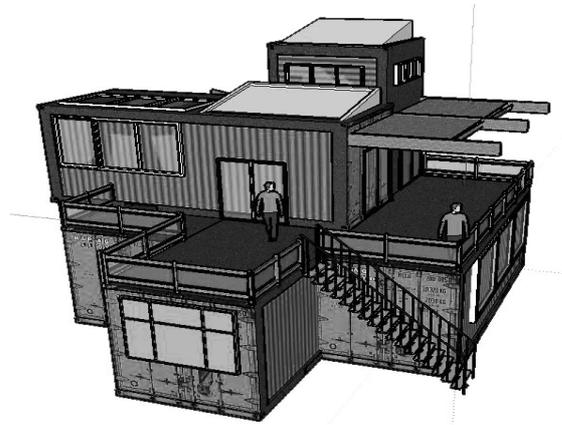


ANÁLISIS MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS DE CONTENEDORES METÁLICOS MODIFICADOS Y ESTUDIO DE SU UTILIZACIÓN COMO ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS.

Septiembre 2010, Zaragoza



Autor: Raul Calavia Gracia

Especialidad: Construcciones e Instalaciones Industriales

Director: Sergio Puértolas Broto

Departamento de Ingeniería Mecánica

Área de mecánica de Medios Continuos y Teoría de Estructuras

Universidad de Zaragoza

Centro Politécnico Superior

Ingeniería Industrial

Curso 2009-2010

Zaragoza, Septiembre de 2010

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Sergio Puertolas y a Luis Gracia su ayuda ya que sin ellos no podría haber realizado este proyecto.

Agradezco a mis padres su paciencia infinita, su cariño y su apoyo incondicional a lo largo de todos estos años.

Una vez leí que la vida era girar pomos y abrir puertas.

Aunque esta puerta no la crucemos juntos seguro que estas al otro lado disfrutando de este momento.

Esto también va por ti, abuela.

A Elvira, por cruzar conmigo de la mano la puerta del futuro.

A mis amigos y compañeros de carrera por hacer este camino un poco menos duro.

A todos, gracias.

Raul Calavia Gracia

ANALISIS MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS DE CONTENEDORES METALICOS MODIFICADOS Y ESTUDIO DE SU UTILIZACION COMO ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS.

RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo la modelización de containers marítimos estándar, con la finalidad de analizar su comportamiento como módulo constructivo destinado a vivienda. A grandes rasgos, los containers o contenedores marítimos son recipiente de carga consistente en una gran caja con puertas o paneles laterales desmontables, normalmente provistos de dispositivos (ganchos, anillos, soportes, ruedas) para facilitar su ubicación y estiba a bordo de un medio de transporte marítimo. Son los envases predilectos para el envío y recepción de mercancías transportadas por vía marítima.

Para alcanzar el objetivo propuesto se ha seguido la siguiente línea de trabajo. En primer lugar, se ha buscado información sobre contenedores marítimos: medidas, materiales, elementos constructivos, etc. Posteriormente se ha elegido el tipo de container a estudiar y se ha hecho su modelo a ordenador para finalmente analizar los resultados obtenidos para los distintos tipos de cargas aplicadas.

En lo que a la modelización se refiere se han hecho dos modelos principales. Uno, denominado *modelo completo* y el otro que llamaremos *modelo simplificado*. Esto se ha hecho para reducir el tiempo de cálculo y poder estudiar distintos casos. Posteriormente, se ha hecho un análisis de la influencia de aperturas en las chapas laterales sobre el conjunto del container.

Por último, se ha realizado una distribución de vivienda en el container de una y dos plantas y se ha procedido a su análisis.

La modelización de la geometría se ha hecho mediante el programa de elementos finitos I-Deas y los cálculos posteriores con la ayuda del programa también de elementos finitos, Abaqus.

Una vez realizados los dos modelos y todos los análisis se ha procedido a su estudio y comprobación para ver si hay que realizar alguna modificación o por el contrario este tipo de containers son aptos para su aplicación como elemento constructivo destinado a vivienda convencional.

INDICE

MEMORIA TECNICA

| | |
|---|----|
| 1. INTRODUCCION..... | 9 |
| 1.1 Definición del proyecto..... | 9 |
| 1.2 Objeto del proyecto..... | 10 |
| 1.3 Alcance del proyecto..... | 11 |
| 2. CONTAINERS MARITIMOS..... | 13 |
| 2.1 Ventajas e inconvenientes de su utilización como elemento constructivo..... | 13 |
| 2.2 Tipos de containers..... | 13 |
| 2.3 Características del contenedor Dry-Van 20'..... | 14 |
| 3. MODELIZACION DEL CONTAINER..... | 15 |
| 3.1 Modelo completo..... | 15 |
| 3.2 Modelo simplificado..... | 25 |
| 3.3 Ajuste del modelo simplificado y validación..... | 26 |
| 4. ESTUDIO DE APLICACIÓN DE APERTURAS LATERALES..... | 31 |
| 4.1 En un lateral..... | 31 |
| 4.2 En dos laterales..... | 34 |
| 5. CALCULO PARA UNA TIPOLOGIA CONCRETA..... | 39 |
| 5.1 Diseño de un módulo tipo..... | 39 |
| 5.2 Casos de carga..... | 40 |
| 5.3 Vivienda de un piso..... | 41 |
| 5.4 Vivienda de dos pisos..... | 55 |
| 6. CONCLUSIONES..... | 67 |
| 7. BIBLIOGRAFIA..... | 68 |

ANEXOS

| | |
|---|-----|
| ANEXO A..... | 70 |
| NOMENCLATURA..... | 71 |
| | |
| ANEXO B..... | 72 |
| CALCULO DE LA FLECHA Y TENSION LIMITES..... | 73 |
| B.1 Flechas límite..... | 73 |
| B.2 Tensión límite..... | 73 |
| | |
| ANEXO C..... | 74 |
| RESULTADOS DE LOS MODELOS..... | 75 |
| C.1 Modelo completo..... | 75 |
| C.2 Modelo simplificado..... | 77 |
| | |
| ANEXO D..... | 80 |
| DETALLES DE LOS CALCULOS REALIZADOS..... | 81 |
| D.1 Apertura en un lateral..... | 81 |
| D.2 Aperturas en dos laterales..... | 101 |
| D.3 Vivienda tipo de una planta..... | 111 |
| D.4 Vivienda tipo de dos plantas..... | 145 |

MEMORIA TECNICA

1. INTRODUCCION

1.1 DEFINICION DEL PROYECTO

La conciencia medio ambiental que la sociedad actual está adquiriendo hace pensar en una nueva forma de construcción. Por ello, la reutilización de containers puede llegar a ser una forma ecológica de construir aprovechando los excedentes de containers que actualmente se han producido debido a la crisis económica.

Esta forma de construcción, aunque todavía con inconvenientes, posee un gran número de ventajas que abren un abanico de posibilidades en el ámbito de la construcción y de la vivienda modular tanto temporal como permanente por lo que resulta muy interesante el estudio del container marítimo como elemento constructivo.

En la Figura 1 se puede ver una residencia de estudiantes en Amsterdam construida únicamente utilizando containers marítimos.



Figura 1.1. Casa de estudiantes en Amsterdam

En el presente proyecto se pretende modelizar y analizar el comportamiento estructural de contenedores marítimos modificados mediante programas de análisis por elementos finitos con el fin último de su aplicación como vivienda. Se entiende por container marítimo a un recipiente de carga para el transporte aéreo, marítimo o fluvial, transporte terrestre y transporte multimodal. Las dimensiones del contenedor se encuentran normalizadas para facilitar su manipulación.

Los contenedores suelen estar fabricados principalmente de acero corten, pero también los hay de aluminio y algunos otros de madera contrachapada reforzados con fibra de vidrio. En la mayor parte de los casos, el suelo es de madera, aunque ya hay algunos de bambú. Interiormente llevan un recubrimiento especial anti-humedad, para evitar las humedades durante el viaje. Otra característica definitoria de los contenedores es la presencia, en cada una de sus esquinas, de alojamientos para los *twistlocks*, que les permiten ser enganchados por grúas especiales, así como su trincaje tanto en buques como en camiones.

La realización de este proyecto se ha llevado a cabo en el departamento de Ingeniería Mecánica del Área de Mecánica de Medios Continuos y Teoría de Estructuras sin la ayuda de ningún trabajo o estudio previo.

1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO

El objetivo del presente proyecto consiste en la modelización de containers marítimos y su posterior análisis mediante programas computacionales de elementos finitos, tras realizarle una serie de modificaciones y bajo las acciones de diferentes cargas para su uso final como elemento constructivo destinado a la vivienda.

Las modificaciones consisten en la realización de aperturas en sus caras laterales para poseer distintas configuraciones posibles en su uso como elemento constructivo y ver su influencia en el comportamiento resistente del conjunto detectando así posibles zonas críticas y límites de utilización.

En primer lugar, se modelizará un container marítimo y posteriormente se le aplicarán distintas aperturas en sus caras para ver su influencia en el conjunto resistente del container. Una vez hecho esto, se elegirá un diseño y distribución del container como vivienda tanto de una como de dos plantas y se procederá a su análisis.

1.3 ALCANCE DEL PROYECTO

Para la realización del proyecto y la consecución del objetivo propuesto anteriormente, se han llevado a cabo las siguientes tareas.

En primer lugar se ha modelizado el container marítimo mediante el programa comercial de elementos finitos I-Deas, cuya geometría coincide con la mostrada en la Figura 1.2. Se han realizado dos modelos. El que a partir de ahora denominaremos *modelo completo*, a partir de medidas reales tomadas de un contenedor estándar (Figura 1.3.), y otro que llamaremos *modelo simplificado* que nos permitirá reducir el tiempo de cálculo y nos facilitará efectuar las aperturas a realizar. Los cálculos han sido realizados con el programa comercial de elementos finitos Abaqus.

Tras modelizar el container marítimo se ha hecho un estudio de la influencia de diferentes aperturas en las chapas laterales para detectar posibles zonas críticas y limitaciones de utilización.

Por último, se ha diseñado una posible configuración como vivienda tanto de un piso como de dos y se ha procedido a su análisis para verificar su viabilidad desde el punto de vista resistente del conjunto.

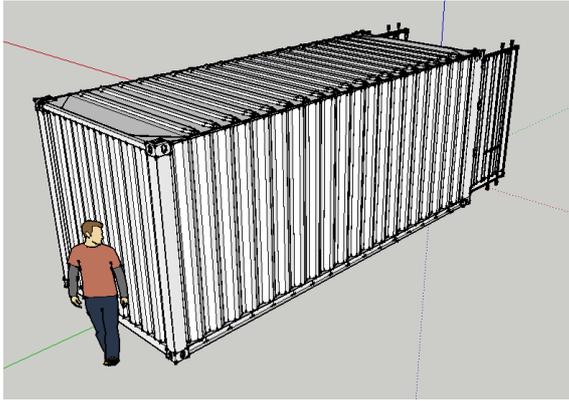


Figura 1.2. Resultado de la geometría modelizada.



Figura 1.3. Contenedor real.

Cabe destacar que en la realización de este proyecto no se analizan las posibilidades de diseño ni constructivas de los containers. El trabajo se centra en el análisis resistente del container modificado que conforma la estructura armazón principal sin considerar aspectos constructivos que deben ser tenidos en cuenta para su habitabilidad: aislamientos, revestimientos interiores y/o exteriores, pavimentos, etc.

En los Anexos se incluyen Figuras detalladas de los cálculos realizados para las distintas hipótesis de carga que se han aplicado.

2. CONTAINERS MARITIMOS

2.1 VENTAJAS E INCONVENIENTES DE SU UTILIZACION COMO ELEMENTO CONSTRUCTIVO.

VENTAJAS

Las principales son las siguientes:

- El precio, un contenedor usado ISO20 está en el mercado de segunda mano por unos 1500 euros y el coste de una vivienda hecha con containers ronda entre el 20% y el 35% de una vivienda convencional.
- Velocidad, una vivienda de este tipo se puede realizar en unas pocas semanas.
- Diseño, con buen gusto y originalidad se puede llegar a crear una obra realmente curiosa.
- Durabilidad y portabilidad, su resistencia al paso del tiempo es buena y además se puede desmontar y trasladar con cierta facilidad.

INCONVENIENTES

- Problemas legales, si se carece de un proyecto visado por un arquitecto no se puede solicitar la oportuna Licencia Municipal de Obra por lo que la "acumulación de containers" no podrá conseguir la Licencia de Habitabilidad. Por otra parte, la ausencia de Licencia de Habitabilidad dificulta la conexión de la residencia a una serie de servicios básicos esenciales, como la luz eléctrica y el agua potable, por lo que se deberá ser totalmente autónomo.
- Cimentación, es posible que si se acumulan varios containers se necesite preparar bien el suelo y se requiera de una cierta cimentación.
- Fontanería, será necesario disponer de abastecimiento de agua potable y desagües. Problemas que se pueden solucionar con un contenedor cisterna y un pozo negro.
- Energía, que se puede obtener mediante la colocación de paneles solares y/o de un generador eléctrico.

2.2 TIPOS DE CONTAINERS.

En la actualidad existen varios tipos de contenedores marítimos ISO de medidas normalizadas. Los distintos tipos son los siguientes:

- Contenedor Dry-Van 20'
- Contenedor Dry-Van 40'
- Contenedor Dry-Van 40' High Cube
- Contenedor Reefer 20'
- Contenedor Reefer 40'
- Contenedor Reefer 40' High Cube

Para la realización de este proyecto se ha elegido el contenedor del tipo Dry-Van 20'.

2.3 CARACTERISTICAS DEL CONTENEDOR DRY-VAN 20'.

La Tabla 1 nos muestra las características principales del contenedor marítimo de tipo Dry-Van 20' que es el elegido para el desarrollo del presente proyecto.

| | | | |
|----------------|----------------------|----------|------------------|
| PESO | VACIO | 2250 Kg | |
| | PESO MAXIMO | 28240 Kg | |
| MEDIDAS | EXTERNO | INTERNO | PUERTAS ABIERTAS |
| LARGO | 6090 mm | 5900 mm | - |
| ANCHO | 2438 mm | 2345 mm | 2335 mm |
| ALTO | 2600 mm | 2400 mm | 2290 mm |
| VOLUMEN | 33,30 m ³ | | |

Tabla 1. Características del container Dry-Van 20'.

3. MODELIZACIÓN DEL CONTAINER

3.1 MODELO COMPLETO.

Como se ha indicado previamente el modelo completo se ha realizado a partir de las medidas estándar generales que poseen este tipo de containers y a partir de medidas reales tomadas directamente de un contenedor y se ha modelizado la geometría con el programa comercial de elementos finitos I-Deas v11 quedando como se ve en la Figura 3.1 y en la Figura 3.2 con las siguientes características:

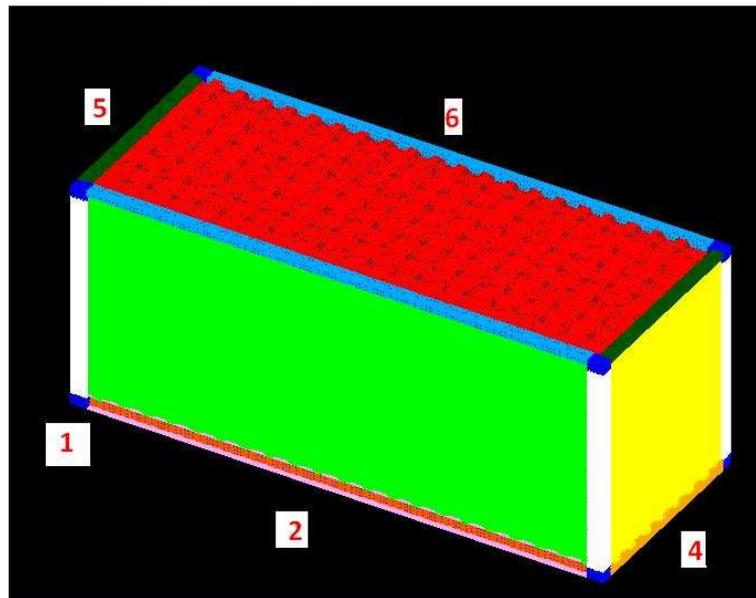


Figura 3.1. Modelo completo.

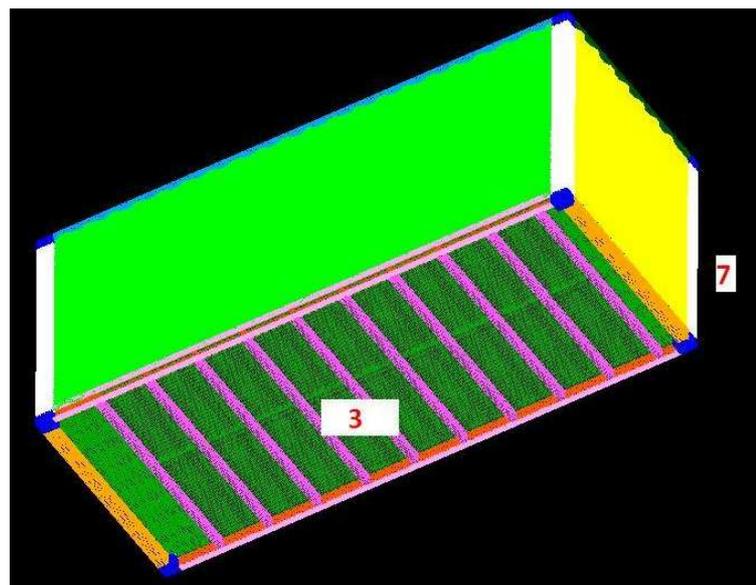


Figura 3.2. Parte de abajo del modelo completo.

1. Refuerzos rectangulares en todas las esquinas.
2. Perfil en C de 160 mm de altura (ala $e= 10,5$ mm; cuerpo $e= 7,5$ mm).
3. Largueros rectangulares de 60x120 mm ($e= 2$ mm).
4. Perfiles cuadrados de 120 mm ($e= 4$ mm).
5. Perfil rectangular de tubo de 60x120 mm ($e= 2$ mm).
6. Perfil rectangular de tubo de 60x140 mm ($e= 3$ mm).
7. Perfiles rectangulares de 140x180 mm ($e= 5$ mm).

El resto del container está construido con chapa corrugada de acero y como suelo dispone de una chapa de 10 mm también de acero.

Las dimensiones del container modelizado son 6090x2600x2438 mm (largo x alto x ancho).

En general, el mallado se ha realizado con elementos Shell cuadrados con unas dimensiones por elemento de 1 cm^2 de media y consta de 401785 elementos.

Ahora voy a proceder a explicar con más detalle las diferentes partes de las que consta el container y como se ha realizado el mallado más en profundidad.

Los refuerzos en las esquinas tienen unas dimensiones de 180x120x140 mm y tal como podemos ver en azul en la Figura 3.3. se ha realizado un mallado mediante elementos Shell siendo este más fino, es decir, con elementos más pequeños, en las zonas correspondientes a las esquinas al tratarse estas de concentradores de tensiones y así tener unos datos más exactos a la hora de calcular con el modelo. En los refuerzos de un contenedor real (Figura 3.4.) se puede observar que tienen unos huecos circulares. Esto es debido a que son utilizados estos refuerzos para fijar los ganchos que se utilizan para su elevación y transporte. En el modelo realizado por ordenador no se han tenido en cuenta ya que no afectan al conjunto resistente del container.

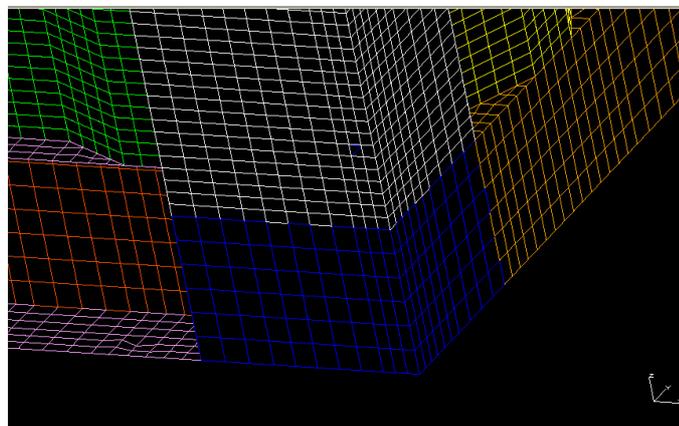


Figura 3.3. Detalle de los refuerzos de las esquinas.



Figura 3.4. Refuerzo de las esquinas de un contenedor real.

Los perfiles longitudinales inferiores del container son perfiles en C del tipo UPN160 que tienen unas medidas de 160 mm de altura de cuerpo y 65 mm de ala con un espesor del cuerpo de 7,5 mm y un espesor en el ala de 10,5 mm. Se ha realizado el mallado en I-Deas mediante elementos Shell y mediante la formación de los grupos correspondientes posteriormente se ha editado el archivo de extensión inp con los espesores correspondientes antes de lanzar el modelo a calcular en Abaqus. Sobre estos perfiles se apoya la chapa corrugada de los laterales y su conexión final se realiza con los refuerzos de las esquinas. Podemos ver el mallado de dichos perfiles en la Figura 3.5.

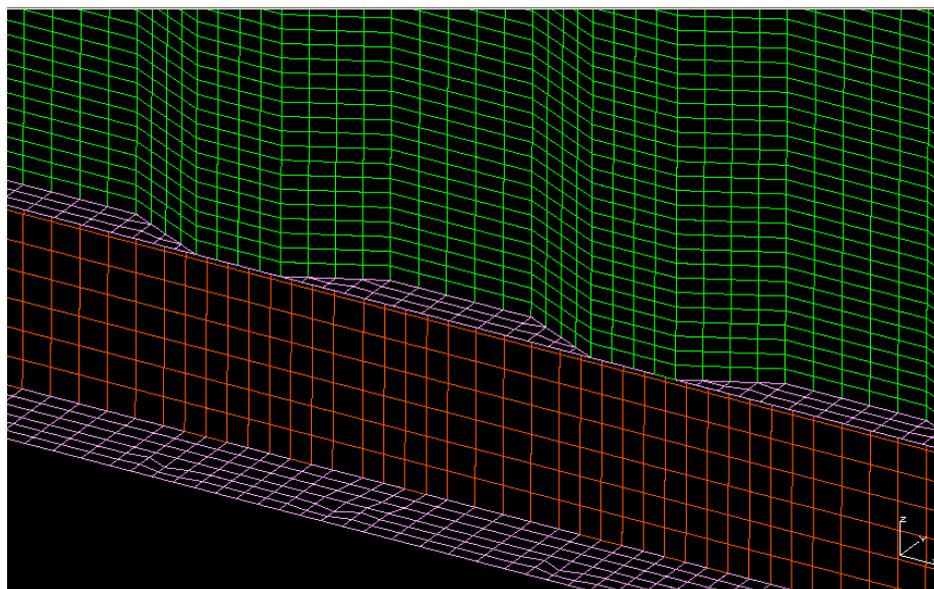


Figura 3.5. Detalle del mallado de los perfiles en C.

La figura 3.6 muestra la estructura del suelo del container. Está formada por largueros rectangulares de 60x120 mm y 2 mm de espesor que van unidos a los perfiles en C tal y como se muestra en detalle en la Figura 3.7 y se puede observar como el mallado también es más fino en esta zona de la unión para poder tener datos más precisos en los cálculos.

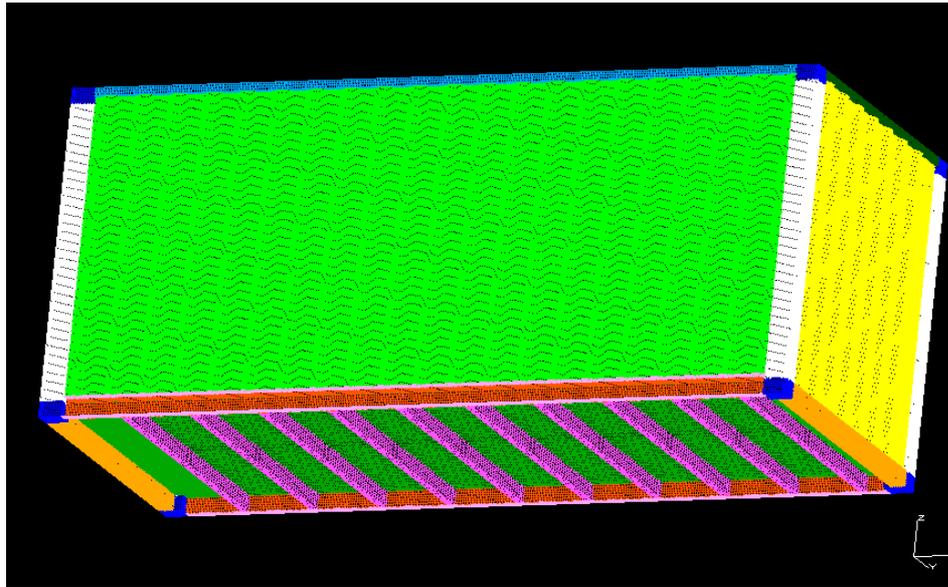


Figura 3.6. Disposición de los largueros del suelo de la estructura del container.

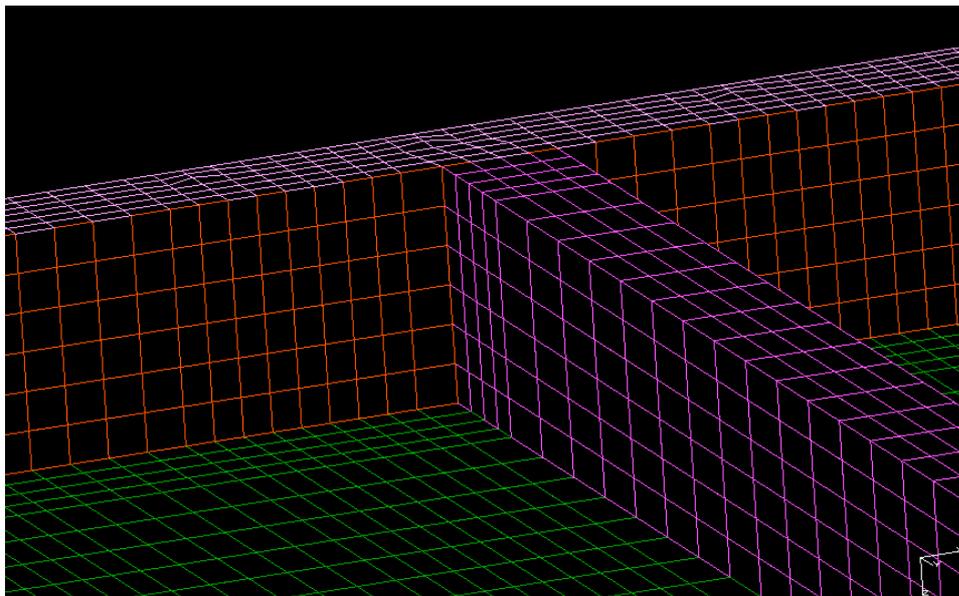


Figura 3.7. Detalle de la unión de los largueros del suelo con los perfiles en C.

Los perfiles transversales del perímetro del suelo de la estructura son perfiles cuadrados de 120 mm y 4 mm de espesor y soportan la chapa corrugada de los lados

cortos del container y van unidos a los refuerzos de las esquinas como se observa en la Figura 3.8 donde los perfiles son de color naranja.

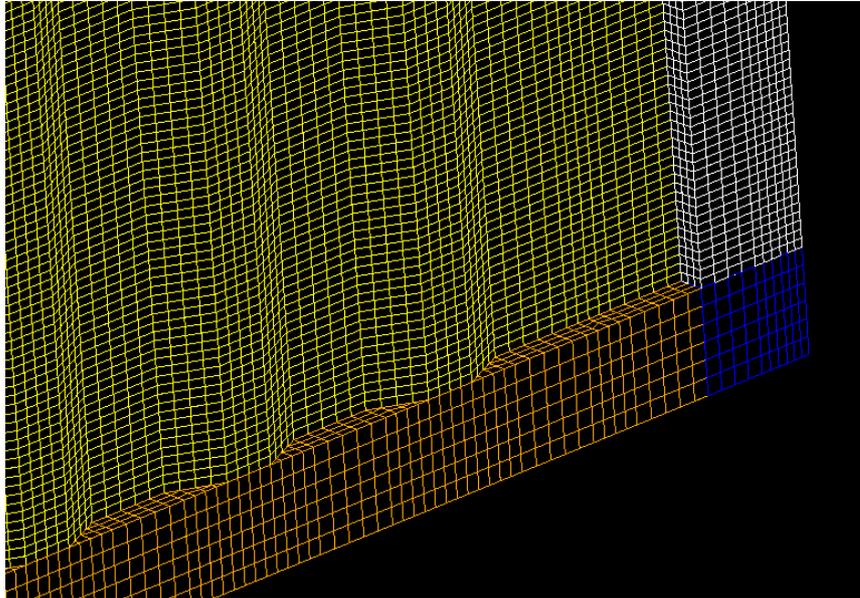


Figura 3.8. Perfiles transversales inferiores de la estructura.

Los perfiles transversales superiores en verde oscuro en la Figura 3.9 tienen unas medidas de 60x120 mm con un espesor de 2 mm y se han mallado mediante elementos Shell. Estos perfiles van unidos a los refuerzos rectangulares de las esquinas y a las chapas corrugadas tanto del techo como de los lados cortos del container y como se puede observar en la Figura 3.10 y Figura 3.11 está mallado y dimensionado exactamente igual que un container real a excepción de los huecos en los refuerzos de las esquinas tal y como se ha comentado anteriormente.

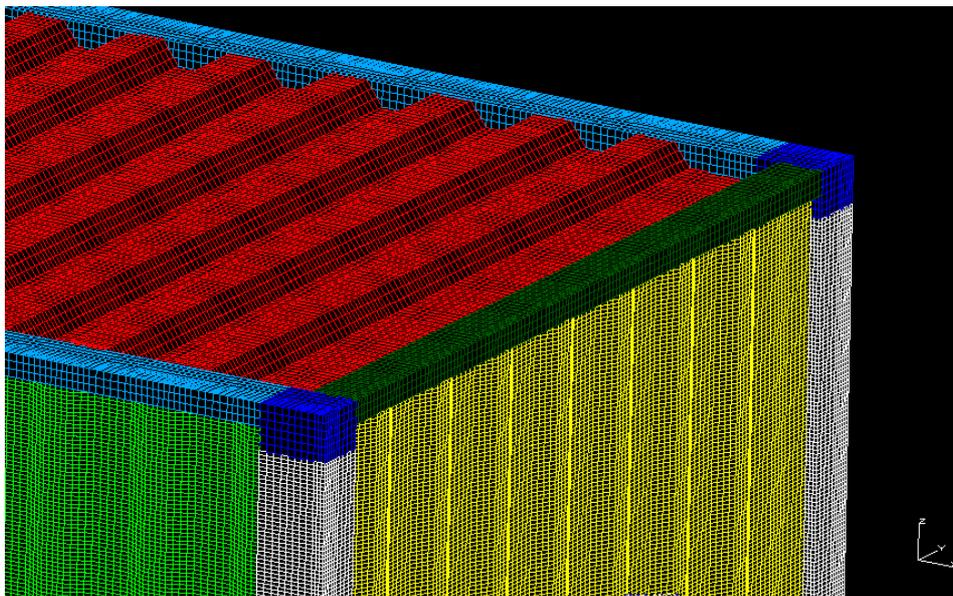


Figura 3.9. Perfiles transversales superiores del container.

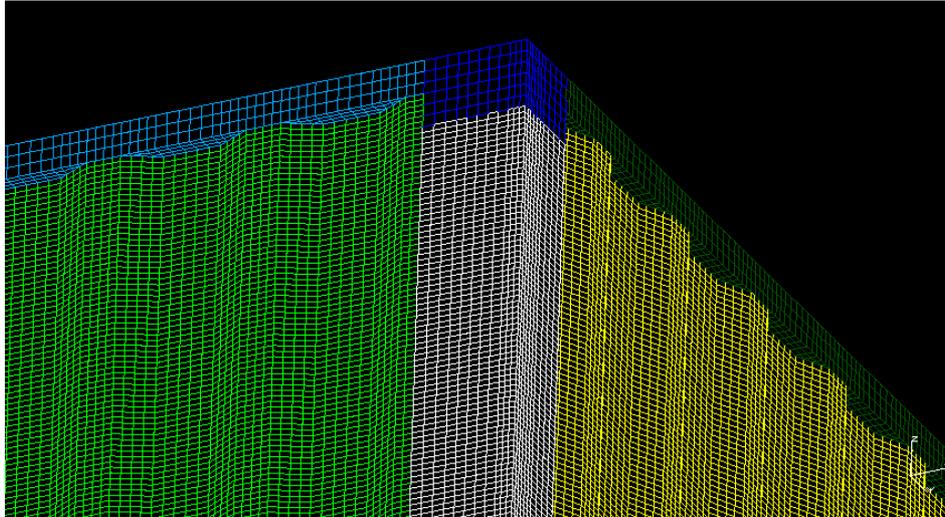


Figura 3.10. Detalle de conexión de los perfiles transversales superiores.



Figura 3.11. Foto en detalle de un contenedor real.

En la Figura 3.12. aparecen en azul claro los largueros longitudinales superiores de la estructura del container que son perfiles rectangulares de 60x140 mm con un espesor de 3mm y que también han sido modelados mediante elementos Shell con el programa I-Deas. Estos perfiles van unidos a los refuerzos rectangulares de las esquinas y a las chapas corrugadas de los laterales y del techo del container.

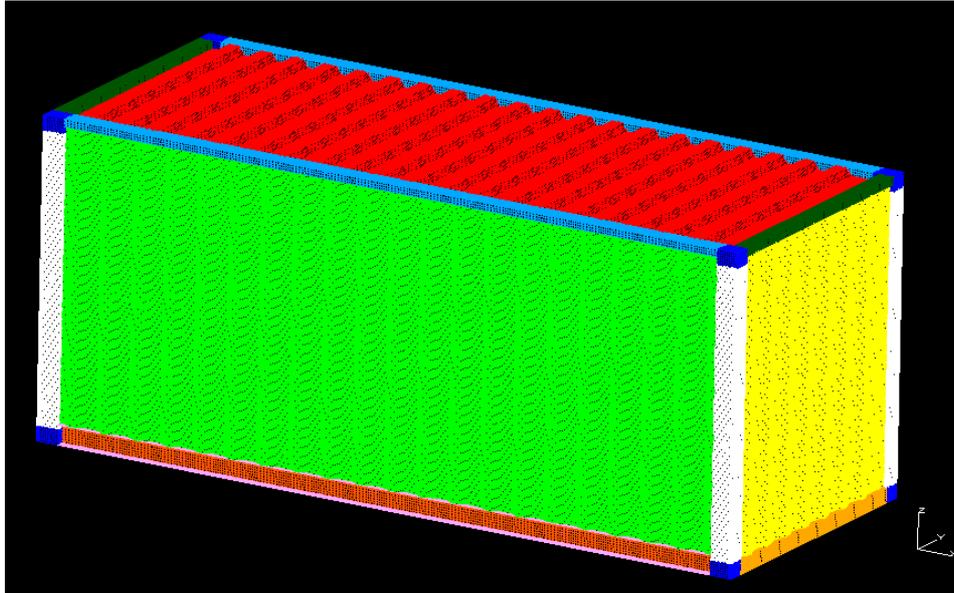


Figura 3.12. Largueros longitudinales superiores en azul claro.

Los pilares de las esquinas son perfiles rectangulares de dimensiones 140x180 mm y 5 mm de espesor con un mallado tipo Shell y conectan perfectamente con los refuerzos rectangulares de las esquinas y con las chapas corrugadas de los laterales del container. Se pueden ver dichos pilares en la Figura 3.13 en color blanco y en más detalle la unión en la Figura 3.14.

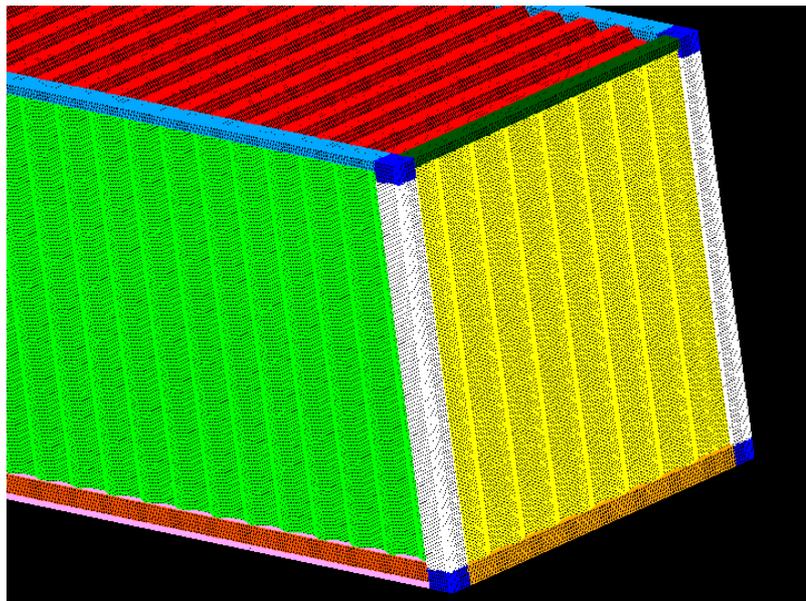


Figura 3.13. Vista de los pilares de las esquinas en color blanco.

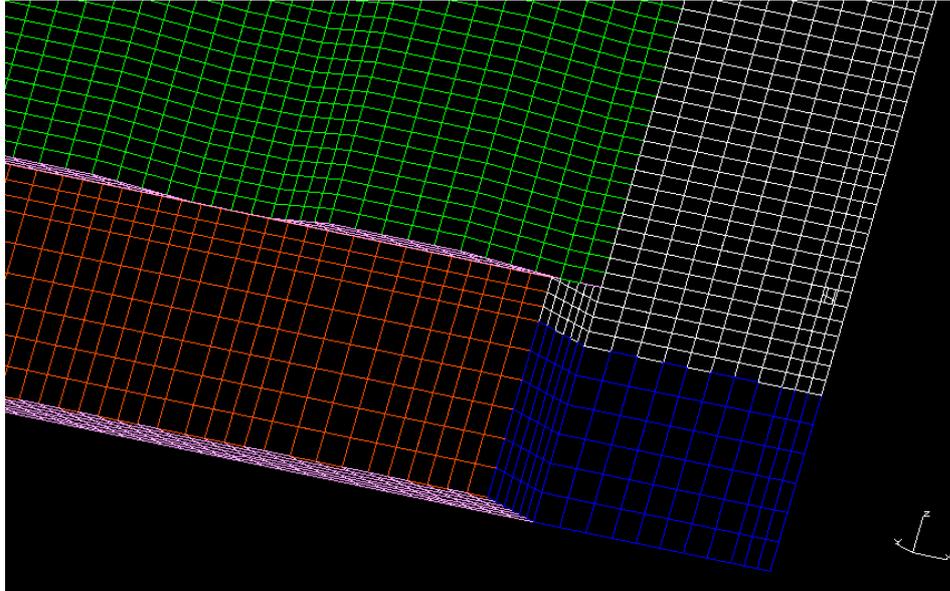


Figura 3.14. Detalle de la unión de los pilares de las esquinas.

El suelo está hecho por una placa de elementos Shell que descansa sobre los largueros longitudinales. Se ha formado un grupo para poder editar posteriormente su espesor en el archivo de extensión inp y así poder variarlo dependiendo de las necesidades futuras antes de calcular el modelo en Abaqus. En la Figura 3.15 se puede observar como el suelo en verde se apoya sobre los largueros longitudinales y en los elementos constructivos perimetrales del container.

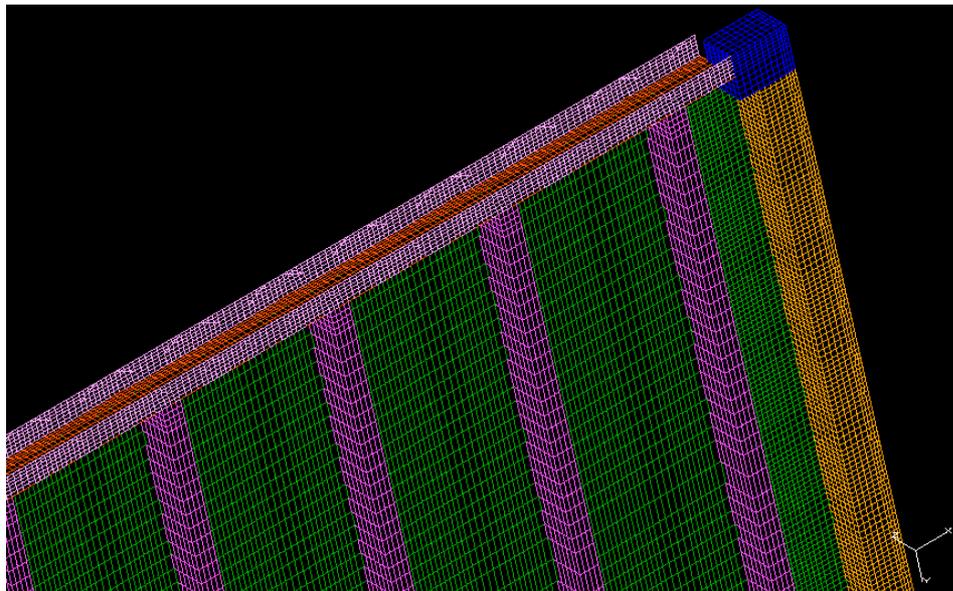


Figura 3.15. Detalle del suelo.

Por último, queda hablar de la chapa corrugada que envuelve el container en los laterales y en el techo. Se trata de una chapa corrugada de acero y en la Figura 3.16 se pueden ver sus dimensiones.

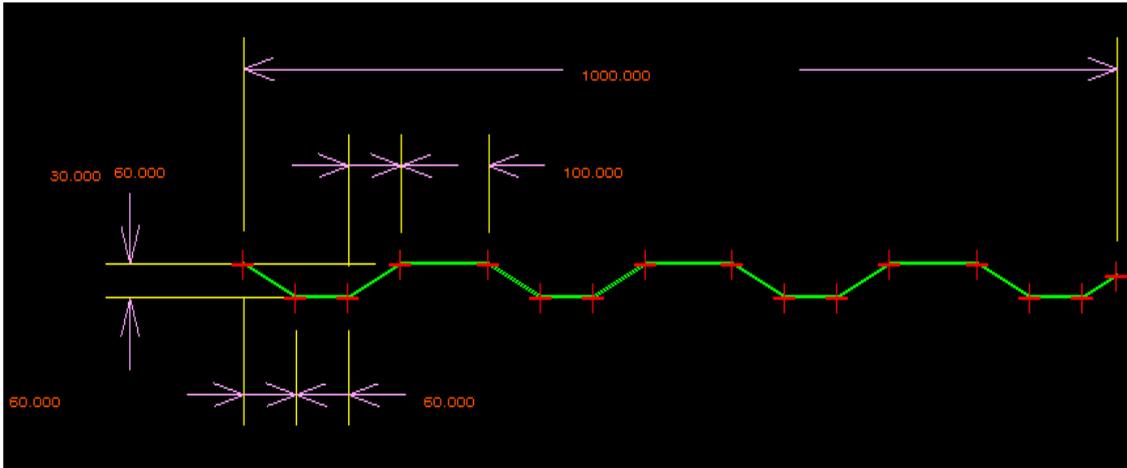


Figura 3.16. Dimensiones de la chapa corrugada.

Sus características mecánicas han sido evaluadas con el programa I-Deas en su apartado de "beam sections" y son las mostradas en la Figura 3.17.

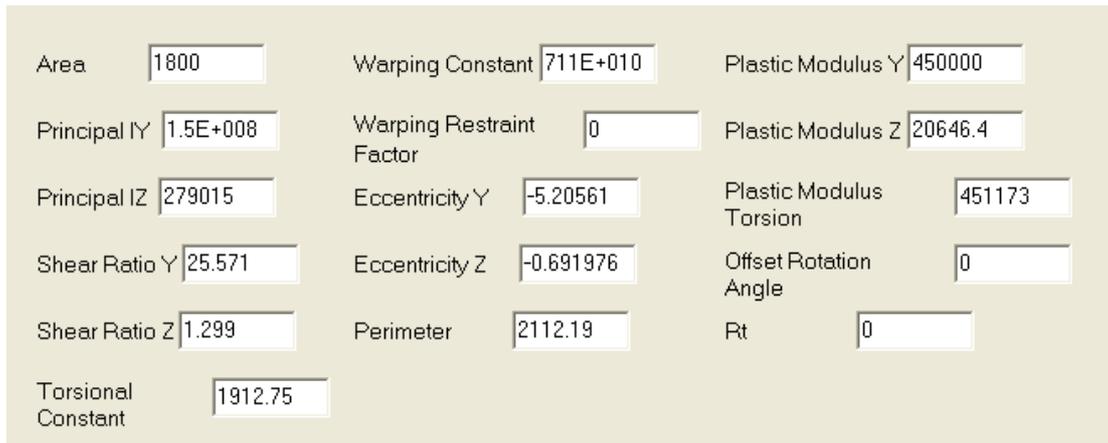


Figura 3.17. Características mecánicas de la chapa corrugada.

El espesor de la chapa corrugada lateral es de 1,8 mm y 2 mm para el techo. En la Figura 3.18 se ve cómo han quedado modeladas con elementos Shell.

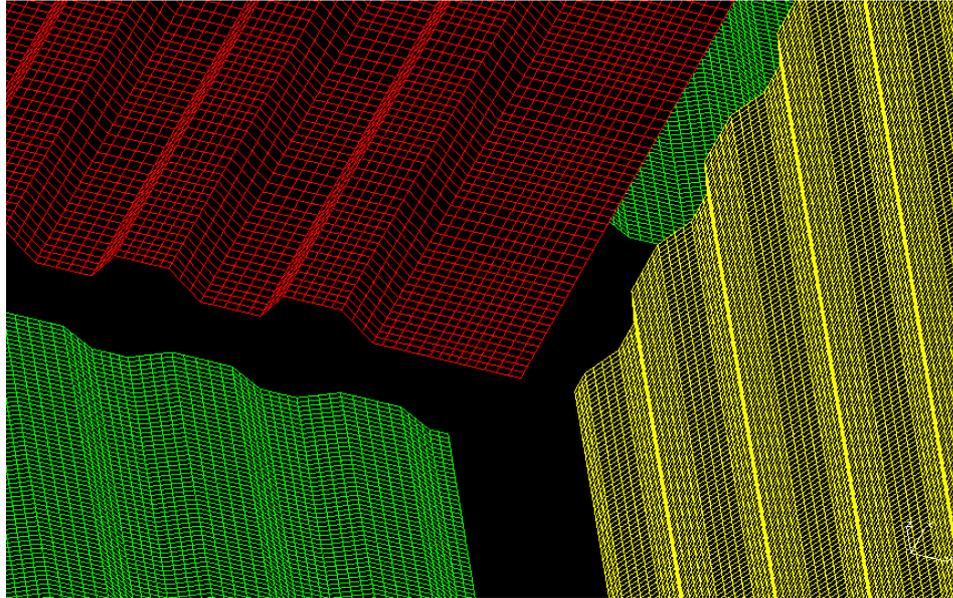


Figura 3.18. Detalle de mallado de las chapas corrugadas.

El container está apoyado sobre los 4 nodos de las esquinas y con la ayuda de la Figura 3.19 se van a describir los tipos de apoyo empleados en cada caso.

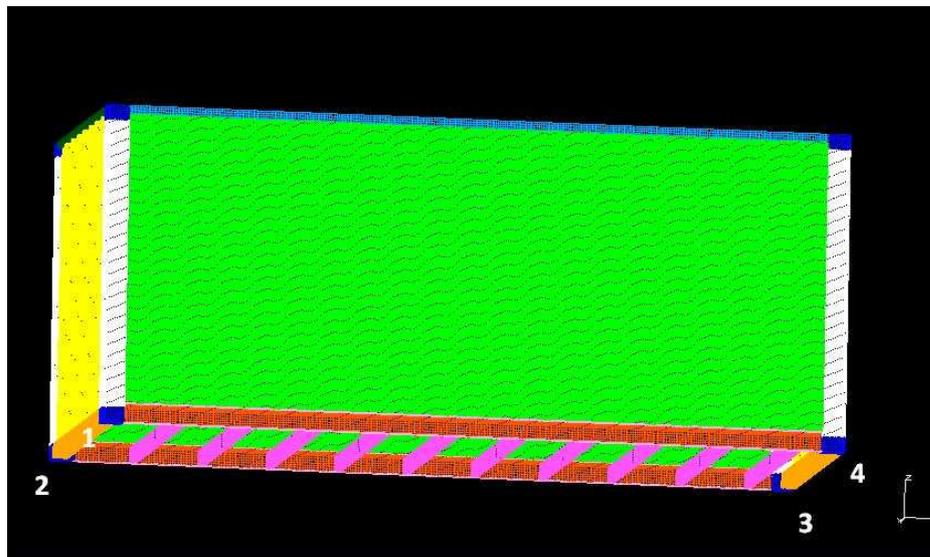


Figura 3.19. Apoyos en el modelo completo.

En los nodos de las esquinas 1 y 2 de la Figura 3.19 se han realizado unos apoyos restringiendo su libertad de desplazamiento en los tres ejes, es decir, en X, Y, Z pero sin restringir los giros mientras que en los nodos de las esquinas 3 y 4 de la Figura 3.19 sólo se ha restringido el desplazamiento en el eje Z dejando libres los desplazamientos en los otros ejes y sus giros.

Cabe destacar que la malla geométrica que se ha utilizado garantiza la conectividad entre sí de todos los elementos que se han comentado y que constituyen el conjunto del container modelado.

3.2 MODELO SIMPLIFICADO

El modelo simplificado está hecho para que sea más fácil maniobrar con él, es decir, modificarlo y aplicarle distintos tipos de cargas y para que se reduzca el tiempo de cálculo en Abaqus. El modelo simplificado al igual que el modelo completo ha sido realizado con el programa comercial de elementos finitos I-Deas v11. El resultado final tal y como se muestra en la Figura 3.20 es visualmente diferente al modelo completo.

A continuación se explican las diferencias constructivas entre ambos modelos.

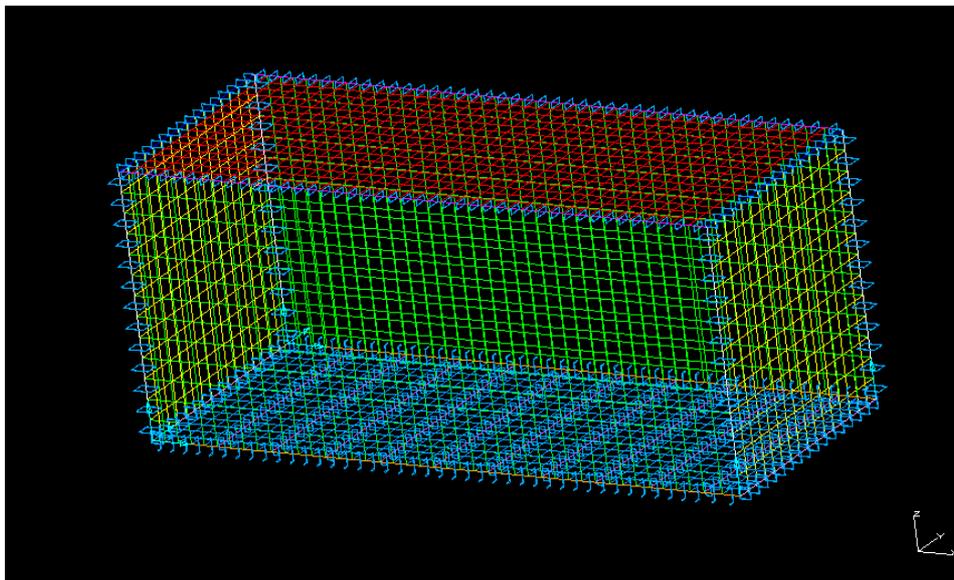


Figura 3.20. Modelo simplificado.

En el modelo simplificado no se han modelado los diferentes tipos de perfiles con elementos Shell sino que se han introducido en la sección del programa I-Deas "beam sections" con las medidas y espesores correspondientes y luego han sido asignados a los elementos Beam que les corresponden tal y como se puede apreciar en la Figura 3.21.

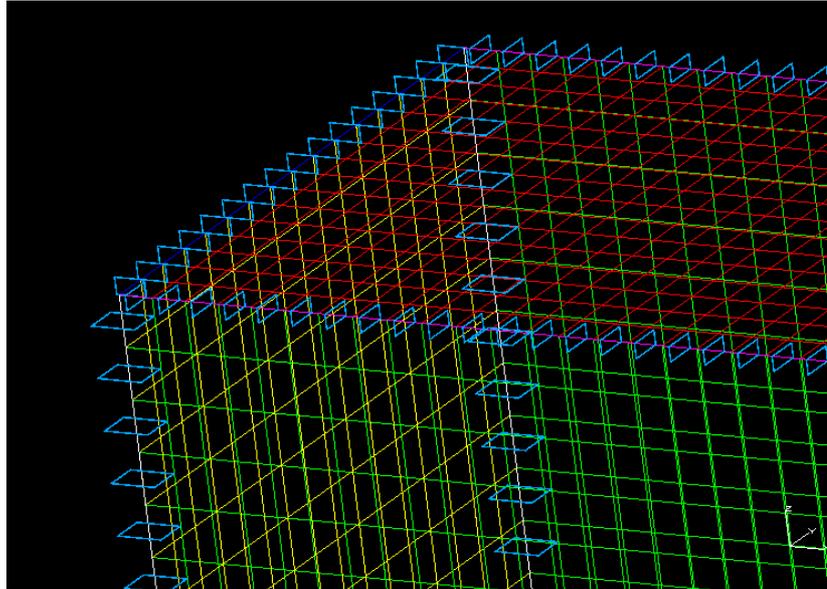


Figura 3.21. Secciones asignadas a elementos Beam.

La otra principal diferencia es que el mallado de las chapas se ha realizado con elementos Shell rectangulares de mayor tamaño. La media son unas medidas de 14x19 cm. y consta de 3358 elementos. Además, no se ha modelizado la chapa corrugada sino que se ha hecho recta y se ha calculado el espesor equivalente para que tenga las mismas propiedades que la chapa corrugada. Se ha calculado de la siguiente manera:

La inercia de un metro de chapa corrugada tal y como hemos visto en la Figura 3.17 es 279015 mm^4 por lo que un metro de lateral de elementos Shell de un metro de longitud debe tener la misma inercia. Se despeja el espesor equivalente para que esto se cumpla:

$$I_z = 279015 = \frac{b h^3}{12} ; \text{ donde } b = 1000 \text{ mm } \rightarrow h = e = 14,96 \text{ mm}$$

Es decir, para que la chapa del modelo simplificado tenga la misma inercia que la chapa corrugada del modelo completo debe tener un espesor equivalente a 14,96 mm. Este espesor se le asignará al grupo correspondiente que se ha creado en I-Deas modificando el archivo de extensión inp antes de proceder a calcular el modelo simplificado en Abaqus.

3.3 AJUSTE DEL MODELO SIMPLIFICADO Y VALIDACIÓN.

Para comprobar la validez entre un modelo y otro se ha aplicado una carga de 5000 N/m^2 en el suelo de ambos modelos y se ha calculado la flecha producida con el programa comercial de elementos finitos Abaqus. En la Figura 3.22 y Figura 3.23 se pueden ver los resultados de la flexión producida en ambos modelos.

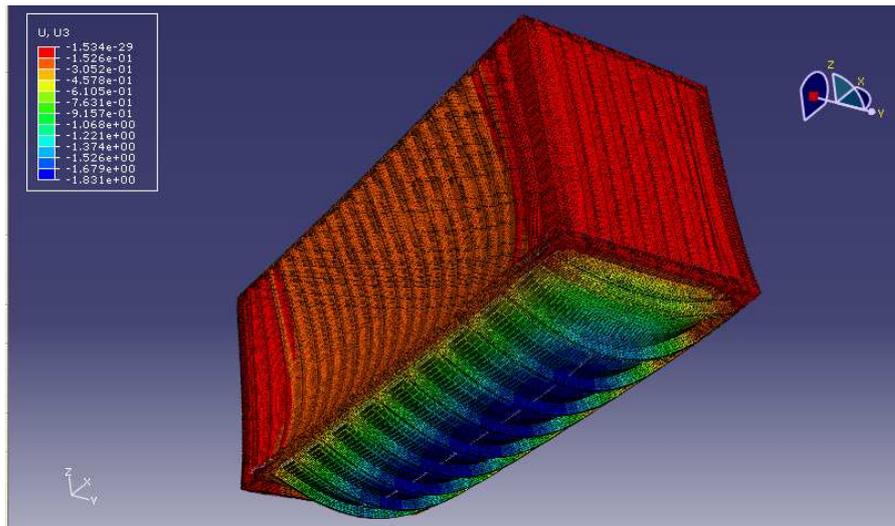


Figura 3.22. Flecha producida en el modelo completo.

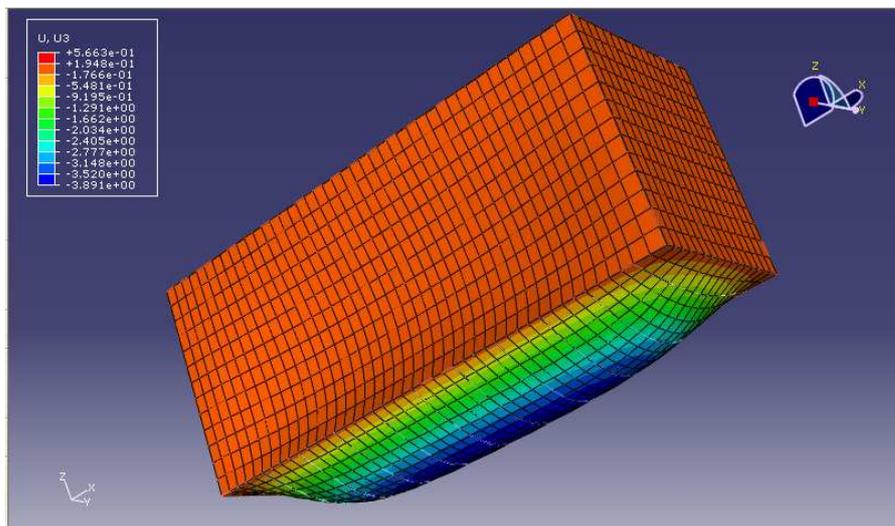


Figura 3.23. Flecha producida en el modelo simplificado.

Los resultados obtenidos son que en el modelo completo se produce una flecha de 1,831 mm mientras que en el modelo simplificado la flecha es de 3,891 mm. Esta diferencia se debe a la diferencia de inercias a la hora de acoplar las distintas partes de los elementos estructurales en el modelo simplificado. Por ejemplo, las chapas corrugadas van apoyadas en el ala superior de los perfiles longitudinales en C en el modelo completo mientras que en el modelo simplificado al haber asignado los perfiles a los elementos Beam el ordenador hace la unión de la chapa en la mitad del perfil en C.

Por estos motivos el modelo simplificado es más restrictivo que el modelo completo por lo cual damos por bueno el modelo desde el punto de vista de la seguridad ya que si cumple las restricciones que marca el CTE quiere decir que el modelo completo también las cumplirá.

En la Tabla 2 quedan recogidos todos los resultados de desplazamientos en los tres ejes, tensiones soportadas por el container y reacciones globales y locales en los apoyos tanto para el modelo completo como para el modelo simplificado.

| UNIDADES Desplaz.: mm Tension: mN/mm ² | MODELO COMPLETO | MODELO SIMPLIFICADO |
|---|--------------------|------------------------|
| DESPLAZ X | 0,2196 | 0,1432 |
| | -0,1205 | -0,1163 |
| Flecha max X | 8,66 | 8,66 |
| | OK | OK |
| DESPLAZ Y | 0,9181 | 1,991 |
| | -0,9667 | -1,991 |
| Flecha max Y | 8,12 | 8,12 |
| | OK | OK |
| DESPLAZ Z | 1,534E-29 | 0,5663 |
| | -1,831 | -3891 |
| Flecha max Z | 8,66 | 8,66 |
| | OK | OK |
| TENSION | 362900 | 76320 |
| | 2,166 | 72,23 |
| TENSION max | 261900 | 261900 |
| | NO | OK |
| RF X | -3,50E-8 | -2,13E-07 |
| RF Y | 0 | 0,00E+00 |
| RF Z | 67420000 | 74236000 |
| RM X | 0 | 0 |
| RM Y | 0 | 0 |
| RM Z | 0 | 0 |
| | | |
| RF X 1 | -1,0943E-8 | 1,82E-05 |
| RF X 2 | -2,41E-8 | -1,85E-05 |
| RF X 3 | 0 | 0 |
| RF X 4 | 0 | 0 |
| | | |
| RF Y 1 | 7,62E6 | 2,49E+06 |
| RF Y 2 | -7,62E6 | 2,49E+06 |
| RF Y 3 | 0 | 0 |
| RF Y 4 | 0 | 0 |
| | | |
| RF Z 1 | 1,69E7 | 1,86E+07 |
| RF Z 2 | 1,68E7 | 1,86E+07 |
| RF Z 3 | 1,69E7 | 1,86E+07 |
| RF Z 4 | 1,68E7 | 1,86E+07 |

Tabla 2. Resultados del modelo completo y del modelo simplificado.

Llama la atención a primera vista que la tensión en el modelo completo sobrepasa los límites permitidos. Analizando los resultados vemos que esta tensión máxima se alcanza sólo en los nodos de las esquinas 3 y 4 de la Figura 3.19 y que son dos valores que no se pueden tener en cuenta porque están influenciados por las propias condiciones de contorno. Por lo tanto, no tenemos en cuenta este valor y tomaremos como valor de la tensión la tensión media que es prácticamente la que se da en la totalidad del container y que tiene un valor de 30,24 MPa que está muy debajo del límite permitido (261,9 MPa). En la Figura 3.24 podemos ver la tensión media en el container y en la Figura 3.25 el detalle de la tensión máxima aislada localizada en el nodo de la esquina donde se han aplicado las condiciones de contorno.

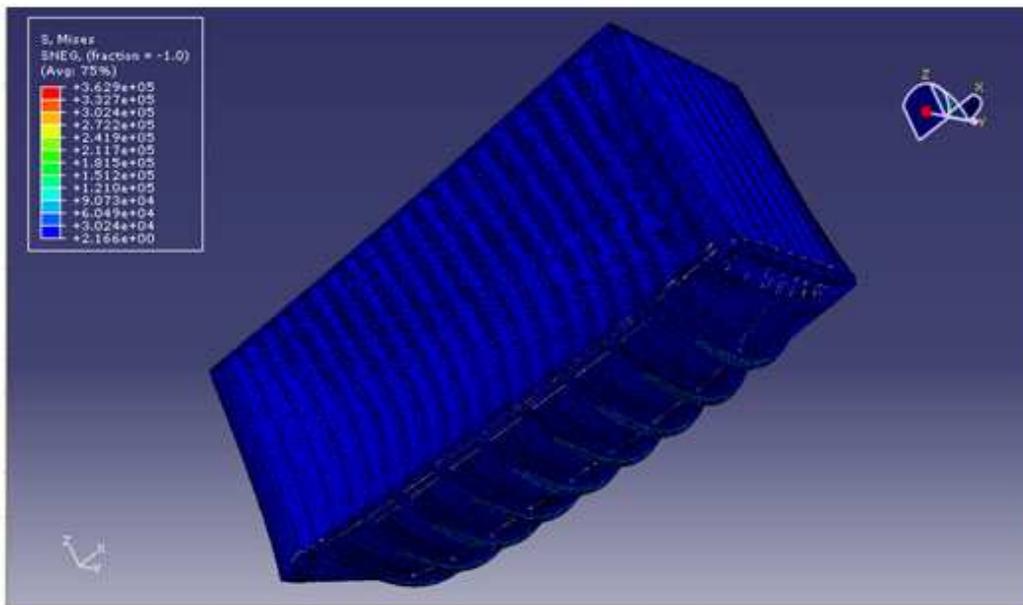


Figura 3.24. Tensiones en el modelo completo [mN/mm^2].

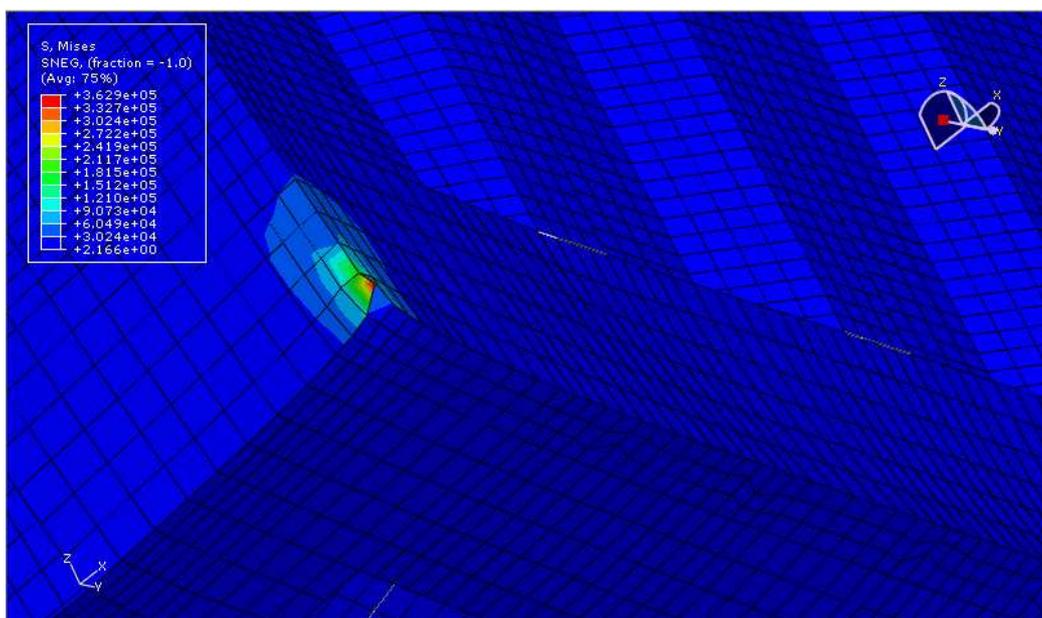


Figura 3.25. Detalle de la tensión máxima aislada en el nodo de la esquina [mN/mm^2].

4. ESTUDIO DE APLICACIÓN DE APERTURAS LATERALES.

4.1 EN UN LATERAL

Para la realización de este estudio lo que se ha hecho es ir modificando la geometría del container practicándole aperturas en su chapa lateral. Dichas aperturas han sido realizadas de una manera centrada y simétrica al container. Se ha ido aumentando la anchura de las aperturas y analizando como afecta al conjunto resistente del container calculando la tensión y la flecha producida todo ello con una carga distribuida y uniforme en el suelo del container de 5000 N/m^2 .

En las Figura 4.1 podemos observar el contenedor antes de empezar el estudio y sin ninguna apertura realizada. En la Figura 4.2 se muestra el container a mitad de estudio con una apertura de 2800 mm y un 46% de apertura y por último, en la Figura 4.3 tenemos el container en una posición de apertura de chapa lateral que ya no es válida ya que se supera la flecha máxima permitida.

Se establece una limitación de flecha máxima de $L/300$.

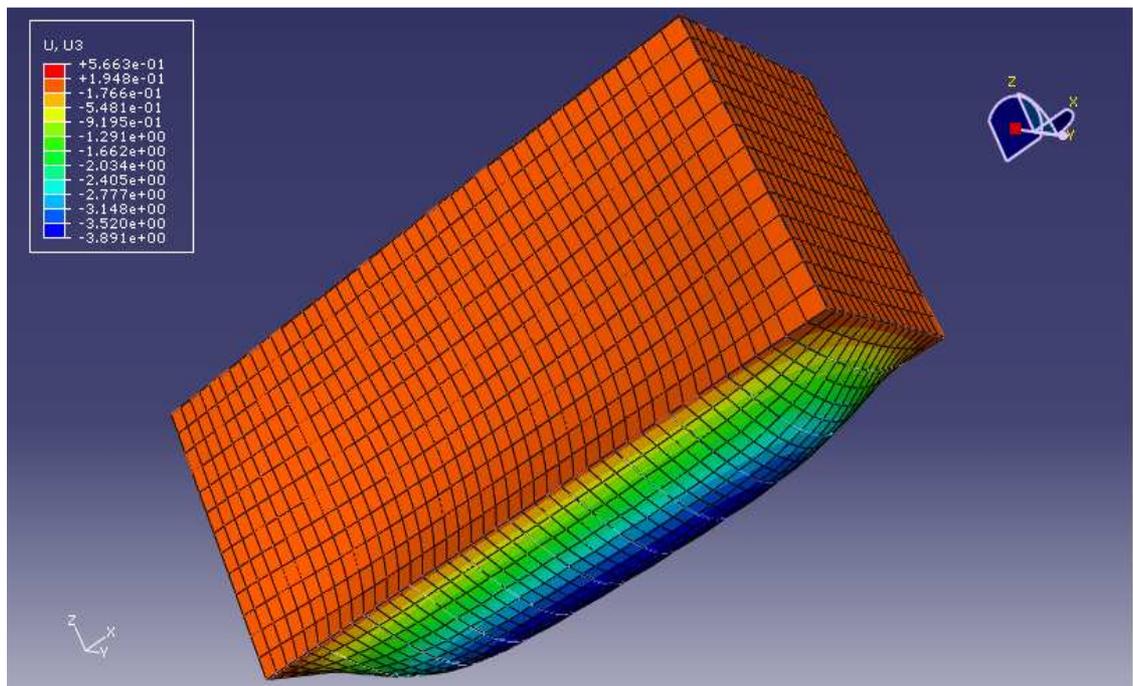


Figura 4.1. Container antes de empezar el estudio y con 0% de apertura [mm].

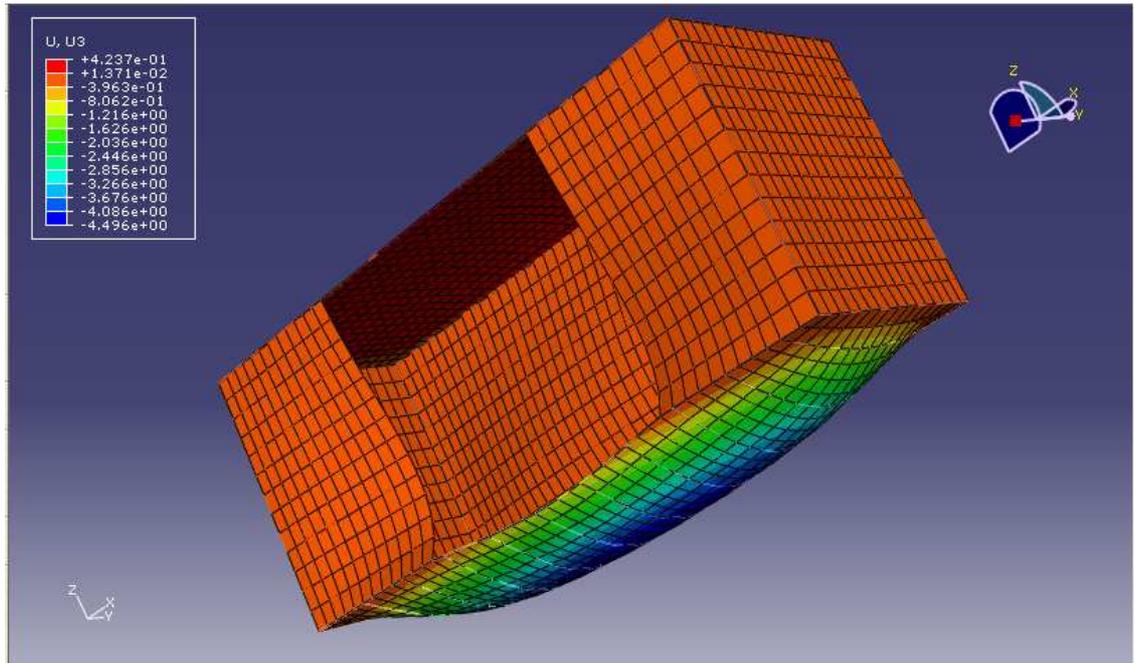


Figura 4.2. Container con una apertura de 2800 mm y 46% de apertura [mm].

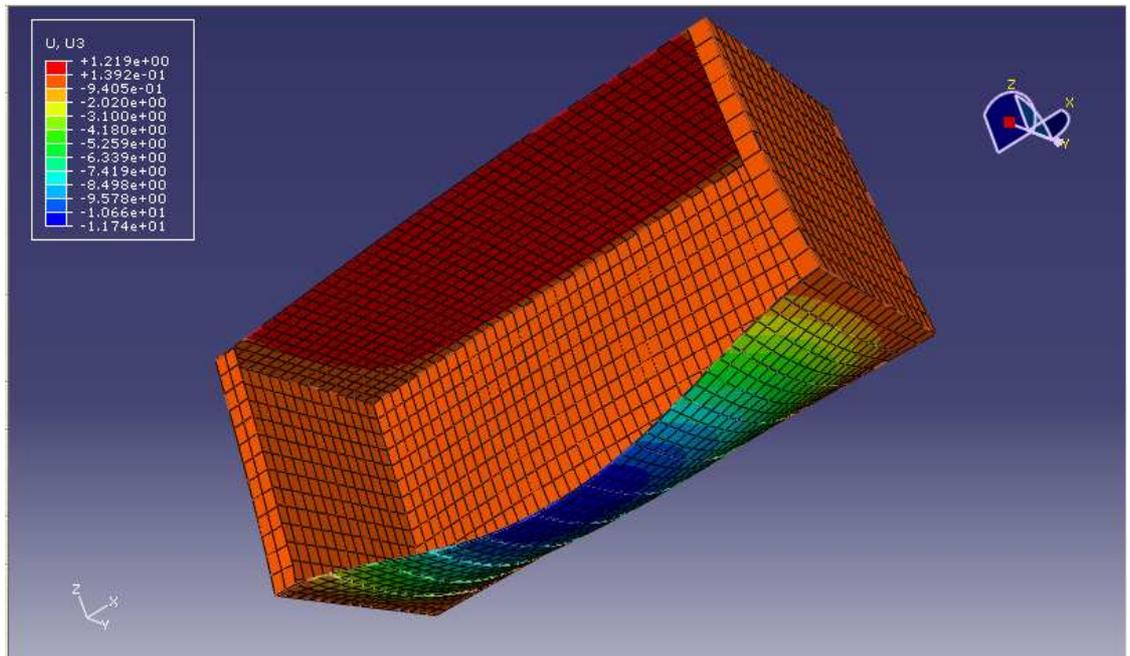


Figura 4.3. Container con una apertura de 5632 mm y 92,5% de apertura [mm].

Los **resultados** que se obtienen han sido reflejados en la Tabla 3 y en la Tabla 4 y de forma gráfica en la Figura 4.4.

| Apertura | 0 mm | 560 mm | 1120 mm | 1680 mm | 2240 mm | 2800 mm |
|------------------------------------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| | 0% | 9,20% | 18,40% | 27,60% | 36,80% | 46% |
| Flecha [mm] | 0,5663 | 0,543 | 0,5034 | 0,4685 | 0,4398 | 0,4237 |
| | -3,891 | -3,99 | -4,063 | -4,141 | -4,27 | -4,496 |
| Flecha max. [mm] | 8,66 | 8,66 | 8,66 | 8,66 | 8,66 | 8,66 |
| | OK | OK | OK | OK | OK | OK |
| Tensión [mN/mm ²] | 76320 | 77670 | 78580 | 78910 | 78870 | 78850 |
| | 72,23 | 71,07 | 68,86 | 48,41 | 50,54 | 60,78 |
| Tensión max. [mN/mm ²] | 261900 | 261900 | 261900 | 261900 | 261900 | 261900 |
| | OK | OK | OK | OK | OK | OK |

Tabla 3. Resultados de 1 apertura lateral.

| Apertura | 3360 mm | 3920 mm | 4480 mm | 5034 mm | 5632 mm |
|------------------------------------|---------|---------|---------|---------|-----------|
| | 55,20% | 64,40% | 73,60% | 82,70% | 92,50% |
| Flecha [mm] | 0,4275 | 0,4592 | 0,5279 | 0,6534 | 1,219 |
| | -4,921 | -5,593 | -6,663 | -8,259 | -11,74 |
| Flecha max. [mm] | 8,66 | 8,66 | 8,66 | 8,66 | 8,66 |
| | OK | OK | OK | OK | NO CUMPLE |
| Tensión [mN/mm ²] | 78390 | 77950 | 83330 | 98040 | 111800 |
| | 56,55 | 58,53 | 80,95 | 65,71 | 49,73 |
| Tensión max. [mN/mm ²] | 261900 | 261900 | 261900 | 261900 | 261900 |
| | OK | OK | OK | OK | OK |

Tabla 4. Resultados de 1 apertura lateral.



Figura 4.4. Grafica de Flecha vs % de apertura para apertura en un lateral.

A la vista de los resultados se observa que se puede realizar una apertura lateral simétrica de hasta 5102,9 mm y que corresponde a un 83,83% de apertura total de chapa sin que se superen los límites establecidos tanto para deformación como para tensiones. A partir de estos valores se supera la flecha máxima y el modelo no es válido.

4.2 EN DOS LATERALES.

En este caso lo que se ha hecho es ir realizando aperturas en las chapas laterales del container. Estas aperturas son centradas y simétricas en los lados longitudinales del contenedor y se analiza la influencia que tienen en los desplazamientos y en las tensiones que sufre el conjunto resistente del container al realizarlas. Las condiciones del estudio son similares a las del caso anterior de una apertura, es decir, sobre el contenedor actúa una fuerza uniformemente distribuida en el suelo de 5000 N/m^2 .

En la Figura 4.5 se muestra las deformaciones que sufre el container con la primera apertura que se le realiza que es de 560 mm y corresponde a un 9,2% de apertura. La Figura 4.6 recoge la flecha producida a mitad de estudio con una apertura de 2800 mm que corresponde al 46% de apertura y por último, la Figura 4.7, recoge el caso de una apertura de 4480 mm que corresponde a un 73,6% de apertura y donde la flecha producida supera los límites permitidos por lo que en este caso el modelo ya no cumple.

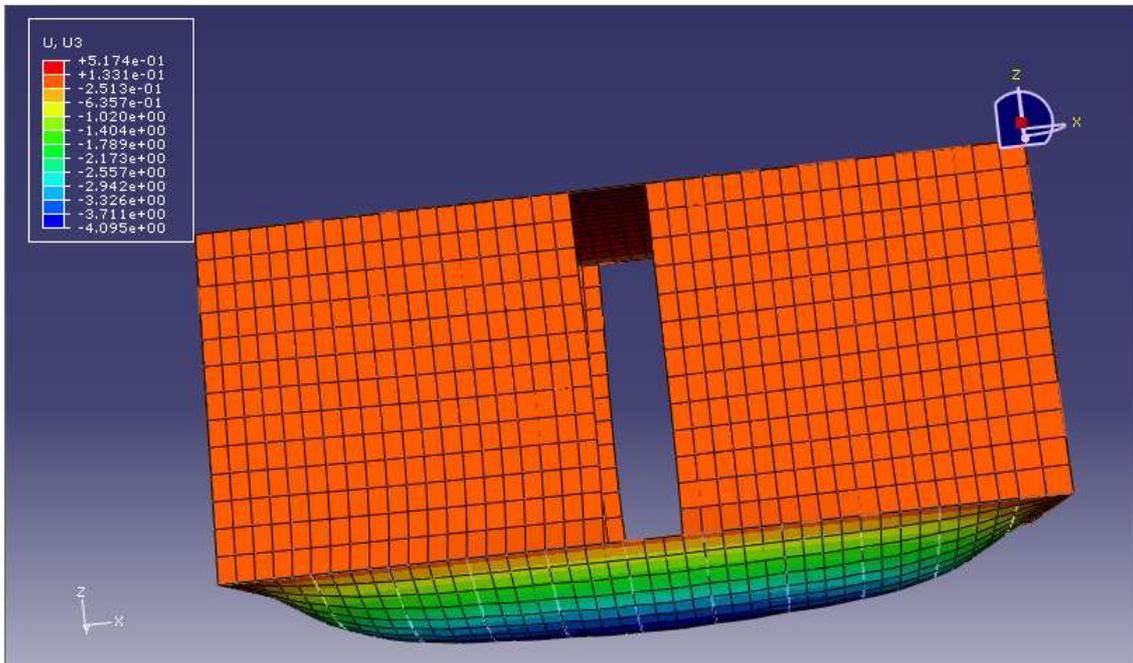


Figura 4.5. Aperturas de 560 mm y 9,2%. Unidades en mm.

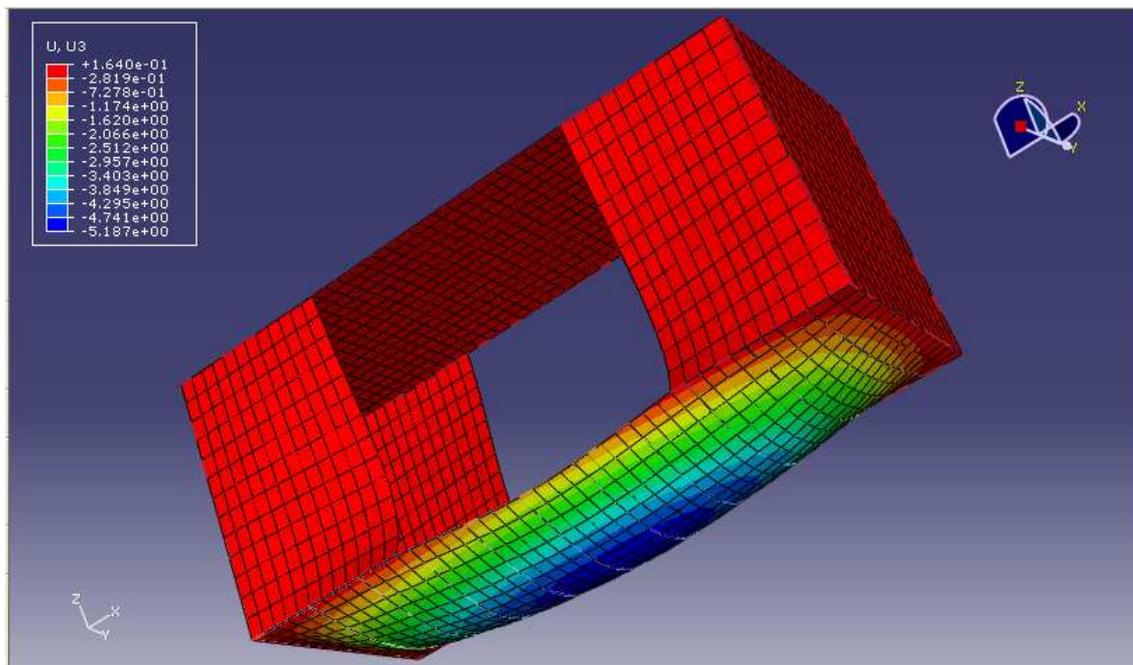


Figura 4.6. Apertura de 2800 mm y del 46%. Unidades en mm.

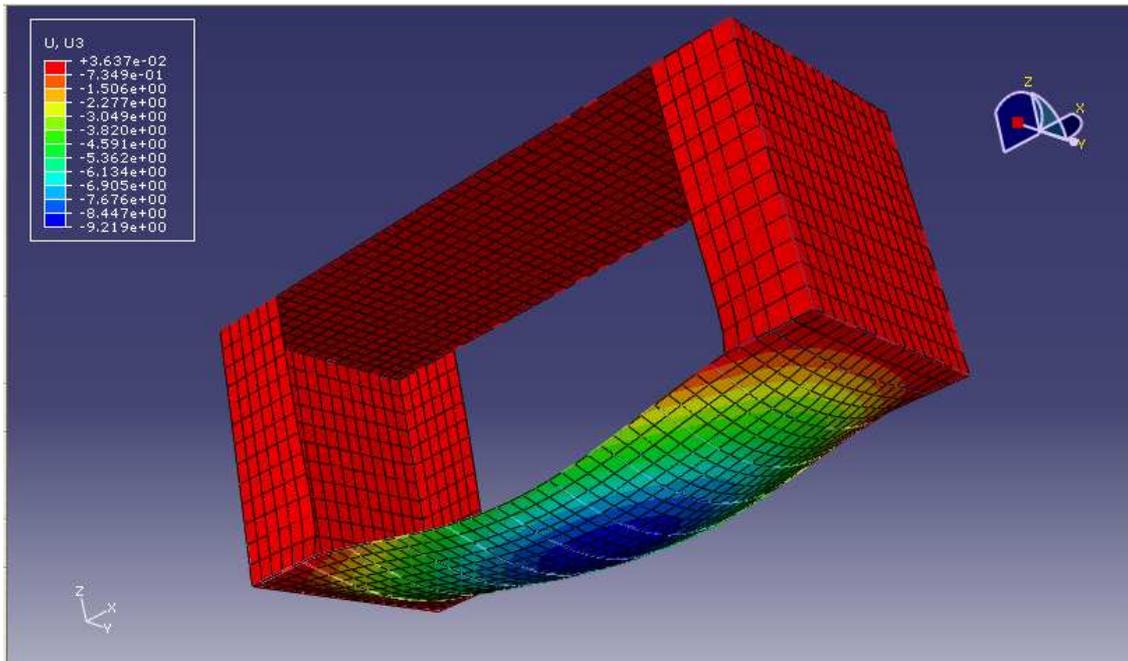


Figura 4.6. Apertura de 4480 mm y del 73,6%. Unidades en mm.

Los **resultados** que se obtienen están reflejados a continuación en la Tabla 5 y en la Tabla 6 y de una manera más grafica en la Figura 4.7.

| Apertura | 0 mm | 560 mm | 1120 mm | 1680 mm | 2240 mm |
|-----------------------------------|--------|--------|---------|---------|---------|
| | 0% | 9,2% | 18,4% | 27,6% | 36,8% |
| Flecha [mm] | 0,5663 | 0,5174 | 0,4292 | 0,3331 | 0,2401 |
| | -3,891 | -4,095 | -4,25 | -4,421 | -4,699 |
| Flecha max [mm] | 8,66 | 8,66 | 8,66 | 8,66 | 8,66 |
| | OK | OK | OK | OK | OK |
| Tensión [mN/mm ²] | 76320 | 79110 | 81070 | 81920 | 82440 |
| | 72,23 | 71,4 | 70,58 | 32,36 | 49,63 |
| Tensión max [mN/mm ²] | 261900 | 261900 | 261900 | 261900 | 261900 |
| | OK | | OK | OK | OK |

Tabla 5. Resultados de aperturas en dos laterales.

| Apertura | 2800 mm | 3360 mm | 3920 mm | 4480 mm |
|-----------------------------------|---------|---------|---------|-----------|
| | 46% | 55,2% | 64,4% | 73,6% |
| Flecha [mm] | 0,164 | 0,09197 | 0,06853 | 0,03637 |
| | -5,187 | -6,014 | -7,308 | -9,219 |
| Flecha max [mm] | 8,66 | 8,66 | 8,66 | 8,66 |
| | OK | OK | OK | NO CUMPLE |
| Tensión [mN/mm ²] | 82880 | 83400 | 83580 | 89480 |
| | 66,33 | 57,9 | 35,7 | 29,47 |
| Tensión max [mN/mm ²] | 261900 | 261900 | 261900 | 261900 |
| | OK | OK | OK | OK |

Tabla 6. Resultados de aperturas en dos laterales.



Figura 4.7. Grafica de Flecha vs % de apertura para aperturas en dos laterales.

Se observa en los resultados que se puede alcanzar unas aperturas de hasta 4316,2 mm en los dos laterales del container de forma simétrica. Estas aperturas corresponden al 70,9% de apertura de chapa. Una vez superados estos límites el container supera la flecha máxima permitida.

La Figura 4.8 recoge el gráfico de los resultados de una apertura y de dos aperturas simultáneamente donde es más fácil observar las diferencias entre uno y otro caso.



Figura 4.8. Gráfico de Flecha vs % de Apertura.

5. CÁLCULO PARA UNA TIPOLOGÍA CONCRETA.

5.1 DISEÑO DE UN MODULO TIPO.

Para la realización de esta parte del proyecto y proceder a un análisis de una configuración concreta de vivienda mínima que se podría realizar dentro del container se ha elegido la distribución que se muestra en la Figura 5.1 y en la Figura 5.2 se puede observar cómo quedará el container que ahora vamos a modelizar.

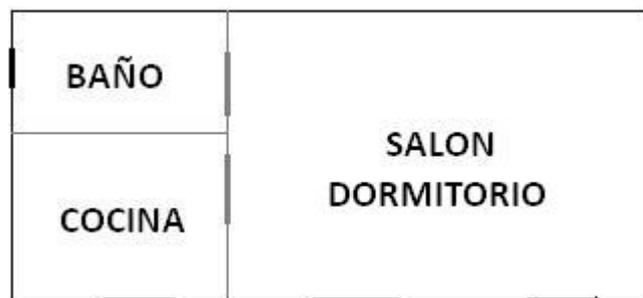


Figura 5.1. Configuración concreta de vivienda.

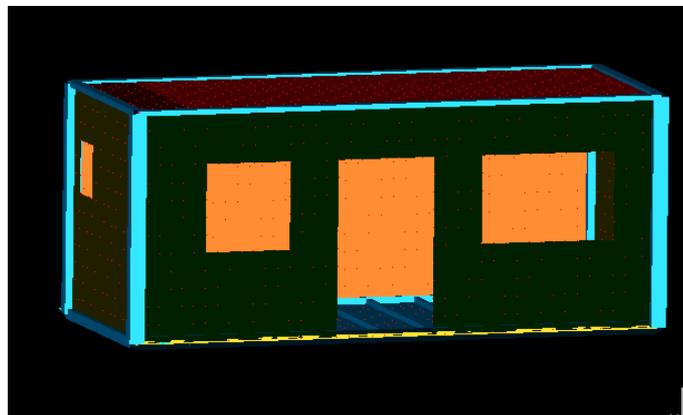


Figura 5.2. Vivienda tipo en container.

El nuevo modelo con el cual se va a trabajar es una modificación del modelo simplificado en el cual hemos realizado las aperturas oportunas con el programa I-Deas para posteriormente y con las hipótesis de carga elegidas calcular en el programa Abaqus para obtener resultados.

También se ha hecho un modelo tipo de una vivienda de dos pisos tal y como se muestra en la Figura 5.3. Se le aplicará el mismo análisis y las mismas hipótesis de carga que la vivienda tipo de un piso.

5.2 CASOS DE CARGA

El análisis a consistido en ir aplicando distintas cargas al container mediante el programa I-Deas y analizar tanto los desplazamientos como las tensiones y reacciones surgidas en el conjunto gracias al programa comercial de elementos finitos Abaqus.

Las hipótesis de carga que se han aplicado son las siguientes:

- Sobrecarga de uso (SU).
- Sobrecarga de uso y carga de nieve.
- Sobrecarga de uso y viento en cada lado del container.
- Sobrecarga de uso, nieve y viento en cada lado del container.

Los valores escogidos para las hipótesis de carga son los exigidos por el CTE aunque hemos cogido los valores más extremos existentes para que los resultados sean lo más restrictivo posible y estar siempre del lado de la seguridad ya que no sabemos donde se pueden usar estos containers como elementos constructivos.

En el caso de la sobrecarga de uso se ha elegido una carga distribuida uniformemente de 5000 N/m² aunque según marca el CTE para una vivienda de zona residencial o de carácter administrativo sería suficiente con 2000 N/m².

En la hipótesis de carga de nieve se ha elegido el valor de 1000 N/m² tal y como marca el CTE-DB-SE-EA para cubiertas planas en localidades de altitud inferior a 1000m.

Por último, para la hipótesis de carga de viento se ha elegido un valor de 754 N/m² que corresponde a un viento de 125 Km/h que ya es considerado un viento de huracán. Tal y como se ha comentado anteriormente se escogen valores extremos ya que el viento en Zaragoza correspondería a una carga de 0,52 N/m² según el CTE.

La carga de viento se ha calculado de la siguiente manera:

$$125 \text{ Km/h} = 34,72 \text{ m/s}$$

$$\text{Carga} = \frac{v^2}{16} \text{ [decN/m}^2\text{]} \rightarrow \text{carga} = \frac{34,72^2}{16} = 753,42 \text{ N/m}^2 \cong 754 \text{ N/m}^2$$

La Figura 5.4 muestra como se denomina a la carga de viento actuante en cada momento.

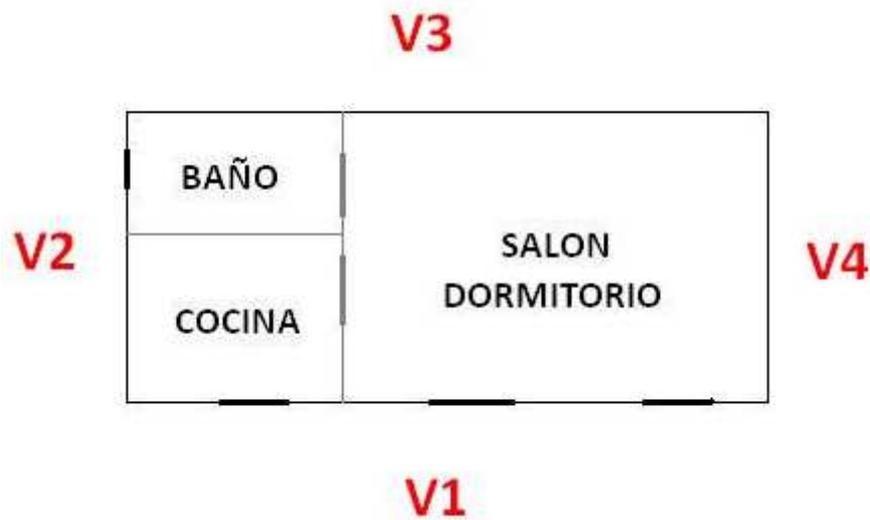


Figura 5.4. Denominación de las cargas de viento.

5.3 VIVIENDA DE UN PISO.

A continuación se van a detallar los principales resultados e imágenes más características de las hipótesis de carga aplicadas a la vivienda tipo de un piso. Se explicará en más detalle en los Anexos.

HIPOTESIS DE SOBRECARGA DE USO

Su principal deformación se produce en el suelo y en los largueros que lo sustentan aunque como se aprecia en la Figura 5.5 también se deforman las chapas laterales.

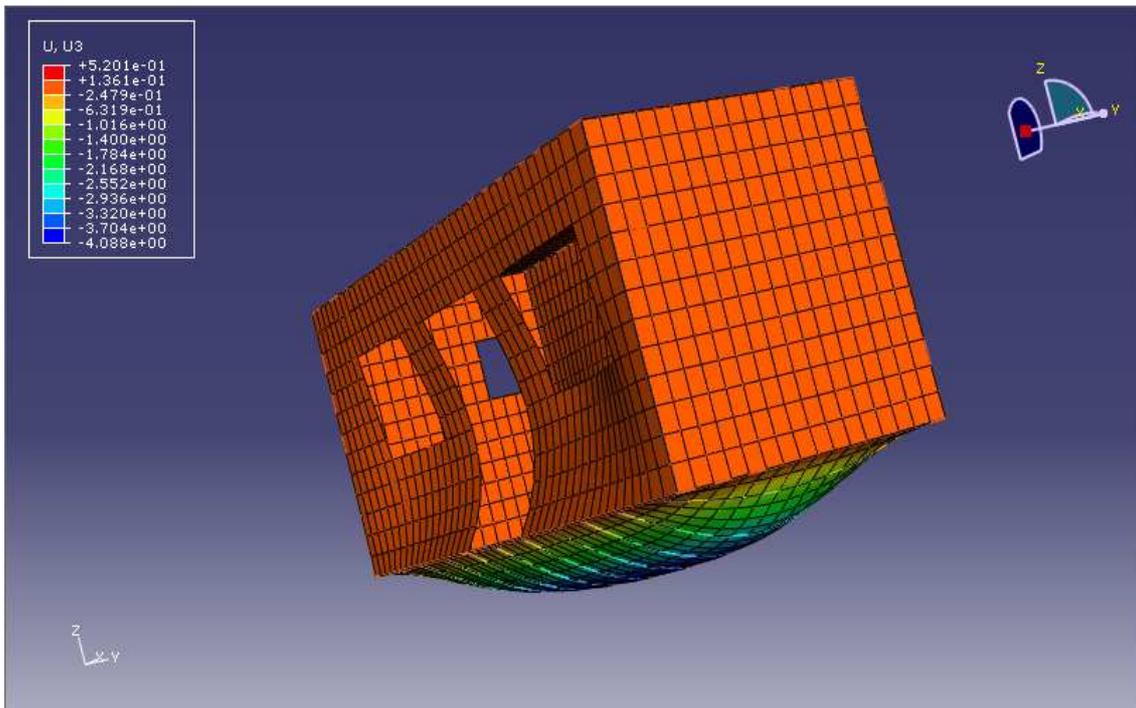


Figura 5.5. Hipótesis de sobrecarga de uso [mm].

La máxima acumulación de tensiones se produce en la flexión de los largueros del suelo tal y como se aprecia en la Figura 5.6.

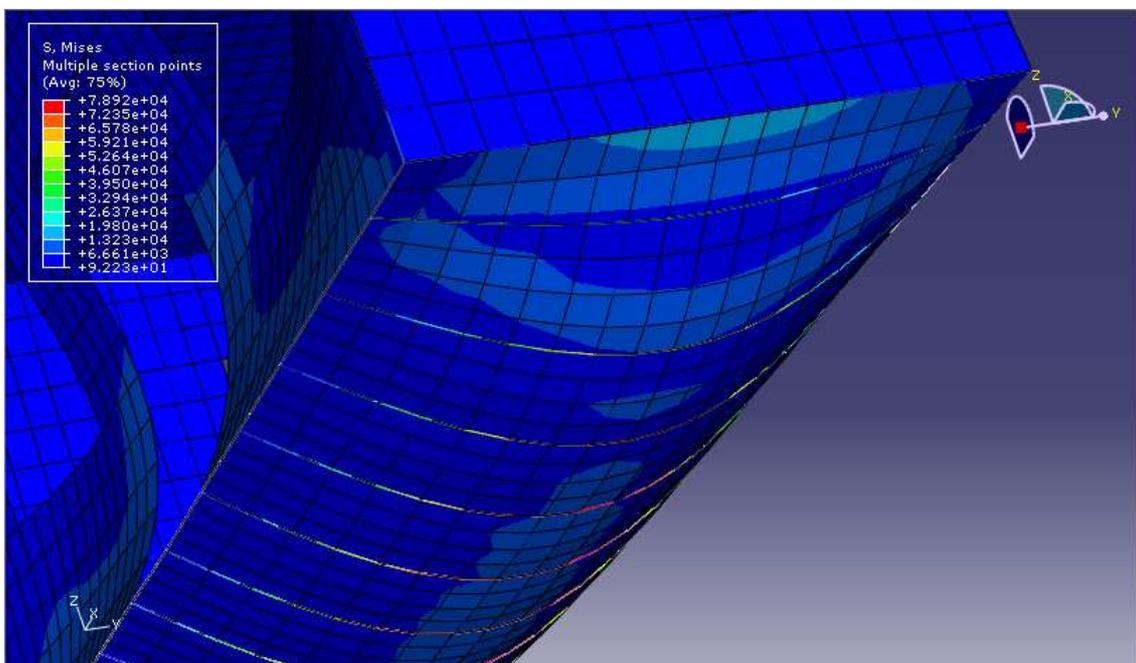


Figura 5.6. Máxima tensión producida en la flexión de los largueros del suelo [mN/mm^2].

Las deformaciones y tensiones producidas están dentro de los límites permitidos.

HIPOTESIS DE SOBRECARGA DE USO Y CARGA DE NIEVE.

El siguiente paso del análisis ha sido aplicar en el techo la carga correspondiente a nieve siendo esta una carga uniformemente distribuida de valor 1 kN/m^2 . Las deformaciones y tensiones que se producen son visibles en la Figura 5.7 y Figura 5.8.

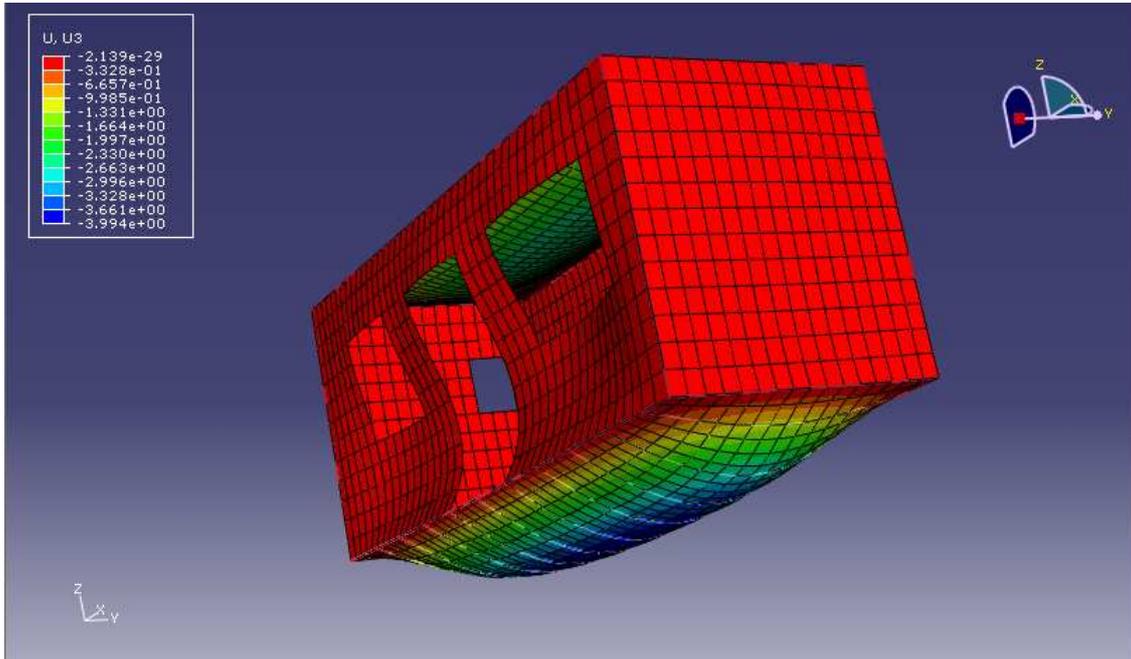


Figura 5.7. Deformaciones con sobrecarga de uso y carga de nieve [mm].

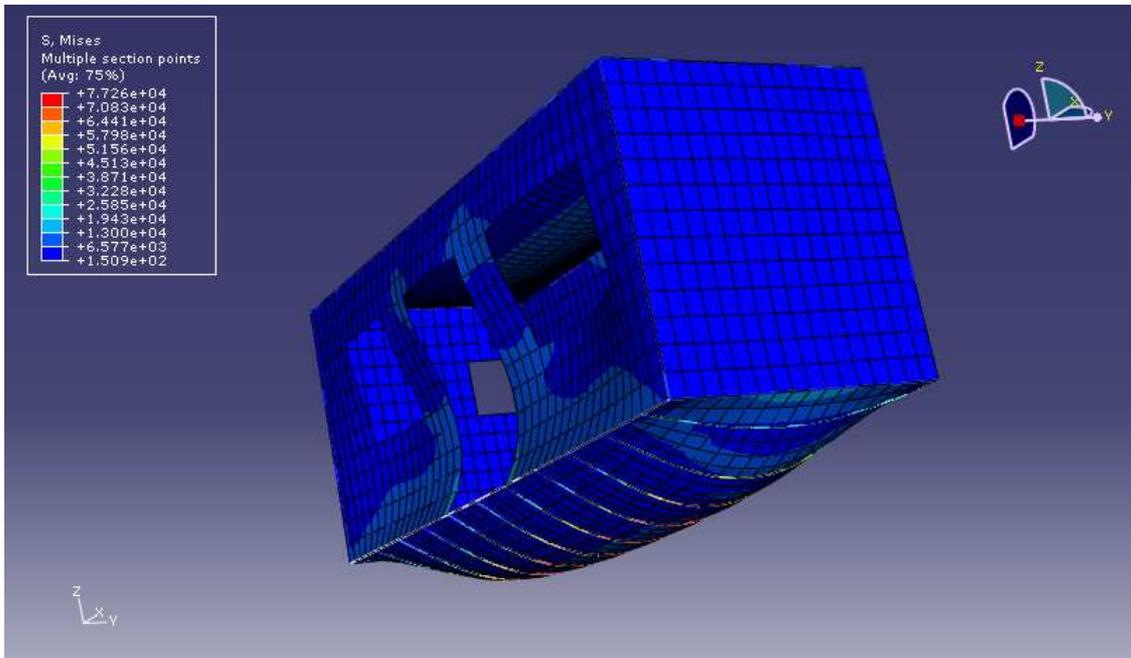


Figura 5.8. Tensiones con sobrecarga de uso y carga de nieve [mN/mm^2].

Los valores están dentro del rango permitido.

HIPOTESIS DE SOBRECARGA DE USO Y V1.

En la Figura 5.9 se puede ver la deformación que se produce con un valor de 4,2 mm que está prácticamente por la mitad de la permitida. En la Figura 5.10 se ve las tensiones que se producen en el conjunto las cuales también están por debajo de los límites permitidos.

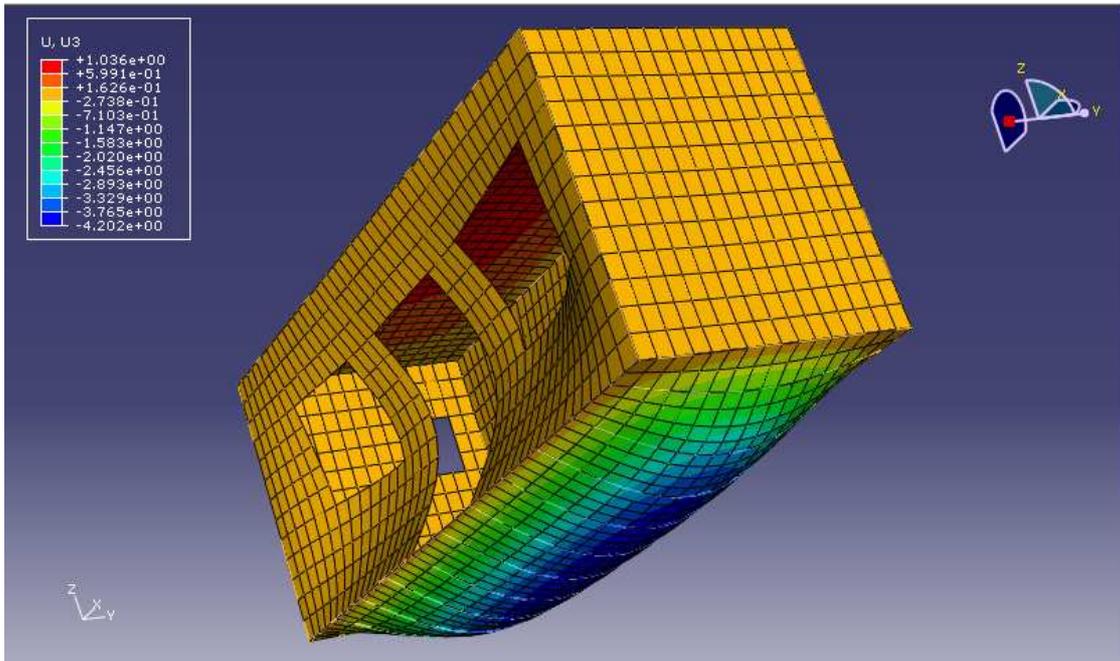


Figura 5.9. Deformaciones con sobrecarga de uso y V1 [mm].

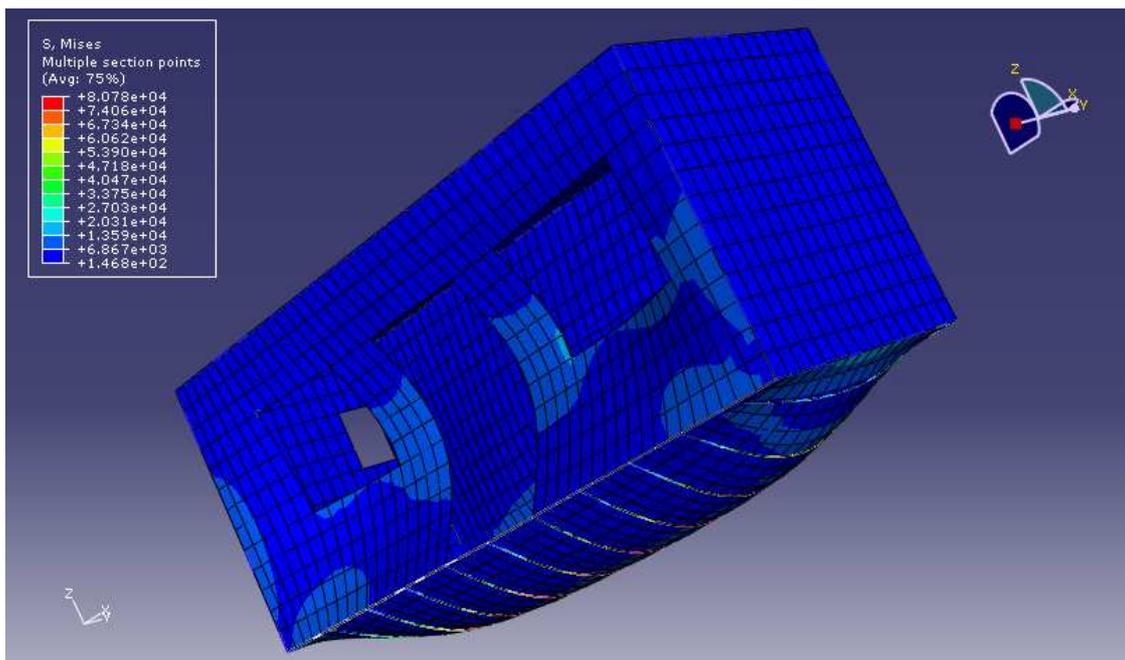


Figura 5.10. Tensiones con sobrecarga de uso y V1 [mN/mm²].

HIPOTESIS DE SOBRECARGA DE USO Y V2.

En las figuras 5.11 y 5.12 se ve que las deformaciones y tensiones producidas bajo esta hipótesis cumplen con los límites permitidos.

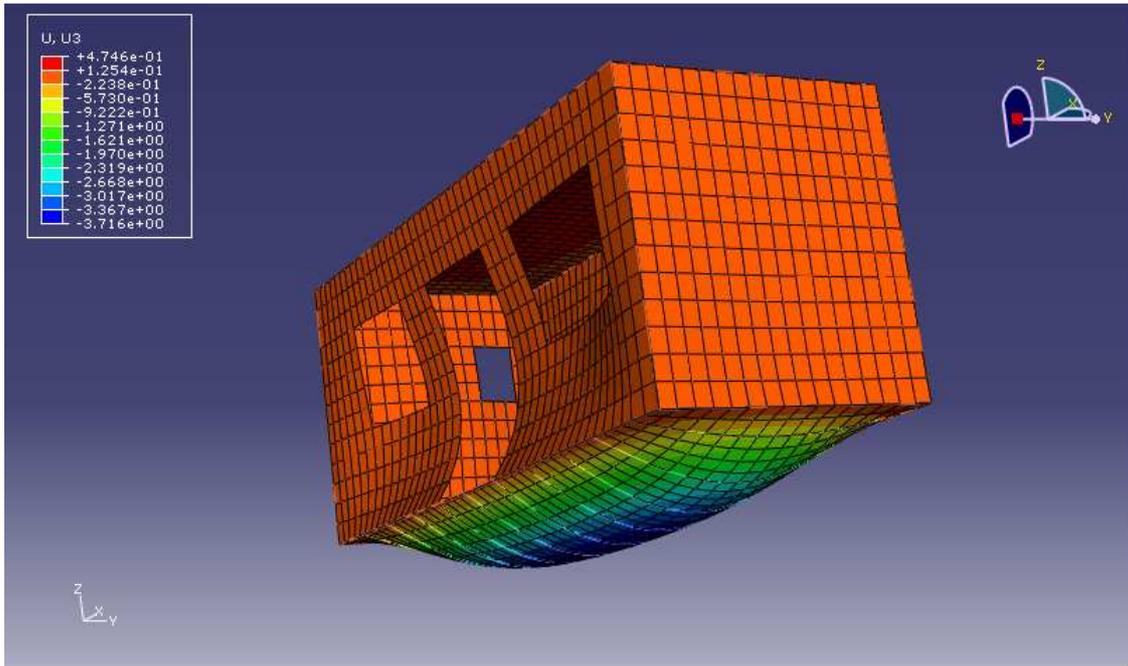


Figura 5.11. Deformaciones con sobrecarga de uso y V2 [mm].

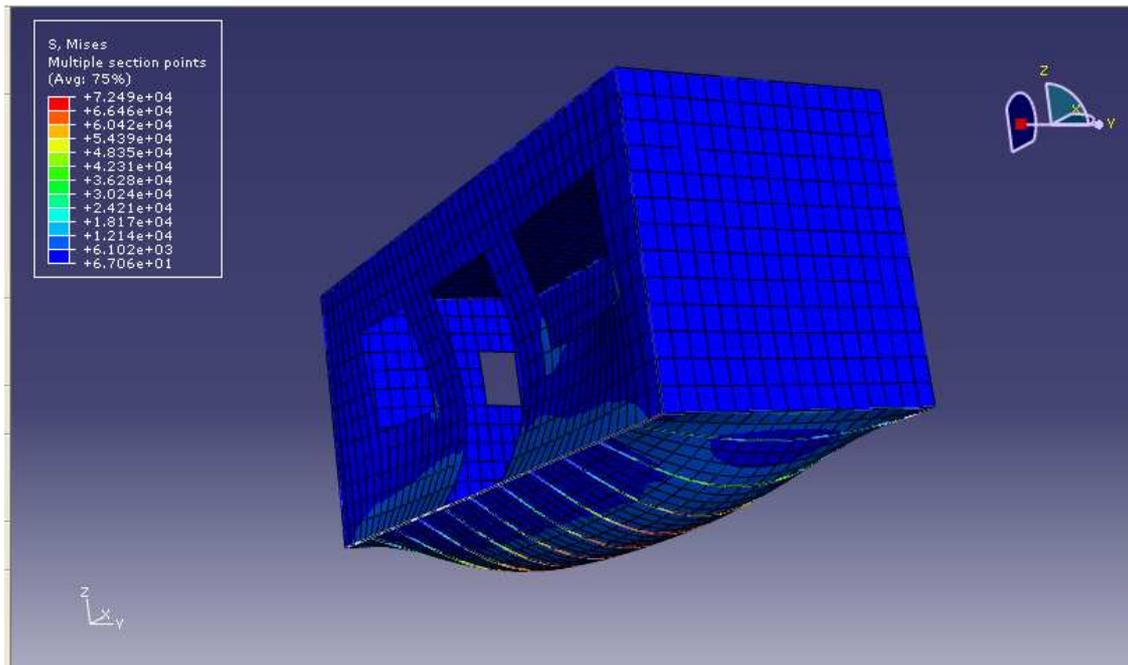


Figura 5.12. Tensiones con sobrecarga de uso y V2 [mN/mm²].

HIPOTESIS DE SOBRECARGA Y V3.

En este caso se nota un aumento respecto a las hipótesis anteriores tanto en la flecha producida (4,389 mm) como en las tensiones (83,870 MPa) como se observa en la Figura 5.13., Figura 5.14 y Figura 5.15 aunque siguen manteniéndose por debajo de los valores límite permitidos (8,66 mm y 261,9 MPa).

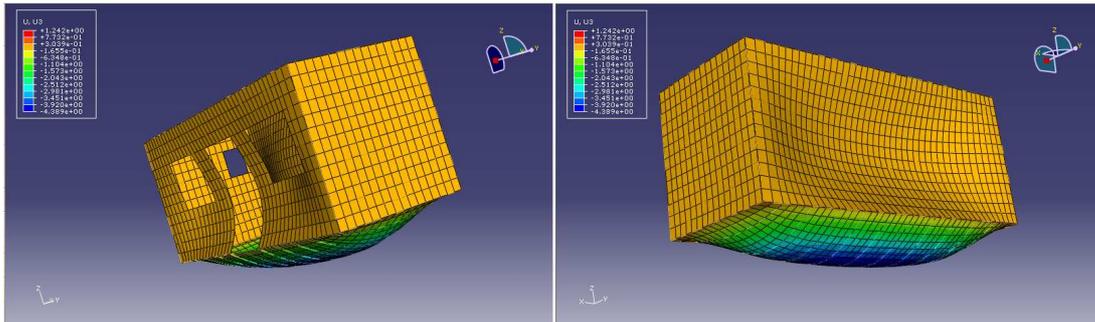


Figura 5.13. Deformaciones [mm].

Figura 5.14. Deformaciones vista trasera [mm].

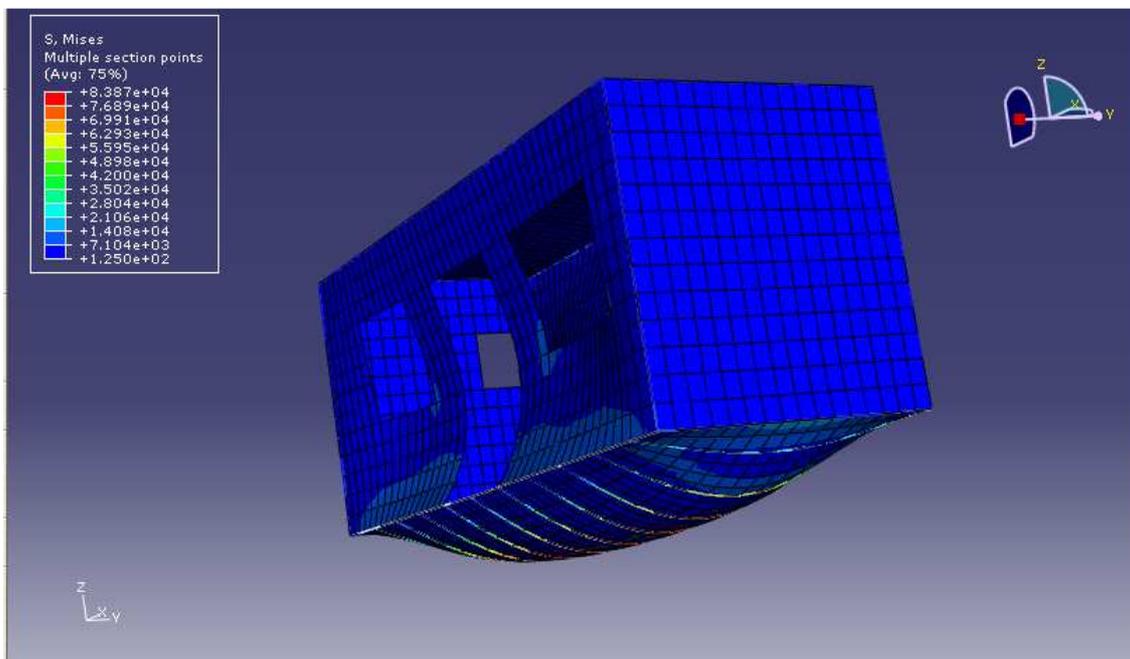


Figura 5.15. Tensiones con sobrecarga de uso y V3 [mN/mm²].

HIPOTESIS DE SOBRECARGA DE USO Y V4.

En este caso las deformaciones y las tensiones vuelven a ser más bajas que en el caso anterior manteniéndose por lo tanto también por debajo de los límites establecidos. Se pueden ver estos resultados en la Figura 5.16 y 5.17.

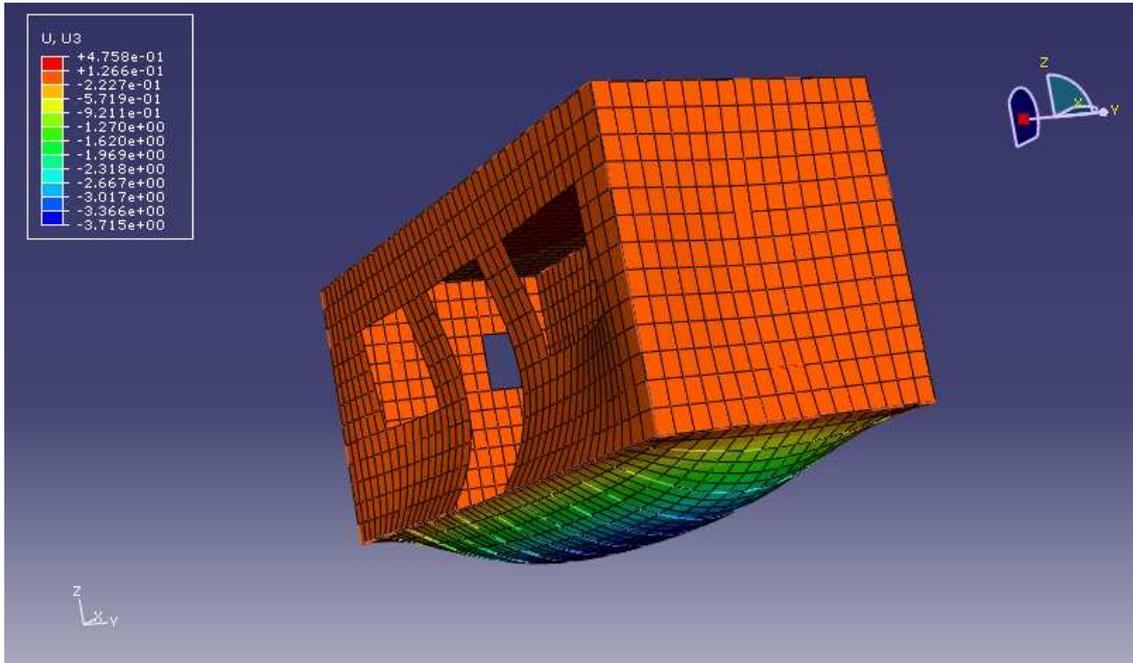


Figura 5.16. Deformaciones con sobrecarga de uso y V4 [mm].

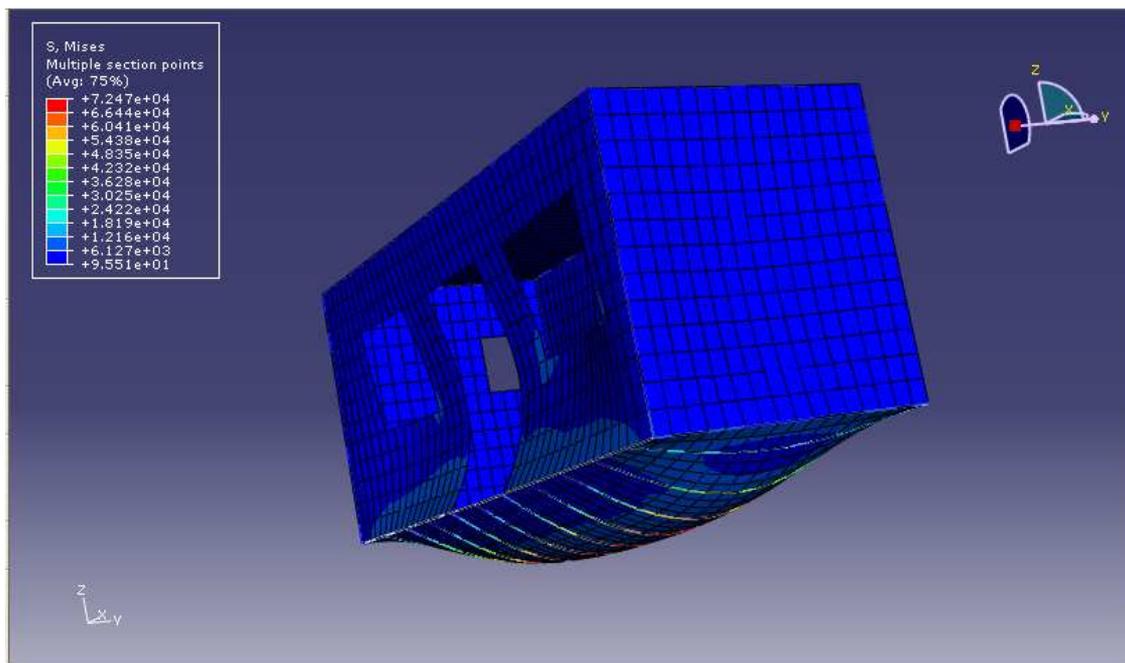


Figura 5.17. Tensiones con sobrecarga de uso y V4 [mN/mm²].

HIPOTESIS DE SOBRECARGA DE USO, NIEVE Y V1.

En la Figura 5.18 y Figura 5.19 se observan las deformaciones y tensiones producidas en el modelo del container bajo esta nueva hipótesis. Se puede ver como hay un aumento tanto en la flecha como en las tensiones que se ocasionan pero manteniéndose muy por debajo de los valores límites permitidos.

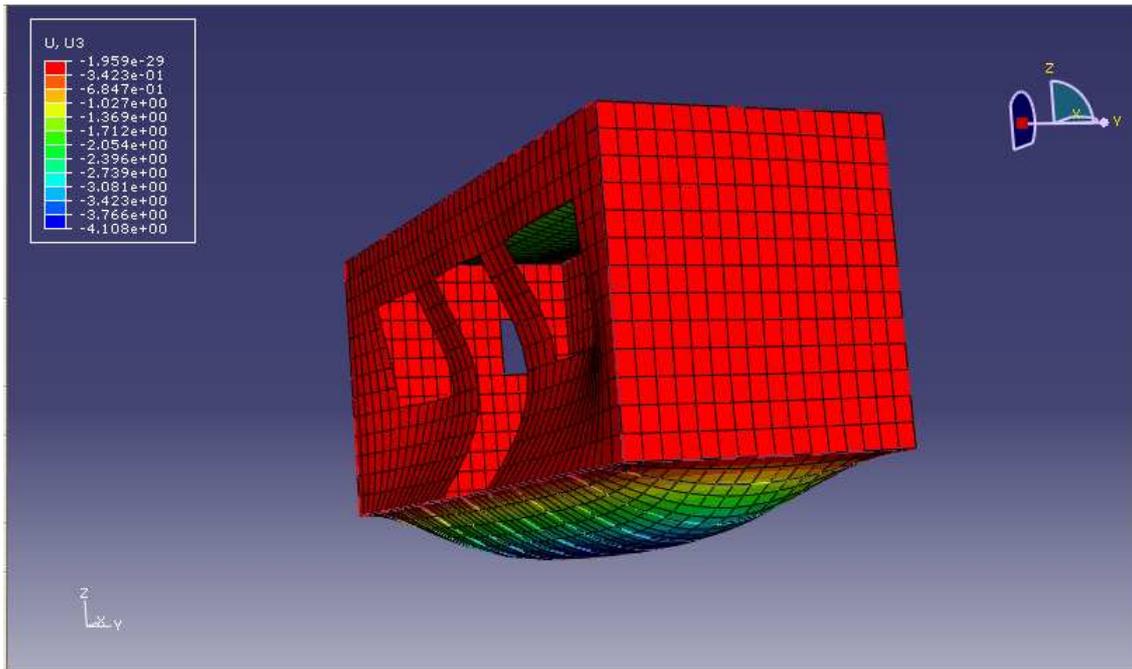


Figura 5.18. Deformaciones con sobrecarga de uso, nieve y V1 [mm].

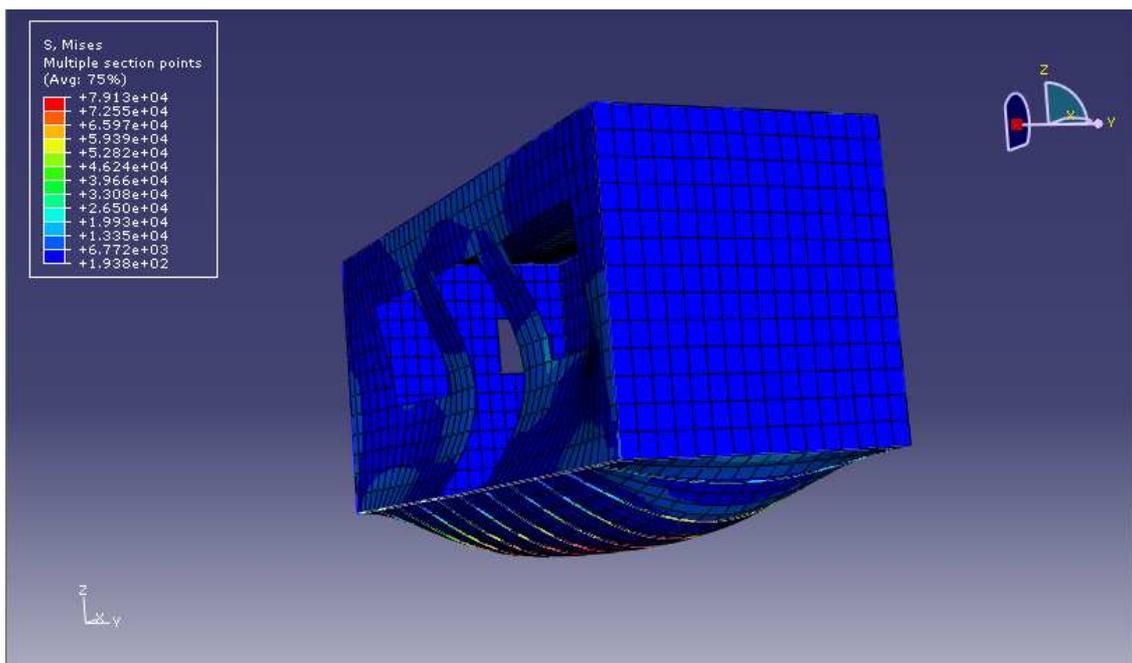


Figura 5.19. Tensiones con sobrecarga de uso, nieve y V1 [mN/mm²].

HIPOTESIS DE SOBRECARGA DE USO, NIEVE Y V2.

Por lo que se ha visto hasta ahora, en los resultados de los casos anteriores el viento afecta más al conjunto resistente de la estructura cuando actúa en los lados largos del container que en los lados cortos y bajo esta hipótesis se puede ver que sucede lo mismo en la Figura 5.20 y Figura 5.21.

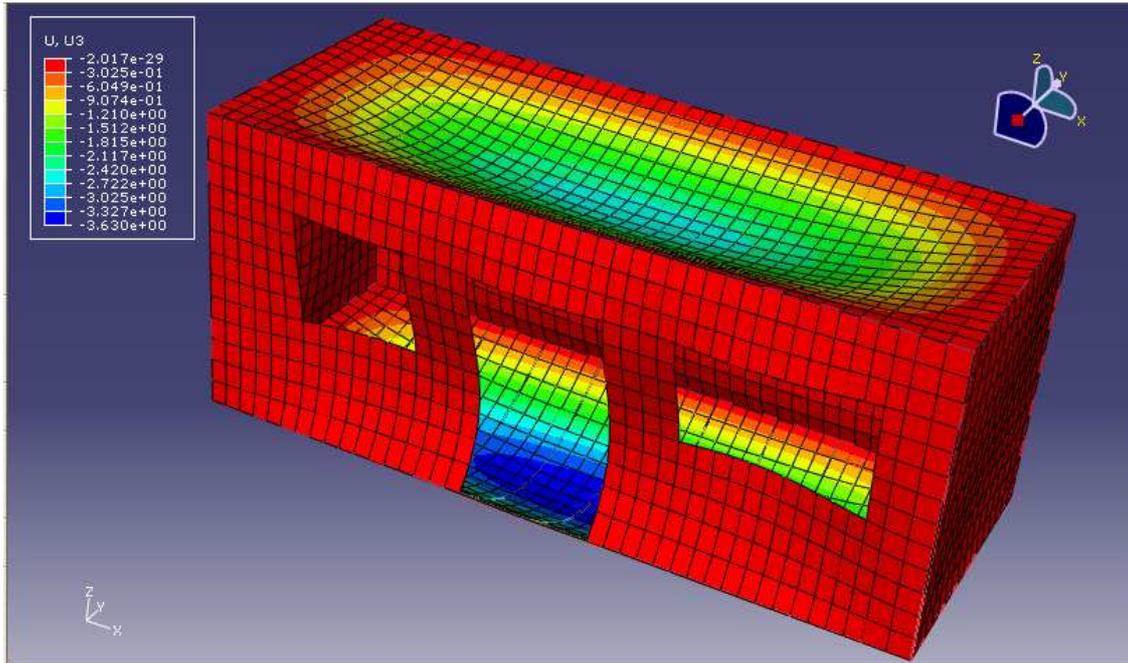


Figura 5.20. Deformaciones con sobrecarga de uso, nieve y V2 [mm].

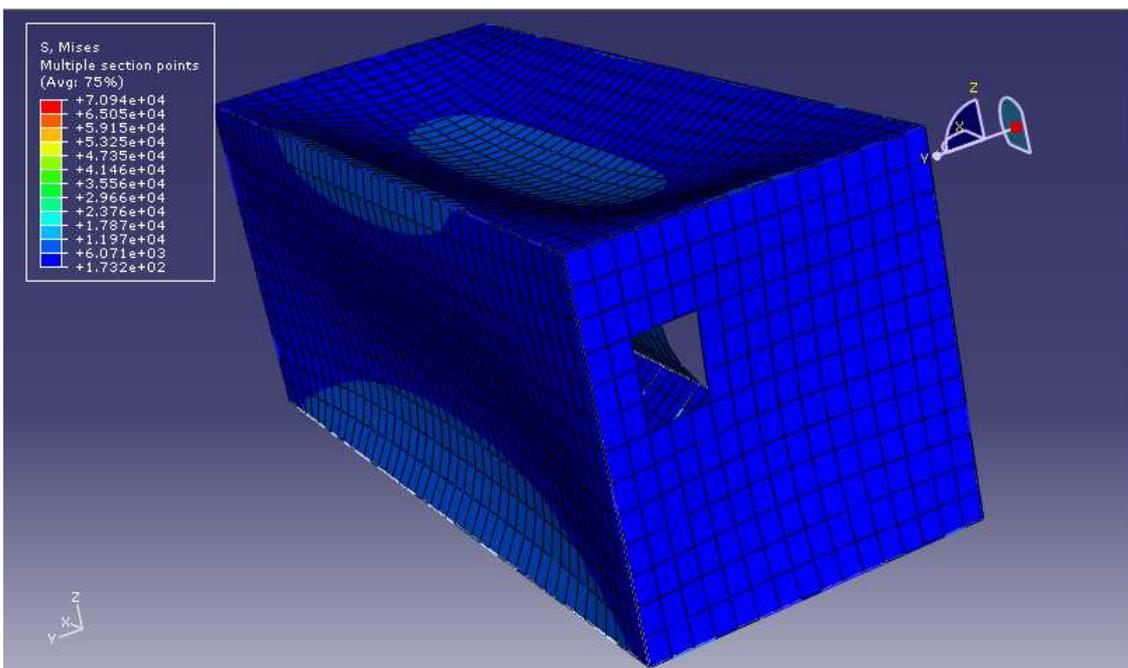


Figura 5.21. Tensiones con sobrecarga de uso, nieve y V2 [mN/mm²].

HIPOTESIS DE SOBRECARGA DE USO, NIEVE Y V3.

Bajo esta hipótesis se puede observar como el mismo valor de carga de viento afecta menos a la deformación en el lado del container que no tiene aperturas en la chapa respecto a su lado simétrico con las aperturas de la puerta y las ventanas. Las Figuras 5.22 y 5.23 muestran estos resultados.

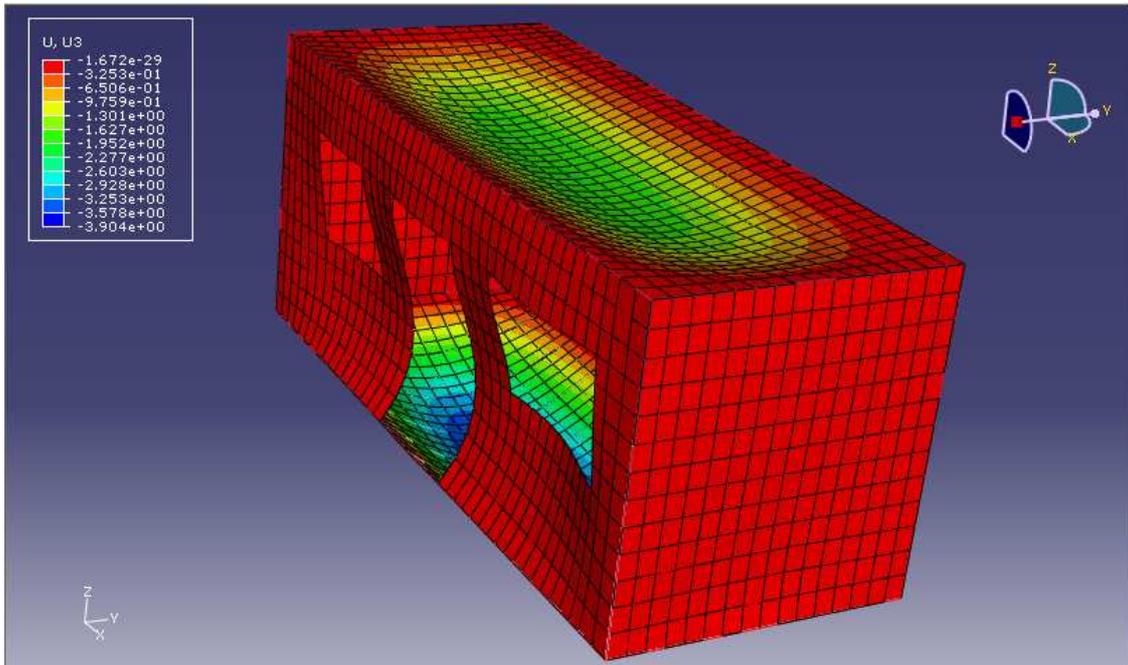


Figura 5.22. Deformaciones con sobrecarga de uso, nieve y V3 [mm].

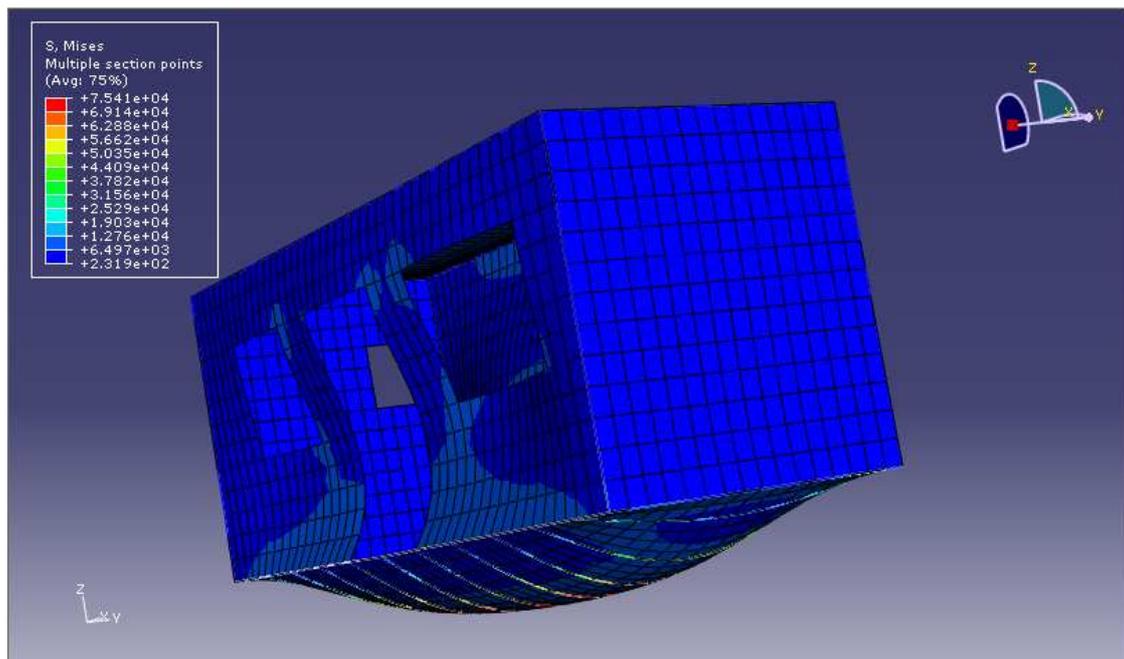


Figura 5.23. Tensiones con sobrecarga de uso, nieve y V3 [mN/mm²].

HIPOTESIS DE SOBRECARGA DE USO, NIEVE Y V4.

En la Figura 5.24 y Figura 5.25 se puede ver como los valores de las deformaciones y de las tensiones que se producen bajo esta hipótesis de carga están por debajo de los límites permitidos.

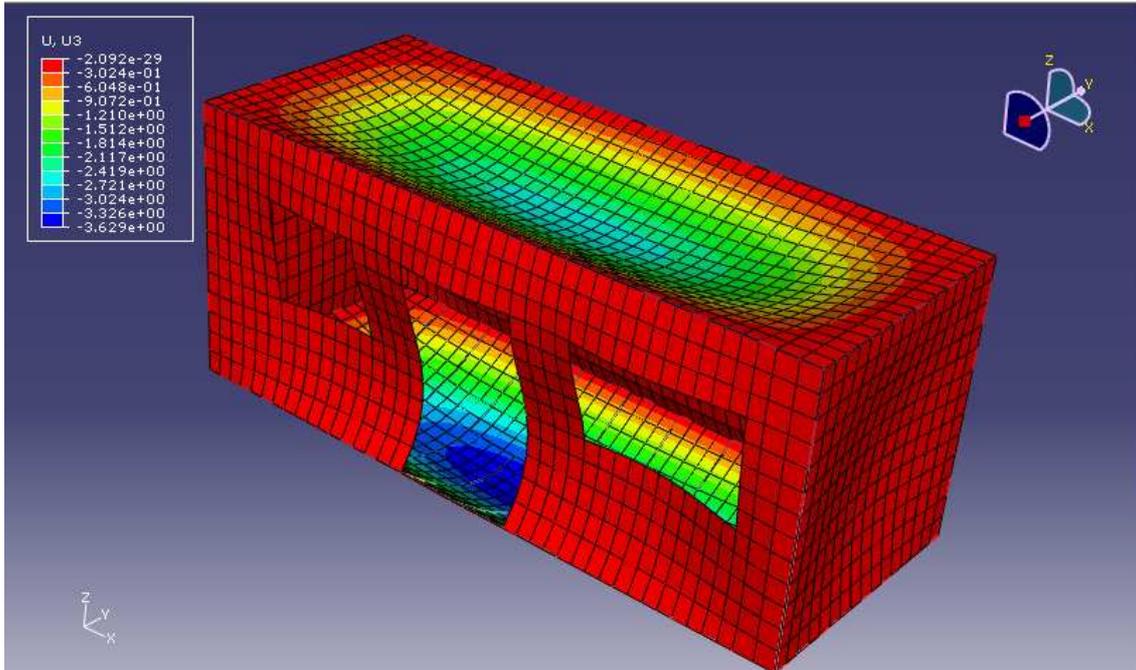


Figura 5.24. Deformaciones con sobrecarga de uso, nieve y V4 [mm].

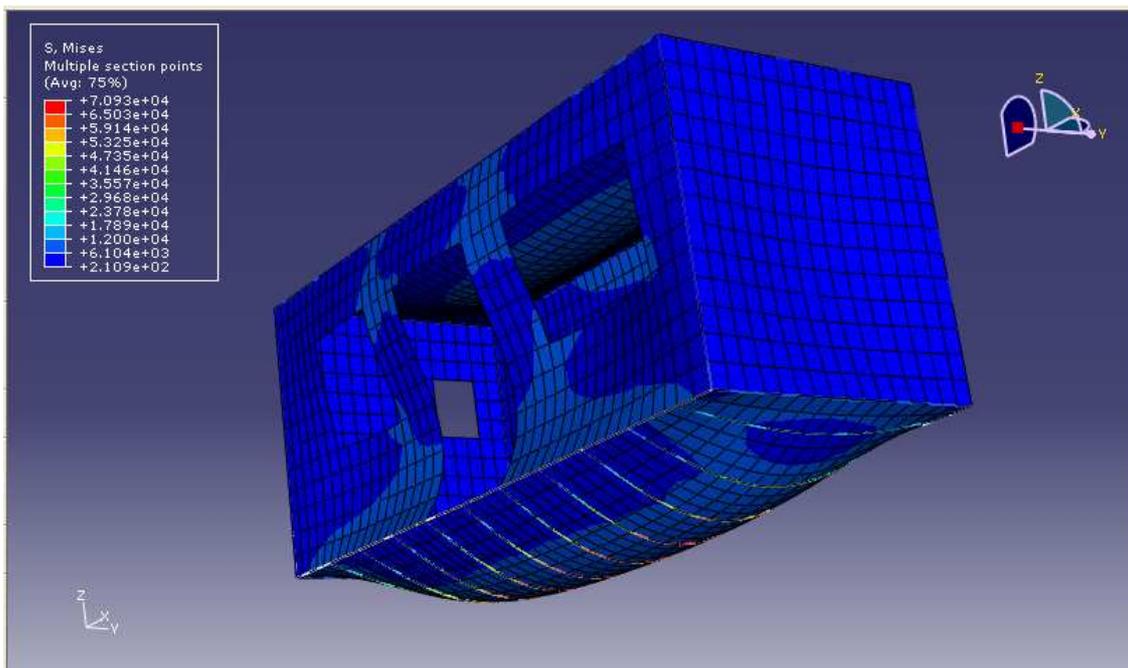


Figura 5.25. Tensiones con sobrecarga de uso, nieve y V4 [mN/mm²].

RESULTADOS:

En las Tablas 7, 8 y 9 que están a continuación muestran detalladamente los resultados obtenidos en todas las hipótesis de carga aplicadas. Cabe destacar que el máximo desplazamiento y la máxima tensión se produce en la hipótesis con sobrecarga de uso y viento V3 aunque hay muy poca variación en los resultados entre las distintas hipótesis de carga. Los resultados están muy por debajo de los valores límite permitidos por el CTE por lo que cumple el container con todos los casos de carga desde el punto de vista de la seguridad. Como se ha dicho previamente al cumplir el modelo simplificado también cumplirá el modelo completo por lo que esta distribución aplicada en el container es correcta para su aplicación como elemento constructivo destinado a la vivienda.

Las unidades de las tablas están en mm y en mN/mm².

| Desplaz.: mm Tension: mN/mm ² | SU | SU NIEVE | SU V1 | SU V2 | SU V3 | SU V4 | SU V1 NIEVE |
|---|----------|-------------|----------|-----------|----------|----------|-------------------|
| DESPLAZ X | 0,1865 | 0,2544 | 0,1837 | 0,8294 | 0,1836 | 0,2153 | 0,2343 |
| | -0,1539 | -2298 | -0,151 | -0,1885 | -0,1523 | -0,8045 | -0,2059 |
| Fmax X | 8,66 | 8,66 | 8,66 | 8,66 | 8,66 | 8,66 | 8,66 |
| | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK |
| DESPLAZ Y | 2,366 | 1,838 | 4,093 | 2,114 | 2,493 | 2,108 | 3,337 |
| | -2,049 | -1,522 | -2,132 | -1,88 | -4,165 | -1,88 | -1,591 |
| Fmax Y | 8,12 | 8,12 | 8,12 | 8,12 | 8,12 | 8,12 | 8,12 |
| | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK |
| DESPLAZ Z | 0,5201 | -2,14E-29 | 1,036 | 0,4746 | 1,242 | 0,4758 | -1,96E-29 |
| | -4,088 | -3,994 | -4,202 | -3,716 | -4,389 | -3,715 | -4,108 |
| Fmax Z | 8,66 | 8,66 | 8,66 | 8,66 | 8,66 | 8,66 | 8,66 |
| | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK |
| TENSION | 78920 | 77260 | 80780 | 72490 | 83870 | 72470 | 79130 |
| | 92,23 | 150,9 | 146,8 | 67,06 | 125 | 95,51 | 193,8 |
| TENSION max | 261900 | 261900 | 261900 | 261900 | 261900 | 261900 | 261900 |
| | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK |
| RF X | 1,60E-07 | -1,98E-07 | 0,00E+00 | -4,57E+06 | 0,00E+00 | 4,78E+06 | 0,00E+00 |
| RF Y | 0 | 0 | -8349800 | 0 | 11938800 | 0 | -8349800 |
| RF Z | 74238000 | 65936002,3 | 74236000 | 74237000 | 74238000 | 74238000 | 89085000 |
| RM X | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| RM Y | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| RM Z | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tabla 7. Resultados hipótesis de carga en vivienda tipo de un piso.

| Desplaz.: mm Tension: mN/mm ² | SU | SU NIEVE | SU V1 | SU V2 | SU V3 | SU V4 | SU V1 NIEVE |
|---|-----------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------------|
| RF X 1 | -2,90E-05 | -1,27E-05 | 1,02E+07 | -2,34E+06 | 1,49E+07 | 2,39E+06 | -1,02E+07 |
| RF X 2 | 2,92E-05 | 1,25E-05 | 1,02E+07 | -2,23E+06 | -1,49E+07 | 2,39E+06 | 1,02E+07 |
| RF X 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| RF X 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| RF Y 1 | -1,76E+05 | -4,57E+05 | -4,22E+06 | 1,70E+06 | 6,13E+06 | 3,12E+06 | -4,50E+06 |
| RF Y 2 | 1,76E+05 | 4,57E+05 | -4,13E+06 | -1,70E+06 | 5,81E+06 | -3,12E+06 | -3,85E+06 |
| RF Y 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| RF Y 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| RF Z 1 | 1,93E+07 | 2,31E+07 | 1,66E+07 | 1,95E+07 | 2,31E+07 | 1,97E+07 | 2,05E+07 |
| RF Z 2 | 1,79E+07 | 2,14E+07 | 2,06E+07 | 1,66E+07 | 1,40E+07 | 1,84E+07 | 2,41E+07 |
| RF Z 3 | 1,79E+07 | 2,14E+07 | 2,11E+07 | 1,76E+07 | 2,04E+07 | 1,74E+07 | 1,96E+07 |
| RF Z 4 | 1,93E+11 | 2,31E+07 | 2,11E+07 | 2,05E+07 | 1,67E+07 | 1,87E+07 | 2,50E+07 |
| RM X 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| RM X 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| RM X 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| RM X 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| RM Y 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| RM Y 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| RM Y 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| RM Y 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| RM Z 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| RM Z 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| RM Z 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| RM Z 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tabla 8. Resultados hipótesis de carga en vivienda tipo de un piso.

| Desplaz.: mm | SU V2 NIEVE | SU V3 NIEVE | SU V4 NIEVE | | SU V2 NIEVE | SU V3 NIEVE | SU V4 NIEVE |
|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------|-------------------|-------------------|-------------------|
| DESPLAZ X | 0,7536 | 0,2004 | 0,1974 | RF X 1 | -2,34E+06 | 1,49E+07 | 2,39E+06 |
| | -0,1696 | -0,1737 | -0,7283 | RF X 2 | -2,23E+06 | -1,49E+07 | 2,39E+06 |
| Fmax X | 8,66 | 8,66 | 8,66 | RF X 3 | 0 | 0 | 0 |
| | OK | OK | OK | RF X 4 | 0 | 0 | 0 |
| DESPLAZ Y | 1,602 | 1,716 | 1,593 | | | | |
| | -1,375 | -3,177 | -1,376 | RF Y 1 | 2,02E+06 | 9,24E+06 | 3,44E+06 |
| Fmax Y | 8,12 | 8,12 | 8,12 | RF Y 2 | -2,02E+06 | 2,70E+06 | -3,44E+06 |
| | OK | OK | OK | RF Y 3 | 0 | 0 | 0 |
| DESPLAZ Z | -2,02E-29 | -1,67E-29 | -2,09E-29 | RF Y 4 | 0 | 0 | 0 |
| | -3,63 | -3,904 | -3,629 | | | | |
| Fmax Z | 8,66 | 8,66 | 8,66 | RF Z 1 | 2,34E+07 | 2,78E+07 | 2,36E+07 |
| | OK | OK | OK | RF Z 2 | 2,02E+07 | 1,67E+07 | 2,19E+07 |
| TENSION | 70940 | 75410 | 70930 | RF Z 3 | 2,44E+07 | 2,31E+07 | 2,09E+07 |
| | 173,2 | 231,9 | 210,9 | RF Z 4 | 2,11E+07 | 2,15E+07 | 2,26E+07 |
| TENSION max | 261900 | 261900 | 261900 | | | | |
| | OK | OK | OK | RM X 1 | 0 | 0 | 0 |
| RF X | -4,57E+06 | 0 | 4,78E+06 | RM X 2 | 0 | 0 | 0 |
| RF Y | 0 | 11938900 | 0 | RM X 3 | 0 | 0 | 0 |
| RF Z | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | RM X 4 | 0 | 0 | 0 |
| RM X | 0 | 0 | 0 | | | | |
| RM Y | 0 | 0 | 0 | RM Y 1 | 0 | 0 | 0 |
| RM Z | 0 | 0 | 0 | RM Y 2 | 0 | 0 | 0 |
| | | | | RM Y 3 | 0 | 0 | 0 |
| | | | | RM Y 4 | 0 | 0 | 0 |
| | | | | | | | |
| | | | | RM Z 1 | 0 | 0 | 0 |
| | | | | RM Z 2 | 0 | 0 | 0 |
| | | | | RM Z 3 | 0 | 0 | 0 |
| | | | | RM Z 4 | 0 | 0 | 0 |

Tabla 9. Resultados hipótesis de carga en vivienda tipo de un piso.

5.4 VIVIENDA DE DOS PISOS.

Siguiendo la misma distribución que la empleada en el caso de vivienda de un piso y aplicando las mismas hipótesis de carga explicadas en el apartado 5.2 se va a estudiar y a detallar las principales características y resultados obtenidos en el análisis de una vivienda de dos pisos.

El modelo se ha hecho con el programa de elementos finitos I-Deas aprovechando el modelo que ya teníamos de vivienda de un piso y colocándolo encima de otro con una separación entre ellos de 10 cm. Distancia suficiente para que la flecha producida en el suelo del container superior no contacte con el techo del container inferior y uniendo las 4 esquinas inferiores del container superior con las 4 esquinas superiores del container inferior mediante la directiva "constraint" de la sección "boundary conditions" de dicho programa. De esta manera se transmitan las reacciones de un container a otro.

Tras aplicar las cargas correspondientes a las hipótesis de carga en cada caso y editar el archivo de extensión inp se ha calculado con el programa comercial de elementos finitos Abaqus obteniéndose los siguientes resultados:

HIPOTESIS DE SOBRECARGA DE USO Y V1.

La Figura 5.26 y 5.27 nos muestra los desplazamientos y la Figura 5.28 las tensiones que sufre el conjunto resistivo del container bajo esta hipótesis de cálculo. El desplazamiento máximo obtenido es de 4,224 mm y la tensión obtenida es de 80,8 MPa. Ambos muy por debajo de los límites permitidos por lo que el container cumple bajo esta hipótesis de cálculo.

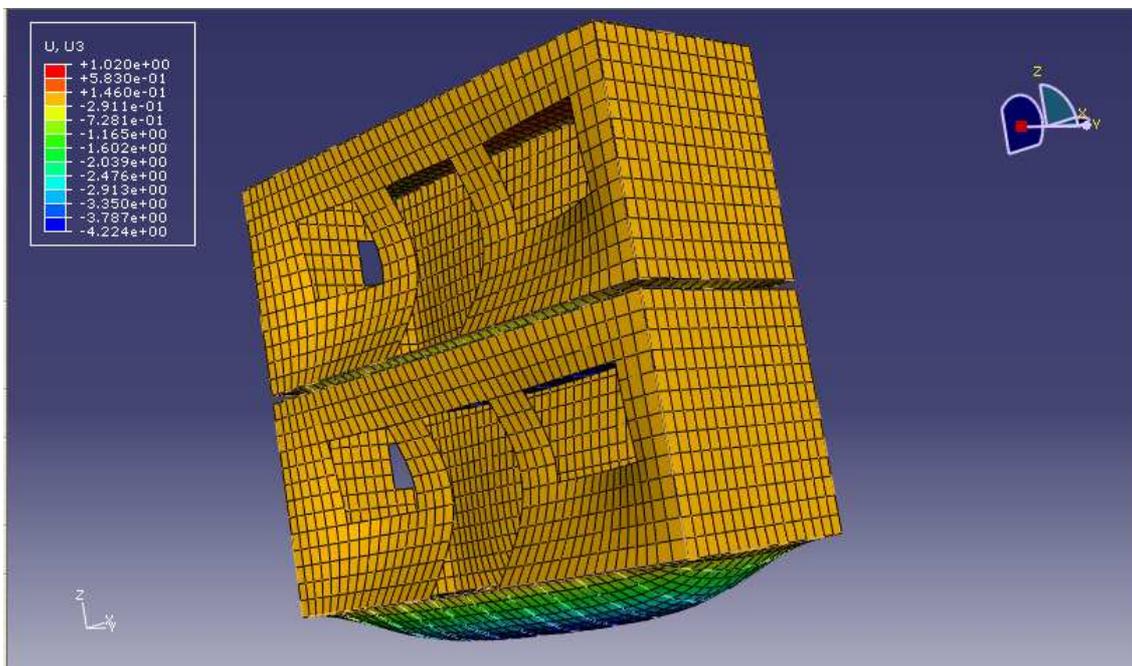


Figura 5.26. Deformaciones con sobrecarga de uso y V1 [mm].

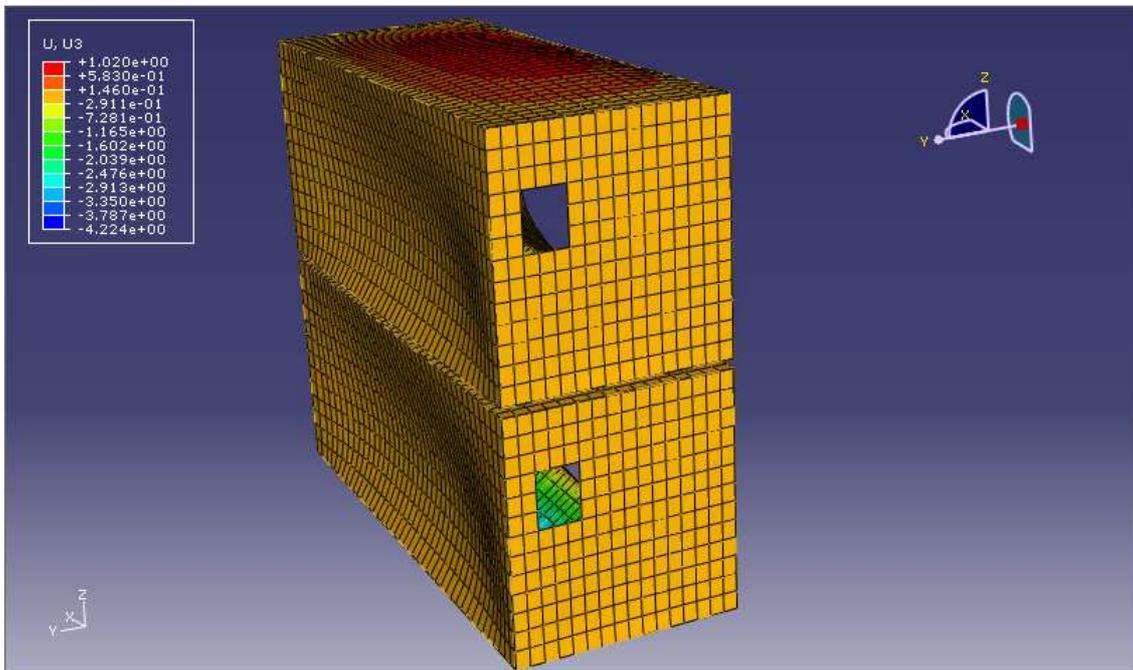


Figura 5.27. Deformaciones con sobrecarga de uso y V1 [mm].

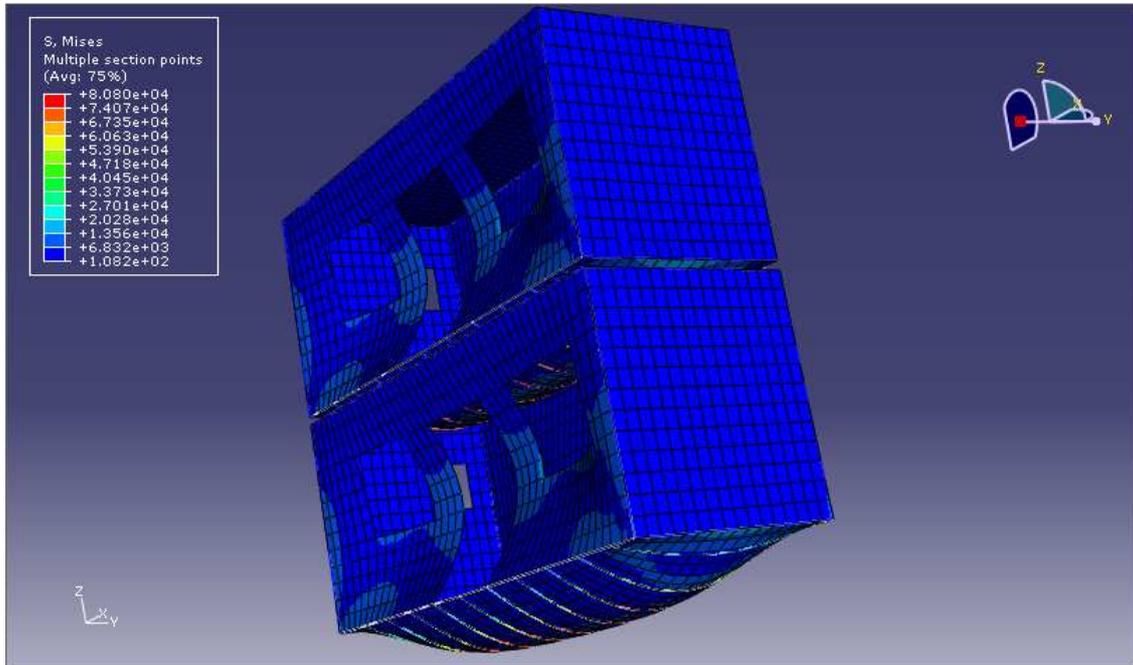


Figura 5.28. Tensiones con sobrecarga de uso y V1 [mN/mm²].

HIPOTESIS CON SOBRECARGA DE USO Y V2.

En esta hipótesis de carga los resultados obtenidos son ligeramente inferiores respecto a la hipótesis anterior tal y como se puede ver en la Figura 5.29 y Figura 5.30 que se muestran a continuación por lo que el modelo también cumple en este caso.

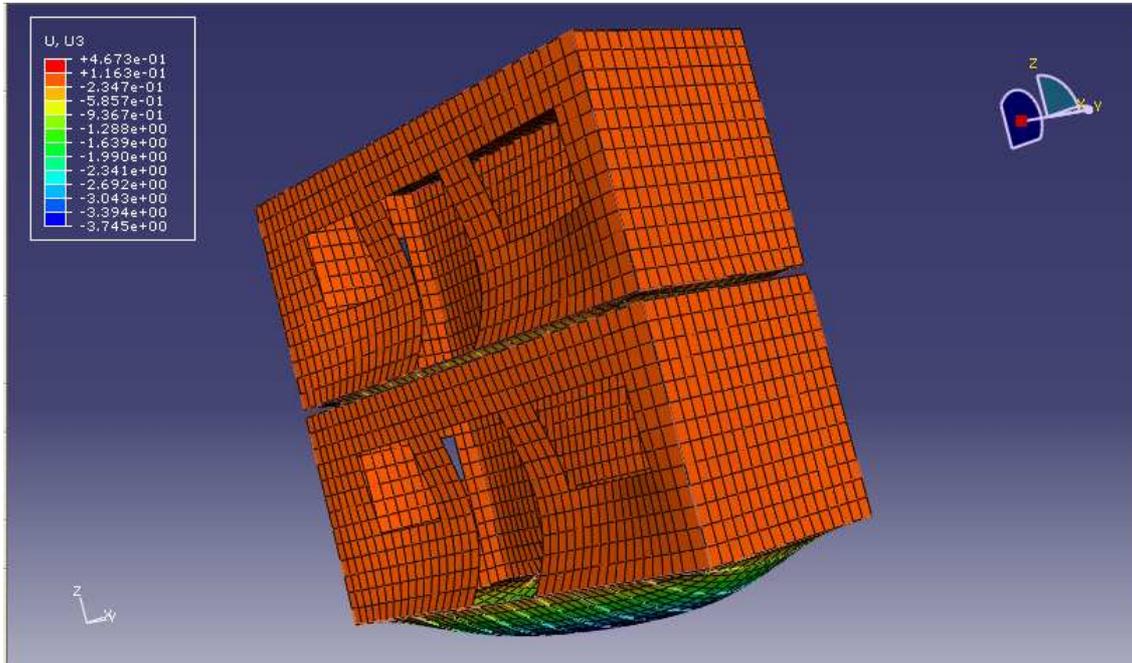


Figura 5.29. Deformaciones con sobrecarga de uso y V2 [mm].

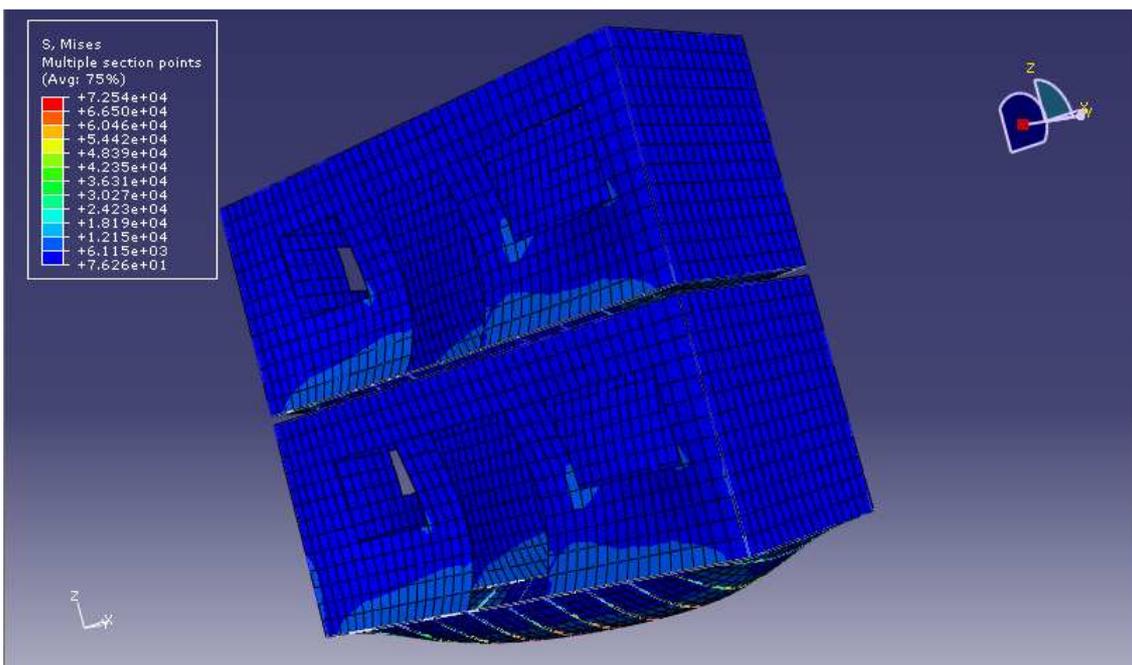


Figura 5.30. Tensiones con sobrecarga de uso y V2 [mN/mm²].

HIPOTESIS CON SOBRECARGA DE USO Y V3.

Bajo estas condiciones de carga se producen los valores más altos tanto para desplazamientos como para tensiones que sufre el conjunto del container. El desplazamiento máximo es de 4,41 mm y la tensión es de 83,89 MPa por lo que aún así siguen estando muy por debajo de los valores límite máximos permitidos. La Figura 5.31 y Figura 5.32 muestran estos resultados.

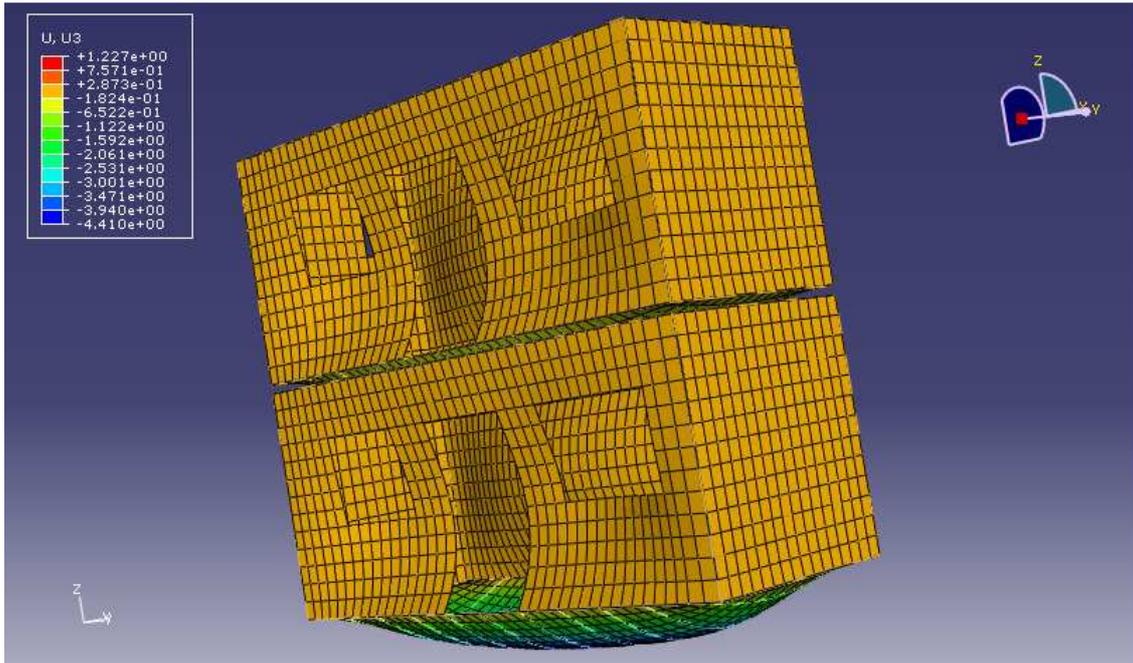


Figura 5.31. Deformaciones con sobrecarga de uso y V3 [mm].

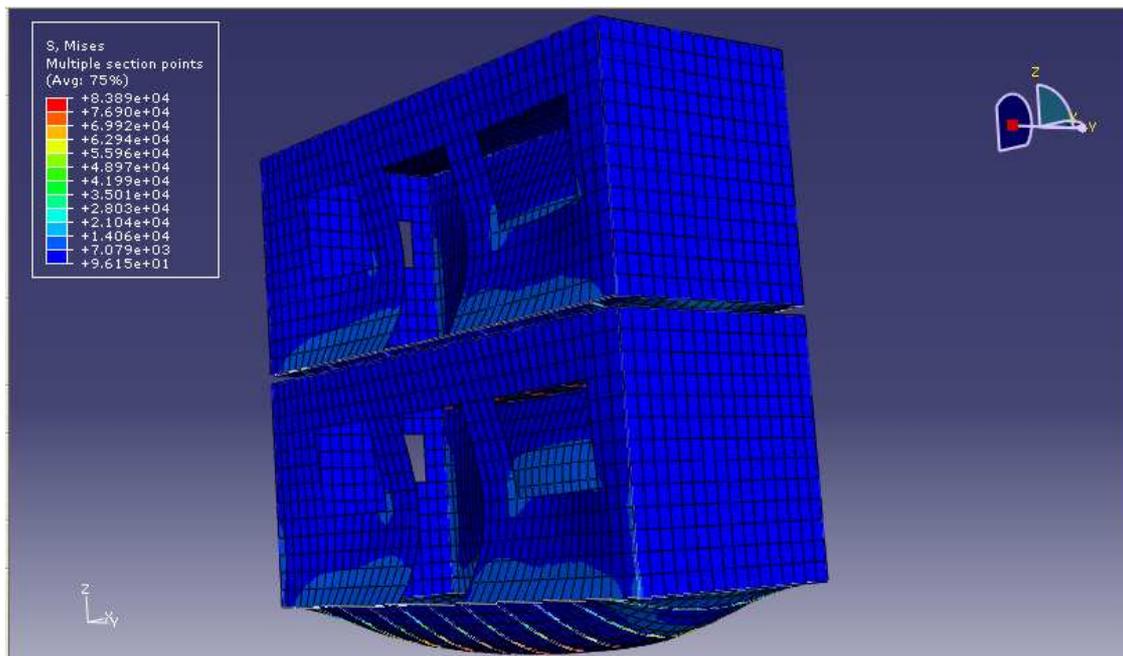


Figura 5.32. Tensiones con sobrecarga de uso y V3 [mN/mm²].

HIPOTESIS DE SOBRECARGA DE USO Y V4.

Las Figura 5.33 y la Figura 5.34 muestran los resultados obtenidos en este caso y que cumplen con la normativa al estar por debajo de los límites establecidos.

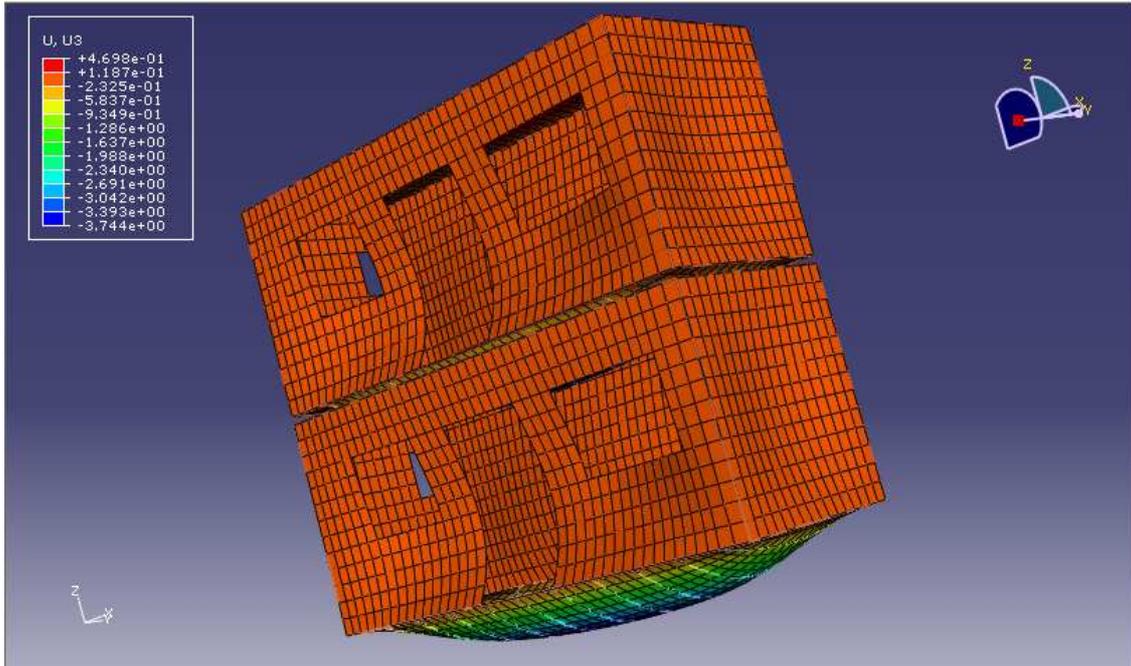


Figura 5.33. Deformaciones con sobrecarga de uso y V4 [mm].

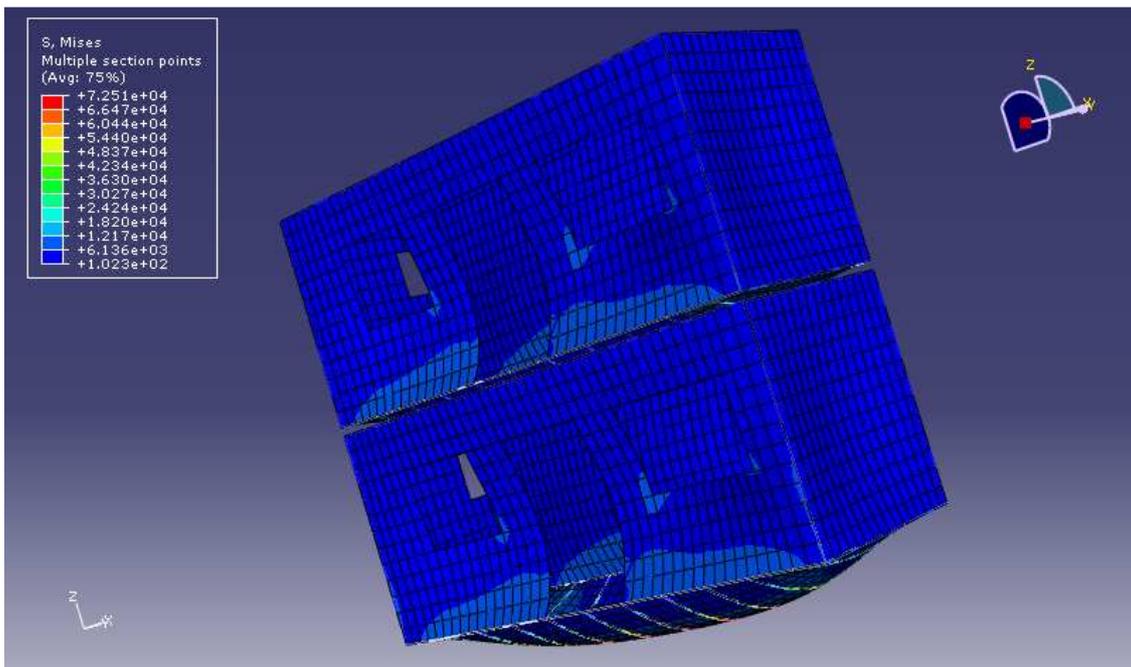


Figura 5.34. Tensiones con sobrecarga de uso y V4 [mN/mm²].

HIPOTESIS CON SOBRECARGA DE USO, NIEVE Y V1.

Al aplicar 1 kN de carga distribuida en el techo vemos como este sufre una deformación. La Figura 5.35 la muestra y la Figura 5.36 la distribución de presiones. Cabe resaltar que los valores obtenidos en esta hipótesis también cumplen con lo marcado en el CTE.

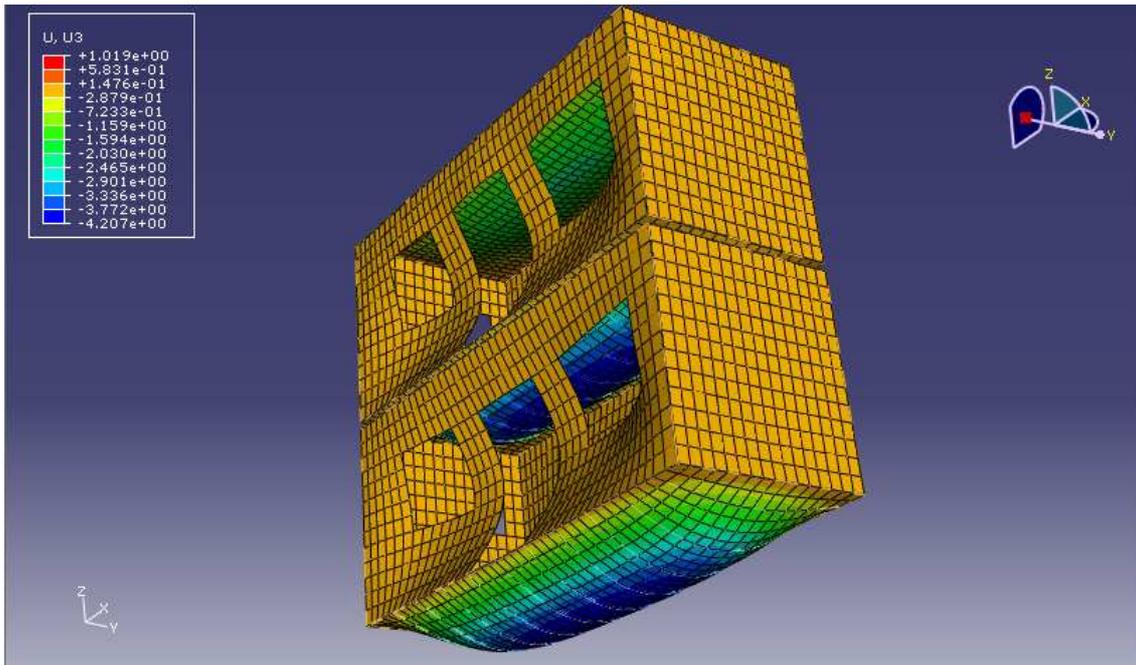


Figura 5.35. Desplazamiento con sobrecarga de uso, nieve y v1 [mm].

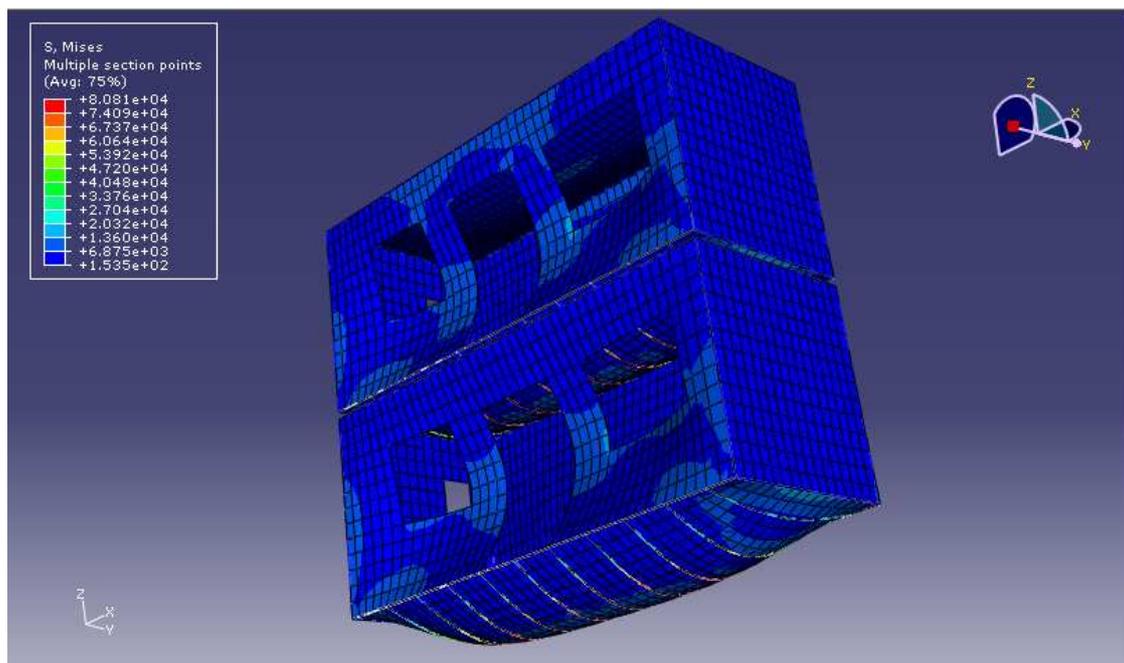


Figura 5.36. Tensiones con sobrecarga de uso, nieve y v1 [mN/mm²].

HIPOTESIS DE SOBRECARGA DE USO, NIEVE Y V2.

Los resultados que se obtienen bajo esta hipótesis de carga son inferiores a los del caso anterior tanto en la flecha producida como en las tensiones generadas por lo que bajo esta hipótesis de carga el modelo también cumple lo especificado en el CTE. La Figura 5.37 y 5.38 muestran los resultados.

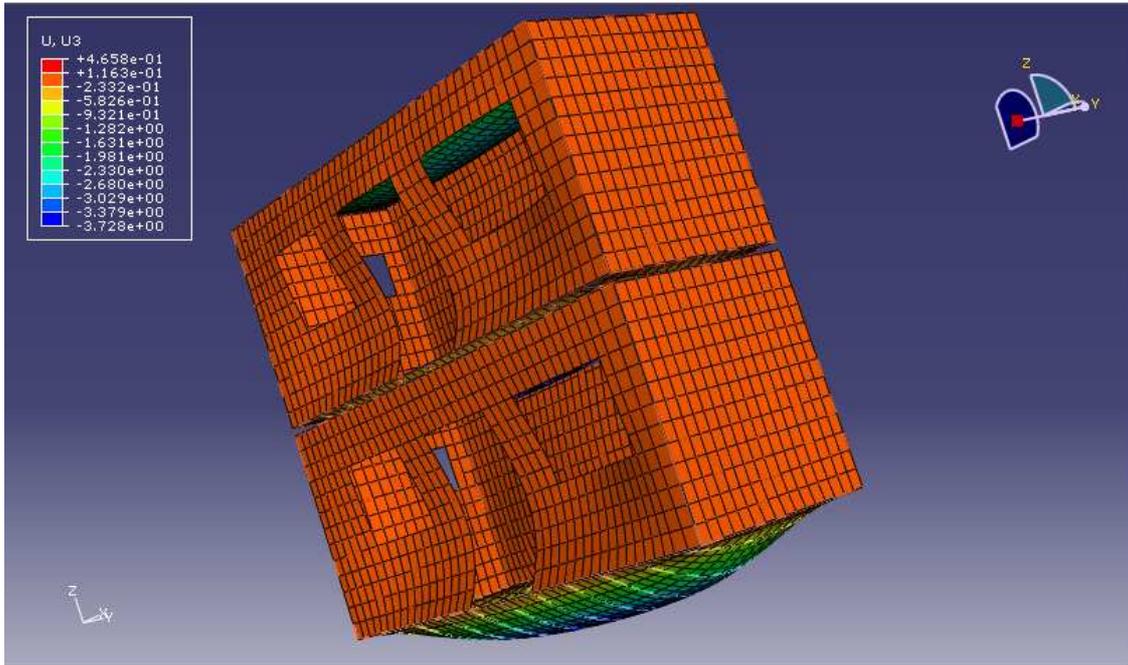


Figura 5.37. Desplazamiento con sobrecarga de uso, nieve y v2 [mm].

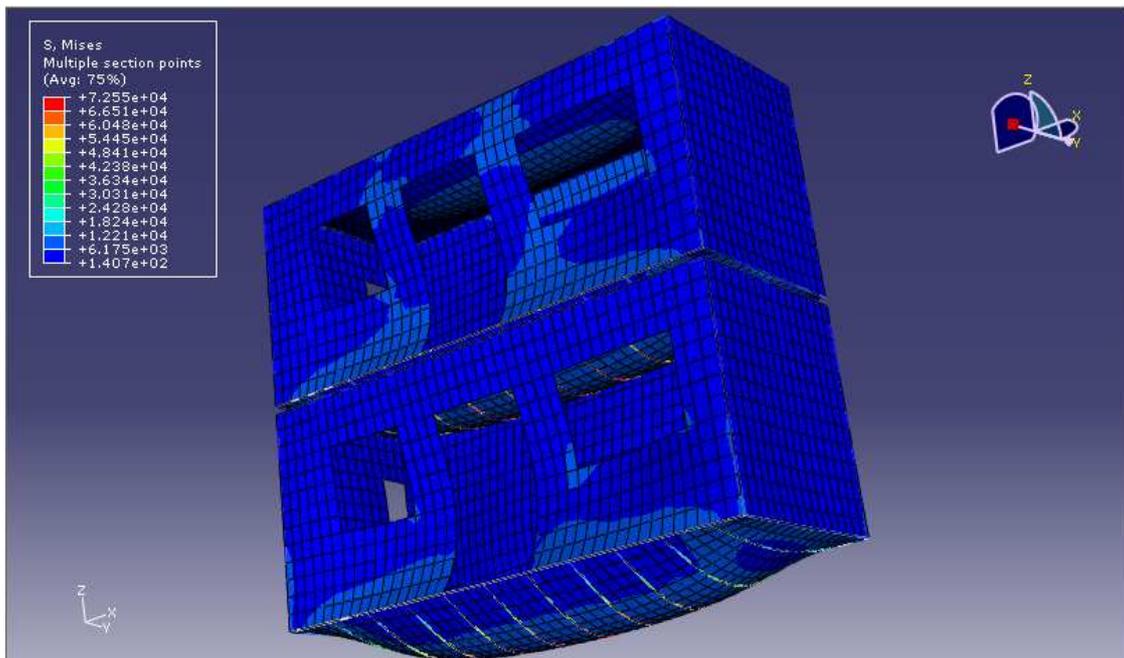


Figura 5.38. Tensiones con sobrecarga de uso, nieve y V2 [mN/mm²].

HIPOTESIS DE SOBRECARGA DE USO, NIEVE Y V3.

La Figura 5.39 muestra como han aumentado los desplazamientos respecto a la hipótesis anterior pero que está por debajo respecto a su simétrica con aperturas en el lateral. La Figura 5.40 muestra el resultado para las tensiones que sucede lo mismo que con las deformaciones.

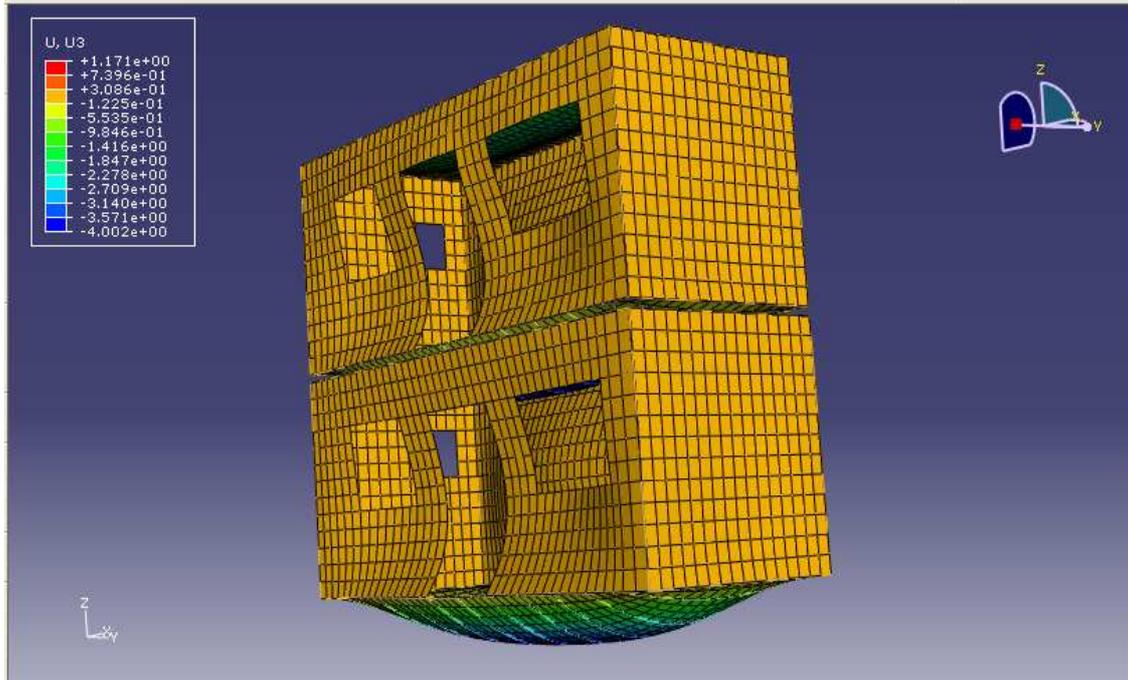


Figura 5.39. Desplazamiento con sobrecarga de uso, nieve y v3 [mm].

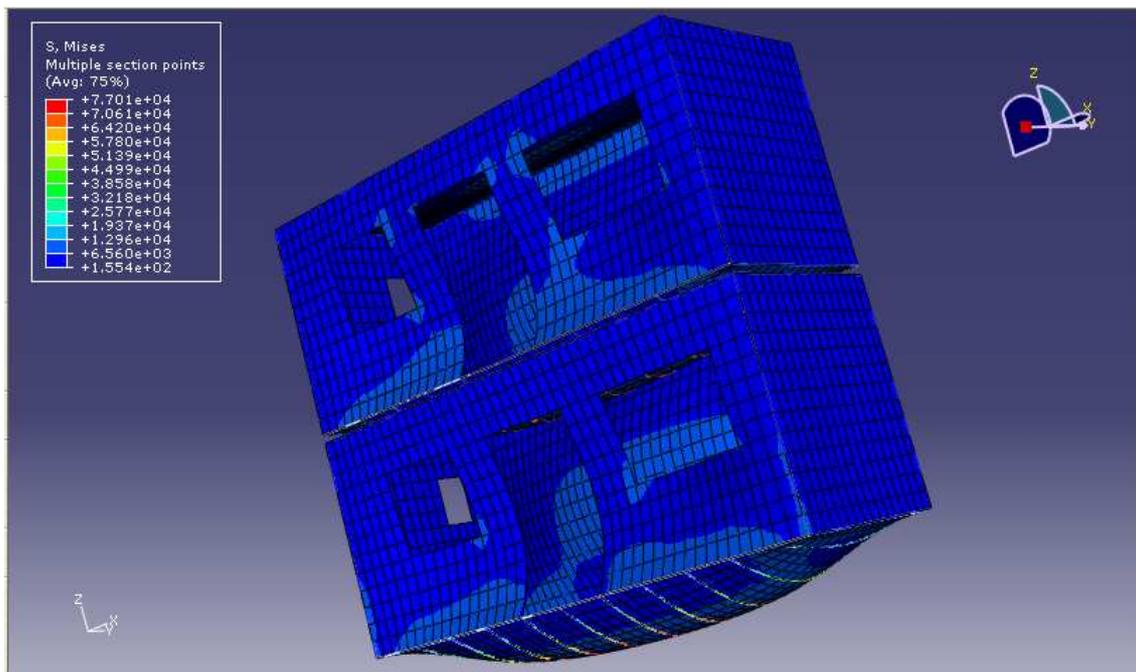


Figura 5.40. Tensiones con sobrecarga de uso, nieve y V3 [mN/mm²].

HIPOTESIS DE SOBRECARGA DE USO, NIEVE Y V4.

Por último, se observa que en este caso la deformación es de 3,726 mm y la tensión de 72,51 MPa y que son valores que están muy por debajo de lo establecido como máximo permitido en el CTE por lo que bajo esta hipótesis de carga el conjunto del container también cumple con la normativa. Las Figuras 5.41 y 5.42 muestran los resultados obtenidos con Abaqus.

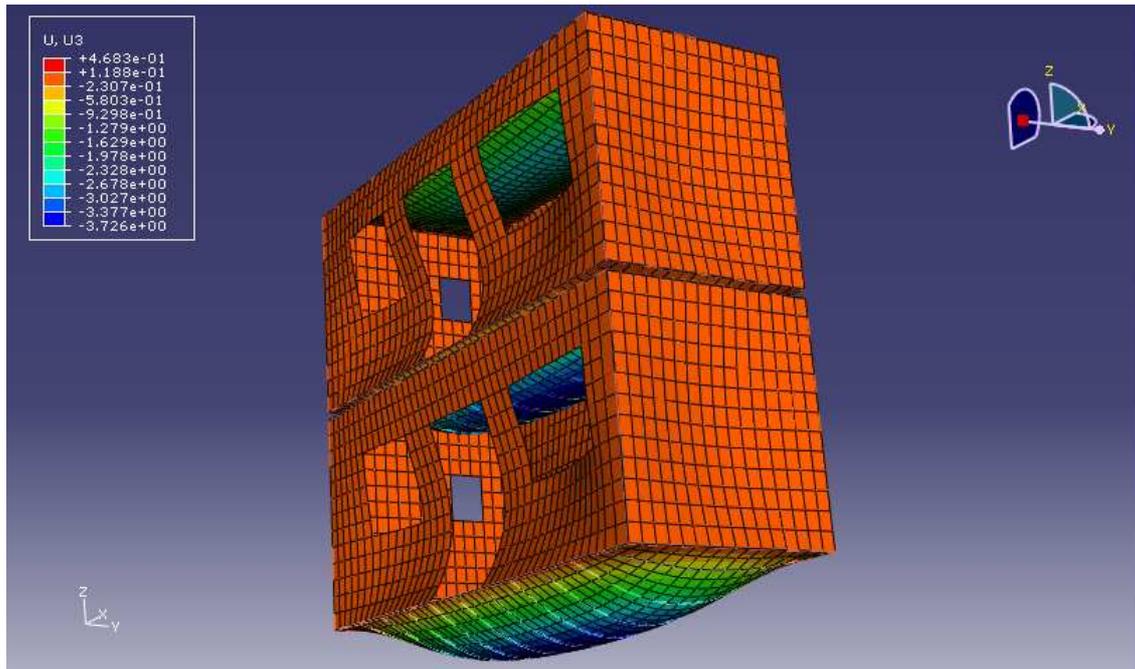


Figura 5.41. Desplazamiento con sobrecarga de uso, nieve y v4[mm].

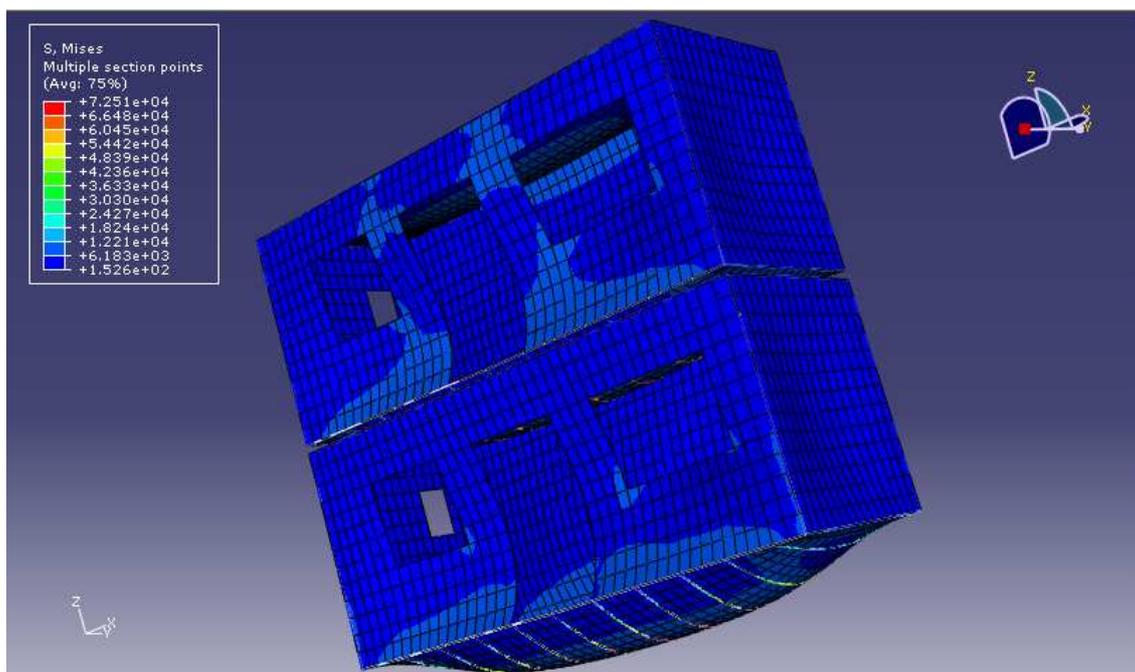


Figura 5.42. Tensiones con sobrecarga de uso, nieve y V4 [mN/mm²].

RESULTADOS:

Las tablas 10 y 11 que están a continuación contienen en detalle todos los resultados obtenidos bajo las hipótesis de carga que se han aplicado al container. Todos los resultados están dentro de los límites que marca el CTE por lo cual el modelo simplificado de vivienda de 2 pisos cumple y por lo tanto también cumplirá con la normativa el modelo completo tal y como se ha explicado anteriormente en el apartado correspondiente de validación entre modelo completo y modelo simplificado.

Cabe destacar que los máximos valores que se alcanzan son de 4,41 mm para el desplazamiento y de 83,89 MPa para la tensión bajo la hipótesis de sobrecarga de uso y viento V3.

En los Anexos se incluyen más detalles de los cálculos con imágenes.

| Desplaz.: mm Tension: mN/mm ² | SU V1 | SU V2 | SU V3 | SU V4 | SU V1 NIEVE | SU V2 NIEVE | SU V3 NIEVE | SU V4 NIEVE |
|---|----------|----------|----------|----------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| DESPLAZ X | 0,1492 | 0,839 | 0,1445 | 0,2179 | 0,1656 | 0,8392 | 0,2203 | 0,2188 |
| | -0,1119 | -0,187 | -0,1206 | -0,8084 | -0,1308 | -0,187 | -0,1922 | -0,8086 |
| Flecha max X | 17,33 | 17,33 | 17,33 | 17,33 | 17,33 | 17,33 | 17,33 | 17,33 |
| | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK |
| DESPLAZ Y | 4,126 | 2,117 | 2,445 | 2,108 | 4,104 | 2,117 | 2,248 | 2,108 |
| | -2,109 | -1,881 | -4,218 | -1,885 | -2,109 | -1,881 | -3,981 | -1,883 |
| Flecha max Y | 8,12 | 8,12 | 8,12 | 8,12 | 8,12 | 8,12 | 8,12 | 8,12 |
| | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK |
| DESPLAZ Z | 1,02 | -0,4673 | 1,227 | 0,4698 | 1,019 | 0,4658 | 1,171 | 0,4683 |
| | -4,224 | -3,745 | -4,41 | -3,744 | -4,207 | -3,728 | -4,002 | -3,726 |
| Flecha max Z | 17,33 | 17,33 | 17,33 | 17,33 | 17,33 | 17,33 | 17,33 | 17,33 |
| | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK |
| TENSION | 80800 | 72540 | 83890 | 72510 | 80810 | 72550 | 77010 | 72510 |
| | 108,2 | 76,26 | 96,15 | 102,3 | 153,5 | 140,7 | 155,4 | 152,6 |
| TENSION max | 261900 | 261900 | 261900 | 261900 | 261900 | 261900 | 261900 | 261900 |
| | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK |

Tabla 10. Resultados para vivienda tipo de dos pisos.

| | SU V1 | SU V2 | SU V3 | SU V4 | SU V1 NIEVE | SU V2 NIEVE | SU V3 NIEVE | SU V4 NIEVE |
|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| RF X | 0 | -9,15E+06 | 0 | 9559000 | 0 | -9145300 | 0 | 9559000 |
| RF Y | -16700100 | 0 | 23878000 | 0 | -16699100 | 0 | 23877500 | 0 |
| RF Z | 148474000 | 148474000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| RM X | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| RM Y | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| RM Z | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | | | | | | |
| RF X 1 | -2,04E+07 | -4,69E+06 | 2,98E+07 | 4,78E+06 | -2,04E+07 | -4,69E+06 | 2,98E+07 | 4,80E+06 |
| RF X 2 | 2,04E+07 | -4,46E+06 | -2,98E+07 | 4,78E+06 | 2,04E+07 | -4,46E+06 | -2,98E+07 | 4,80E+06 |
| RF X 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| RF X 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | | | | | | |
| RF Y 1 | -2,08E+06 | 4,38E+06 | 1,88E+07 | 7,19E+06 | -1,39E+06 | 5,03E+06 | 1,91E+07 | 7,85E+06 |
| RF Y 2 | -1,46E+07 | -4,38E+06 | 5,06E+06 | -7,19E+06 | -1,53E+07 | -5,03E+06 | 4,79E+06 | -7,85E+06 |
| RF Y 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| RF Y 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | | | | | | |
| RF Z 1 | 2,74E+07 | 3,79E+07 | 5,43E+07 | 3,93E+07 | 3,12E+07 | 4,17E+07 | 5,74E+07 | 4,31E+07 |
| RF Z 2 | 4,69E+07 | 3,25E+07 | 1,99E+07 | 3,90E+07 | 5,05E+07 | 3,61E+07 | 2,43E+07 | 4,27E+07 |
| RF Z 3 | 4,53E+07 | 4,18E+07 | 2,88E+07 | 3,52E+07 | 4,91E+07 | 4,56E+07 | 3,19E+07 | 3,90E+07 |
| RF Z 4 | 2,89E+07 | 3,63E+07 | 4,54E+07 | 3,50E+07 | 3,26E+07 | 4,00E+07 | 4,98E+07 | 3,86E+07 |
| | | | | | | | | |
| RM X 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| RM X 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| RM X 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| RM X 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | | | | | | |
| RM Y 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| RM Y 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| RM Y 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| RM Y 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | | | | | | |
| RM Z 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| RM Z 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| RM Z 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| RM Z 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tabla 11. Resultados para vivienda tipo de dos pisos.

Desplaz.: mm; Tension: mN/mm²

6. CONCLUSIONES

Gracias a la realización de este proyecto he aprendido a utilizar dos programas comerciales en elementos finitos como son I-Deas y Abaqus que son punteros en su sector y adentrarme en la construcción de viviendas modulares con containers marítimos que abren una gran posibilidad dentro del mundo de la construcción en el futuro.

La metodología planteada para un diseño concreto de módulo habitable es válida para cualquier otro diseño similar basado en container ya que se ha establecido una pauta de análisis y calculo extrapolables a otras disposiciones.

A la vista de los resultados se observa que con este tipo de módulos se puede realizar aperturas aproximadamente de hasta un 84% en un lateral del container y de un 71% con aperturas simétricas en los dos lados del container. Además, se ha visto que para la distribución elegida el modelo cumple con la normativa del CTE para vivienda tanto de un piso como de dos pisos en condiciones extremas.

Con la metodología planteada se podría ampliar el estudio con el fin último de seguir obteniendo otros límites de utilización de containers como elemento constructivo. Se podría continuar en esta línea de análisis realizando aperturas descentradas y aperturas en los lados cortos del container, seguir estudiando el comportamiento del conjunto resistivo al ir aumentando la apilabilidad de estos y analizarlo bajo casos de carga específicos.

7. BIBLIOGRAFIA

- Manual de Abaqus v6.7.
- Manual de I-Deas v11.
- CTE-DB-SE-EA.
- Prontuario de estructuras metálicas. Cedex,1991.
- <http://www.taringa.net/posts/ebooks-tutoriales/5146288/Como-hacer-tu-casa-con-contenedores-maritimos.html>
- <http://www.juanignacioacosta.com/2006/12/construye-tu-casa-con-contenedores.html>
- <http://www.cienladrillos.com/2007/11/04-vivienda-hecha-de-containers-marinos>
- <http://www.mnkstudio.com/blog/5-asombrosas-casas-hechas-con-containers/>

