1000 * h^3}{12} \quad \text{De donde } h = 38.75mm$$

Para hallar el peso equivalente se debe de dividir el peso por metro cuadrado entre los milímetros del espesor equivalente, 403 Kg/m³

$$4620/38.75=119.22kg/m^3$$

El módulo elástico del composite es de 15169MPa. Esto significa que al tener un módulo de elasticidad más bajo (supone el 7% del módulo del acero), observaremos unos movimientos muy superiores

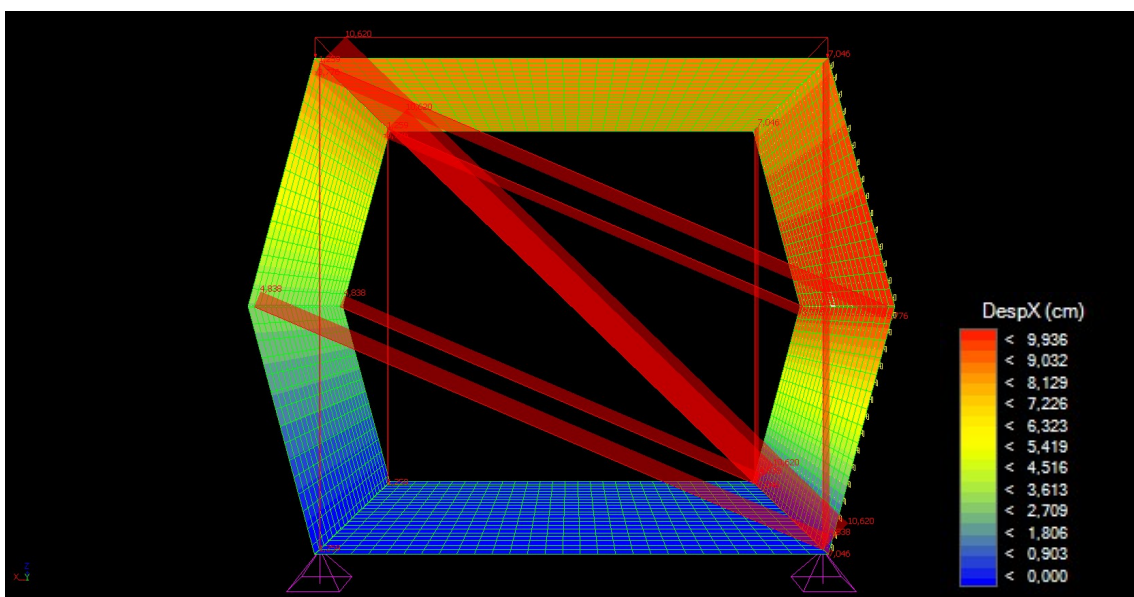
Fig. 30 - Desplazamientos en dirección x aplicada al modelo la fuerza de 5kN/m² de viento para el caso del composite.



Lo que lleva a una deformación de casi 56cm. Si el acero ya tenía unas deformaciones inadmisibles, con composite también. Pero atendiendo al criterio de que dichas deformaciones se producen solamente ante condiciones meteorológicas excepcionales, se puede conseguir aumentar la rigidez de las dos siguientes formas:

-Incorporación de tirantes adicionales: Permiten triangular ambas caras del refugio a cambio de reducir su permeabilidad

Fig. 31 - Desplazamientos en dirección x aplicada al modelo la fuerza de 5kN/m² de viento para el caso del composite con tirantes auxiliares.

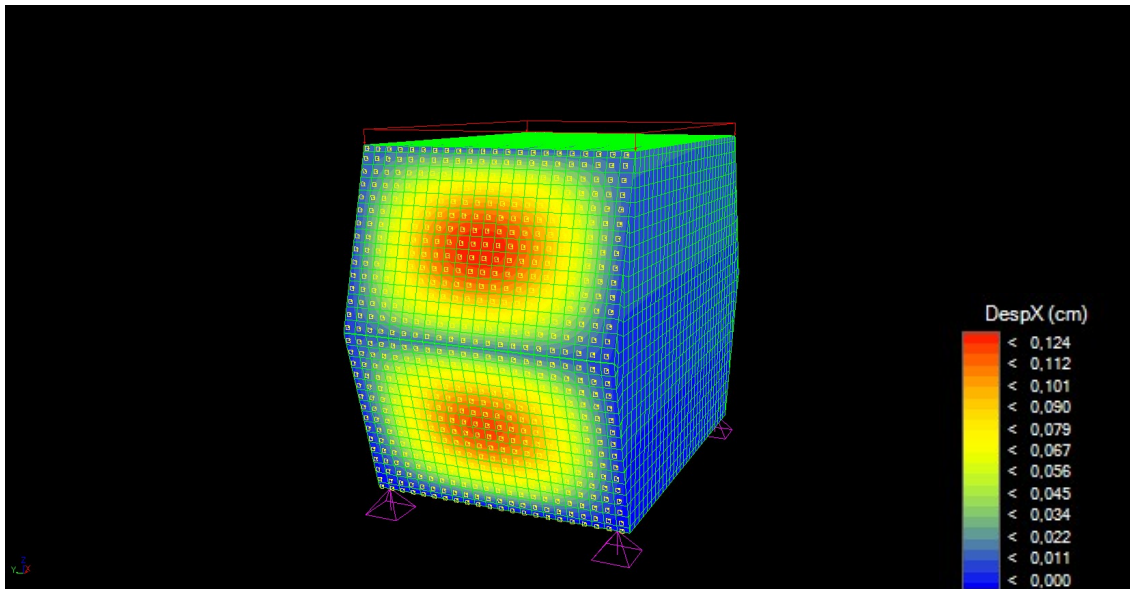


Como se puede observar, no es solo que se hayan reducido los movimientos, sino que cambia totalmente la forma de trabajar de la estructura, ya que ahora las tensiones se transmiten de forma prácticamente directa mientras que los tirantes verticales ya no trabajan al no existir las triangulaciones independientes anteriores que trabajaban de forma independiente.

Se han reducido mucho las tensiones, a cambio de disponer un número mayor de tirantes y reducir la permeabilidad del modelo, pero en el caso de acciones exteriores externas muy importantes, puede resultar interesante aislarse del exterior a cambio de garantizar la seguridad.

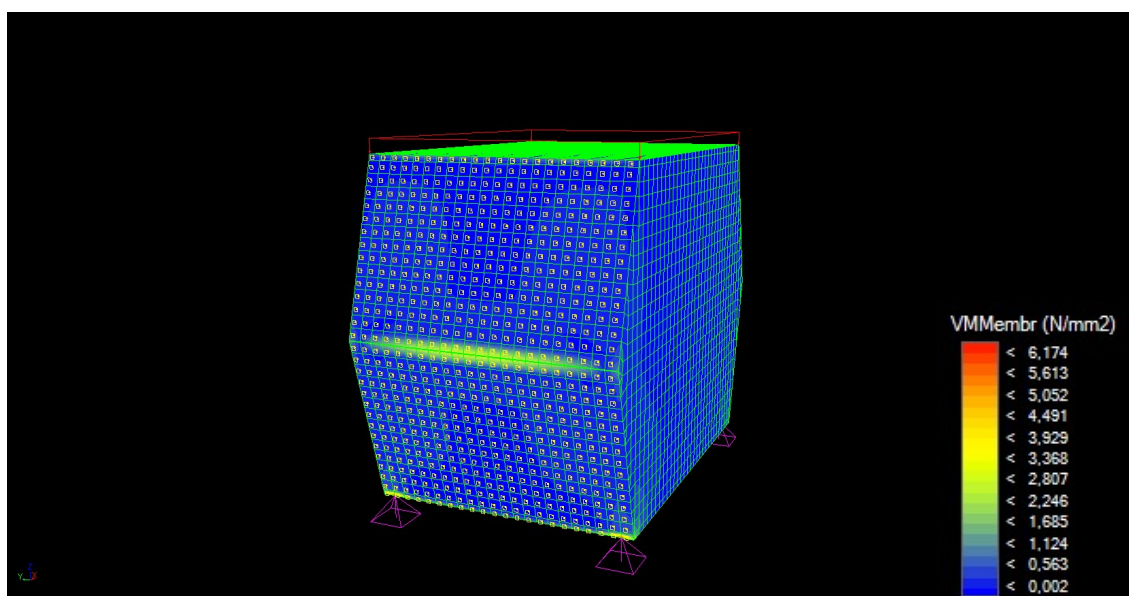
-Incorporación de los paneles laterales: trabajan como diafragmas aportando rigidez para satisfacer condiciones de deformación admisibles. (Se incorporan paneles a la situación inicial, sin tirantes adicionales)

Fig. 32 - Desplazamientos en dirección x aplicada al modelo la fuerza de 5kN/m² de viento para el caso de composite con refuerzo en forma de diafragma en los laterales.



Como observamos, en este caso los desplazamientos son prácticamente nulos y se producen casi exclusivamente por la deformación de las propias placas al aplicarle una carga. Además, la concentración de tensiones se produce casi exclusivamente en las aristas, con un valor máximo de 6.75N/mm² (siendo equivalentes a 87.52kN/mm² sobre el composite). En las secciones alejadas apenas unos centímetros esas tensiones bajan por debajo de los 10N/mm² sobre el composite, lo que resulta perfectamente admisible si consideramos que la articulación supone un perfil de refuerzo con una inercia considerable.

Fig. 33 - Tensiones de membrana tras la aplicación de la carga de 5kN/m², y refuerzo con diafragmas en los laterales.



Como se puede observar, existen tres cortafuegos frente a las acciones más extremas que la naturaleza puede descargar sobre el prototipo. La razón de ello, es que cuando sucede una catástrofe en aviación, por su propio diseño, necesitan desencadenarse una serie de fallos que es muy improbable que ocurra, aunque el riesgo siempre existe. Por eso que al establecer varios mecanismos de resistencia, garantizamos que si falla uno quedan otros dos. En definitiva, que en casos de condiciones extremas con un prototipo totalmente equipado estructuralmente, es muy improbable que la estructura colapse.

4.7.3 Cálculo: Aluminio

Al igual que con el caso del acero y del composite, también es necesario obtener el espesor equivalente del aluminio, si bien al ser de 1mm al igual que el acero la inercia es exactamente la misma, por lo que lo que cambia es fundamentalmente su modulo elástico y su densidad.

El área del aluminio por metro cuadrado es de 2000mm², por lo que su peso es de 5400g/m² como se ha determinado en el apartado 4.5.1- *Inundación*

Para hallar el peso equivalente se debe de dividir el peso por metro cuadrado entre los milímetros del espesor equivalente, lo que nos da 403 Kg/m³

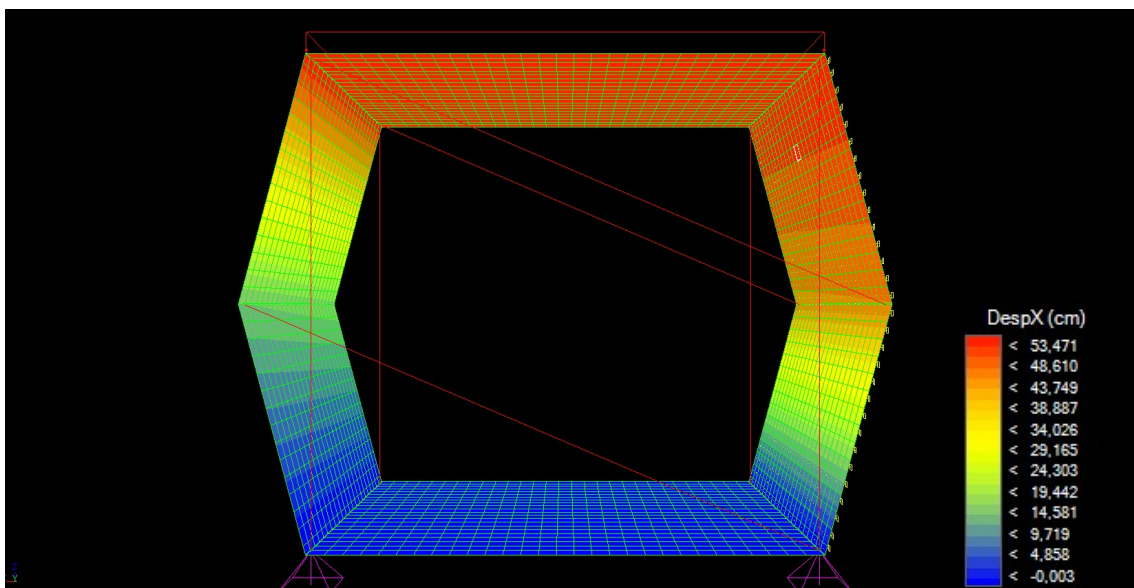
$$5400/38.89=138.82\text{kg/m}^3$$

Por otra parte, el módulo de elasticidad del aluminio es 70000MPa, si bien existen múltiples tipos de aluminio con las propiedades mecánicas normalizadas en la siguiente tabla [18]; [19]:

Tabla 8 - Tabla con las referencias a los aluminios que siguen los estándares del mercado y sus resistencias tipo.

Aleación	Carga de Rotura	Límite elástico	Alargamiento	Dureza Brinell
Normas A.A.	Rm – N/mm ²	Rp 0.2 – N/mm ²	A 5.65%	HB
7075-T7351	440	360	6	140
7075-T6/T651	470	400	5	130
2024-T6	725	315	5	125
7020-T6/T651	350	290	10	120
7024-T3	400	270	8	120
2007-T3	340	220	6	115
2014-T4	430	275	18	110
2007-T4	330	210	7	110
2017-T4	330	260	12	105
2011-T3	330	295	15	100
6061-T6/T651	150	110	16	95
6032-T6/T651	295	250	8	95
2030-T4	330	210	7	95
6060-T6	190	150	8	85
5052-H34	195	90	30	70
5033-0/H111	270	110	16	70
5036-0/H111	240	95	16	65
6063-T5	175	130	6	60
5154-0/H111	215	85	16	55
5754-0/H111	190	80	16	55
5251-0/H111	160	60	16	45
1200-H13	125	150	15	45
3003-H14	130	110	6	45
5005-H24	145	110	6	45
1050-H13	165	150	15	43
1200-H14	125	115	20	37
1050-H14	125	115	20	35
1200-0	90	34	40	23
1050-0	90	34	40	21

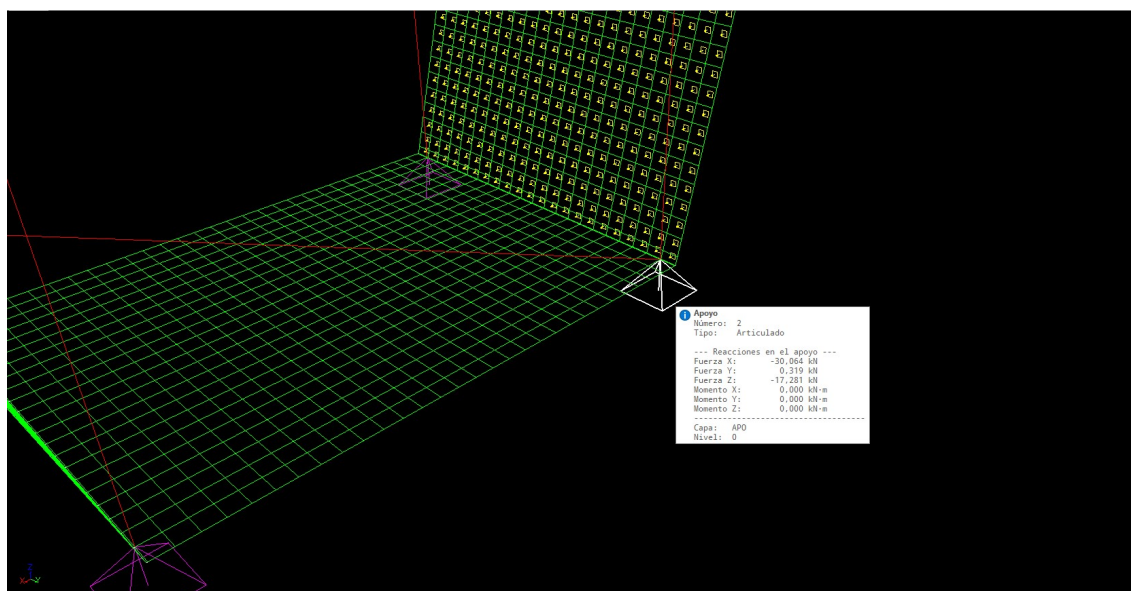
Fig. 34 - Desplazamientos en el eje X para la fuerza de 5kN/m² en el caso del aluminio.



4.8 Estabilidad al desplazamiento

La estabilidad frente al desplazamiento se determina por las reacciones en la base del prototipo. Estas reacciones tienen que ser inferiores a las capacidades de anclaje al suelo que determinan los fabricantes.

Fig. 35 - Apoyo con una reacción de 30,064kN en el eje x



Como puede observarse en la imagen superior, para el caso más desfavorable, en el apoyo más solicitado llega a prácticamente los 30kN (3000Kg), sin embargo, eso es en el caso de considerar los 4 apoyos como infinitamente rígidos. Si consideramos que no lo son, y que en cambio el panel inferior actúa de diafragma siendo mucho más rígido que los tirantes, obtenemos que al sumar las reacciones en los cuatro apoyos y dividirlos entre cuatro, una reacción por apoyo de algo menos de $50/4 = 12.5\text{kN}$ por apoyo, lo que resulta en unos 1250Kg

Tabla 9 - Cargas de trabajo de las líneas All-Black de Cousin-Trestec

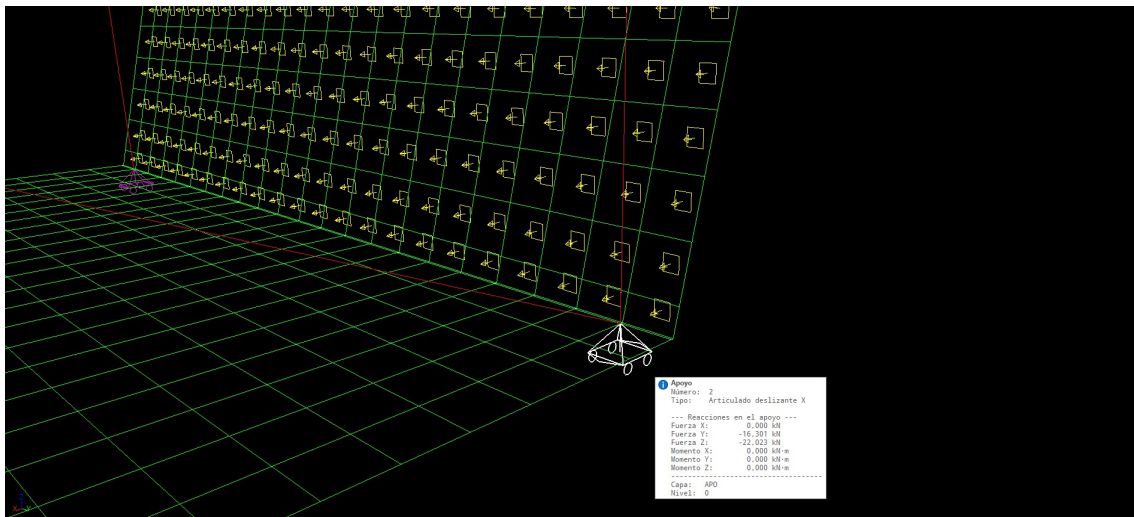
\varnothing mm	2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20
g/ml	5	7	11	17	19	37	55	83	111	156	200	240
Carga Kg	600	1000	1500	2100	2700	4600	7100	10200	14500	20200	26000	30000

Como se puede observar en la tabla del fabricante, ya con la minoración geotécnica, podríamos cumplir con el modelo 88. Sin embargo, recomendamos el 138 de momento porque falta comprobar la estabilidad frente a vuelco, además de que la estabilidad del suelo en el caso de inundaciones puede verse reducida fuertemente, a pesar de que como se ha indicado en el apartado 4.6.1 Auxiliares-Anclaje a suelo y apoyos son anclajes de profundidad, por lo que no deberían de verse afectados tanto como los anclajes helicoidales.

4.9 Estabilidad al vuelco

La estabilidad al vuelco se determina para el caso más desfavorable. Esto es considerando el prototipo como un objeto rígido, con una articulación en un extremo. De esta forma, se calcula la reacción en el otro apoyo y se determina la capacidad de anclaje que tiene que ser superior a la que establece el fabricante.

Fig. 36 - Anclaje con una reacción vertical de -22.023kN

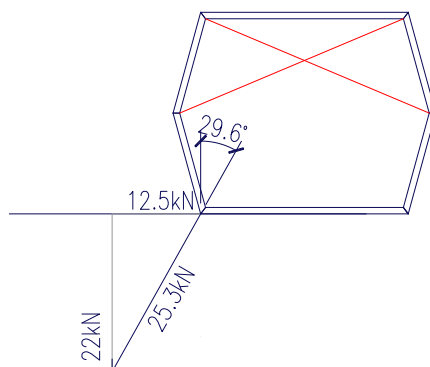


Como se puede observar, la reacción vertical más desfavorable es de 22kN, o lo que es lo mismo, 2200Kg.

Como se deben de tener en cuenta ambas reacciones, la horizontal establecida en el apartado anterior frente a desplazamientos, y la de este apartado, frente a vuelco, obtenemos el vector resultante:

$$R = \sqrt{12.5^2 + 22^2} = 25.3kN$$

Fig. 37 - Vectores de transmisión de cargas al suelo.



Como puede observarse, la resultante es superior a la carga de 22.5kN que establecía el fabricante para suelos "habituales", por lo que se dispondrán en cada una de las cuatro esquinas dos anclajes del modelo 138, disponiéndolos a 112.5 grados de las aristas medidos en horizontal, y a 30

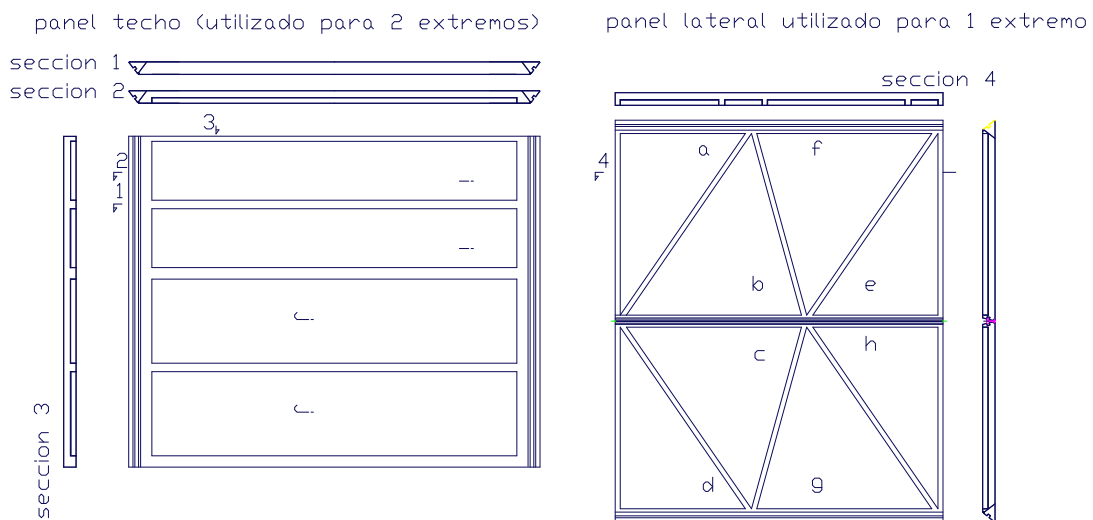
(29.6) grados de inclinación con respecto a la normal del suelo, para seguir la dirección del vector de esfuerzos y obtener el máximo rendimiento.

4.10 Montaje

Para el montaje, es determinante la posibilidad de incorporar los paneles a los actuales. Para ello se empleará en la fabricación de los paneles una prensa con el molde incorporado. Por otra parte los paneles se incorporarán a los perfiles mediante adhesivo químico [20] en el caso de composite, y mediante soldadura en el resto de los casos. El molde tendrá forma tal que permita el despiece según los planos inferiores.

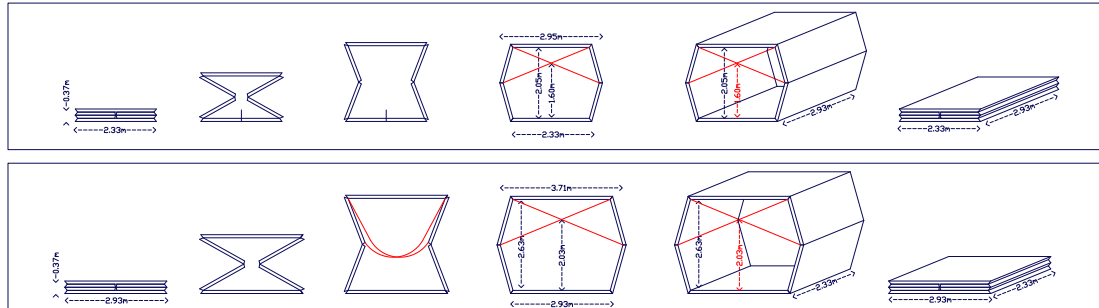
Por otra parte, los anclajes se realizan de forma mecánica, incorporando contratuerca (esta asegure que la primera no se suelte frente acciones dinámicas, ya que le produce un efecto de precarga), y siempre repartiendo los esfuerzos sobre arandelas de acero, mayor a 2mm de espesor y el máximo diámetro posible.

Fig. 38 - Ilustración sobre el despiece de los paneles, integrados en paneles laterales y techo.



Montaje: La caja viene completa, teniendo alojados los elementos que configuran los cierres laterales de la misma en los paneles de techo y laterales. Dichos elementos se montaran una vez finalizada * la formalización de la estructura principal.

Fig. 39 - Ilustración sobre el montaje, volumen y dimensiones del modelo. Se exponen las dos alternativas que se consideraron en el desarrollo del proyecto. La definitiva es la inferior por una mayor altura a la cruz de los tirantes.



Se consideran dos métodos de montaje, aplicables en función del número de participantes y fortaleza de los mismos, área disponible, y condiciones meteorológicas.

Recibido el paquete, se colocara en dirección del viento (para ofrecer la mínima superficie de incidencia del mismo).

Método A

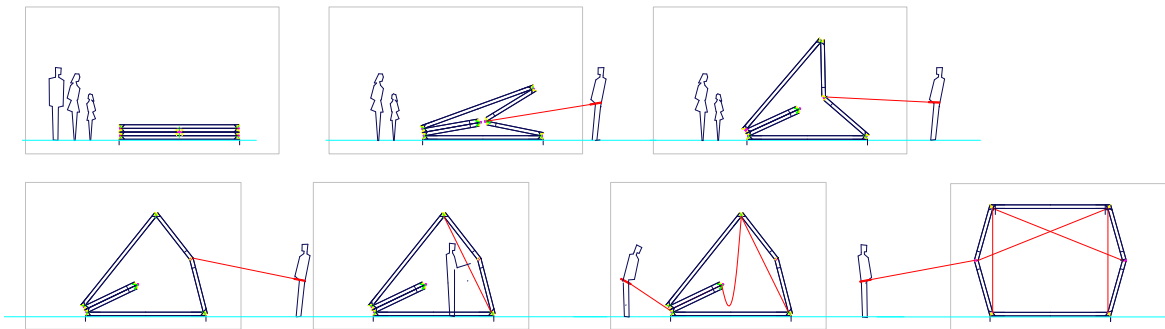
a.1.- Se ancla la base al terreno.

a.2.- Se retiraran los precintos de uno de los lados y se levanta este hasta el límite de lo que permiten los paneles interiores. Se estira hacia fuera la articulación hasta alcanzar la posición de bloqueo. Se tensa suavemente el tirante vertical.

a.3.- Se pasa al lado contrario y se repite la operación. se tensan firmemente los tirantes verticales.

Al finalizar esta, la estructura principal está montada, y se pueden colocar las piezas de cierre de los extremos.

Fig. 40 - Proceso de montaje A



Método B

b.1.- Se ancla la base al terreno.

b.2.- Se retiraran los precintos de ambos lados y se levanta el panel de techo hasta el límite de lo que permiten los paneles interiores. Se estira hacia fuera la articulación hasta alcanzar la posición de bloqueo. Se tensan firmemente los tirantes verticales.

En el caso de acometer el montaje del refugio por parte de una sola persona, se recomienda retirar los elementos de cierre de su posición de transporte previamente para reducir el peso de la caja.

Fig. 41 - Proceso de montaje B

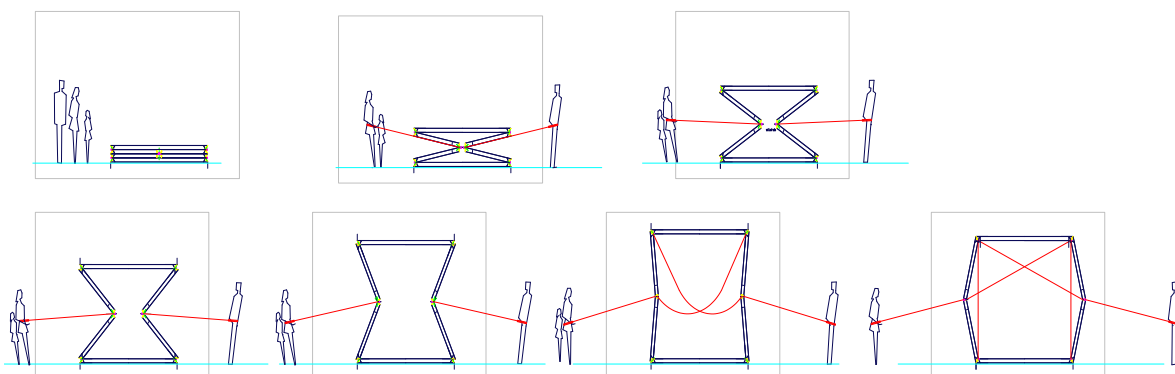
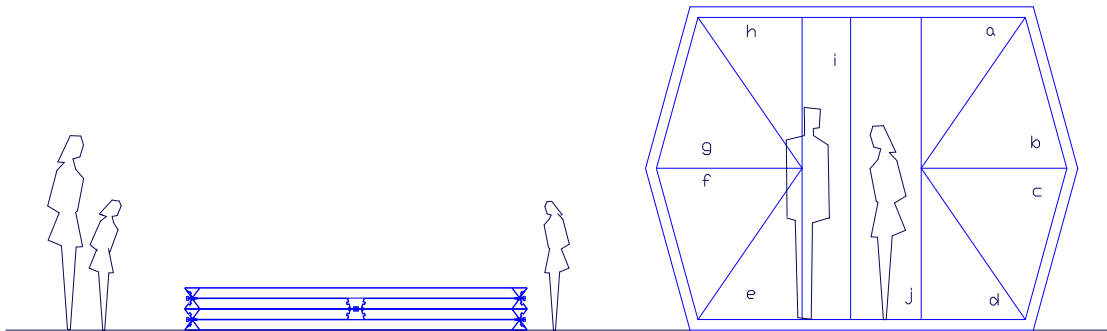


Fig. 42 - Despiece de los paneles frontales



4.11 Agregación

Una de las características más importantes del prototipo, es la capacidad que posee para producir una agregación, una "mini ciudad" o comunidades que puedan formar parte de un poblado.

Fig. 43 - Distintas formas de agregación del modelo

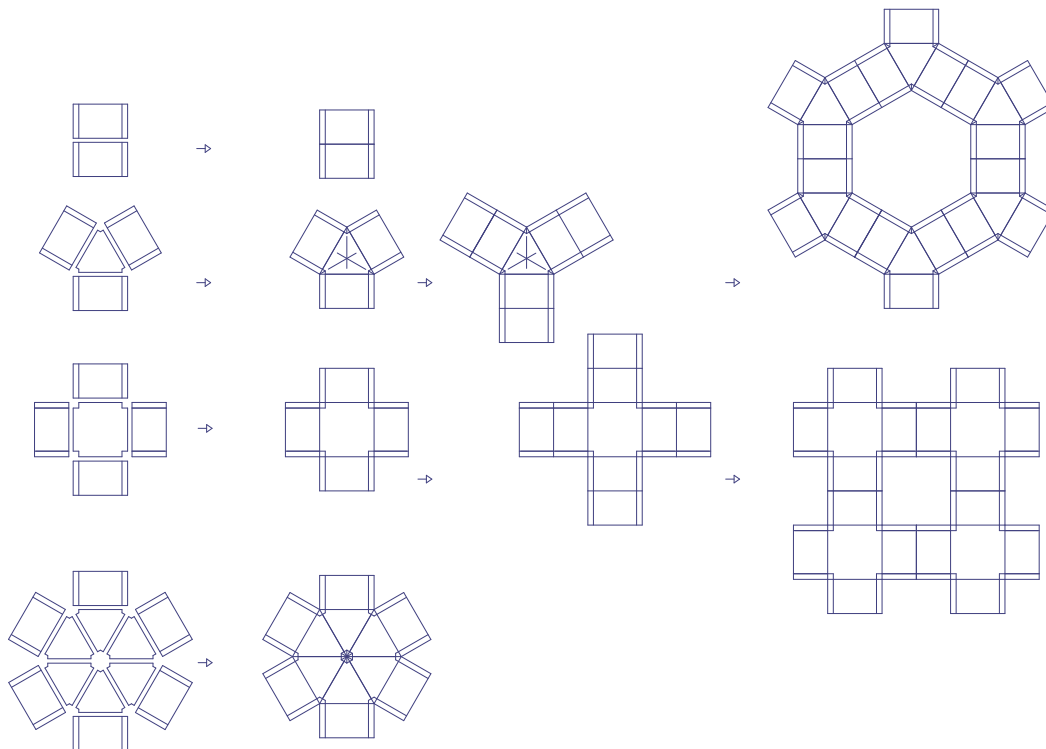
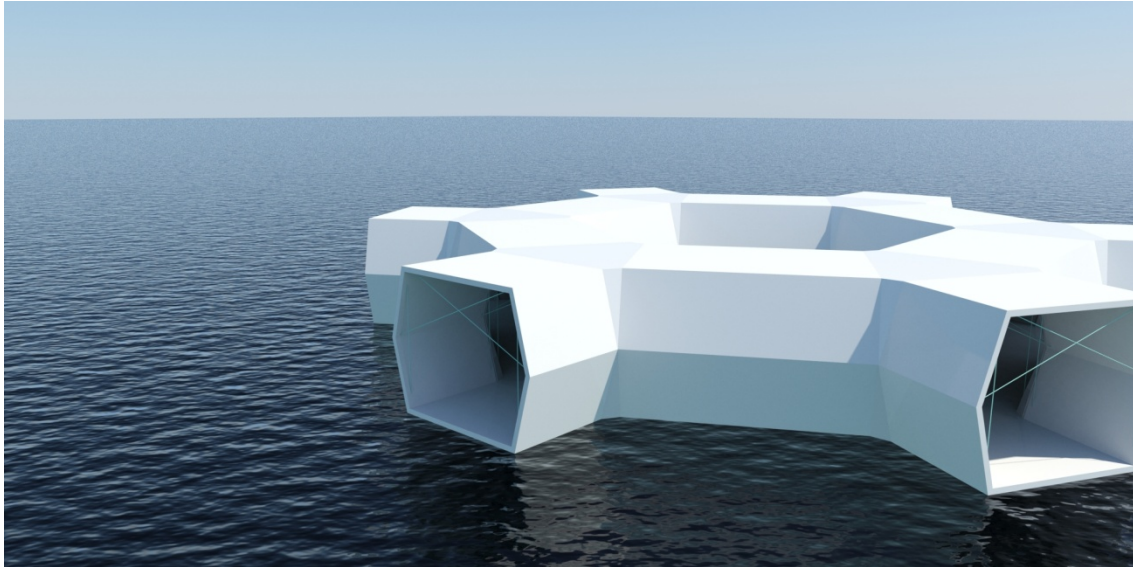


Fig. 44 - Posibilidad de agregaciones flotantes



De esta forma, más allá de ser un refugio, con la incorporación de los anclajes multipropósito diseñados tal y como se establece en el apartado 4.6.1 *Auxiliares-Anclaje a suelo y apoyos*, se pueden añadir piezas adicionales en forma de cuadrados o triángulos, y con solo tres piezas distintas se puede generar una increíble variedad de tipologías para servir de aulas escolares, cocinas, campamentos, centro de investigación, centro de atención al público o laboratorios entre muchos otros usos. En estos casos las instalaciones se incorporan en la parte superior.

Cuando se produce en agregación, se pueden eliminar las líneas cruzadas inferiores, ya que se adquiere estabilidad por la propia forma transfiriendo las tensiones que rigidizan todo el cuerpo a las superiores.

Fig. 45 - Imagen virtual sobre la posible disposición de una mini ciudad en zonas desérticas.

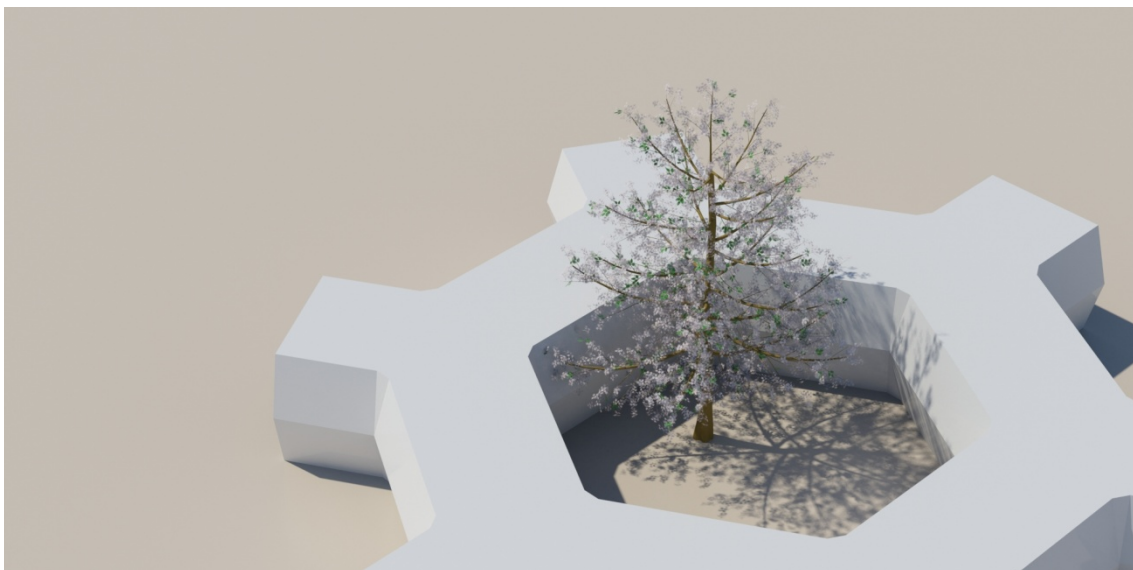


Fig. 46 - Perspectiva de la mini ciudad

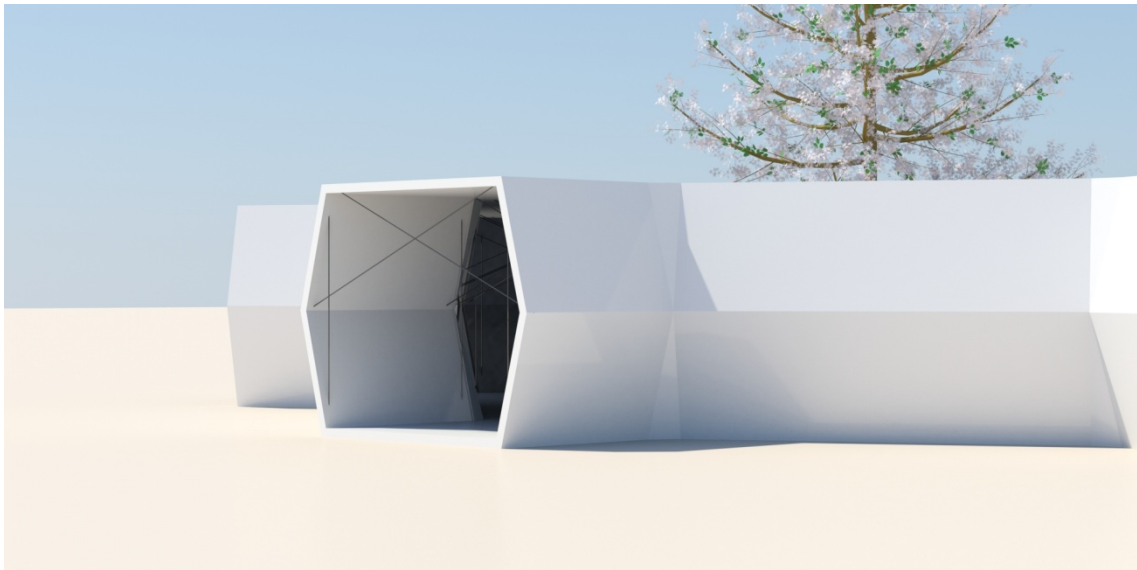
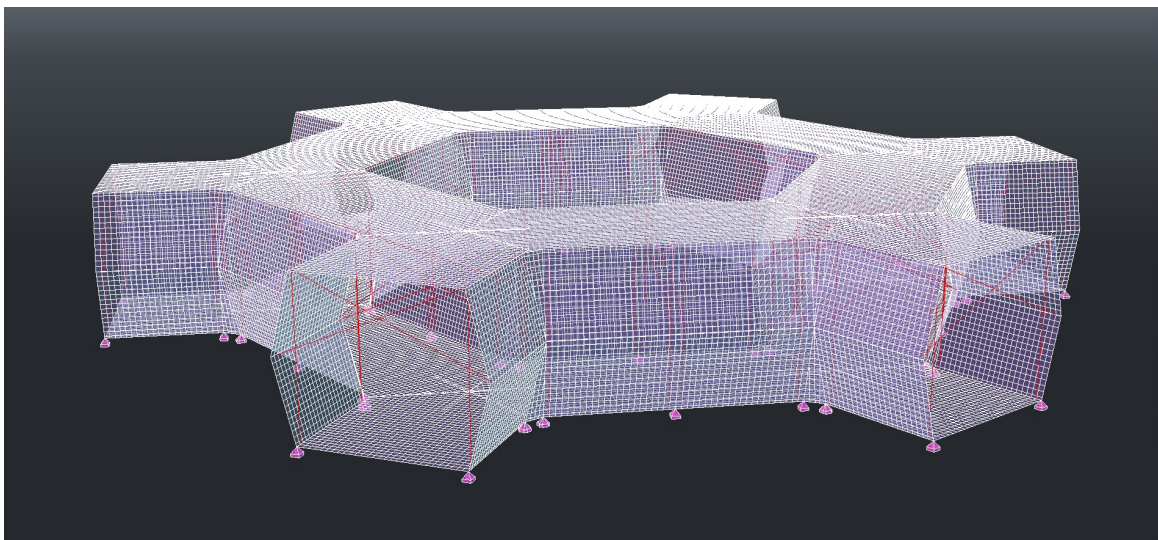


Fig. 47 - Modelado mediante barras y elementos finitos de la posible mini ciudad.



4.12 Logística y transporte

Según el consorcio Helitec, proveedora de servicios de aviación, un helicóptero como el MD500D series, un popular helicóptero de uso habitual que permite cargas externas –no todos los helicópteros las permiten- tiene una capacidad para cargas externas de máximo 450Kg, lo que prácticamente permitiría transportar dos refugios a la vez y tres pasajeros más piloto. Para que nos hagamos una idea, el helicóptero que sirve habitualmente en las misiones humanitarias de la ONU, el Mi-26, puede transportar un máximo de 28000Kg, o lo que es lo mismo, el peso de 140 refugios en composite. En este caso la limitación principal la encontramos el volumen que se pueda cargar, tanto exterior como interior, ya que 140 refugios son el equivalente a 7 contenedores 40' standard high cube. Lo más racional es transportar uno en la bodega y otro como carga externa.

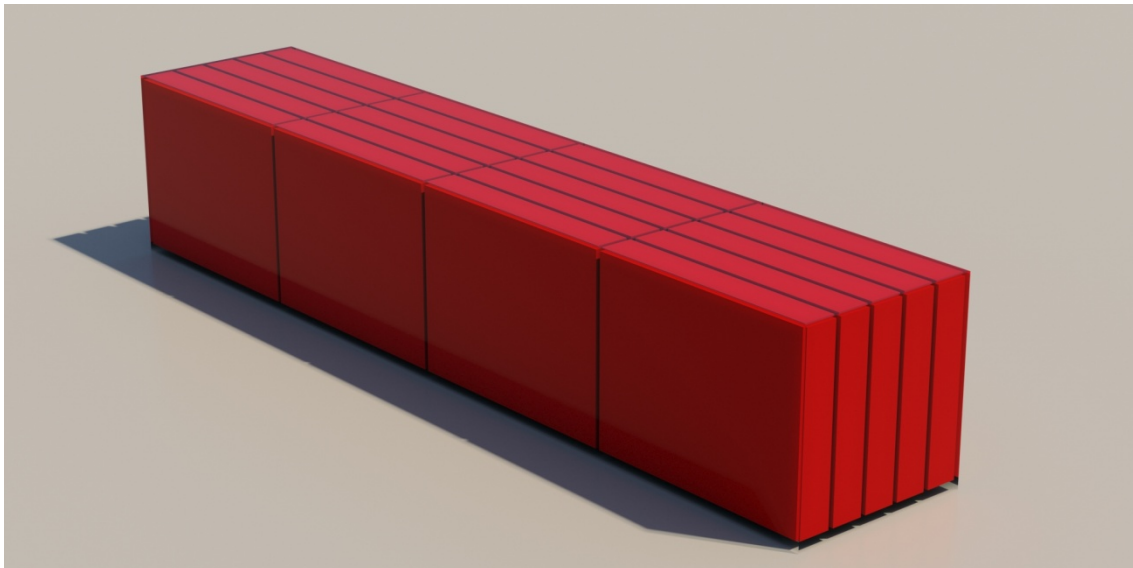
Eso permite que con helicópteros más convencionales de carga se puedan transportar a la vez 40 módulos. [21]

Fig. 48 - Helicóptero MD500D



Tanto para transporte aéreo como marino y terrestre usando módulos de carga convencionales no existe restricción alguna por ser una carga sin requisitos especiales.

Fig. 49 - Contenedor 40' Standard High Cube con 20 refugios plegados



4.12 Ficha técnica

Modelo proyectado

Célula simple

Tipo:

Célula de supervivencia, de paneles aislantes articulados, plegable para su transporte y almacenamiento, agregable.

Volumen plegado:

40x293x233cms

Volumen desplegado exterior:

283x371x233cms

Superficie útil interior (base):

233x293cms

Volumen útil interior:

20m³

Altura útil interior máxima:

Peso:

Carga máxima (flotabilidad):

agua salada 446Kg

agua dulce 435Kg

Vientos huracanados:

cálculo para 250 MPH, CAT 5

Impacto en huracanes

44m/s, objeto normalizado de 15 libras y dimensiones 4x2 pulgadas (falta verificar en laboratorio)

Nevadas intensas:

200cm con una densidad del 10%

Terremotos:

apto excepto impactos externos

Lluvias intensas e inundaciones

apto excepto fuertes corrientes

Incendios:

temperatura exterior máxima 290°C durante 40 minutos

Protección térmica :

transmitancia: 5.4w*k-1

piel:

acero/composite/aluminio (podría ensayarse con policarbonato)

cuerpo:

poliuretano

tirantes:

Aramida

Características de diseño estructural:

Tipo: Caja abierta de paneles rígidos con articulación estanca y continua en bordes, dotada de tirantes en extremos que aún cuando permiten su despliegue, impiden cualquier giro y desplazamiento una vez alcanzada su posición de diseño.

La articulación se materializa como ranura de alojamiento en los paneles mientras que un perfil permite el giro y su bloqueo. En su posición de trabajo, se convierte en unión dentada, de tal forma que a mayor sollicitación de la unión, mejor respuesta del conjunto. En su posición de reposo, sirven de asa para transporte y manipulación del refugio.

Los tirantes ajustables, colocados verticalmente, tensan el conjunto, poniendo en carga tanto los paneles como los tirantes fijos y aseguran la estabilidad de la caja.

Los paneles obtienen su capacidad mecánica de la propia piel, del cuerpo de aislamiento rígido, de sus bordes, y su arriostramiento por parte del resto de paneles que configuran la caja.

4.13 Despiece y costes aproximados

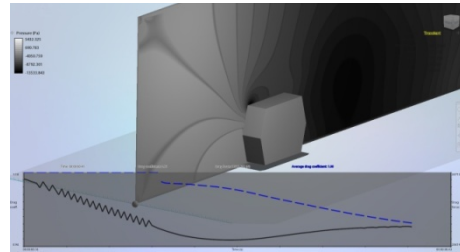
Tabla 10 - Tabla de costes aproximados

Material	Cantidad	Coste unitario	Coste total	Fuente
Panel sándwich acero	26.2m ²	21€/m ²	550.2€	Henan K-Home Steel Structure Co. Ltd.
Panel sándwich composite	26.2m ²	40€/m ²	1048€	Jiujiang Xiang li Beihai Composite Co. Ltd.
Panel sándwich aluminio	26.2m ²	53€/m ²	1388.6€	Generador de precios CYPE
Perfiles	93.2m	2.5€/ml	233€	Brilliance General Equipment Co. Ltd.
Tirantes	50m	1.5€/ml	75€	Dongguan Yinyi Aramid Fiber Ribbon Co. Ltd.
Auxiliares	1 conjunto	200€	200€	(Estimado)
TRANSPORTE	1 conjunto (Barcelona-Latakia(Siria))	1113€	1113€	Icontainers.com

5 Prototipo

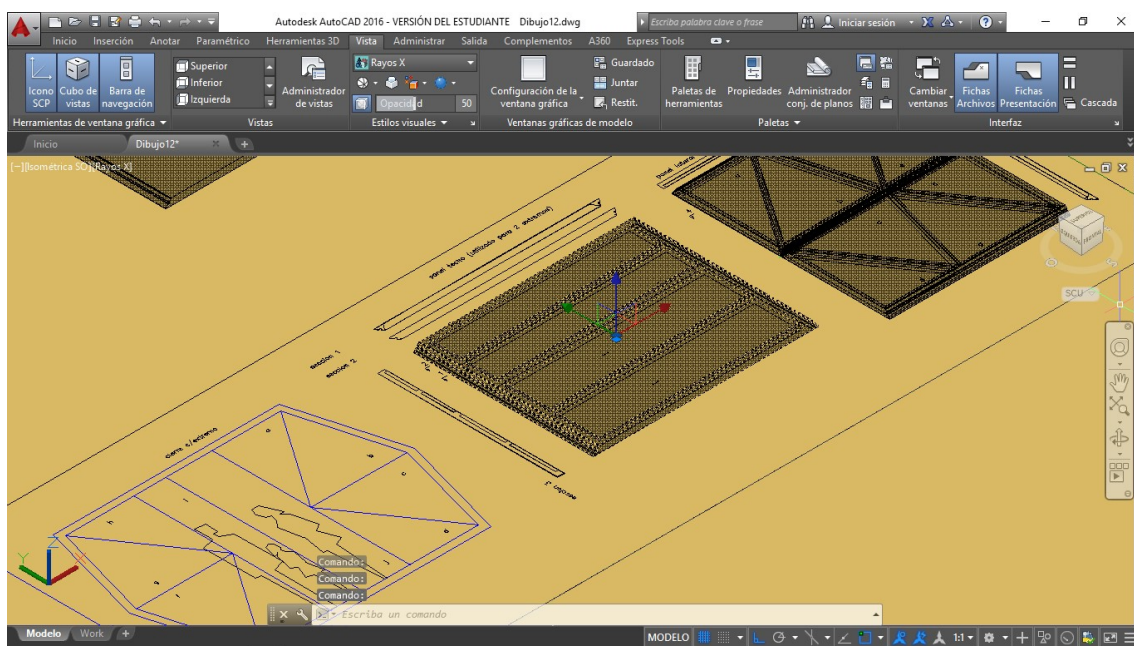
Debido a las complejidades de estudio y diseño de un elemento de cierta complejidad como es la célula tipo, se han desarrollado y elaborado mediante impresión 3d distintas piezas que componen la célula y que han sido proyectadas a lo largo de este trabajo. Además se han realizado distintos modelos para comprobar su efectividad a través de software informático avanzado como el Autodesk Flow Design.

Fig. 50 - Modelo para el análisis en 3d con proyección sobre un plano. Autodesk Flow Design



Una vez obtenido el diseño bidimensional de las piezas, se extruye en AutoCAD para obtener un modelo consistente y sólido.

Fig. 51 - Modelo para exportar como estereolitografía. Autodesk AutoCAD



Una vez se han obtenido los elementos necesarios, se exporta como estereolitografía (.stl) para que uno de los múltiples programas de código abierto que existen para imprimir pueda interpretar la geometría y obtener el trazado del extrusor mediante planos secantes.

Para la elaboración de este proyecto se ha usado CURA 15, un software patrocinado por Ultimaker, pero de código abierto, por ser una de las que mejor reputación tiene y permite muchas opciones de configuración, lo que permite obtener modelos precisos y con unas prestaciones adecuadas al tipo de pieza que queremos imprimir.

Fig. 52 - Software de impresión CURA 15.

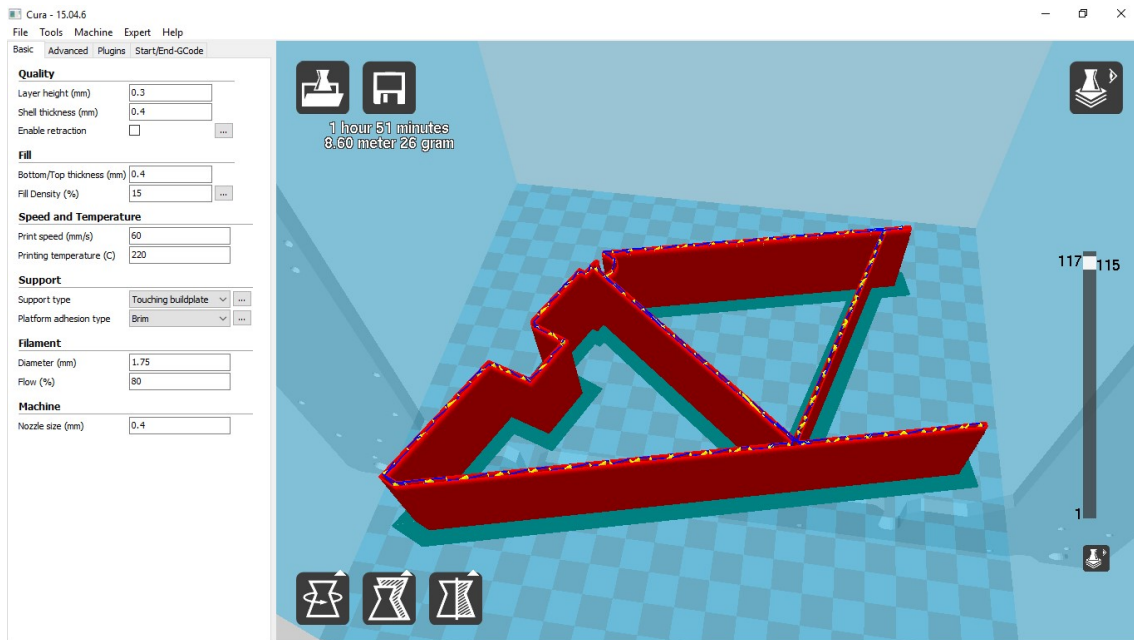
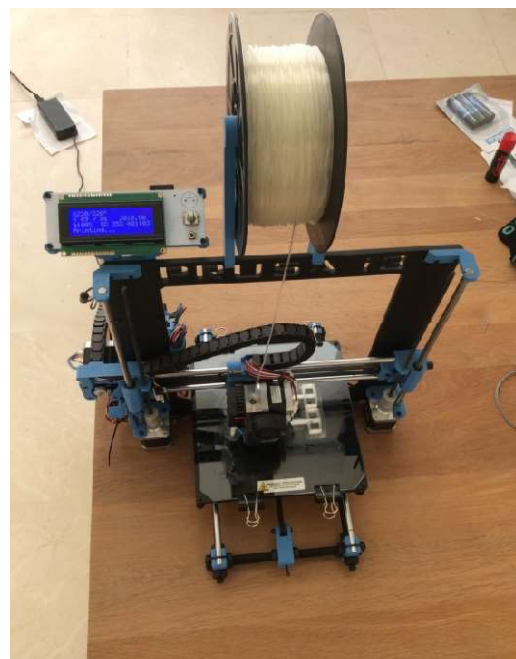


Fig. 53 - Prusa i3 Hephestos, de BQ.

A la derecha, se observa la impresora 3d en proceso de impresion, el PLA - poliácido lactic- es un tipo de plastico obtenido en grandes cantidades del maíz, además de ser biodegradable. La impresora apenas tiene un consumo de 40w.



6 Bibliografía

- [1] European Patent Office, "Espacenet." [Online]. Available: <https://worldwide.espacenet.com>. [Accessed: 25-Jun-2016].
- [2] "Leap Factory." [Online]. Available: <http://www.leapfactory.it/en/>. [Accessed: 22-Jun-2016].
- [3] USDA Natural Resources Conservation Service Oregon, "What is Snow Water Equivalent?" [Online]. Available: http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/or/snow/?cid=nrcs142p2_046155. [Accessed: 22-Jun-2016].
- [4] E. T. L. U.S. Army Corps of Engineers, "Greatest Snowfalls in North America."
- [5] Charles J. Ammon, "Earthquake Size."
- [6] and G. L. C. William Spence, Stuart A. Sipkin, "Measuring the Size of an Earthquake," *Earthquakes and Volcanoes*, vol. 21, no. 1, 1989.
- [7] Mark Meshulman, "Wind Loads and Windows for the Very Windy City." [Online]. Available: <http://chicagowindowexpert.com/windowtags/design-pressure/>. [Accessed: 22-Jun-2016].
- [8] Jesse Ferrell, "A New World Wind Speed Record at 253 MPH!"
- [9] ICC/NSSA Consensus Committee On Storm Shelter and (IS-STM), "ICC 500 (2008): Standard for the Design and Construction of Storm Shelters."
- [10] A. S. Vaidya, N. Uddin, and U. K. Vaidya, "THERMOPLASTIC COMPOSITE STRUCTURAL INSULATED PANELS (CSIPS) FOR BUILDING CONSTRUCTION," 2007.
- [11] W. Chen and H. Hao, "Performance of structural insulated panels with rigid skins subjected to windborne debris impacts - Experimental investigations," *Constr. Build. Mater.*, vol. 77, no. February, pp. 241-252, 2015.
- [12] "Garrison Architects." [Online]. Available: <http://garrisonarchitects.com/>. [Accessed: 22-Jun-2016].
- [13] Noem Architects, "NOEM." [Online]. Available: <http://www.noem.com/>. [Accessed: 22-Jun-2016].
- [14] S. V. Ushakov, D. Nag, and A. Navrotsky, "ushakov nag navrotsky NATAS 08," 2013.
- [15] "INSTALLATION GUIDELINES Clearance and Pilot Holes Clearance Hole Diameters and Hard Soil Pilot Installation in Decomposing Weathered or Marginally Competent Rock Spec Sheets."
- [16] Cousin-Trestec, "All Black." .
- [17] A. Hammood and Z. Radeef, "Characterizations of Environmental Composites," in *Composites and Their Properties*, InTech, 2012.
- [18] Universidad de Cádiz, "Propiedades del Aluminio." [Online]. Available: <http://tablaperiodica.uca.es/Tabla/elementos/Aluminio/Grupo1/Prop.Al>. [Accessed: 26-Jun-2016].
- [19] ingemecánica, "Propiedades Mecánico-Químicas del Aluminio." [Online]. Available: <http://www.ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn110.html>. [Accessed: 25-Jun-2016].
- [20] "Procedimiento de ejecución Sistema SikaTack Panel," 2009.

[21] "Servicios con Aeronaves de Ala Rotatoria." [Online]. Available: helitec.com/helicopteros.html#accordion-1-slide-1.