

Disseny d'un contenidor marítim plegable

Treball Final de Grau



Facultat de Nàutica de Barcelona
Universitat Politècnica de Catalunya

Treball realitzat per:
Sergio Puig Cantín

Dirigit per:
Xavier Martínez García
Daniel Yebra Folgueral

Grau en Enginyeria de Sistemes i Tecnologia Naval

Barcelona, 10 de febrer del 2019

Departament de Ciència i Energia Nàutiques



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Facultat de Nàutica de Barcelona

Agraïments

Es vol dedicar unes línies per agrair, a la gent i empreses que han col·laborat en l'elaboració del present projecte, que hagin tingut l'accessibilitat mostrada i cap mena de reticència a compartir informació que ha ajudat a enriquir el Treball de Fi de Grau que aquí es presenta.

Resum

El present projecte descriu el procés que s'ha dut a terme per a dissenyar un contenidor marítim plegable.

S'ha volgut dotar a un contenidor, de dimensions estàndards, de diferents mecanismes de manera que l'estructura tingui la capacitat de plegar-se sobre si mateixa amb l'objectiu que la base ocupi la mateixa àrea però que s'aconsegueixi una considerable reducció del volum d'aquest. A més d'aplicar-hi unes dimensions estandarditzades, s'ha procurat trobar el sistema que pugui ser més fàcilment adaptable a un contenidor no plegable o, almenys, que presenti en la seva estructura gran part dels seus elements. Com també s'ha procurat assolir unes característiques similars de pes i de capacitat resistiva de l'estructura.

La idea d'aquest projecte neix de la detecció d'una possible problemàtica de logística inversa dels contenidors marítics: Que viatgin buits.

En altres sectors, com l'automobilístic, per a transportar components, s'utilitzen contenidors específics que tenen la capacitat de plegar-se. Això suposa poder realitzar el transport d'una major quantitat de contenidors en la fase de logística inversa, quan els contenidors tornen buits al proveïdor.

Si a més petita escala, encara que l'automobilístic no sigui un sector petit, s'ha optat per aquesta solució, és possible que per al transport marítim es pugui aplicar també amb l'objectiu, no només de generar un estalvi econòmic en el transport i en l'emmagatzematge, sinó també amb la finalitat de reduir emissions.

Ara bé, essent el transport marítim de mercaderies un sistema tan implementat i globalitzat com és, podria ser que els fluxos de mercaderies permetessin que els contenidors sempre viatgessin plens.

La recerca inicial sosté que, en el supòsit d'un port concret on pugui haver un pronunciat desequilibri entre importacions i exportacions de mercaderies, caldria compensar aquest desequilibri amb importacions o exportacions de contenidors buits. Dit d'una altra manera, un port que rebi moltes mercaderies, però n'envii poques, generarà una acumulació de contenidors que no podrà compensar només amb les seves exportacions, per tant, caldrà que s'enviïn contenidors buits a una altra destinació. I el mateix passaria en cas contrari, si el volum d'exportacions és superior al d'importacions, caldrà rebre contenidors buits per a poder garantir les necessitats de transport. Aquest projecte doncs, intenta també esclarir aquesta hipòtesi inicial.

Tanmateix, essent un sector tan extens, el transport marítim, i havent-hi solucions semblants en altres sectors, un dubte que també es planteja en aquest projecte és perquè no s'ha implementat abans aquesta idea. Prenent com vàlida la hipòtesi anterior, un motiu plausible de la no implementació de contenidors marítics plegables podria ser el cost econòmic que suposaria la seva producció. És per això que el present projecte intentarà donar també resposta a aquest assumpte, fent una estimació del cost que implicaria produir un contenidor plegable, tot comparant-ho amb el cost que suposa un contenidor estàndard.

Per tot el que s'ha exposat anteriorment, el contingut i abast del projecte és el següent:

Es presenten dades que justifiquen la motivació del projecte tot mostrant el desequilibri entre importacions i exportacions generades, no a nivell de ports específics, però sí a nivell de regions mundials. Conjuntament se citen articles que donen suport a aquesta teoria.

Es presenten les diferents idees proposades per al sistema de plegament i el perquè del sistema triat i desenvolupat.

Es dona un informe detallat dels components que s'han dibuixat i quina funció presenten dins de l'estructura del contenidor, ja siguin components extrets d'un contenidor estàndard com components de nou disseny. Es presenten els resultats obtinguts dels càlculs estructurals elaborats per a les diferents condicions de càrrega que s'ha considerat estudiar. S'expliquen quines són les simplificacions que s'han dut a terme respecte al disseny i el càlcul estructural del contenidor. S'exposa una breu comparativa de costos de producció entre un contenidor estàndard i el contenidor plegable dissenyat. Es detallen les diferents possibilitats de millora del disseny que s'han detectat amb posteriorment a l'elaboració del projecte. I, per finalitzar, es presenten les conclusions extretes de l'elaboració del projecte.

Summary

The present project describes the process that has been carried on designing a foldable freight container.

It has been intended to give the container, of standard measures, different mechanisms in a way in which the structure has the capacity to fold itself with the objective that the base occupies the same area but achieving a considerable reduction of its volume. In addition to applying standard measures, it has been tried to find a system that could be easily adaptable to a non-foldable container or, at least, that presents in its structure a big part of its elements. As well as it has been tried to achieve a set of characteristics of similar weight and resistive capacity of the structure.

The main idea of this project results from the detection of a possible issue on the inverse logistics of freight containers: These travelling empty.

In other sectors, such as the automobilist one, to ship components, specific containers that can fold itself are used. This means, being able to transport a bigger quantity of containers in the phase of inverse logistics, when the containers return empty to the provider.

If, at a smaller scale, even though the automobilist is not a small sector, it is been chosen this solution, it is possible that for the maritime transport can be applied too with the objective, not only to generate an economic saving in the shipping and storage costs, but also to reduce emissions.

That said, being the maritime goods shipping such an implemented and globalized system as it is, it could be that the flow of goods allows the containers to travel always full.

The initial research holds that, under the supposition of a concrete port where there could be a big difference between imports and exports of empty containers, it would be necessary to compensate this imbalance between imports and exports. That is, a port that receives a high amount of goods, but ships few, will generate an accumulation of containers that will not be possible to compensate only with its exports, therefore, it will be necessary for them to be transported empty to another destination. And the same would happen in the opposite case, if the volume of exports where to be higher that imports, it would be needed to receive empty containers in order to guarantee the shipping needs. This project then, intends also to clarify this initial hypothesis.

However, being such an extensive sector, the maritime transport, and existing similar solutions in other sectors, a doubt that arises in the project is why has not been implemented before this idea. Taking as valid the previous hypothesis, a plausible motive of the non-implementation of foldable sea containers could be the costly implementation that would imply its production. That is why the present project will try to give an answer also to this matter, making a cost estimation of the foldable container, while comparing it with the cost of producing a standard one.

Because of all of what has been exposed previously, the content and scope of the project is the following:

Data is presented to justify the project while showing the imbalance between imports and exports generated, not at a specific port level, but at a worldwide region level. Jointly there are quoted articles that support this theory.

The following ideas are presented for the folding system and the reason of the chosen and developed system.

It is given a detailed report of the components that have been drawn and what function they present in the structure of the container, being either components extracted from a standard container or components of new design. Obtained results are presented from the structural calculation made for the different loading conditions that have been considered to study. It is explained which are the simplifications that have been carried out in respect to the design and structural calculation of the container. It is exposed a brief comparison of production costs between a standard container and the foldable designed one. It is detailed the different design improvement possibilities that have been detected afterwards to the elaboration of the project. And, finally, the conclusions extracted from the elaboration of the project are presented.

Taula de continguts

AGRAÏMENTS	5
RESUM	7
SUMMARY	9
TAULA DE CONTINGUTS	11
CAPÍTOL 1. JUSTIFICACIÓ	15
CAPÍTOL 2. NORMATIVA	19
2.1 ISO 668:2013	19
2.2 ISO 1496-1:2013	22
CAPÍTOL 3. SISTEMA DE PLEGAMENT	23
3.1 SISTEMA DE BARRES AMB RÒTULES	23
3.2 SISTEMA DE BARRES LLISCANT	24
3.3 SISTEMA D'ABATIMENT TOTAL	25
CAPÍTOL 4. DISSENY DIMENSIONAL DEL CONTENIDOR	29
4.1 PRISMA AUXILIAR	30
4.2 CORNER FITTING (CANTONERES INFERIORS)	30
4.3 BOTTOM SIDE RAIL (BIGUES LONGITUDINALS INFERIORS)	30
4.4 CROSS MEMBRES (BIGUES TRANSVERSALS)	31
4.5 NIVELLS DE PIS	31
4.6 PLYWOOD FLOOR (TERRA DE FUSTA)	33
4.7 TOPALLS DE LES PARETS	33
4.8 SIDE PANEL (PARETS LONGITUDINALS)	33
4.9 REAR DOOR END & FRONT WALL (PORTA POSTERIOR I PARET FRONTAL)	34
4.10 CORRUGATED ROOF (SOSTRE CORRUGAT):	35
4.11 DISPOSICIÓ CONJUNTA	36
4.12 ELISIONS	39
CAPÍTOL 5. SEQÜÈNCIA DE PLEGAMENT	41
5.1 SOSTRE CORRUGAT	41
5.2 PARET FRONTAL I PORTES POSTERIORS	42
5.3 PARETS LONGITUDINALS	42

CAPÍTOL 6. CÀLCUL ESTRUCTURAL	45
6.1 PROCÉS DE DIBUIX EN EL PROGRAMA DE CÀLCUL	45
6.2 CONDICIONS DE CONTORN	48
6.3 CASOS DE CÀRREGA	48
CAPÍTOL 7. RESULTATS	53
7.1 SITUACIÓ DE CÀRREGA LÍMIT SOBRE SUPERFÍCIE ESTÀTICA	53
7.2 PRIMER GRUP D'ITERACIONS	55
7.3 SEGON GRUP D'ITERACIONS	58
7.4 RESULTATS	60
CAPÍTOL 8. COMPARATIVA EN COST DE PRODUCCIÓ	63
CONCLUSIONS	65
BIBLIOGRAFIA	67
ANNEXOS	69
ANNEX 1. TAULES	69
DIMENSIONS	69
DADES ESTRUCTURA	70
COMPARATIVA PERFILS	71

Capítol 1. Justificació

En principi, qualsevol iniciativa que suposi la reducció d'un espai per a una mateixa operació és fàcilment perceptible com a una optimització. El disseny d'un contenidor marítim plegable, doncs, és inequívocament una optimització en l'ocupació de l'espai que genera un contenidor buit.

No obstant això, tota optimització ha de tenir una raó de ser. I, en el món mercantil, gran part de les optimitzacions que es duen a terme tenen com a objectiu la reducció de costos.

Abans d'iniciar aquest projecte el que s'intenta és identificar en quines operacions es genera un cost produït per tenir un contenidor buit.

La primera, i més òbvia, és que un contenidor buit ocupa espai. Un contenidor, en arribar al seu destí, és buidat i apilat amb altres contenidors, també buits, amb la finalitat d'esperar a ser omplert amb la seva nova mercaderia i ser transportat al seu nou destí. Es pot pensar però, que sent tan gran el mercat mundial de transport de mercaderies, la rotació que té un contenidor és immensa, dinàmica i, per tant, encara que sigui emmagatzemat és possible que sigui reenviat ràpidament. De manera que mai pugui suposar la saturació de l'espai que hi ha en un port.

La segona és el plantejament de si algun cop algun contenidor viatja buit. Si, a una escala més petita, imaginem un contenidor transportat per un camió a un destí determinat, és possible que l'indret on es faci la rebuda no tingui una mercaderia a retornar i que, per tant, el contenidor torni buit. L'inconvenient d'aquest plantejament és que l'enviament/retorn del contenidor té una relació d'1 a 1, de manera que no importa si el contenidor pot plegar-se o no, doncs haurà de ser reenviat buit sense que sigui rellevant l'espai que ocupa ja que viatjarà només l'esmentat contenidor.

D'aquest segon plantejament és d'on s'observa quin és el punt fonamental d'aquesta problemàtica. I, trobant resposta a aquest punt fonamental, es podrà resoldre les situacions anteriorment descrites. I, aquest punt és el següent: El flux d'enviament/retorn d'un proveïdor o, situant-ho a una escala major, el flux d'importacions/exportacions d'un port està equilibrat? És a dir, un port exporta tant com importa o a l'inrevés?

En la majoria de ports del món la resposta serà que no. Els ports que pertanyen a països desenvolupats hi haurà una tendència més gran a realitzar importacions que exportacions i, per contra, els països en vies de desenvolupament però, industrialitzats o rics en matèries primeres, tindran una major tendència a realitzar exportacions que importacions.

Què suposarà això? Que en ports on hi hagi més importacions que exportacions es produirà una acumulació de contenidors que provocarà que es necessiti cada cop més capacitat d'emmagatzematge (situació número 1) o que es necessiti enviar a una altra ubicació una part dels contenidors buits (situació

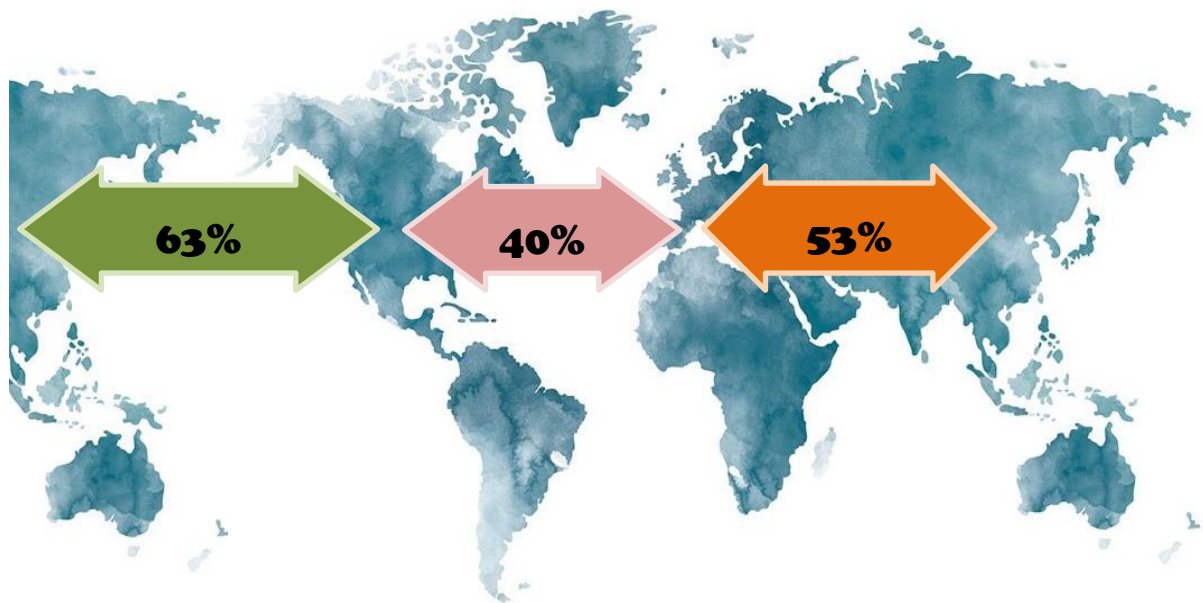
número 2). I, en el cas contrari, que es necessiti fer recepcions de contenidors buits per tal de poder canalitzar el flux d'exportacions que seria més gran que el d'importacions.

Hi ha diversos articles que corroboren aquesta hipòtesi. Per exemple l'article publicat per Alexander Eslava Sarmiento "Logística Inversa del Contenedor de Importación y Exportación" al 2018. Aquest article, basat en informació que apareix, entre altres, en textos com:

- UNCTAD. *Review of Maritime Transport 2012. United Nations Publication. Sales No. E.12.II.D.17. ISBN 978-92-1-112860-4. 2012.*
- UNESCAP. *Regional Shipping and Port Development Strategies – Container Traffic Forecast. United Nations: Nueva York. 2005.*
- *Containerization International Yearbook 2012. Reefers on The Slide. ISBN-13: 978-1843119906. Londres, Abril.*
- *Drewry Shipping Consultants Limited 2010. Annual Review of Global Container Terminal Operators. Londres.*

Explica que *al món hi ha contínuament 3,5 milions de TEU's emmagatzemats buits i que el 20,5% dels negocis realitzats en ports a escala mundial correspon a la manipulació de contenidors buits.*

Això és degut al desequilibri que existeix entre els fluxos d'importacions i exportacions que genera, d'una banda, excedents en contenidors i , de l'altra, escassetat d'aquests.

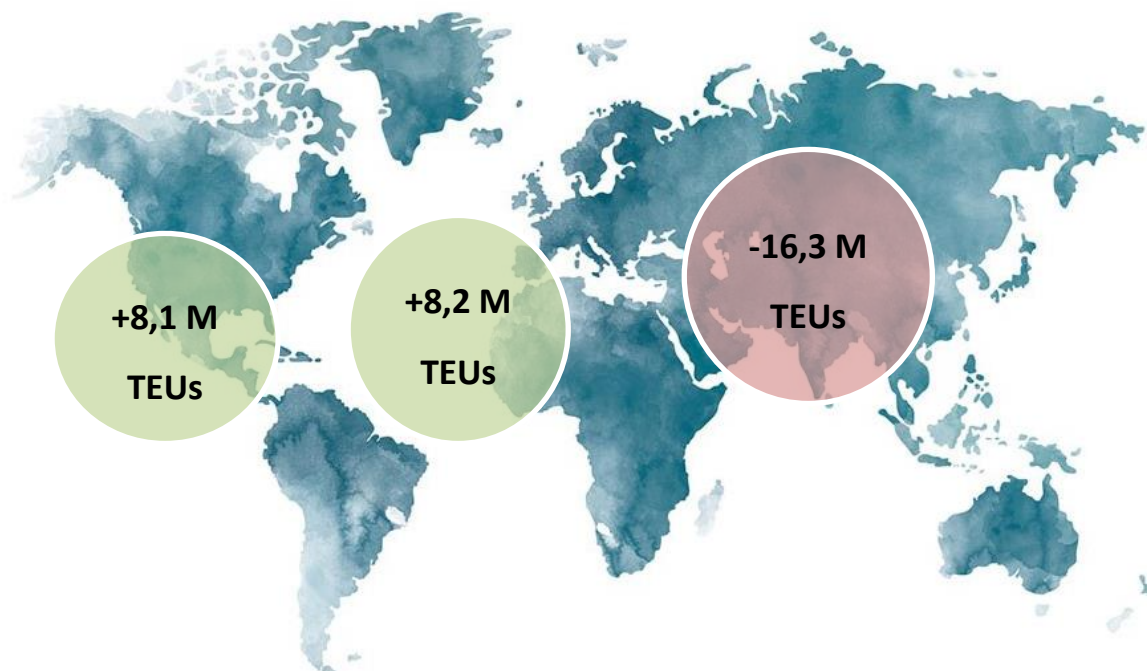


Il·lustració 1. Percentatges de trànsit intercontinental de mercaderies

	Trànsit directe	Trànsit invers	Balanç	%
Europa – Àsia	5.458.000	11.494.000	6.038.000	53%
Europa – Nord-Amèrica	3.152.000	1.872.000	1.280.000	40%
Nord-Amèrica – Àsia	4.510.000	12.070.000	7.560.000	63%

Taula 1. Xifres de trànsit intercontinental de mercaderies

Com s'evidencia en la taula anterior, la direcció dels fluxos comercials té un clar origen a l'Àsia i els seus destins se situen a la resta del món. El desequilibri generat ocasiona una excessiva acumulació de contenidors en terminals i dipòsits. Així doncs, apareixen zones on hi ha una gran carència de contenidors, mentre que en d'altres s'acumulen en excés.



Il·lustració 2. Balanç intercontinental recepció/enviament de contenidors

En la imatge anterior s'observa el desequilibri que hi ha de recepció i enviament de contenidors. Això suposa una greu problemàtica per a la logística inversa del contenidor (la logística de retorn del contenidor un cop és buit), ja que no només té una repercussió en el cost d'emmagatzematge, sinó que també es genera un cost per operacions de moviment dels contenidors buits i redueix la competitivitat de les terminals portuàries el fet que hagin d'aplicar recursos als moviments d'aquests. A més a més, suposa també una despesa mediambiental el fet que els transports terrestres hagin de retornar els contenidors a les terminals juntament amb un empitjorament del trànsit urbà.

S'exemplifica també aquesta problemàtica als ports Espanyols. Segons un article publicat per la fundació del Port de València, *dels 9.060.410 TEUs que van suposar el trànsit de contenidors als ports espanyols el 2003, un 27% eren buits.*

És per aquesta situació que quedaria justificada la necessitat d'implementar un sistema de plegament per a contenidors marítims, no només perquè el seu emmagatzematge es reduís en dimensions, sinó per a optimitzar-ne la logística inversa, podent transportar múltiples contenidors on abans només podia anar-hi un.

Capítol 2. Normativa

Durant el disseny del contenidor plegable, s'ha considerat seguir els criteris de les normatives ISO. D'aquesta manera s'assolirà la màxima facilitat d'estandardització possible per al contenidor i, així, facilitaria una possible entrada en el mercat del món del transport marítim.

Per a realització del projecte s'han consultat dues normes ISO.

La primera i principal és l'*ISO 668:2013 Series 1 freight containers – Classification, dimensions and ratings*, on, com el seu títol indica, ens determina la manera de classificar els contenidors i ens especifica tant les dimensions que ha de presentar com les masses brutes màximes que pot presentar el contenidor junt amb les seves respectives càrregues.

També s'han seguit les indicacions donades per l'*ISO 1496-1:2013 Series 1 freight containers – Specification and testing* on s'especifiquen també algunes de les dimensions que ja apareixen a l'ISO 668:2013 i s'inclouen també alguns detalls de com han de ser els seus components i a quins tipus de càrregues s'haurà de sotmetre el contenidor en cas que es vulgui comprovar que compleix els requisits de resistència estructural.

2.1 ISO 668:2013

Els principals punts a tractar de l'ISO 668:2013 per a la realització del treball són els següents:

- 3. *Terms and conditions*

- 3.1 *Freight container*: Es defineix el contenidor de càrrega com:

Un article d'equip de transports que

- a) Presenta unes propietats permanents i una resistència suficient per a ser utilitzat un gran nombre de vegades.*
- b) Està dissenyat especialment per a facilitar la càrrega de béns per a un o més mitjans de transport, sense que sigui necessari un sistema de càrrega intermedi entre aquests transports.*
- c) Que estigui dissenyat amb diferents ítems que romanguin llestos per a facilitar la seva manipulació, especialment per quan es transfereixi d'un transport a un altre.*
- d) Que estigui dissenyat per a facilitar tant omplir-lo com buidar-lo.*
- e) Que presenti un volum de 1 m³ (35,3ft³) o més.*

○ 3.3 Rating R

El pes brut, R, és tant la massa màxima d'operació com la massa mínima per testejar el contenidor.

● 4. Classification and designation

Els "Series 1 freight containers" tenen una amplada uniforme de 2.438 mm (8ft)

Les llargàries nominals estan llistades a la taula 1

Els contenidors de 2.896 mm (9ft 6in) d'alçada es designen amb les sigles 1EEE,1AAA i 1BBB.

Els contenidors de 2.591 mm (8ft 6in) d'alçada es designen amb les sigles 1EE,1AA,1BB i 1CC.

Els contenidors de 2.438 mm (8ft) d'alçada es designen amb les sigles 1A,1B,1C i 1D.

Els contenidors de menys de 2.438 mm (8ft) d'alçada es designen amb les sigles 1AX,1BX,1CX i 1DX. On "X" no té cap altra connotació específica que no sigui la d'indicar que l'alçada del contenidor és entre els 0 i 2.438mm (8ft).

● 5. Dimensions, tolerances and ratings

○ 5.2.2 Ratings

...Seran considerats contenidors ISO tots els que es compleixi que la seva massa bruta màxima (R) no excedeixi els 30.480 Kg i que estiguin testejats i marcats amb aquesta massa.

● Taula 1: Longituds nominals

Freight container designation	Nominal length	
	m	ft
1EEE 1EE	13,7 ^a	45 ^a
1AAA 1AA 1A 1AX	12,2 ^a	40 ^a
1BBB 1BB 1B 1BX	9,1	30
1CC 1C 1CX	6,1	20
1D 1DX	3,00	10

^a In certain countries there are legal limitations to the overall length of vehicle and load.

- Taula 2: Dimensions externes, toleràncies permissibles i masses per als “Series 1 freight containers”.

Freight container designation	Length, L			Width, W			Height, H			Rating, R ^a (gross mass)				
		tol.			tol.			tol.						
	mm		ft and in	mm	ft	in	mm	ft and in	in	kg	lb			
1EEE	1 3716	0 -10	45'	0 -3/8	2 438	0 -5	8	0 -3/16	2 896 ^b	0 -5	96'	0 -3/16	30 480 ^a	67 200 ^a
1EE									2 591 ^b	0 -5	86'	0 -3/16	30 480	
1AAA	12 192	0 -10	40'	0 -3/8	2 438	0 -5	8	0 -3/16	2 896 ^b	0 -5	9' 6" ^b	0 -3/16	30 480 ^a	67 200 ^a
1AA									2 591 ^b	0 -5	8' 6" ^b	0 -3/16		
1A									2 438	0 -5	8'	0 -3/16		
1AX									<2 438		<8'			
1BBB	9 125	0 -10	29' 11 1/4"		2 438	0 -5	8	0 -3/16	2 896 ^b	0 -5	9' 6" ^b	0 -3/16	30 480 ^a	67 200 ^a
1BB									2 591 ^b	0 -5	8' 6" ^b	0 -3/16		
1B									2 438	0 -5	8'	0 -3/16		
1BX									<2 438		<8'			
1CC	6 058	0 -6	19' 10 1/2"	0 -1/4	2 438	0 -5	8	0 -3/16	2 591 ^b	0 -5	8' 6" ^b	0 -3/16	30 480 ^a	67 200 ^a
1C									2 438	0 -5	8'	0 -3/16		
1CX									<2 438		<8'			
1D	2 991	0 -6	9' 9 3/4"	0 -3/16	2 438	0 -5	8	0 -3/16	2 438	0 -5	8'	0 -3/16	10 160	22 400
1DX									<2 438		<8'			

^a See 5.2.2.

^b In certain countries there are legal limitations to the overall height of vehicle and load (for example for rail/road service).

- Taula 3: Dimensions internes mínimes i dimensions per a les portes per als “Series 1 freight containers”.

Freight container designation	Minimum internal dimensions			Minimum door opening dimensions	
	Height	Width	Length	Height	Width
1EEE	Nominal container external height minus 241 mm	2 330	13 542	2 566	2 286
1EE				2 261	
1AAA				2 566	
1AA				2 261	
1A				2 134	
1BBB				2 566	
1BB				2 261	
1B				2 134	
1CC				2 261	
1C				2 134	
1D				2 134	

2.2 ISO 1496-1:2013

La normativa ISO 1496-1:2013 – Freight containers – Specification and testing fa referència principalment als elements del contenidor i a quines proves d'esforços hauran de ser sotmeses. A més a més, fa referència a punts que descriu la ISO 668 com són les dimensions dels contenidors segons model.

Aquesta detalla els elements que es requereix que presenti el contenidor, quins són opcionals i quins no han de ser-hi, segons el model. A més, en casos concrets, determina la seva disposició o certes característiques específiques d'un element com la disposició dels orificis de les cantoneres.

Els punts als quals s'hi ha destinat una especial atenció són els següents:

- **Cantoneres:** El contenidor ha d'estar proveït de cantoneres tant en la seva base inferior com en la superior.
- **Estructura:** L'estructura del contenidor ha de tenir la capacitat d'estar sostinguda únicament de les seves 4 cantoneres inferiors.
- **Portes:** El contenidor ha d'estar proveït de portes almenys en un dels seus extrems. Aquestes han de ser el més gran possible.
- **Obertures per a càrrega mitjançant carretó elevador:** En certs models és opcional la inclusió d'uns orificis en les bigues longitudinals inferiors per a que el contenidor pugui ser transportat mitjançant un carretó elevador. No obstant, en d'altres, com els contenidors de 40 peus, està prohibit que presentin els mencionats orificis.

Capítol 3. Sistema de plegament

El punt més rellevant i característic del present projecte és el disseny d'un sistema de plegament per a un contenidor de càrrega marítim.

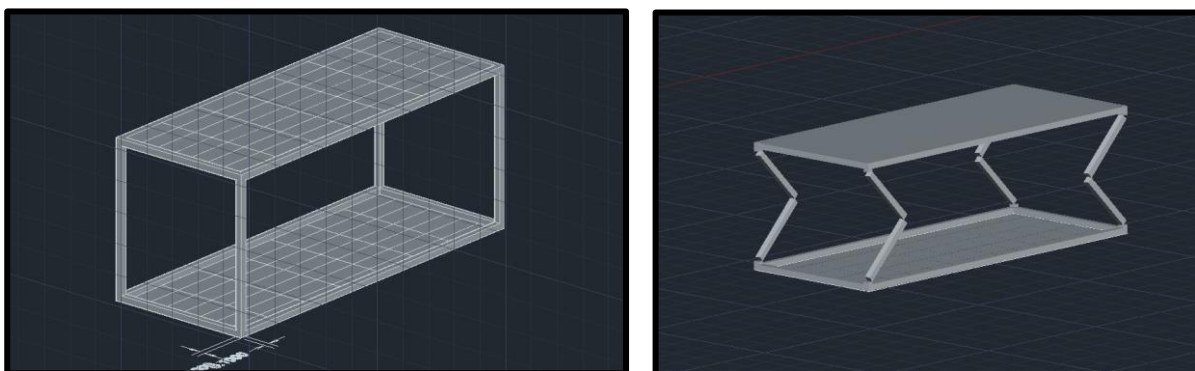
En el moment d'iniciar el projecte s'ha volgut tenir en compte diferents alternatives pel que fa al sistema o mètode de plegament de manera que es pugui triar la millor opció.

El criteri per a la tria d'aquesta opció no s'ha basat només en un fonament econòmic, sinó que també es tindran en compte el pragmatisme, la facilitat de maniobra, la facilitat d'una possible implementació i la facilitat d'adaptabilitat a un contenidor ja existent.

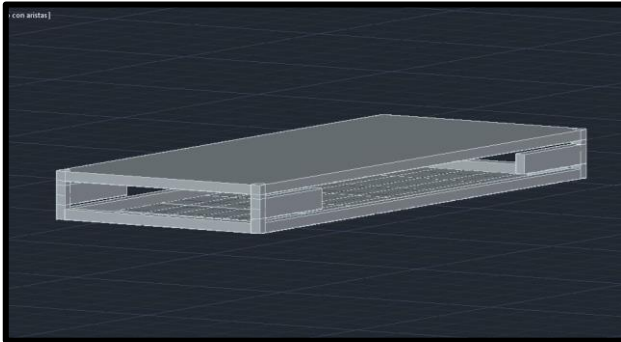
Alguns d'aquests sistemes s'han ideat partint des de zero, mentre que d'altres s'han inspirat en diferents mecanismes ja existents en contenidors no marítims que operen al mercat.

3.1 Sistema de barres amb ròtules

La primera idea era dissenyar una estructura de barres quadrades que, considerant el contenidor com un prisma quadrangular, es disposarien de manera que formessin el conjunt d'arestes del prisma. La base superior i inferior del contenidor haurien de ser fixes, mentre que totes les parets laterals serien abatibles. Aquestes parets haurien de presentar una seqüència de plegament i diferents altures de plegament per tal de poder solapar-se sense cap problema i minimitzar l'espai vertical ocupat. Un cop es tenen els laterals abatuts, les columnes de l'estructura haurien de plegar-se sobre si mateixes, doblegant-se per la meitat mitjançant unes ròtules, en el sentit longitudinal del contenidor.



Il·lustració 3. Sistema de plegament mitjançant ròtules



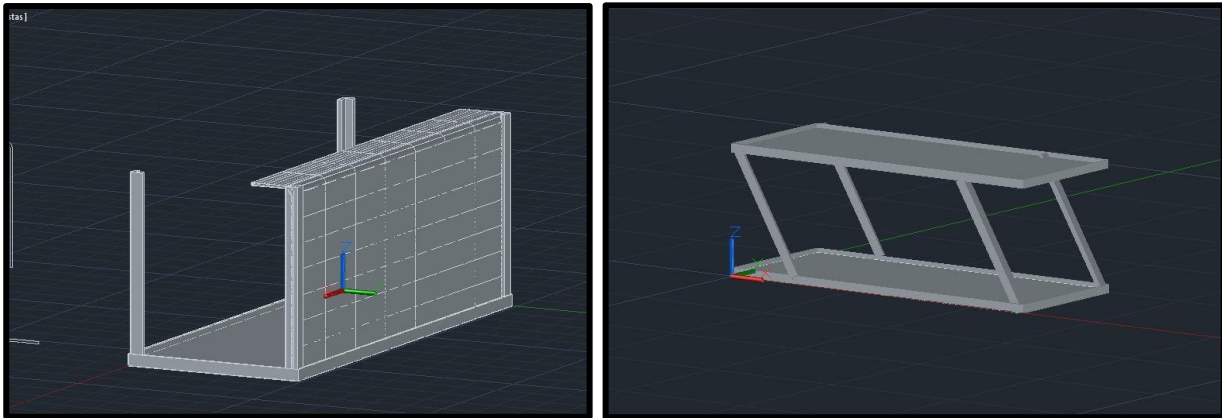
Inicialment s'ha pensat que per a la realització del plegament i desplegament seria suficient amb una grua que estirés de la base superior per al desplegament i que l'aguantés per tal d'alentir l'efecte de la gravetat en el procés de plegament. Tant les ròtules com les parets laterals haurien de disposar d'algun sistema de bloqueig quan el contenidor estigués desplegat.

Es pensa que poden ser grans desavantatges d'aquest sistema que no sigui viable una adaptabilitat respecte a un contenidor ordinari i que s'hagi de sobredimensionar l'estructura de barres per suplir el possible esforç que farien normalment les parets laterals fixes.

A més, hi hauria força complicacions per fer que les parets abatudes no interferissin en la trajectòria de plegament de les columnes.

3.2 Sistema de barres lliscant

Aquesta segona idea estaria desenvolupada a partir de la primera. Es consideraria igualment una estructura de barres que formarien el sistema d'arestes del prisma. Però el seu plegament, en lloc de fer-se a través de ròtules situades a la meitat de l'alçada de les columnes, consistiria en un sistema lliscant de la base inferior o superior de les columnes a través d'un carril situat en el sentit longitudinal del contenidor dins de les mateixes arestes longitudinals. Per la relació de distàncies entre l'alçada del contenidor i l'amplada del mateix i, per aconseguir que l'abatiment dels laterals no perjudiqués el lliscament de les columnes interferint el seu camí, es consideraria implementar un sistema de persianes per als laterals longitudinals que quedessin recollides dins de l'estructura. I, per a que no interferissin una amb l'altra i ocupessin el mínim volum possible, una hauria de recollir-se de la base inferior del contenidor a la base superior, i l'oposada en sentit contrari, és a dir, de la base superior del contenidor a la base inferior. Presentant així una simetria imparella respecte a la diagonal que creua la secció transversal del contenidor.



Il·lustració 4. Sistema de plegament per lliscament

El procés ideat per al plegament i desplegament del contenidor seria el mateix al sistema anterior.

Malauradament es considera que presentaria uns desavantatges molt semblants al disseny anteriorment exposat. A més no podrien aprofitar-se les làmines de xapa que formen les parets del contenidor.

3.3 Sistema d'abatiment total

Aquest sistema ha estat ideat a partir de dos contenidors de càrrega. Un GLT i un LGLT destinats al transport de peces d'automoció. Les sigles de GLT signifiquen "*Großladungsträger*", que en alemany voldria dir portador càrrega gran. És un nom que es designa per a contenidors amb una base mitjana superior a 600mm x 400mm format de material metàl·lic. El LGLT que significa "*Licht*" GLT, és a dir, GLT lleuger. Aquest últim presenta les mateixes característiques però està fet de plàstic.

La primera part es basa en el sistema de plegament del GLT 111 940.

En aquest cas, el contenidor estaria format per una base superior, una inferior i quatre parets laterals, sense cap estructura de barres. La idea consistiria en què les cantonades que formen les parets haurien de poder fixar-se i alliberar-se, de manera que en el moment de plegar el contenidor podrien abatre's els diferents laterals mitjançant una seqüència de plegament. A més a més, fent que dos d'ells, probablement els situats a la secció transversal del contenidor, quedessin plegats a l'altura de l'interior de la base i així no ocuparien espai vertical extra a l'interior del contenidor.



Il·lustració 5. Contenidor GLT 111 940

El primer inconvenient d'aquest sistema és que, disposant el contenidor d'un sostre, a simple vista sembla que no es pugui realitzar. I la solució proposada per a aquest problema es basa en el sistema que té el contenidor LGLT 114 333 per a extreure la seva pròpia tapa.



Il·lustració 6. Contenidor LGLT 114 333

La idea és que, mitjançant unes frontisses a la part superior d'una de les parets laterals i unes guies situades sota la base superior, es pugui extreure l'esmentada base superior i que llisqui girant sobre les frontisses i, gràcies a les guies que porta incorporades, pugui situar-se al costat del lateral del contenidor. De manera que podrien abatre's tots els altres laterals, sent el lateral amb les frontisses l'últim en quedar en peu i essent possible aleshores el seu abatiment. Així, el sostre quedaria situat a sobre de tota l'estructura del contenidor plegada.

Per a plegar i desplegar el contenidor dissenyat en aquest sistema, es considera que es podria utilitzar tant grues, com toros mecànics o, fins i tot, dissenyar una gàbia robotitzada en la que introduir el contenidor i que es plegués o desplegués de forma automatitzada.

Finalment, aquest últim sistema de plegament ha estat el triat per a l'elaboració del disseny del contenidor doncs és el que presenta uns mecanismes més senzills, fet que pot abaratir considerablement el seu cost.

Es considera també que els elements resistius més importants, les columnes del contenidor, podran ser més robusts en aquesta configuració.

Al Capítol 5. Seqüència de plegament es descriu el procés que s'ha de realitzar per a plegar l'estructura dissenyada.

Capítol 4. Disseny dimensional del contenidor

El primer pas que s'ha dut a terme en el projecte és el de la tria de dimensions per al contenidor.

El principal criteri a l'hora de fer la tria és que les dimensions d'aquest contenidor siguin iguals a la majoria de contenidors estandarditzats. El motiu de seguir estrictament aquest criteri no és només per certificar que es compleixin unes certes normatives sinó també que la implementació d'aquest tipus de contenidor tingui una fàcil acceptació.

Es troba que una entitat de les que regulen les dimensions en els contenidors de càrrega és la ISO: International Organization for Standardization.

La normativa ISO que recull les dimensions estàndards dels contenidors marítims és la ISO 668:2013.

Segons aquesta normativa les dimensions d'un contenidor marítim són ben diverses.

La seva llargària pot ésser de 13.716, 12.192, 9.125, 6.058 i 2.991 mil·límetres.

L'amplada del contenidor és invariable i es considerarà de 2.438 mil·límetres.

Pel que fa a l'alçada els valors varien entre 2.896, 2.591 i 2.438 mil·límetres.

Si bé és cert que totes aquestes dimensions serien homologables, n'hi ha algunes que són molt més utilitzades que la resta.

Per començar, és ben coneguda dins del món mercantil la nomenclatura dels contenidors de 20 i 40 peus. Això és perquè, efectivament, en una gran part del mercat dels contenidors marítims s'utilitzen aquestes dues mesures, que equivaldrien a 6.058 mm i 12.192mm respectivament. Per al contenidor projectat s'ha triat doncs la mesura de 6.058mm de llargària però podria haver estat la de 12.192mm igualment, ja que la diferència d'aquestes dues llargàries no es considera que afecti al sistema que s'ha dissenyat.

A l'hora de fer la tria de la distància que mesuraria l'alçada hi havia certa inclinació a triar els 2.438mm doncs això implicaria que el contenidor tindria una secció transversal quadrada i això podria facilitar en gran mesura el sistema de plegament. No obstant, després de contactar amb l'empresa naviliera CMA-CMG i amb l'empresa BEST, que gestiona una de les terminals de contenidors del port de Barcelona, s'observa que l'altura més utilitzada en els contenidors marítims és la de 2.591mm.

Arribats a aquest punt i tenint en compte les premisses inicials d'estandardització i d'implementació, es tria que les dimensions exteriors del contenidor seran de:

6.058mm(20') x 2.591mm x 2.438mm

A partir d'aquí, es procedeix a fer la descripció de cadascun dels components que formen el contenidor. Se segueix l'ordre de disseny, que seria un procediment similar a l'ordre que es duria a terme per la construcció del contenidor.

4.1 Prisma auxiliar

Es dibuixen les arestes d'un prisma rectangular de dimensions 6.058mm x 2.591mm x 2.438mm com les que té el contenidor. De manera que el disseny anirà incloent components que sempre aniran situats dins dels límits del prisma.

4.2 Corner fitting (cantoneres inferiors)

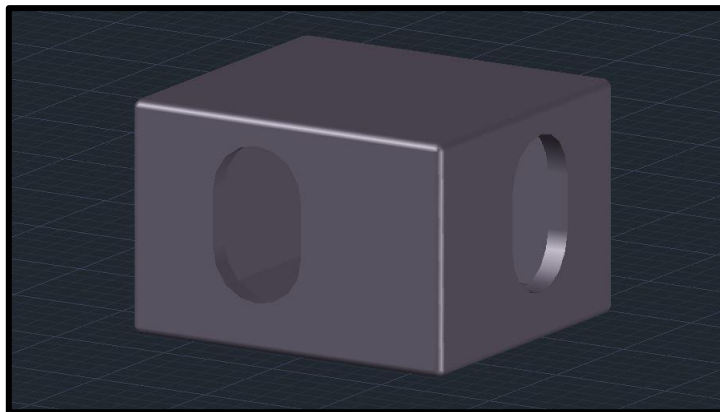
Són els objectes que ocupen les 8 cantonades del contenidor. S'utilitzen com a punt de fixació del contenidor a l'hora de manipular-lo.

Les cantoneres inferiors són 4 prismes de 178mm x 162mm x 118mm que tenen l'interior buit. Es dona un gruix a les parets de 11 mm i les arestes exterior presenten un arrodoniment de 4mm de radi.

A més a més, les cantoneres presenten 4 orificis.

En el procés de disseny se situen les 4 cantoneres en les 4 cantonades inferiors de les arestes del prisma dibuixat.

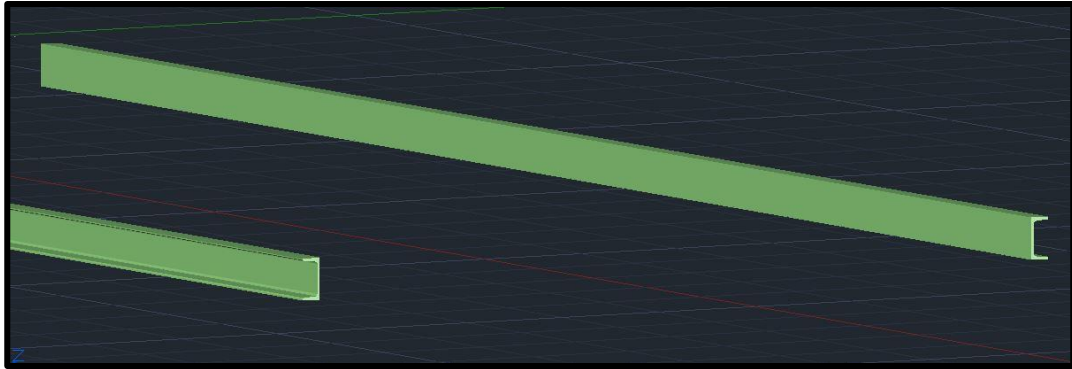
Les 4 cantoneres superiors s'han dissenyat com a part de l'estructura que conté els Side panels (parets longitudinals). Aquestes últimes són les encarregades de suportar tot el pes del contenidor i la seva càrrega quan es manipula mitjançant una grua amb cables.



Il·lustració 7. Cantonera

4.3 Bottom side rail (Bigues longitudinals inferiors)

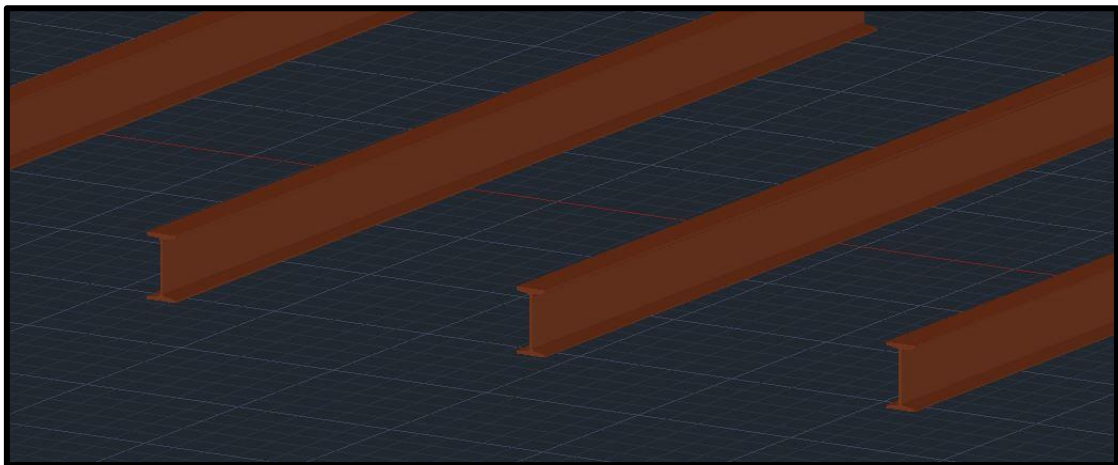
La longitud del contenidor està recorreguda per dues bigues situades una a cada costat d'aquest. La seva longitud s'estén al llarg de l'espai que hi ha entre les cantoneres de cada costat del contenidor. Per a aquestes bigues es tria un perfil UPN 120, situant la cara interior cap a l'exterior del contenidor.



Il·lustració 8. Bigues longitudinals inferiors

4.4 Cross membres (Bigues transversals)

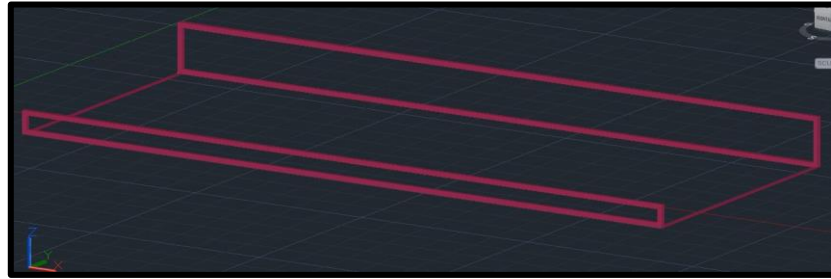
Són les bigues que es disposen transversalment en tota la longitud del contenidor. En aquest cas se situen 7 bigues interiors i 2 exteriors equidistants entre elles. Per a les bigues interiors es tria un perfil IPN 120 i la seva longitud ocupa l'espai situat entre les dues bigues longitudinals. La cara interior d'aquestes últimes se situa mirant a l'interior del contenidor.



Il·lustració 9. Bigues transversals inferiors

4.5 Nivells de pis

Com s'ha explicat a l'apartat sobre el sistema de plegament, el fet que les parets laterals es pleguin l'una sobre l'altra i que ambdues es pleguin sobre les parets transversals implica que hauran de plegar-se a diferents nivells per tal de poder ocupar altures diferents un cop plegats.



Il·lustració 10. Nivells de pis

4.5.1 Pis 0: Es considera pis 0 el nivell on se situen els plegaments de les dues parets transversals. Aquest pis es troba a 6mm sobre el nivell de les cantoneres i bigues, ja que haurà de superar el gruix de la làmina de fusta que es disposarà al terra del contenidor.

4.5.2 Pis 1: Es considera el pis 1 el nivell on està la paret longitudinal que primer es plegui segons la seqüència de plegament.

Per a la tria de l'altura d'aquest nivell s'exposen 3 situacions i es tria la més crítica. Així, s'obté l'altura límit.

El primer factor limitant és que la paret transversal anirà plegada sobre les transversals. Per tant, el nivell en què es plega haurà de superar l'altura del pis 0 i el gruix màxim (40mm) de les parets transversals. És a dir, que l'altura hauria de ser de 46mm ($40 + 6$).

El segon factor limitant és que, un cop plegada la paret, la seva llargada no pot superar l'amplada del contenidor. És més, haurà de ser com a màxim 40mm més petita doncs tampoc haurà de superposar-se amb l'espai que ocuparà el Pis 2, al costat oposat, de 40mm de gruix. Segons aquest segon criteri, l'altura màxima de la porta hauria de ser l'amplada del contenidor menys el gruix del pis 1 i el pis 2. Això implicaria una altura de 2.358mm. Tenint en compte que l'altura de les bigues inferiors és de 120mm, el pis 1 hauria de tenir una alçada de 113mm ($h_{\text{contenidor}} - h_{\text{biga}} - h_{\text{paret}}$). El tercer i últim factor limitant és el gruix de la columna que emmarcarà la paret longitudinal. La distància de la biga sobre l'eix transversal és de 229mm. Si tenim en compte que el plegament es realitza a una longitud de 40mm des de l'inici de la biga (provocat pel gruix del pis), això implica que la biga ocuparà 189mm en el sentit negatiu de l'eix Z. Significa doncs que la diferència entre el pis 0 i el pis 1 haurà de ser de 189mm (ja que un cop plegades les parets transversals no interferiran en el camí del plegament de la primera porta longitudinal).

D'aquestes tres hipòtesis s'extreu que el nivell del pis 1 s'haurà de situar a 189mm sobre el pis 0, per tant, a 195mm sobre l'estructura de bigues inferiors.

4.5.3 Pis 2: Es considera que el pis 2 és el nivell on se situa la segona paret longitudinal segons l'ordre de seqüència de plegament.

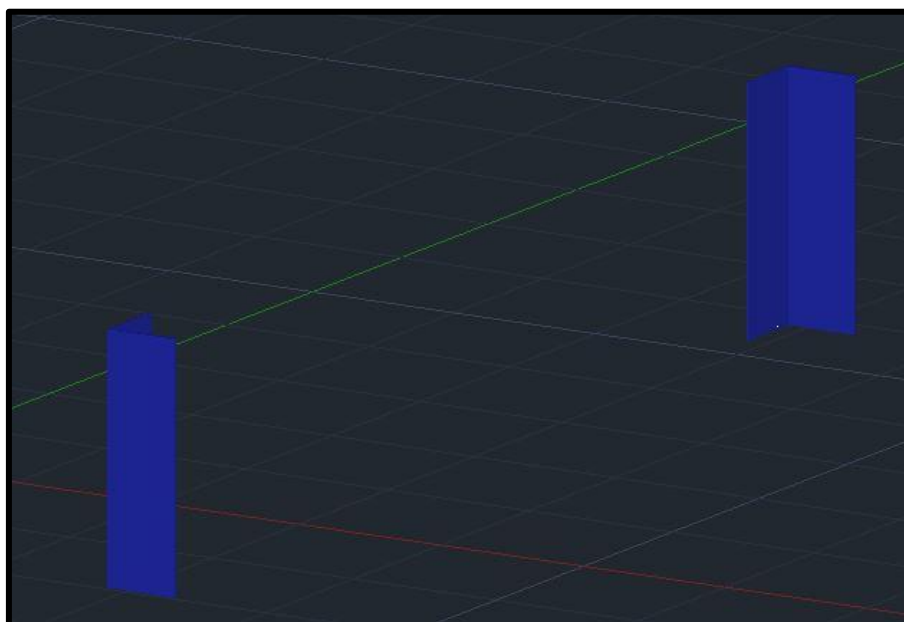
Extrapolant els resultats obtinguts segons les hipòtesis exposades pel pis 1, es considera que el factor que limita l'altura del pis 2 serà l'espai que ocuparà l'amplada de la columna de la paret longitudinal 2 plegada sobre l'amplada de la longitud de la columna de la biga de la paret longitudinal 1. Així doncs, tenint en compte que un cop plegada la paret longitudinal 2 sobresortirà 40mm respecte al nivell 2, l'altura del nivell 2 serà de 424mm.

4.6 Plywood floor (Terra de fusta)

S'inclou una làmina de fusta de 6mm de gruix que cobreix tota l'estructura de bigues inferiors. La làmina de fusta està limitada pels marges interiors de l'estructura de nivells de pisos.

4.7 Topalls de les parets

A les 4 cantonades inferiors del contenidor, des de l'altura de l'inici de l'estructura de nivells, s'afegeixen uns escaires que superaran el pis 2 de l'estructura de nivells per 20mm. Les seves funcions són les següents: Fan de topall de les parets un cop desplegadas, serveixen per apilar els contenidors, doncs per l'asimetria que presenta el contenidor plegat no seria possible apilar-los i la seva última finalitat és la de permetre l'articulació de les parets longitudinals amb els seus respectius pisos de l'estructura de nivells.



Il·lustració 11. Topalls

4.8 Side panel (Parets longitudinals)

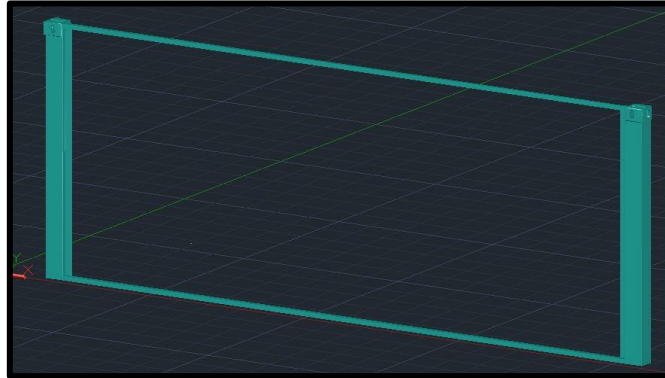
Així com en un contenidor comú les parets longitudinals es componen per un panell de xapa, en aquest disseny, degut a la necessitat d'articular la paret per a fer el plegament, aquestes estan compostes d'un marc que dóna més rigidesa a l'estructura i a l'interior d'aquest marc es disposa el panell de xapa.

El marc està compost per tres parts:

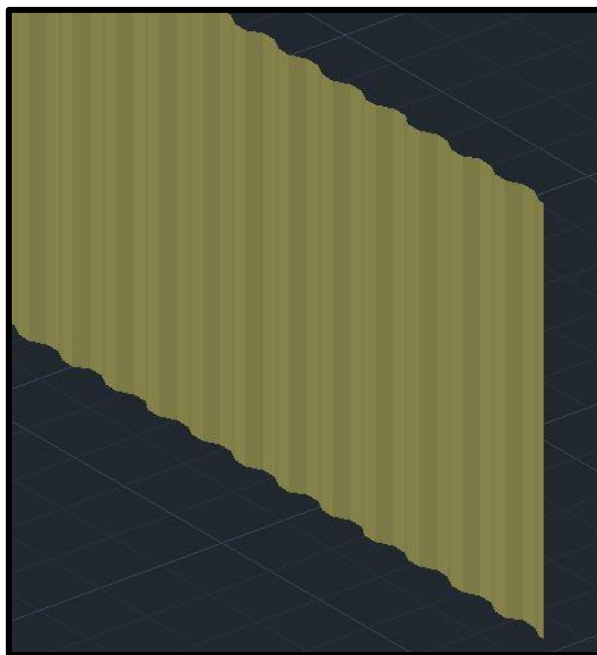
En primer lloc trobem l'estructura rectangular que emmarca el panell de xapa. Aquesta estructura es compon per seccions tubulars quadrades de 40 mm d'ample.

En segon lloc s'aprecien les bigues del contenidor. Aquestes estan adherides a l'estructura del marc per la zona dels seus laterals i juntament amb el marc funcionen com un únic cos.

Per acabar, es troben disposades a la zona superior del marc les cantoneres superiors del contenidor. Les estructures, que igual que a la part inferior d'aquest, serveixen com a punt d'encolatge per a la seva manipulació.



Il·lustració 12. Paret longitudinal



Il·lustració 13. Làmina de xapa

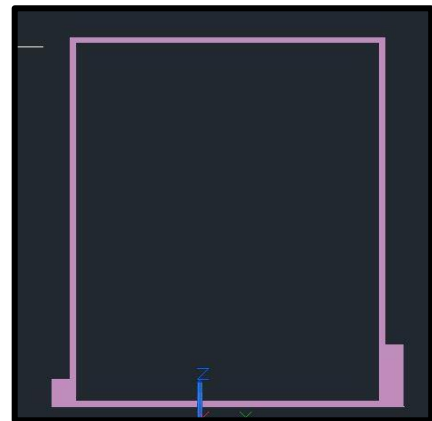
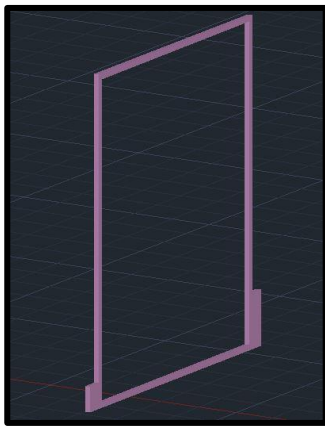
4.9 Rear door end & front wall (Porta posterior i paret frontal)

Són les parets transversals del contenidor.

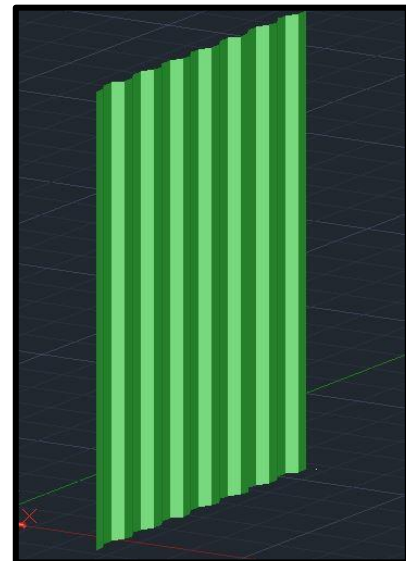
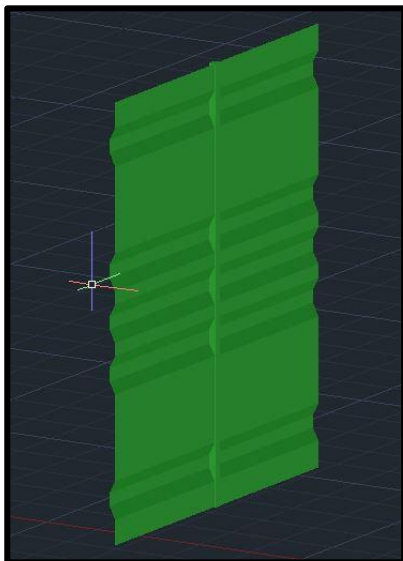
La porta posterior és la que conté les portes per accedir a l'interior del contenidor. Pel fet de ser abatible, es considera que la millor opció per a que el sistema d'apertura i tancament de les portes no tingui cap problema és que la paret estigui composta per un marc rectangular que contindrà les portes al seu interior. Aquest marc tindrà un gruix de 20mm i una profunditat de 40mm. A més a més, per les necessitats d'abatiment de les portes laterals que contindran les bigues del contenidor, la part inferior del marc conté part de la secció transversal de la biga. Aquesta secció té una longitud que se situa des del pis 0 de l'estructura de nivells fins al pis 2. S'ha considerat la

possibilitat que el costat situat contigu al pis 1 podria contenir la part de biga fins a l'alçada d'aquest, però s'ha descartat per mantenir una major simetria en el contenidor.

La paret frontal del contenidor segueix un patró molt similar al que presenta la porta posterior, l'única diferència és que el marc d'aquesta no conté portes sinó un panell similar al de les parets longitudinals.



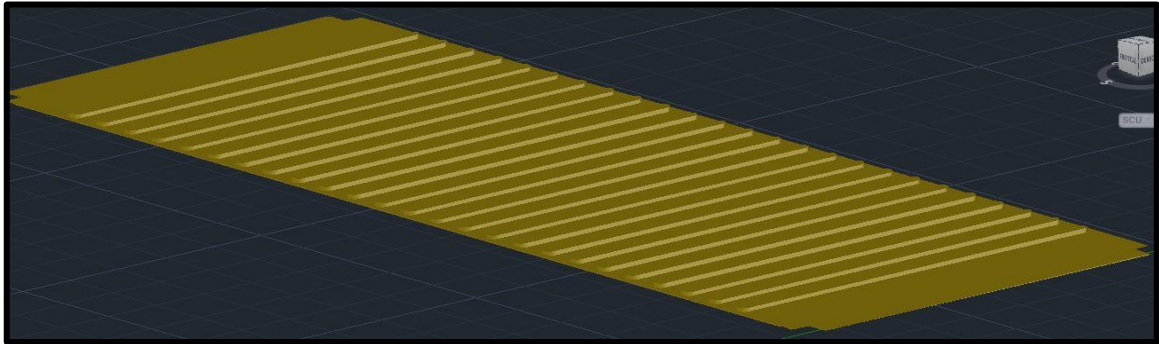
Il·lustració 14. Marc de portes posterior i paret frontal



Il·lustració 15. Porta posterior i paret frontal

4.10 Corrugated roof (Sostre corrugat):

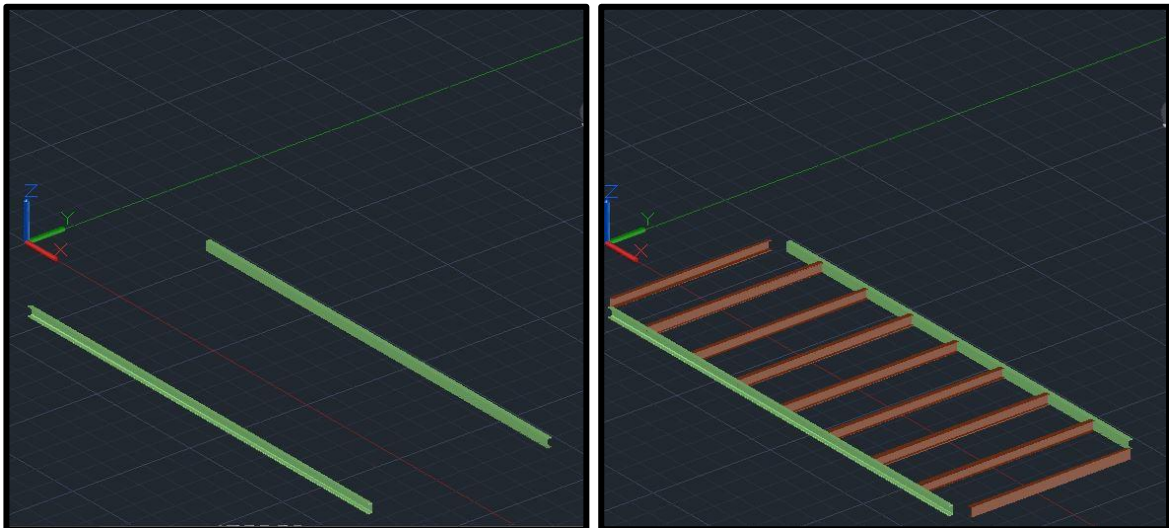
S'ha dissenyat un sostre que ocupi l'espai que deixen la part superior de les estructures que emmarquen els elements de xapa dels Side Panels, del Rear Door End i del Front Wall, tot imitant la superfície que presenten els sostres dels contenidors estàndards.

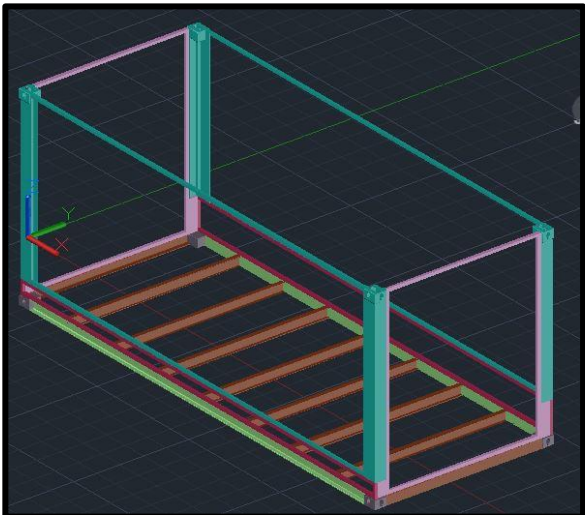
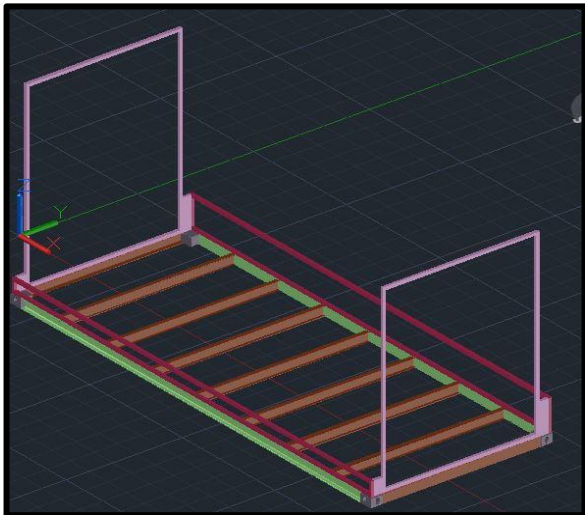
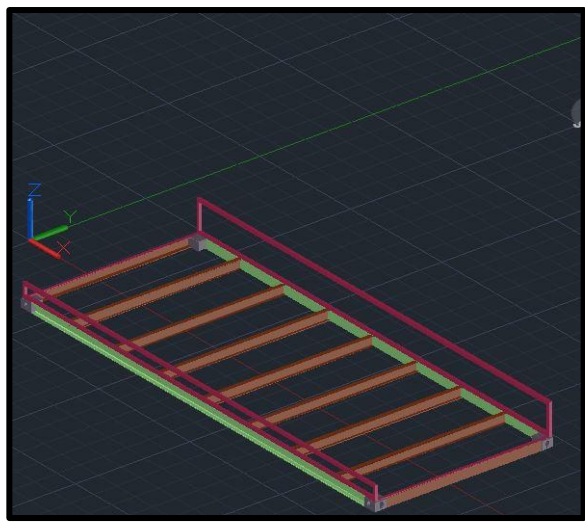
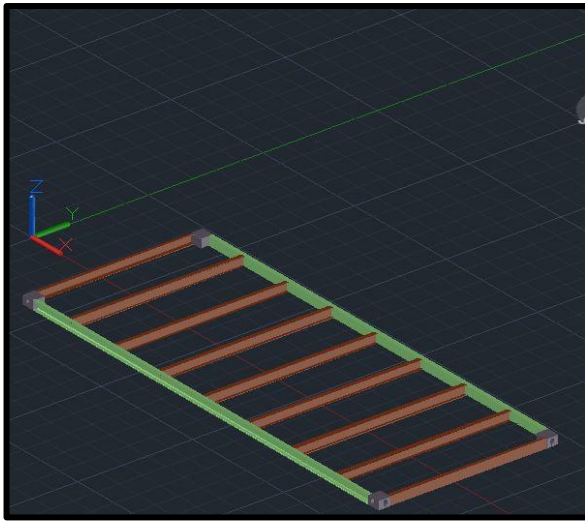


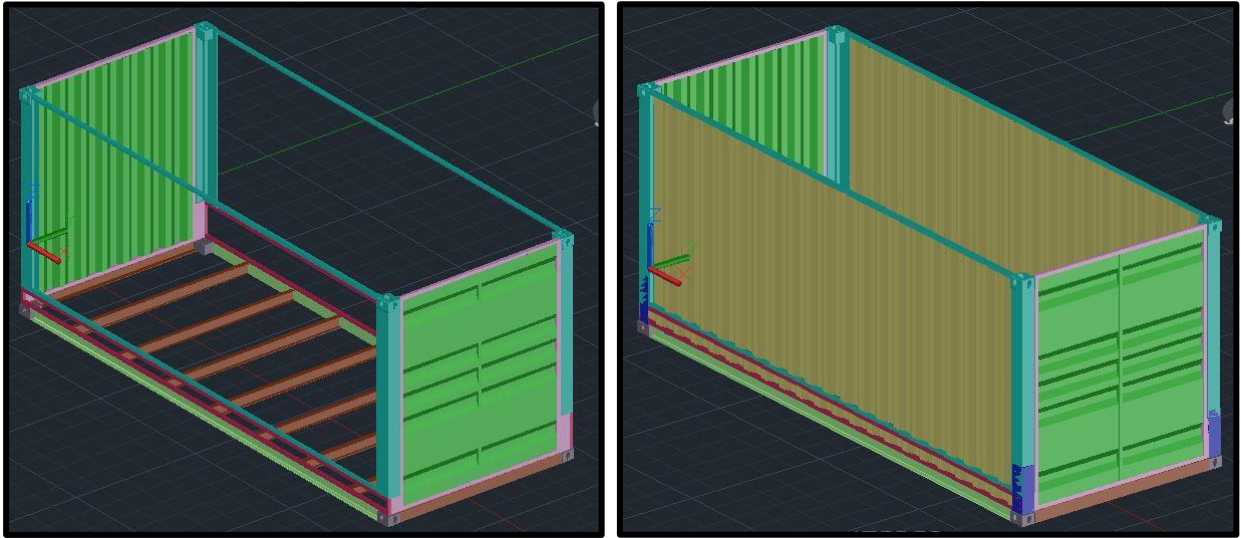
Il·lustració 16. Sostre corrugat

4.11 Disposició conjunta

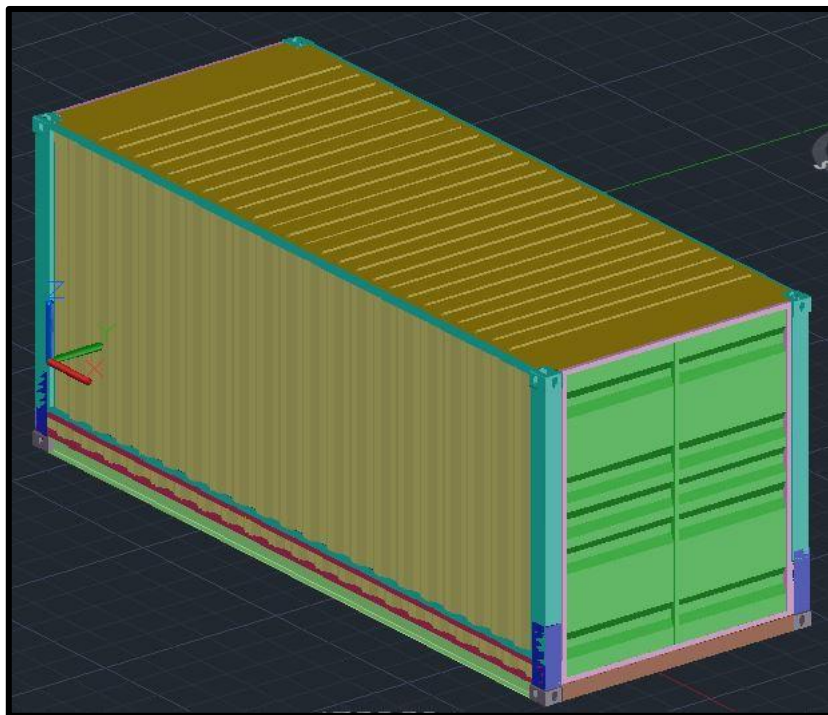
Així doncs, la disposició conjunta de tots els elements del contenidor quedaria descrita segons la següent seqüència:







Il·lustració 17. Seqüència de construcció



Il·lustració 18. Contenidor complet

4.12 Elisions

Hi ha certs aspectes que no s'han tingut en compte a l'hora de realitzar el dibuix del contenidor. Si no s'ha realitzat és perquè es tractava d'elements simples, que ja existeixen al mercat o que no afecten al concepte objecte d'estudi.

Aquests elements no dibuixats són els següents:

- Sistemes de tancament de les portes del contenidor.
- Sistemes d'encolatge de les parts mòbils per a mantenir el contenidor en el seu estat (plegat/desplegat) sense perill que aquest es modifiqui en moments en què el contenidor sigui manipulat.
- Frontisses de parets abatibles, portes i sostre.
- Guies lliscants del sostre que li permeten la mobilitat.
- Peces per als topalls (tapes) que permeten l'apilament dels contenidors plegats.

Capítol 5. Seqüència de plegament

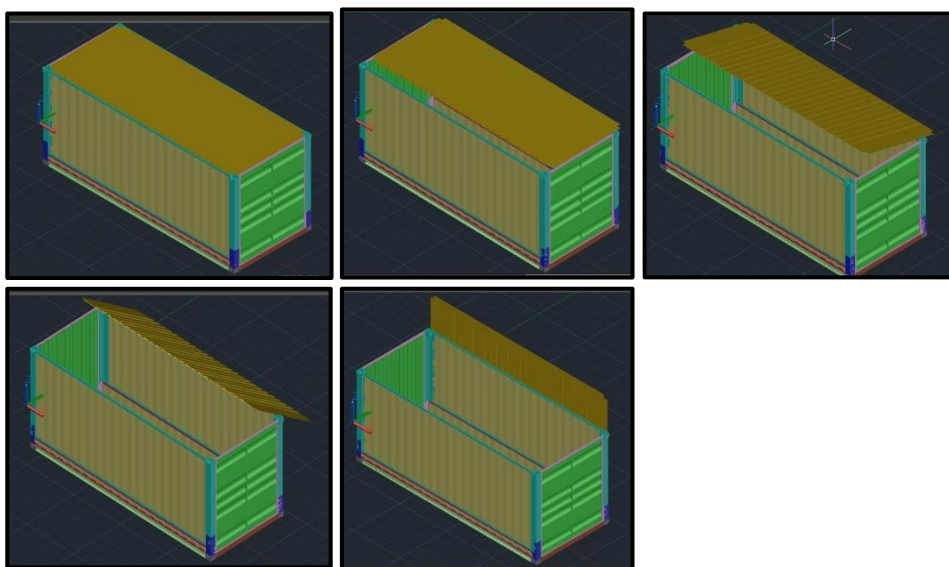
Un cop triat el sistema que s'implementarà per al plegament del contenidor, cal descriure com es realitza la seqüència de plegament.

Les dimensions del contenidor, que presenta una secció transversal asimètrica, han comportat que s'hagi d'implementar un sistema de plegament dissenyat per a que els diferents elements quedin superposats un sobre l'altre un cop l'estructura estigui plegada sense que interfereixin entre si. Aquest sistema de plegament, doncs, no s'ha pogut dissenyar de forma simètrica. Fet que ha derivat en la configuració d'una seqüència de plegament.

Tenint el contenidor en situació d'haver finalitzat el servei, el procediment per a realitzar el seu plegament és el següent:

5.1 Sostre corrugat

Alliberat el sostre dels encolatges que pugui presentar es procedeix a extreure el costat que no presenta frontissa d'unió amb la resta de l'estructura. El sostre presenta unes frontisses lliscants que permeten que, un cop s'hagi extret mínimament el sostre de l'estructura, pugui dipositar-se contiguament al lateral del contenidor pel qual està unit amb la frontissa.

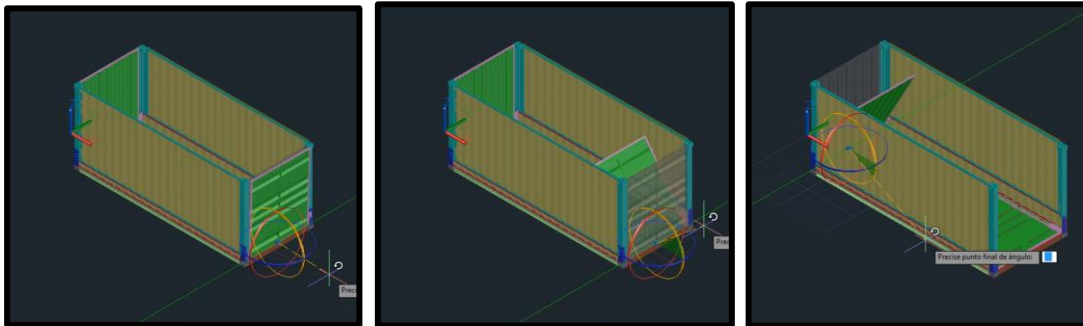


Il·lustració 19. Seqüència que mostra el lliscament del sostre per al plegament del contenidor

5.2 Paret frontal i portes posteriors

El segon pas del procés de plegament consisteix a abatre tant la paret frontal com les portes posteriors. Quin dels dos elements s'abat abans és indiferent per al resultat final doncs no pot crear-se cap interferència entre els girs d'ambdues.

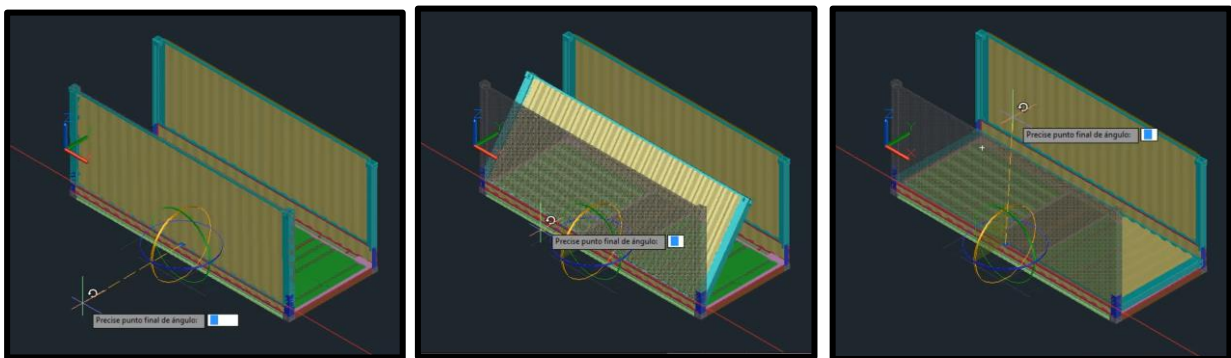
Sí que és necessari que les portes estiguin tancades i bloquejades de manera que aquestes, conjuntament amb el marc que les envolta, actuïn com un únic element.



Il·lustració 20. Seqüència que mostra el plegament de portes posteriors i paret frontal

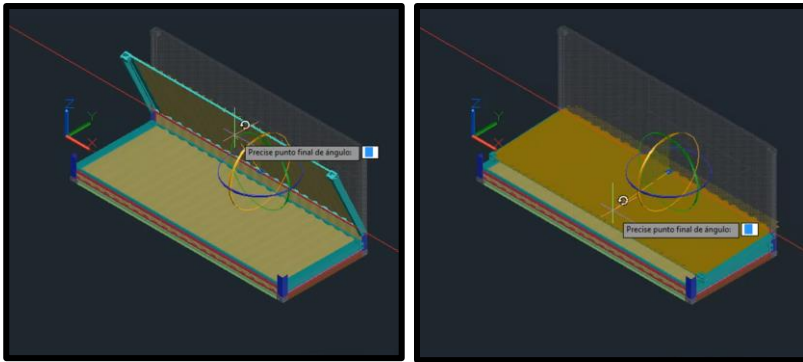
5.3 Parets longitudinals

Les parets longitudinals, per presentar una altura de dimensions semblants a l'amplada del contenidor, sí que poden generar interferències en les trajectòries dels moviments d'abatiment de si mateixes. És per això que s'ha dissenyat el contenidor de manera que sempre vagin disposades una sobre de l'altre en el mateix ordre. La paret que s'ha d'abatre en primer lloc és la que no presenta el sostre posicionat al seu costat.



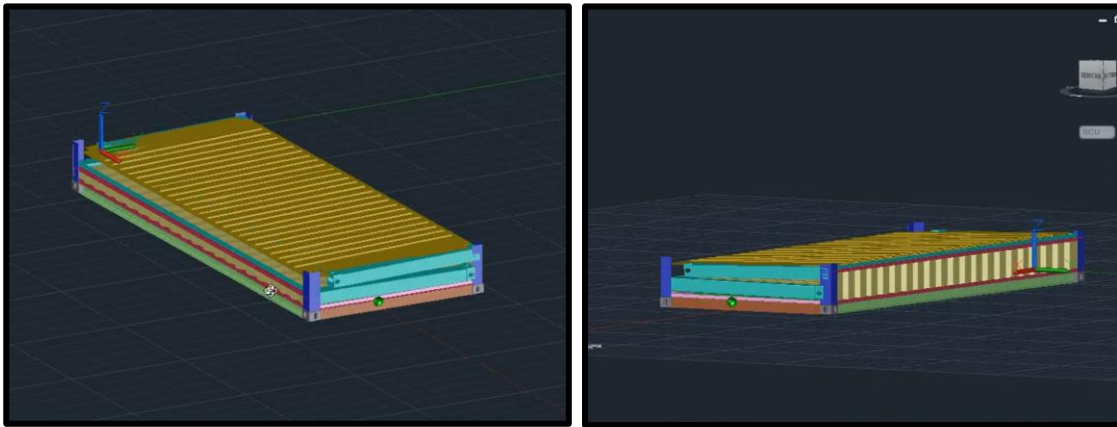
Il·lustració 21. Seqüència que mostra el plegament de la primera paret longitudinal

Tot seguit, l'última paret que queda en peu, és la que serà abatuda. El sostre presentaria un sistema d'encolatge que hauria de fixar-lo a la paret lateral a la qual es troba adjunt abans de ser abatuda la paret.



Il·lustració 22. Seqüència que mostra el plegament de la segona paret longitudinal

Finalitzada la seqüència de plegament, així és com quedaria l'estructura del contenidor:



Il·lustració 23. Disposició final del contenidor plegat

El plegament aconsegueix assolir la reducció de l'altura del contenidor en un 76%

És a dir, on viatgen 8 contenidors estàndard buits hi podrien caber 30 plegats.

Capítol 6. Càlcul estructural

En el següent apartat es descriu el procés que s'ha dut a terme per a realitzar els càlculs estructurals del contenidor.

Durant l'elaboració del disseny del contenidor s'han determinat totes les dimensions dels seus diferents components. Gran part d'aquests components s'han inspirat en els d'un contenidor estàndard però, d'altres que no en formen part d'un estàndard, s'han dimensionat mitjançant estimacions.

El càlcul estructural permet doncs, no només comprovar que l'estructura compleixi els requisits fonamentals que es veuen descrits en les normatives d'estandardització, sinó que també permet comprovar que els elements estimats compleixin també la normativa i, per altra banda, que no hagin estat sobredimensionats.

Un cop obtinguts els resultats, es considerarà si cal modificar les dimensions d'algun dels elements del contenidor per tal que es pugui obtenir un equilibri òptim entre resistència de l'estructura del contenidor i quantitat de material necessari (la quantitat de material condicionarà el pes del contenidor i part del seu cost de producció).

El programa amb què s'han realitzat els càlculs estructurals és el Robot Structural Analysis.

El procés de càlcul té dues fases diferenciades:

6.1 Procés de dibuix en el programa de càlcul

En primer lloc, s'ha elaborat un disseny del contenidor en el programa, tal com es va fer en l'AutoCad durant el procés de dibuix d'aquest. Si bé és cert que es poden importar els arxius d'un programa a l'altre, el dibuix pot presentar imperfeccions que podrien no permetre que el programa de càlcul interpretés com és degut.

A més, per la quantitat d'elements que presenta el contenidor i per no ser Robot Structural Analysis un programa de dibuix, s'han realitzat les següents simplificacions:

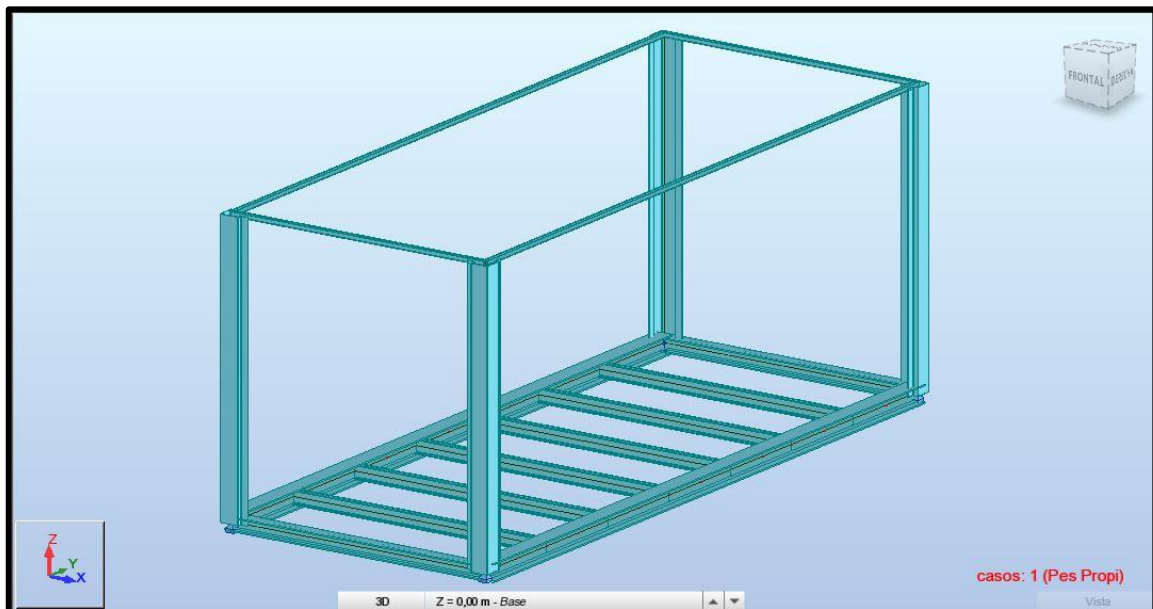
- No s'ha tingut en compte la resistència que pot donar el sostre del contenidor a l'estructura.
- No s'ha tingut en compte la resistència que poden donar les parts de xapa a l'estructura.
- No s'ha tingut en compte la resistència que poden donar les portes i paret frontal de xapa a l'estructura.
- No s'ha tingut en compte la resistència que poden donar les cantoneres a l'estructura.
- No s'ha tingut en compte la resistència que poden donar les seccions tubulars que permeten el plegament de les parets laterals.

Tenint en compte les simplificacions esmentades, l'estructura sobre la qual s'ha fet el càlcul queda de la següent manera:

La base es compon per dues bigues longitudinals i 7 bigues transversals. En el cas de les bigues transversals, es conserva el perfil IPN 120, com es va dissenyar. En les bigues longitudinals però, es mantenen els perfils UPN 120 però s'hi afegeixen també els perfils de secció rectangular que emmarquen les parets de xapa per la part inferior d'aquestes.

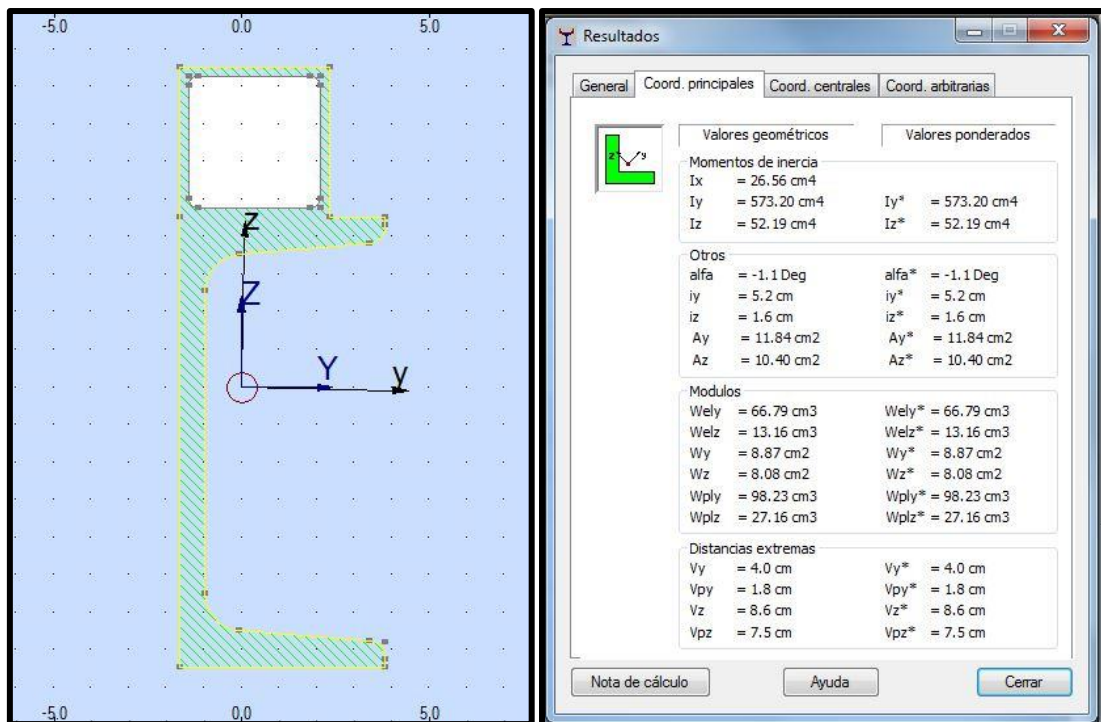
Per a aquesta solució s'ha configurat un perfil personalitzat on s'han inclòs ambdós perfils, UPN i tubular, com si fossin dos elements soldats.

L'estructura, com en el disseny original, disposa de quatre columnes característiques dels contenidors marítims que es veuen unides en els seus extrems superiors per quatre seccions tubulars com les que hi ha soldades a les bigues longitudinals de la base inferior.

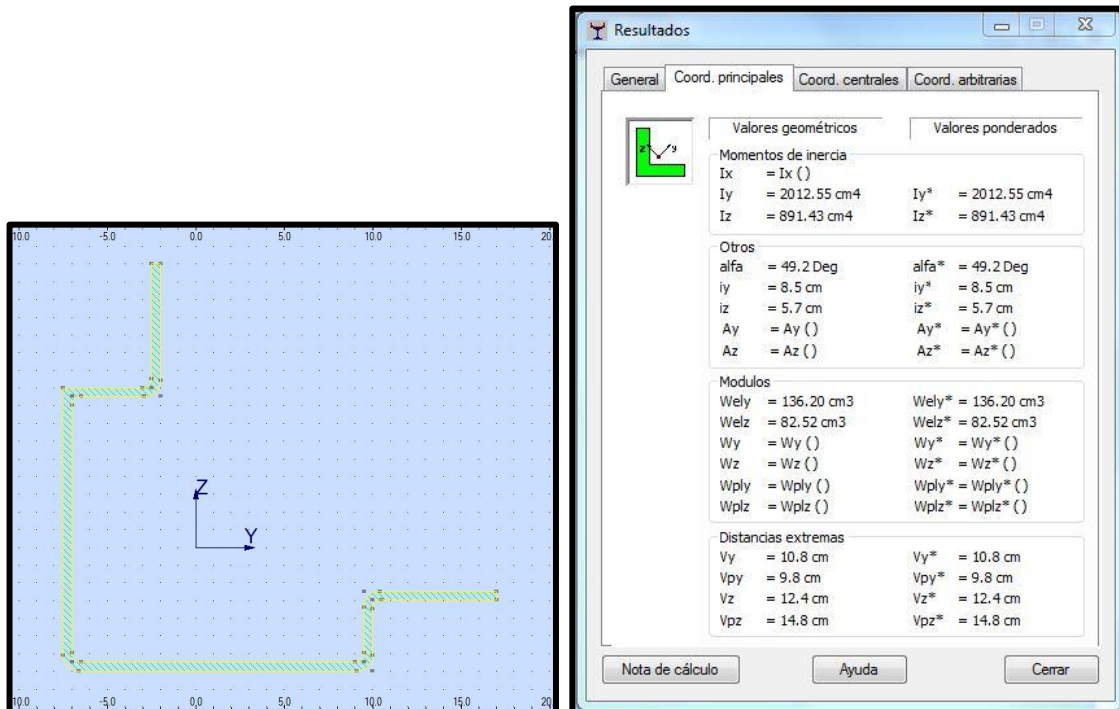


Il·lustració 24. Disseny de l'estructura amb les dimensions amb les quals ha representat al model d'Autocad

Tant en el cas de les bigues longitudinals com en el de les columnes, per ser seccions no estandarditzades, s'ha hagut de fer el disseny de la secció amb el mateix programa.



Il·lustració 25. Secció de biga longitudinal inferior creada en el programa Robot Structural Analysis



Il·lustració 26. Secció de columna creada en el programa Robot Structural Analysis

6.2 Condicions de contorn

En el següent punt es procedeix a explicar quines són les condicions de contorn que s'han aplicat sobre el model per a realitzar el càlcul de reaccions que es generen en l'estructura.

Analitzant imatges de contenidors estàndards es comprova que aquests es recolzen sobre altres contenidors o superfícies planes mitjançant extensions disposades sobre les quatre cantonades de la base a mode de 4 petites potes. És per això que el model es configura amb 4 suports a les cantonades de la base de l'estructura.

Per a permetre realitzar una simulació que sigui el màxim aproximada a un model real es configuren els suports de la següent manera.

- 1: Es limita el desplaçament en el sentit dels eixos X, Y
- 2: Es limita el desplaçament en el sentit dels eixos X
- 3: Es limita el desplaçament en el sentit dels eixos Y
- 4: No es limita el moviment en cap sentit de desplaçament

6.3 Casos de càrrega

La segona part d'aquest procés és la del càlcul de l'estructura.

Aquest càlcul s'ha realitzat per a la següent situació de càrrega:

Es considera una situació de càrrega límit en què un contenidor, carregat al màxim de la seva capacitat, està situat sobre una superfície estàtica, com podria ser una explanada en un port o la coberta d'un vaixell (en mar amb molta calma). A més, es considera que hi té situats sobre seu 7 contenidors en situació de càrrega màxima també. Haver triat que la pila consti de 8 contenidors en la situació límit ve determinat per la informació obtinguda a través de l'operador BEST, que indicava que en portacontenidors, les piles d'aquests no superaven aquest nombre.

Descripció:

Situació de càrrega límit sobre superfície estàtica.

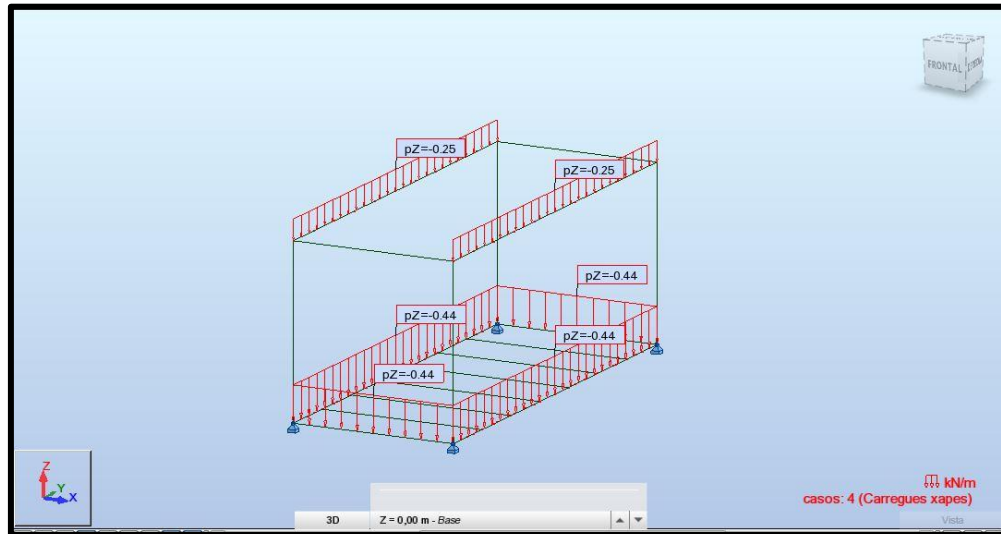
En primer lloc, s'ha considerat que el pes màxim que pot presentar un contenidor és de 2.300 Kg i que la seva capacitat màxima de càrrega és de 28.000 Kg.

Segons el programa Robot, inicialment el pes de l'estructura és de 600 Kg. Això és degut al fet que en el programa no s'han introduït parts de l'estructura com són tots els tancaments de xapa.

Com s'ha indicat anteriorment, a fi de simplificar el procés de càlcul, no s'han considerat els elements de xapa com a elements estructurals. Això contempla que no es consideri l'increment de resistència que puguin donar a l'estructura. No obstant això, sí que s'ha de tenir en compte el seu pes dins de les forces que interaccionen amb el contenidor.

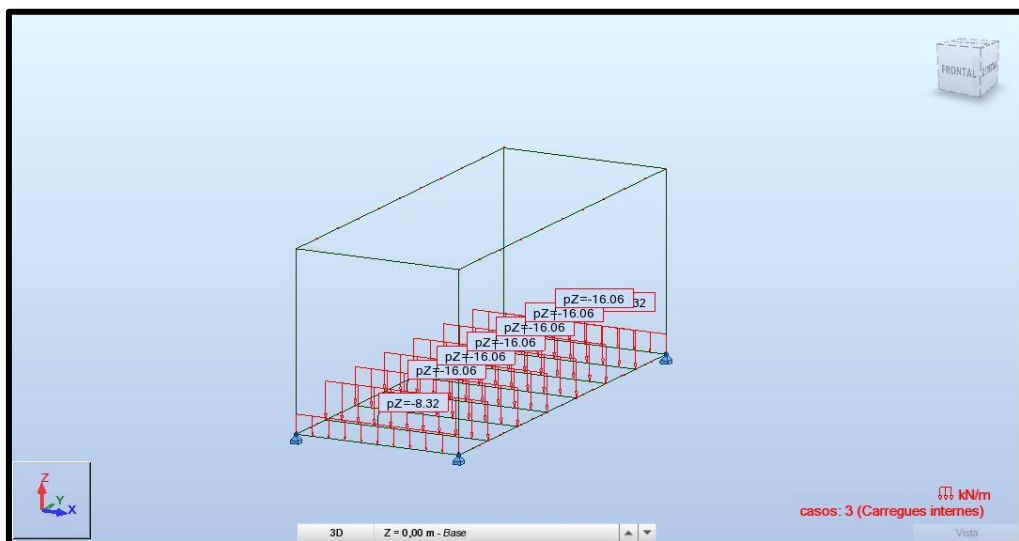
És per això que des del programa s'han d'aplicar les següents forces en els diferents elements resistius del contenidor:

- Pes propi estructura: És el pes que considera el programa que té l'estructura. El mateix programa l'activa en tot el cos de manera repartida.
- Pes propi annexos: S'estima que el pes de les quatre parets de xapa és aproximadament de 1.300 Kg. El sistema per a calcular aquests pesos es mostra a l'Annex 1/Taules/Dades estructura. Els pesos de cadascuna de les parets es distribueixen com a càrregues repartides sobre les respectives bigues que hi ha disposades a la part inferior. El pes del sostre corrugat es distribueixen també com a càrregues repartides al llarg de les dues bigues longitudinals situades a la part superior del contenidor.



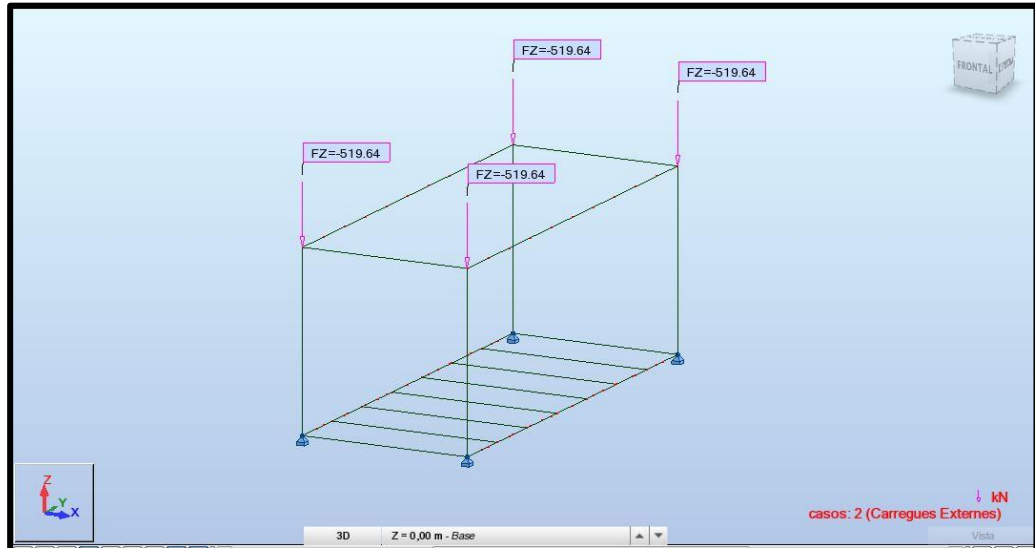
Il·lustració 27. Distribució de càrregues generades per les xapes

- Pes càrrega: En considerar la situació actual que el contenidor està en estat de càrrega màxima, es reparteixen 28.000 Kg entre les 7 bigues transversals disposades a la part inferior. La repartició es fa de manera que les bigues dels extrems suportin una càrrega de la meitat del valor que les càrregues que suporten les bigues interiors. En aquest cas també queden aplicades com a càrregues repartides al llarg de les longituds de les diferents bigues.



Il·lustració 28. Distribució de càrregues generades per les càrregues interiors del contenidor

- Pes contenidors: Es considera que cadascun dels 7 contenidors que aniran apilats sobre el que ens ocupa presentaran una massa de 30.300 Kg (28.000+2.300). El pes que impliquen aquestes masses es reparteixen entre les 4 columnes del contenidor.



Il·lustració 29. Càrregues puntuals generades per la pila de contenidors

Els càlculs per a determinar els pesos introduïts en cadascuna de les càrregues creades en el programa es mostren a l'Annex 1/Taules/Dades estructura.

Per a realitzar el càlcul de l'estructura s'ha realitzat prèviament dues agrupacions de les càrregues per poder veure les afectacions globals sobre l'estructura. Aquests dos grups són ELS (Estat límit de servei) i ELU (Estat límit últim).

En ELS el sistema realitza els càlculs segons els valors exactes que s'ha donat a les càrregues, mentre que ELU dona unes ponderacions d'1,35 al pes i 1,5 a la resta de càrregues. L'objectiu de visualitzar els resultats segons el ELU és que l'estructura sigui sobredimensionada per a que tingui certes toleràncies davant de situacions límit en les que es podria trobar.

Situacions que s'han considerat estudiar que han estat descartades.

S'ha considerat l'estudi de la situació en la qual es tenen apilats contenidors plegats. Tenint en compte que amb contenidors plens s'apilarien un màxim de vuit contenidors i que el contenidor plegat ocupa en altura aproximadament una tercera part del contenidor desplegat, es considera que una pila de contenidors plegats arribaria a aproximadament 30 unitats (Es consideren només les altures. Si es considerés l'estabilitat que presentaria la pila potser seria menor). Per als valors de tara i de màxima capacitat de càrrega, una pila de contenidors plegats seria aproximadament el mateix pes que dos contenidors a màxima càrrega. Aquesta situació s'allunya del cas límit descrit en l'apartat "A", per tant, s'ha descartat per a formar part de l'estudi.

Es descarta una segona hipòtesi que consistiria en que un contenidor plegat es vegi apilat sota diversos contenidors plens en condicions de càrrega màxima. Si bé aquesta situació es més propera al límit i podria ser interessant fer-ne un estudi per observar els resultats del càlcul de l'estructura, a efectes pràctics, un contenidor buit no s'hauria d'apilar mai sota contenidors plens per temes d'estabilitat i, conseqüentment, de seguretat. És per això que, tot i poder mostrar un comportament diferent de l'estructura en el càlcul d'aquesta situació, se n'ha descartat l'estudi per a ser un cas poc probable.

La tercera hipòtesi descartada d'aquest apartat és la situació en què el contenidor sigui manipulat per a modificar la seva ubicació. Si bé és cert, que una part important de la vida del contenidor consisteix a estar suspès per uns cables per a ser transportat, la situació de l'apartat "B" descriu un cas similar en què l'estructura es veurà sotmesa a uns esforços més exigents, per la qual cosa, aquest cas ha estat descartat també per a l'estudi.

Capítol 7. Resultats

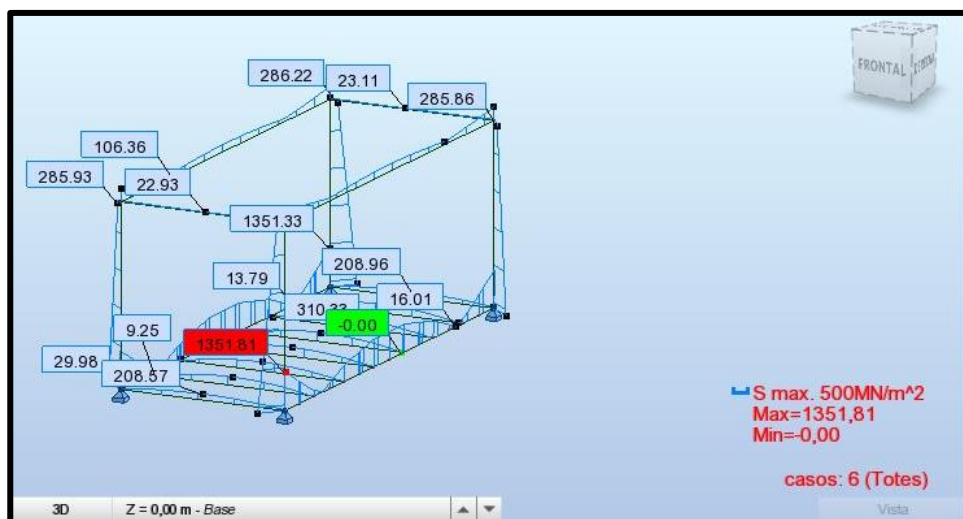
En el següent apartat s'exposen els resultats obtinguts de les diferents situacions estudiades durant el procés del Càlcul Estructural.

7.1 Situació de càrrega límit sobre superfície estàtica

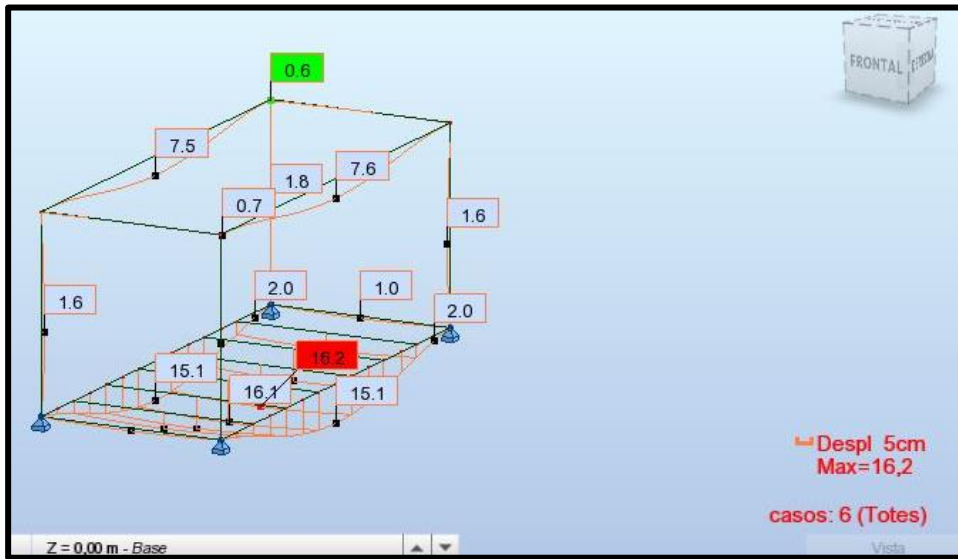
En obtenir els resultats presentats pel programa Robot Structural Analysis, un cop assignades les característiques dels elements del contenidor i les condicions de contorn, s'observa que les deformacions (en ELS) que pateixen les bigues longitudinals inferiors i les tensions (en ELU) que es generen sobre l'estructura superen considerablement els valors límit que l'estructura té la capacitat de resistir.

Aquest fet implica que se sotmetin a revisió els següents grups que han influït en el resultat obtingut:

- Conjunt de càrregues: L'estimació que s'ha realitzat sobre la repartició de les càrregues sobre els diferents elements del contenidor es consideren, tot i que aproximades, correctes. Per aquest motiu es revisen canvis d'unitats i càlculs de càrregues repartides per trobar possibles errors. Concloua la hipòtesi que pugui haver-hi algun error en l'aplicació de càrregues, sí que s'observa que el que genera més tensions són les càrregues generades per la pila de contenidors i el que genera més deformacions és la càrrega interna del contenidor.



Il·lustració 30. Tensions generades en model



Il·lustració 31. Tensions generades en model

- Estructura: S'observen dos potencials focus d'error. En primer lloc, la disposició de bigues transversals a la base del contenidor es considera que pot haver estat massa escassa, pel que es considera afegir una quantitat major per a donar més rigidesa a la base. Per altra banda, es considera que el dimensionament de cadascuna de les bigues hagi estat erroni per haver triat uns perfils massa poc robusts. Per al re-dimensionament es tenen en compte les relacions entre moment d'inèrcia (I_x) i massa repartida (Kg/m) que presenta cada perfil.
- Simplificacions de xapa: Es considera que les simplificacions que s'han realitzat amb les parets de xapa podrien haver donat lloc a dos errors.

El primer consisteix en el pes que se'ls ha atorgat. Les dimensions de les xapes que, lògicament, afecten al valor del pes s'han estimat amb els mateixos valors de longitud i altura que els que presenta el contenidor. No s'ha tingut en compte que la xapa es disposa entre bigues, per tant, com més grans siguin els perfils triats, menys àrea de xapa caldrà disposar per a tapar els espais que queden buits.

El segon que es té en consideració és que, per a simplificar el procés de càlcul, no es consideraven com a estructurals les diferents parets de xapa. Això implica que en la figura que hem sotmès a estudi, les parets de xapa impliquen un pes afegit sobre l'estructura però no hi donen cap reforç estructural.

7.2 Primer grup d'iteracions

S'ha realitzat un procés d'iteració mitjançant el programa Robot Structural Analysis de manera que s'han tingut en compte els principals focus d'error descrits anteriorment per a procurar abastar totes les solucions possibles i triar-ne la més adequada.

Bigues Longitudinals inferiors:

Per les deformacions que presenten aquestes bigues es troba que el perfil triat no és adient per als esforços als quals se sotmet l'estructura. Es tria doncs un perfil de dimensions similars però amb un moment d'inèrcia major. Sembla que el perfil adient és el HEB 160.

Bigues Transversals inferiors:

Es troba que els contenidors estàndards disposen de més bigues que les que s'han afegit al disseny. No obstant això, quan s'hi apliquen les diferents bigues es comprova que el mateix pes d'aquestes perjudica l'estructura per esforços i deformació.

Es realitza doncs una breu comparativa entre diferents perfils de biga (HEB 100, HEB 120, IPE 100 i IPE 120) per a comprovar la relació entre les propietats resistives de cadascuna amb la seva massa repartida (Ix i Kg/m). Es troba que el perfil HEB presenta la millor relació, perquè tot i pesar aproximadament el doble que altres perfils, el seu moment d'inèrcia presenta una relació de més del doble.

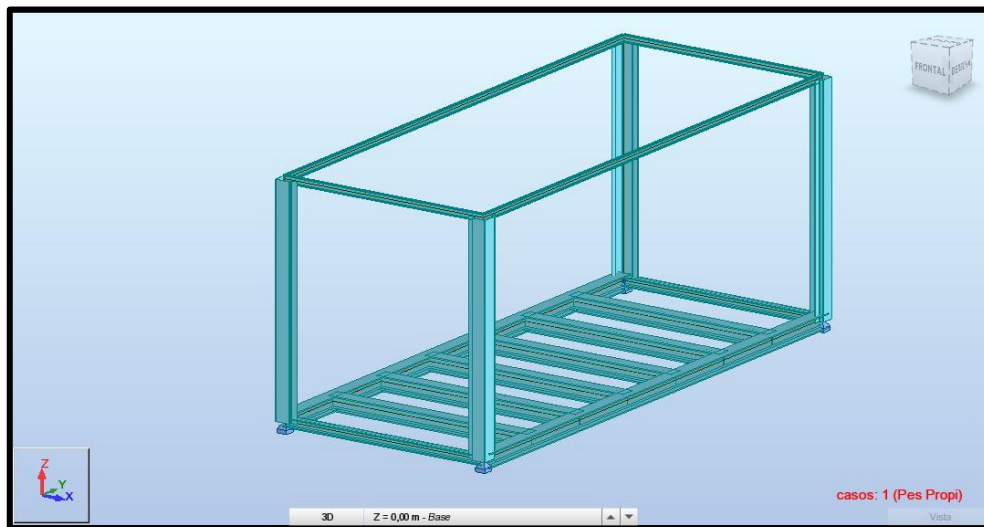
Es comprova doncs que, per a una disposició amb moltes bigues transversals (entre 15 i 20 aproximadament) s'utilitzaran perfils com el IPE 100 o el IPE 120. Però si la disposició es realitza amb un nombre més reduït (entre 8 i 11 aproximadament) sembla que el perfil més adient seria un HEB 120.

Bigues transversals superiors:

Hi ha solament dues, disposades als extrems del contenidor, per a emmarcar les parets de xapa (la frontal i les portes). No són les bigues que estiguin sotmeses a esforços més exigents i no presenten grans tensions en els càlculs inicials.

Bigues longitudinals superiors:

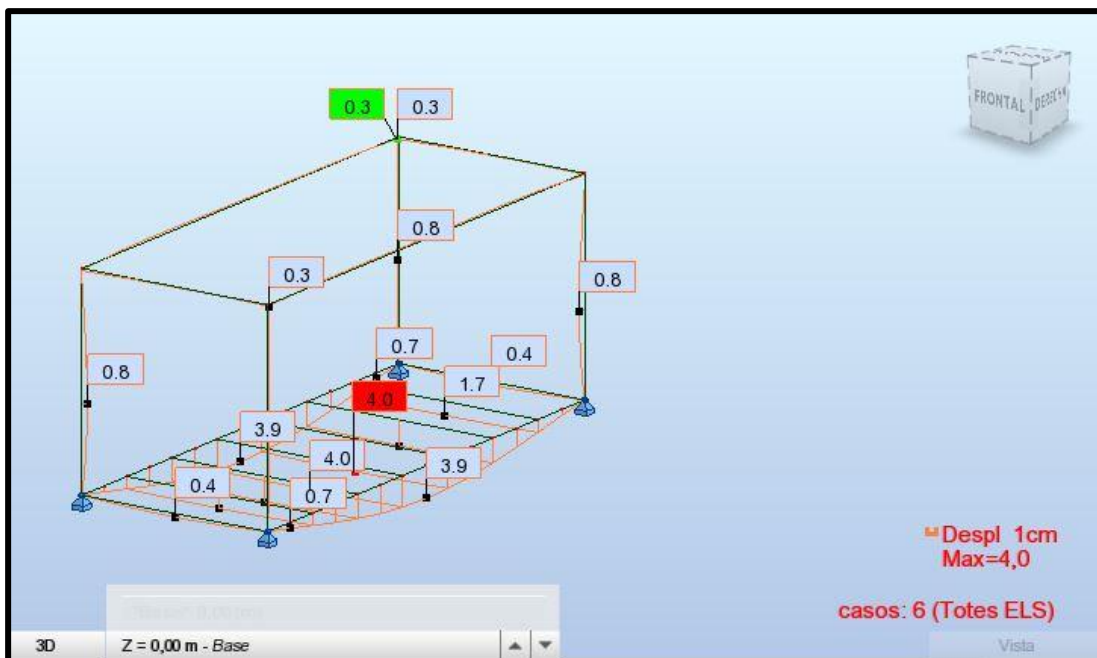
Es comprova, mitjançant els càlculs inicials, que els perfils triats inicialment (seccions tubulars rectangulars) són massa poc robustes per al que necessita l'estructura. Es dubta entre disposar en el seu lloc perfils IPE o perfils HEB. Els IPE presenten resistència suficient i la seva massa repartida és inferior als HEB.



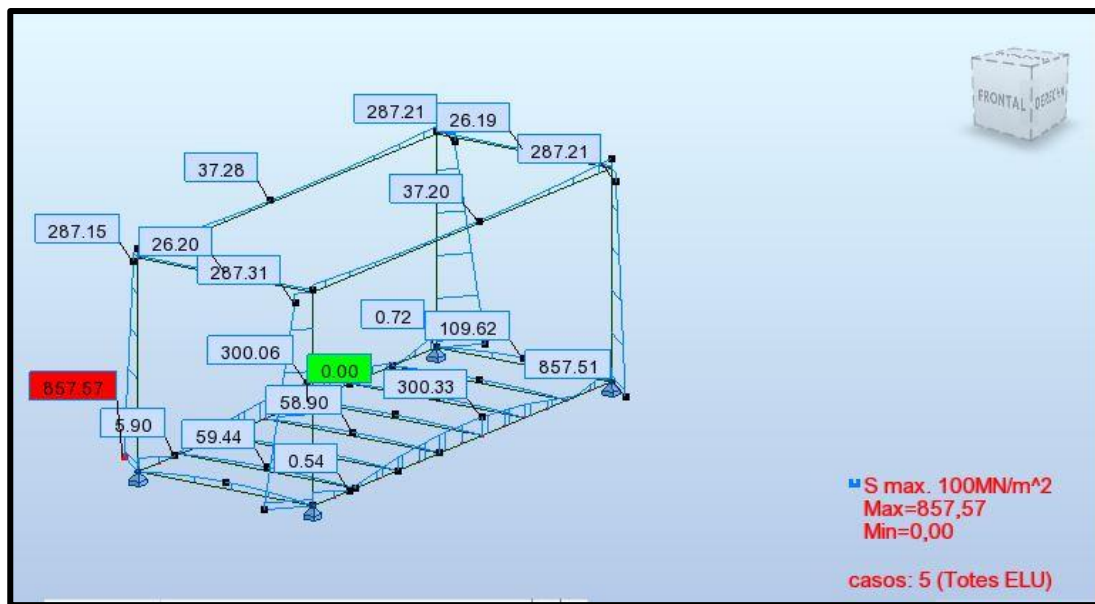
Il·lustració 32. Model re-dimensionat

Realitzades aquestes modificacions es comprova que:

1. Tot i reduir-les a més de la meitat, les deformacions màximes de les bigues longitudinals inferiors segueixen considerant-se excessives.
2. Les tensions màximes que apareixen a les columnes superen considerablement els valors que es voldrien obtenir.
3. El pes de l'estructura ha incrementat considerablement i supera el pes d'un contenidor estàndard (aproximadament en un 15%).



Il·lustració 33. Deformacions generades en model



Il·lustració 34. Tensions generades en model

7.3 Segon grup d'iteracions

Pes

Per a disminuir el pes es procura que quan sigui possible, les bigues que estiguin sotmeses a esforços menys exigents presentin perfils més lleugers. (IPE)

Es considera, a més d'això, que per a reduir el pes pot ajudar incloure un nombre més reduït de bigues transversals inferiors però de major resistència, ja que per les relacions resistència/massa estudiades amb anterioritat es consideren que poden ser beneficioses.

Deformacions

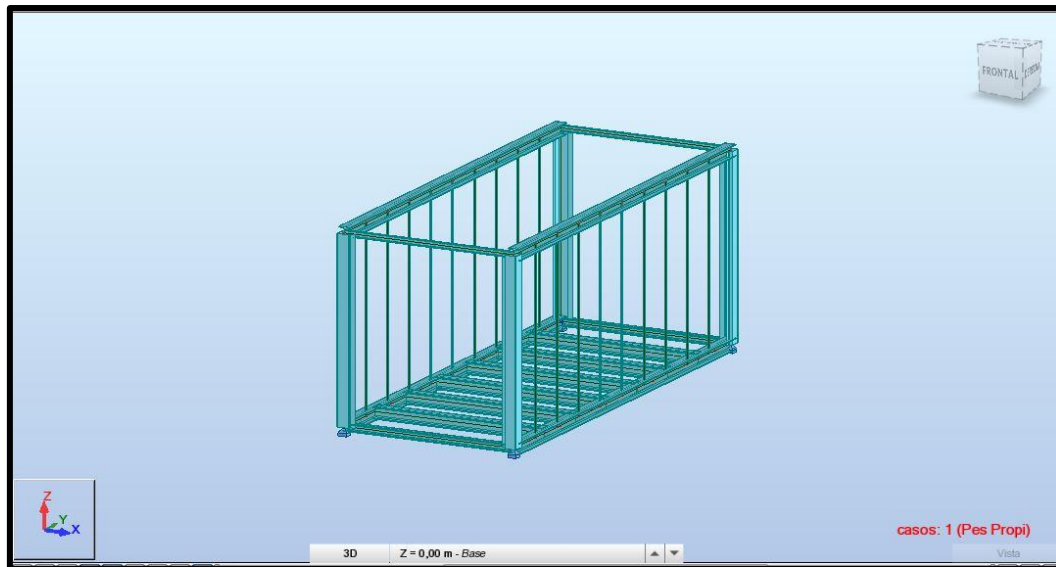
Es consideren excessives les deformacions que presenta l'estructura. A més a més, aquestes són provocades en gran part per la càrrega interior del contenidor, no pels contenidors que aniran apilats a la seva part superior. Aquest fet fa considerar incloure algun tipus d'element que pugui simular les propietats que atorguen les parets longitudinals de xapa a l'estructura.

Es tria, doncs, incloure 14 làmines d'acer (7 a cada costat) de 3mm de gruix (el mateix que les xapes originals). Aquestes es disposen entre les bigues longitudinals inferiors i les superiors.

En realitzar els càlculs s'observa que les làmines no disminueixen gaire la deformació de la biga longitudinal inferior, però sí que augmenten considerablement la deformació de la superior (més lleugera a causa dels esforços als quals estava sotmesa i per a solucionar l'inconvenient del sobrepès).

Es tria doncs per a les bigues superiors un perfil HEB, que presenta un moment d'inèrcia I_x superior i es comprova que les deformacions en ambdós grups de bigues (superior i inferior) es redueix considerablement (menys de 2cm). No obstant això, segueixen apareixent tensions en les columnes d'un ordre de magnitud que no pot ésser donat per vàlid.

Igual que en el sentit vertical, es considera que la solució passa per incloure un nou element que simuli la resistència que proporcionen les parets de xapa a l'estructura. Aquesta seria, novament, disposar un cert nombre de perfils laminats en el sentit longitudinal del contenidor, entre les dues columnes de cada costat per donar més rigidesa a aquestes columnes i, així, compensar el moment flector al que es veuen sotmeses.



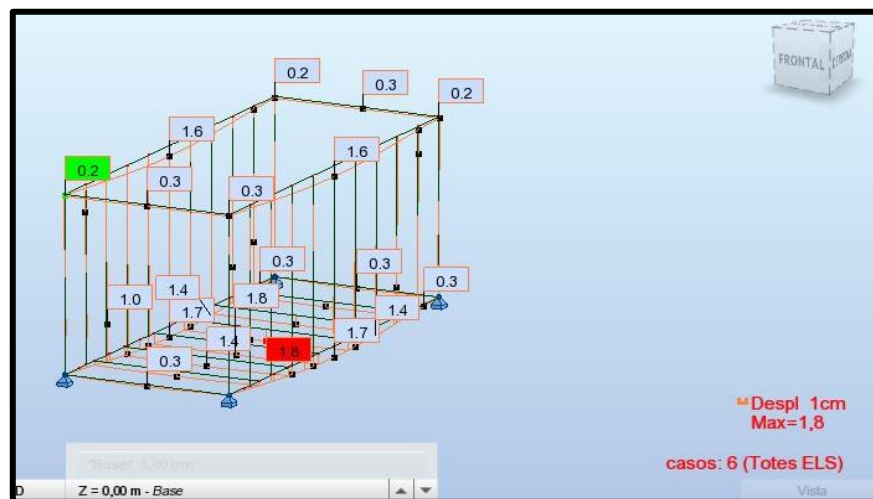
Il·lustració 35. Segon re-dimensionament de l'estructura

7.4 Resultats

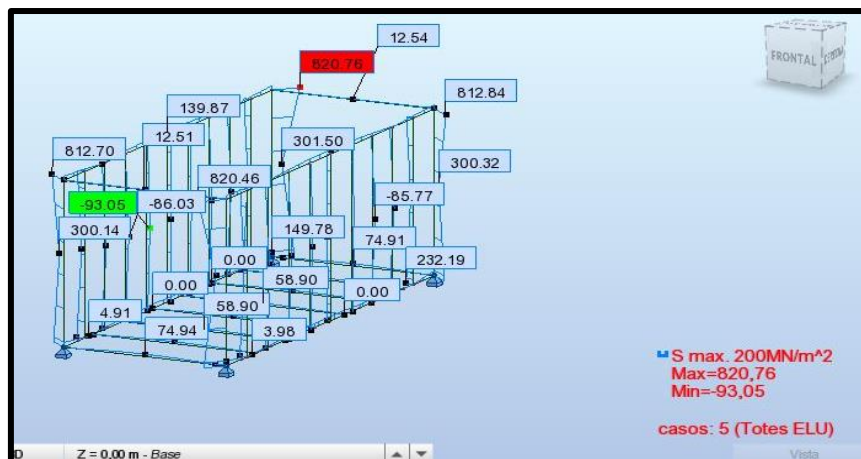
De les repetides iteracions realitzades s'extreu que:

- S'ha obtingut una estructura que es comporta com un contenidor estàndard. Apareixen les deformacions en els llocs més sensibles a presentar-ne i les tensions més grans es generen sobre els punts que sostenen la major part de les càrregues implementades al model. Aquesta fita es deu a l'encert en dos punts:
 - La definició de la disposició dels elements de l'estructura
 - Les diferents aplicacions de càrregues en cadascun dels elements que conformen el model.
- El dimensionament de les bigues i càlcul del pes de les xapes ha estat prou acurat, ja que s'ha obtingut entre totes les iteracions un pes aproximadament igual al d'un contenidor estàndard de 20 peus i 2.300Kg. En el cas més allunyat de la solució aquest no es desviava de l'objectiu en més d'un 15%. Només en el cas últim, en el de dimensionament màxim, s'ha arribat a un 21% d'excedència de pes.
- La hipòtesi inicial sobre les propietats resistives que atorgaven les parets de xapa a l'estructura era incorrecta.

Per les dimensions de bigues i columnes, s'havia considerat que, tot i que els perfils de xapa bé podrien generar una major resistència al contenidor, no serien prou significatius com per haver de tenir-los en compte en el càlcul estructural.



Il·lustració 36. Resultats finals de deformacions



Il·lustració 37. Resultats finals de tensions

S'ha comprovat que, realitzant un model de dimensions iguals a un contenidor estàndard, de pesos similars (només sobrepassats en els casos en què s'han dimensionat unes bigues molt més robustes de les que presenten normalment), amb una disposició dels elements molt aproximada a la realitat i aconseguint un comportament gens allunyat del que seria el real, l'estructura presenta unes tensions i deformacions que posarien en perill la seva integritat. És per això que es considera necessari tenir en compte el reforç que donarien les xapes als diferents elements de l'estructura i com ajudarien a fer que aquesta es comportés com un element únic, ja que la interconnexió d'uns elements amb els altres aconsegueix que aquests es comportin de forma solidària i, se suposa, que haurien de disminuir considerablement tensions i deformacions.

En base a aquesta conclusió, es considera que el disseny proposat del contenidor és correcte.

No s'ha realitzat un nou model de càlcul amb les parets estructurals, ja que aquests tipus de models són molt més complexes i no es considera objecte d'aquest treball el càlcul estructural *per se*, sinó el fet de realitzar un disseny realista d'un contenidor plegable; essent més important la verificació funcional del contenidor que l'optimització dels perfils que caldria utilitzar.

Capítol 8. Comparativa en cost de producció

El grau de competitivitat que pugui presentar el contenidor dissenyat serà un aspecte molt important per a la seva implementació dins del mercat de transport de mercaderies. La comparació directa a la que s'exposa és amb un contenidor estàndard. Un model totalment implementat, estandarditzat i utilitzat arreu del món des de fa molts anys. Si bé la funcionalitat i nivell d'optimització del nou disseny seran factors a tenir molt en compte, el cost de producció té la mateixa, o més, importància. Que sigui una solució millor o que pugui aportar beneficis a llarg termini no vol dir que es pugui obviar el fet que s'hagi de realitzar una inversió inicial.

Per a poder fer una estimació del cost que suposaria la confecció d'un contenidor marítim plegable com el que s'ha projectat s'ha contactat amb l'empresa Manconfor. Aquesta empresa està especialitzada en la realització de solucions metàl·liques. No elaboren contenidors marítims però sí que construeixen certs models de contenidor en versions fixes i plegables.

Els preus aproximats que van poder proporcionar tenen relació amb el processat que s'hagi fet del material. És a dir, quin cost assoleix el material segons si es considera només la matèria primera, si es considera també el treball del material per a assolir la solució buscada i quin cost pot arribar a assolir si aquesta solució presenta parts mòbils.

Segons això, les especificacions rebudes van ser les següents:

- El preu del ferro com a matèria primera arriba aproximadament als 0,8€ per quilogram de material.
- Un cop el material ha estat treballat el cost total del producte pot estar al voltant dels 2,5€ i 3€ per quilogram.
- Si el producte presenta parts mòbils el preu s'estableix entre 4€ i 4,2€ per quilogram.

Això suposa que un contenidor estàndard de 2.300 kg pot estar en un preu aproximat de 5.750€ i 6.900€, prenent els preus aproximats per a un producte que requereix un treball del material (2,5 i 3 €/Kg). Tenint en compte que una producció a gran escala abarateix els costos, Manconfor considera que el preu d'un contenidor marítim estàndard pot estar al voltant dels 5.000€.

Considerant que per al contenidor projectat s'han obtingut unes masses que varien un 10% aproximadament (concretament, a l'últim model estudiat s'ha estimat la seva massa en 2.495 kg), el cost que suposaria la producció d'aquest seria entre 9.980€ i 10.479€ (prenent 2.495 Kg de massa i els preus de 4 i 4,2 €/Kg).

S'observa que el cost derivat de la producció d'un contenidor plegable podria assolir un preu quasi el doble que el cost d'un estàndard. Essent els contenidors uns productes totalment estandarditzats, implementats, vigents des de fa tants anys i tan relativament fàcils de construir, presentar un producte que el vulgui reemplaçar pel doble de cost, que presenti una configuració força més complexa i, de ben segur, requereixi un manteniment més costós, sembla una opció poc competitiva.

No obstant això, caldria realitzar un estudi en profunditat de quin benefici podria suposar l'optimització d'espai alliberat que es podria arribar a assolir, per a poder tenir una major certesa de si és, o no, competitiva en el sector de transport de mercaderies la implementació de contenidors plegables.

Conclusions

La base del projecte es fonamentava en la hipòtesi que el transport de contenidors marítims requeria una millora, una optimització. El transport de mercaderies mitjançant contenidors és el sistema més utilitzat arreu del món. Malgrat tots els beneficis que genera, hi ha operacions que es generen directament d'aquesta activitat que suposen un cost molt elevat. L'operació que fonamenta el tema que aquí es tracta són l'emmagatzematge i transport de contenidors buits.

Quan es parla de "cost" no ens limitem al sentit monetari de la paraula. Si bé és cert que l'emmagatzematge i transport de contenidors buits genera un cost monetari, es poden apreciar altres tipus de costos. Que un contenidor viatgi buit implica un cost mediambiental en el transport "d'aire". Que es pugui triplicar el nombre de moviments de contenidors buits per un mateix nombre de transports pot resultar beneficiós en més d'un aspecte.

Aquest projecte volia inicialment donar resposta a aquesta hipòtesi formulada per, així, justificar la necessitat de dissenyar un contenidor marítim que pugui plegar-se.

Aquí s'han presentat diversos articles que donen suport a la idea que es plantejava i que, per tant, han permès que es continués amb l'elaboració del disseny.

L'objectiu del disseny era, no només obtenir un sistema de plegament per a un contenidor que presentés unes dimensions iguals a les dels contenidors estàndards, sinó que presentés certa facilitat d'adaptar un contenidor estàndard al sistema dissenyat.

Entre les tres idees presentades, s'ha triat la que s'ha valorat com a més senzilla d'operar i, tot i no presentar una fàcil adaptabilitat, sí que es pot observar que el contenidor projectat presenta molts elements comuns amb els contenidors estàndards que hi ha al mercat.

El present projecte no volia centrar-se en el càlcul de l'estructura, ja que no es pretenia millorar les estructures ja existents, sinó que es volia comprovar si, amb unes dimensions conegudes que se sap que es comporten segons indiquen societats de normativització, seria possible aplicar-hi un sistema de plegament que fos funcional. Per motius obvis però, un cop dissenyat el contenidor s'ha volgut comprovar que, efectivament, l'estructura es comportava com un contenidor estàndard. Després dels càlculs realitzats s'ha pogut comprovar que el comportament de l'estructura, tot i amb valors que no s'han considerat acceptables, era com s'havia ideat.

Els valors de tensions i deformacions apareguts en l'estructura s'ha considerat en primer lloc que eren deguts a un mal dimensionament inicial dels elements resistius del contenidor. A més, s'ha pogut comprovar que el model sotmès a estudi no era del tot correcte doncs s'han realitzat els càlculs aplicant unes simplificacions que han donat resultats erronis. Per aquest motiu, a més del redimensionament del contenidor, s'ha procurat aplicar certs recursos per mirar d'obtenir una solució correcta. Si bé és veritat

que s'han pogut solucionar les deformacions que hi apareixien, reduint-les a valors acceptables, les tensions han superat els valors que es volien assolir. Fins i tot han superat els valors límit que es podien acceptar tot i haver donat a l'estructura uns elements significativament més robusts que els que presenten els contenidors estàndards. És per això que s'ha conclòs que l'error estava en les simplificacions que s'han utilitzat i s'ha considerat que realitzar un estudi més acurat de l'estructura resultaria massa complex.

S'ha volgut també poder donar una aproximació del que suposaria el cost de producció del model dissenyat. S'ha estimat que un contenidor plegable com el projectat podria tenir un cost aproximadament un 85% superior al d'un contenidor estàndard. Tot i que a llarg termini invertir en contenidors plegables podria generar un gran benefici econòmic i mediambiental, la inversió inicial que això implicaria és significativament gran, fet que complica la voluntat de constructors i empreses navilieres en implementar aquesta solució.

Pels motius exposats amb anterioritat es conclou que la necessitat d'aquesta solució es pot justificar. La solució tècnica donada és funcional. I, la dificultat més gran que es troba en la implementació de la solució dissenyada, és el cost que implicaria la seva implementació i com aquest afectaria la voluntat dels ens implicats en la realització d'aquesta.

Bibliografia

- [1] ISO 668:2013. *Series 1 freight containers – Classification, dimensions and ratings*
- [2] ISO 1496-1_2013. *Series 1 freight containers – Specification and testing*
- [3] www.containerhome.info
- [4] www.gavan.com
- [5] *“Logística Inversa del Contenedor de Importación y Exportación”*. Alexander Eslava Sarmiento, 2018
- [6] www.fundacion.valenciaport.com

Annexos

Annex 1. Taules

Dimensions

	Longitud [l]	Altura [h]	Amplada [a]	Gruix [g]	Radi [r]	Posició [x,y,z]	Altura estructural [H]
Contenedor	6058	2591	2438				2591
Canteres	178	118	162	11	4		118
Bigues longitudinals	5702	120					120
Bigues transversals (interiors)	2438	120					120
Bigues transversals (exterior)	2114	120					120
Estructura nivells		424		40			544
Pis 0		6	40	40			126
Pis 1	6038	195	40	40			315
Pis 2	6038	424	40	40			544
Columnes P1	245	2276	229				2591
Columnes P2	245	2047	229				2591
Paret transversals	-80	2465	40	40			2591
Paret longitudinal 1	6038	2276	229	40			2591
Paret longitudinal 2	6038	2047	229	40			2591
Paret trans	1960			40			
Marc portes (ext)	2098,5	2465					
Marc portes (int)		2385	2018,5				

Dades Estructura

Característiques contenidor 20':

	Kg	N	KN
Contenidor	2300	22540	22,54
Carrega	28000	274400	274,40
Pes contenidor robot	1690		

	llarg(m)	ample(m)	altura(m)
Mesures	6,06	2,44	2,56

Característiques situació de càrrega

Nº contenidors apilats	8
------------------------	---

	Kg	N	KN
Pila contenidors	212100	2078580	2078,58
Carrega sobre cada columna	53025	519645	519,65

	Bigua	KG	N	N/m	KN/m
Càrrega bigues	4000				
Nº bigues	1	2000	19600	8032,79	8,033
	2	4000	39200	16065,57	16,066
	3	4000	39200	16065,57	16,066
	4	4000	39200	16065,57	16,066
	5	4000	39200	16065,57	16,066
	6	4000	39200	16065,57	16,066
	7	4000	39200	16065,57	16,066
	8	2000	19600	8032,79	8,033

Densitat acer	7850	kg/m3
---------------	------	-------

	Kg
Pes assignat a xapes	610
Diferència amb pes calculat	-515,56

Xapes	b(m)	h(m)	Area (m2)	Gruix (m)	Volums (m3)	Masses (kg)	Totals masses (Kg)	Càrregues(KN)	Càrrega repartida (KN/m)	Per cada	Càrrega repartida (KN/m)
Longitudinal	5,57	2,24	12,48	0,008	0,037	293,83	587,66	2,88	0,4752	Biga Longitudinal Inferior	0,475
Transversal	2,21	2,34	5,17	0,008	0,016	121,84	243,68	1,19	0,4894	Biga Transversal Inferior	0,489
Sostre	6,06	2,44	14,79	0,003	0,044	348,22	348,22	3,41	0,5651	Biga Longitudinal Superior	0,282
Lamines resistives						3,00	-54,00				
							1125,56				

Perfils seleccionats:	Nom	Longitud(m)	Amplitud(m)	Altura(m)
Bigues longitudinals inferiors	HBE160			0,16
Bigues longitudinals superiors	IPN100		0,00	0,16
Bigues transversals inferiors	IPN100			0,1
Bigues transversals superiors	HBE120		0,00	0,12
Columnes	"SPN"	0,23	0,25	

Columnes	11
Distancia entre columnes	0,606

Costat A											
Punt Inicial					Punt Final						
Columna	X	Y	Z	Coord	X	Y	Z	Coord			
1	0	0	0	0	0	0	0	2,56	0;0;2,56		
2	0	0,606	0	0	0	0,606	2,56	0;0,606;2,56			
3	0	1,212	0	0	0	1,212	2,56	0;1,212;2,56			
4	0	1,818	0	0	0	1,818	2,56	0;1,818;2,56			
5	0	2,424	0	0	0	2,424	2,56	0;2,424;2,56			
6	0	3,03	0	0	0	3,03	2,56	0;3,03;2,56			
7	0	3,636	0	0	0	3,636	2,56	0;3,636;2,56			
8	0	4,242	0	0	0	4,242	2,56	0;4,242;2,56			
9	0	4,848	0	0	0	4,848	2,56	0;4,848;2,56			
10	0	5,454	0	0	0	5,454	2,56	0;5,454;2,56			
11	0	6,06	0	0	0	6,06	2,56	0;6,06;2,56			

Costat B										
Punt Inicial					Punt Final					
	X	Y	Z	Coord	X	Y	Z	Coord		
12	2,44	0	0	0	2,44	0	2,56	2,44;0;2,56		
13	2,44	0,606	0	0	2,44	0,606	2,56	2,44;0,606;2,56		
14	2,44	1,212	0	0	2,44	1,212	2,56	2,44;1,212;2,56		
15	2,44	1,818	0	0	2,44	1,818	2,56	2,44;1,818;2,56		
16	2,44	2,424	0	0	2,44	2,424	2,56	2,44;2,424;2,56		
17	2,44	3,03	0	0	2,44	3,03	2,56	2,44;3,03;2,56		
18	2,44	3,636	0	0	2,44	3,636	2,56	2,44;3,636;2,56		
19	2,44	4,242	0	0	2,44	4,242	2,56	2,44;4,242;2,56		
20	2,44	4,848	0	0	2,44	4,848	2,56	2,44;4,848;2,56		
21	2,44	5,454	0	0	2,44	5,454	2,56	2,44;5,454;2,56		
22	2,44	6,06	0	0	2,44	6,06	2,56	2,44;6,06;2,56		

Comparativa perfils

Comparativa

	Guanyador		
IPN vs IPE	1,02962963	0,99415205	IPE100
HEB vs HEA	1,22155689	1,28653295	HEB100
HEB vs IPE	2,51851852	2,62573099	HEB100

	Guanyador		
IPN vs IPE	1,067307692	1,028301887	IPE120
HEB vs HEA	1,341708543	1,425742574	HEB120
HEB vs IPE	2,567307692	2,716981132	HEB120

	HEB		
100 vs 120	1,019372172	1,03475228	HEB 120
	1,308823529	1,924276169	HEB 120
	IPE		
	1,283950617	1,859649123	IPE 120