



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeroespacial
y Diseño Industrial

Diseño y Dimensionamiento de estructura metálica para
rocódromo recreativo

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Mecánica

AUTOR/A: Micó Gandía, Pau

Tutor/a: Real Herraiz, Teresa Pilar

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



TRABAJO FINAL DE GRADO:

**DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DE ESTRUCTURA
METÁLICA PARA ROCÓDROMO RECREATIVO**

GRADO DE INGENIERÍA MECÁNICA

AUTOR: PAU MICÓ GANDIA

TUTOR/A: TERESA PILAR REAL HERRAIZ



ÍNDICE:

1. MEMORIA Y ANEJOS
2. PLANOS
3. PLIEGO DE CONDICIONES
4. PRESUPUESTO



TRABAJO FINAL DE GRADO:

**DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DE ESTRUCTURA
METÁLICA PARA ROCÓDROMO RECREATIVO**

DOCUMENTO 1: MEMORIA Y ANEJOS

AUTOR: PAU MICÓ GANDIA

TUTOR/A: TERESA PILAR REAL HERRAIZ



ÍNDICE

DOCUMENTO Nº1: MEMORIA Y ANEJOS

1.	OBJETIVO.....	4
2.	ESTUDIO NECESIDADES	4
2.1.	ANTECEDENTES.....	4
2.2.	FACTORES A CONSIDERAR.....	4
2.2.1.	ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO.....	4
2.2.2.	CONDICIONES EXIGIBLES	5
2.2.3.	LIMITACIONES IMPUESTAS.....	5
3.	PLANTEAMIENTO SOLUCIONES ALTERNATIVAS	6
3.1.	CRITERIO DE VALORACIÓN	7
3.2.	RESUMEN DE VALORACIÓN	8
4.	DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA	9
5.	JUSTIFICACIÓN DEL DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES	11
5.1.	JUSTIFICACIÓN DE LAS PARTES Y COMPONENTES	11
5.2.	CÁLCULOS A REALIZAR	13
5.2.1.	HIPÓTESIS Y DATOS DE PARTIDA	13
5.2.2.	RESULTADOS	18
6.	OTROS	19
6.1.	PLAN DE MANTENIMIENTO.....	19
	·Anejo Cálculo Estructural	20



1. OBJETIVO

El objetivo de este proyecto es diseñar y dimensionar una estructura con el fin de ser usada como base para un rocódromo recreativo de la modalidad de bloque.

La escalada es un deporte al alza en todo el mundo, actualmente, y por ello se decide hacer un rocódromo de fácil implementación en cualquier espacio, sin necesidad de haber paredes o puntos de anclaje externos a la base de la estructura. Además, será escalable por todas sus caras con el fin de aportar la mayor superficie escalable posible, convirtiéndose así en una buena opción para la zona central de los centros de escalada *indoor*.

Dentro de las distintas modalidades de escalada, que son: dificultad, bloque o Boulder y velocidad, se decide hacer un rocódromo tipo Boulder, ya que es la modalidad para la cual menos material se necesita para practicar y que más acercaría al nuevo público a este deporte.

La intención es hacer un rocódromo de bloque que se pueda usar en distintas ubicaciones, lo más económico posible y de esta forma poder acercar la escalada a más gente, con el fin de aumentar la afición por este deporte.

2. ESTUDIO NECESIDADES

2.1. ANTECEDENTES

El diseño de la estructura de escalada, comentada anteriormente, está proyectado con la intención de no depender de ningún antecedente, si no acoplarse a cualquier suelo plano en el que se quiera implementar una nueva zona de escalada, para lugares donde ya haya pared escalable o en cualquier sitio que previamente no hubiese un rocódromo recreativo. Todo esto con el fin de ser más versátil y poderse aplicar en más localizaciones.

2.2. FACTORES A CONSIDERAR

2.2.1. ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

Se requiere de una estructura capaz de servir como rocódromo recreativo de la modalidad Boulder que cumpla con la normativa vigente. La especificación principal de este proyecto es que la estructura no debe ir anclada a ningún muro ni estructura auxiliar, así como optimizar la estructura con el fin de reducir los costes de esta. En este caso se contemplará la implementación únicamente en zonas cerradas, y por ello sin condiciones climáticas cambiantes, pudiéndose aprovechar así la instalación sin depender de la meteorología.



2.2.2. CONDICIONES EXIGIBLES

Las condiciones exigibles las pautan la normativa vigente que se pueda contemplar para el desarrollo de este proyecto, ya que el resto de los factores a tener en cuenta se han escogido de forma libre. La normativa aplicable es la siguiente:

- **Código Técnico de la Edificación (CTE)**

Es el marco normativo en España por el que se regulan las exigencias básicas que deben cumplir los edificios y sus instalaciones para satisfacer unos requisitos básicos de seguridad y habitabilidad definidos por la ley 38/1999 de 5 de noviembre de Ordenación de la Edificación.

En concreto en este proyecto se han contemplado los siguientes documentos de código técnico:

- Documento Básico de Seguridad Estructural (DB-SE)
- Documento Básico de Seguridad Estructural Acciones de la edificación (DB-SE-AE)
- Documento Básico de Seguridad Estructural Acero (DB-SE-A)
- Documento Básico de Seguridad Estructural Madera (DB-SE-M)

- **Normas UNE**

Son normas específicas para este proyecto, se trata de las normas que recogen el cálculo y diseño de estructuras artificiales de escalada:

- **UNE-EN 12572-2** Estructuras artificiales de escalada. Parte 2: Requisitos de seguridad y método de ensayo para muros de escalada.

De esta normativa las condiciones exigibles que extraemos son las siguientes:

Las dimensiones generales de la estructura, más concretamente de la altura, ya que la escalada en bloque tiene una altura máxima de 4,5 metros. Extraída de la normativa UNE-EN 12572-2

2.2.3. LIMITACIONES IMPUESTAS

Las limitaciones impuestas vienen dadas por la normativa. El único dato extraído como una limitación impuesta para el diseño es la altura máxima para un rocódromo dedicado a escalada de tipo Bloque de 4,5 m de altura.

3. PLANTEAMIENTO SOLUCIONES ALTERNATIVAS

Para llevar a cabo este proyecto y cubrir las necesidades impuestas se han planteado dos soluciones alternativas que se muestran a continuación:

La primera opción se trata de un diseño basado en la forma geométrica del hexágono, formado por 3 secciones hexagonales unidas entre sí por sus esquinas para formar superficies planas destinadas a escalar. En esta primera opción podemos apreciar que hay muchas caras o secciones triangulares con formas e inclinaciones variadas.

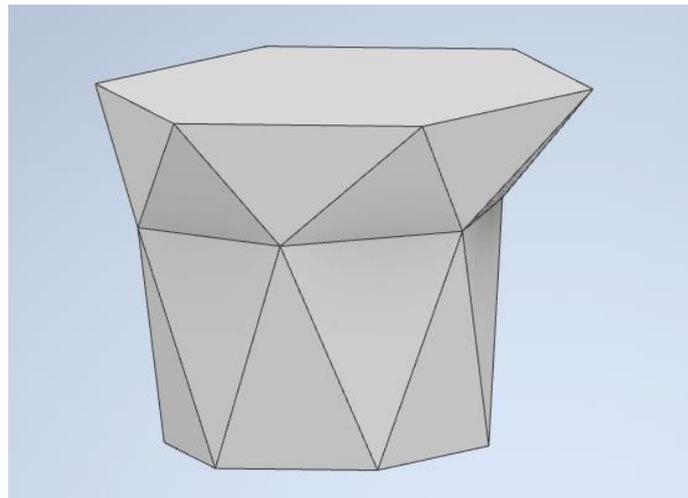


Figura 1: Primera opción

La segunda opción se trata de un diseño basado en la forma geométrica del cuadrado, formado por 3 secciones cuadradas unidas entre sí por sus esquinas para formar superficies planas destinadas a escalar. En esta segunda opción podemos apreciar que hay menos caras o secciones triangulares que en la primera opción y de áreas mayores, por lo tanto, para una misma área variará menos inclinación de las trayectorias del escalador recorriendo el rocódromo.

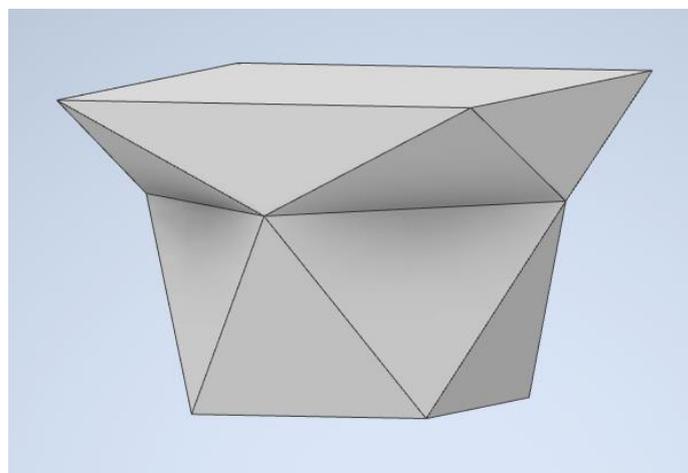


Figura 2: Segunda opción

Las dos opciones propuestas son rocódromos de la modalidad Bloque o Boulder. Dentro de las distintas modalidades de escalada, que son: dificultad, bloque o Boulder y velocidad, se decide hacer un rocódromo tipo Boulder ya que es la modalidad para la cual menos material se necesita para practicar y que más acercaría al nuevo público a este deporte.

La intención es hacer un rocódromo de bloque que se pueda usar en distintas ubicaciones, lo más económico posible y de esta forma poder acercar la escalada a más gente, con el fin de aumentar la afición por este deporte.

3.1. CRITERIO DE VALORACIÓN

Los criterios de valoración que se tendrán en cuenta para escoger el diseño del rocódromo recreativo destinado a escalada tipo Boulder son tres:

- **Beneficios estructurales del diseño**

El criterio de beneficios estructurales pretende comparar qué ventajas y desventajas obtendríamos a nivel constructivo o de diseño de la estructura de elegir una opción u otra.

En cuanto a beneficios estructurales se parte de que ambas estructuras están diseñadas con la intención de que los perfiles tengan la trayectoria de las aristas del modelo. Por lo que ya va impuesto en ambos diseños que la formación de estos perfiles será con una disposición triangular, lo que aporta beneficios a los esfuerzos en acero.

- **Escalabilidad del rocódromo**

En este criterio de valoración se tendrán en cuenta las ventajas y desventajas del diseño desde el punto de vista de la experiencia de escaladores con distintos niveles de experiencia. El factor a tener en cuenta es el ángulo de inclinación que tienen las distintas superficies de escalada, ya que al ser mayor la inclinación aumenta el nivel de dificultad.

- **Estética del diseño.**

En este criterio de valoración se tendrá únicamente en cuenta lo atractivo que sea el diseño. Puesto que el factor estético puede atraer a la hora de realizar una actividad.

La medida de este criterio es completamente subjetiva y depende única y exclusivamente del proyectista que analiza este criterio de evaluación.

3.2. RESUMEN DE VALORACIÓN

En este apartado se va a analizar según el criterio de valoración las dos opciones propuestas con el fin de determinar la opción adoptada para el cálculo.

- **Beneficios** estructurales del diseño

○ **Opción 1**

Los beneficios estructurales en la opción 1 son altos, debido a que cuenta con muchas triangulaciones por las que se trazará la trayectoria de los perfiles. Al ser trayectorias más cortas y un número más grande de las mismas aportará mayor resistencia a la estructura y permitirá disminuir las dimensiones de los perfiles, convirtiéndolo en la opción más fácil de montar y desmontar. Además de que al tener áreas más pequeñas de los paneles de madera podrá tener un grosor menor que el requerido en la opción 2.

○ **Opción 2**

Los beneficios estructurales en la opción 2 son menores que en la otra opción, debido a que cuenta con menos triangulaciones por las que se trazará la trayectoria de los perfiles. Al ser trayectorias más largas y un número menor de las mismas para aportar la misma resistencia requerirá de perfiles estructurales de dimensiones mayores, convirtiendo esta opción en la más difícil de montar y desmontar. Además de que al tener áreas más grandes de paneles de madera deberá tener mayor grosor para evitar la flexión en la parte central.

- **Escalabilidad** del rocódromo

○ **Opción 1**

La escalabilidad del rocódromo de la opción 1 se valora según un análisis de las inclinaciones del rocódromo en sus distintas superficies triangulares destinadas como área escalable.

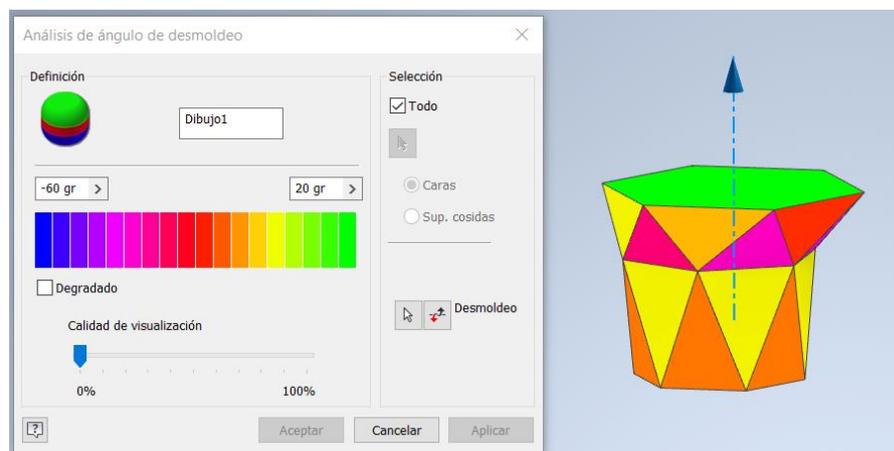


Figura 3: Análisis de inclinaciones opción 1

- **Opción 2**

La escalabilidad del rocódromo de la opción 2 se valora según un análisis de las inclinaciones del rocódromo en sus distintas superficies triangulares destinadas como área escalable.

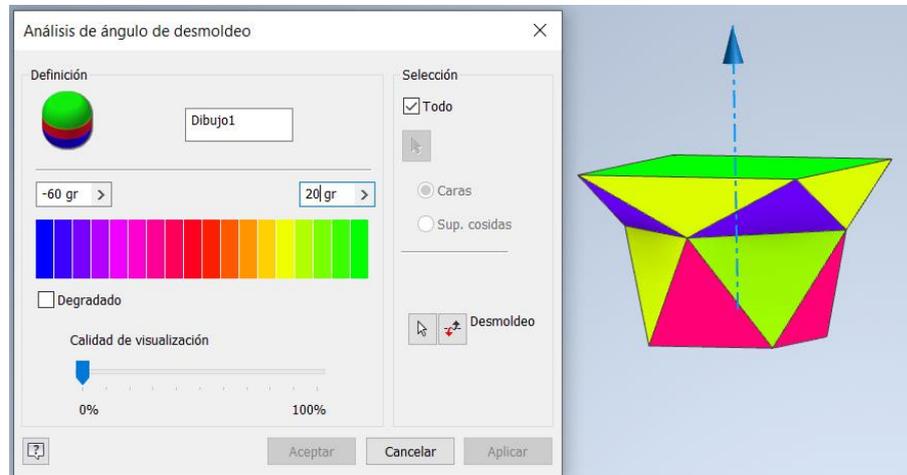


Figura 4: Análisis de inclinaciones opción 2

- **Estética del diseño.**

- **Opción 1**

La estética de este diseño aporta una superficie más cambiante por lo que a simple vista da la sensación de que la combinación de opciones en las trayectorias podría ser más variada y entretenida para el escalador.

- **Opción 2**

La estética de este diseño aporta menos superficies más grandes que la opción 1, por lo que la variación de inclinaciones en una misma zona es menor. Por lo que a simple vista da la sensación de tener un diseño más sencillo y con menos posibilidades para el escalador.

4. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

La solución adoptada tras analizar los criterios de valoración es la **Opción 1** la cual se va a describir a continuación.

Se trata de una estructura metálica proyectada con perfiles laminados de sección cuadrada con acero estructural de tipo S-275JR. Compuesta de una combinación de los dos perfiles estandarizados siguientes:

- **DIN EN 10219-2 80x80x3 (Sección hueca)**

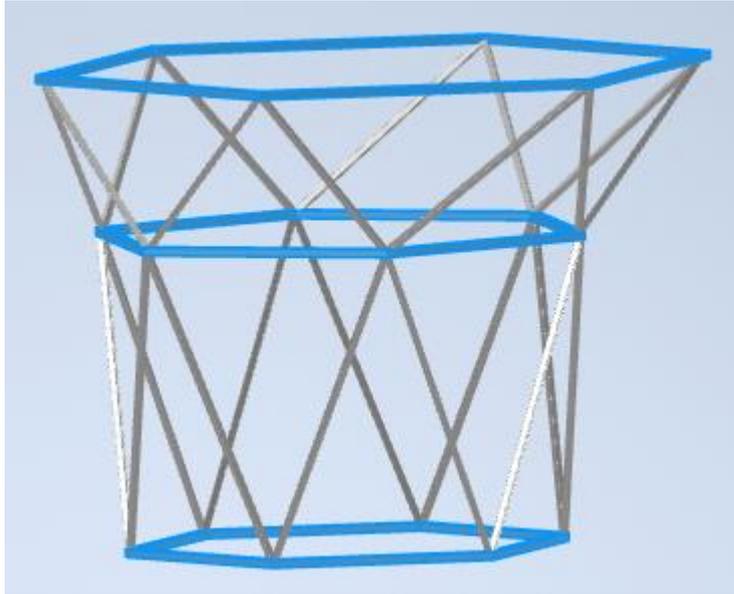


Figura 5: Perfiles 80 x 80 x 3 en la estructura

- **DIN EN 10219-2 60x60x2,5 (Sección hueca)**

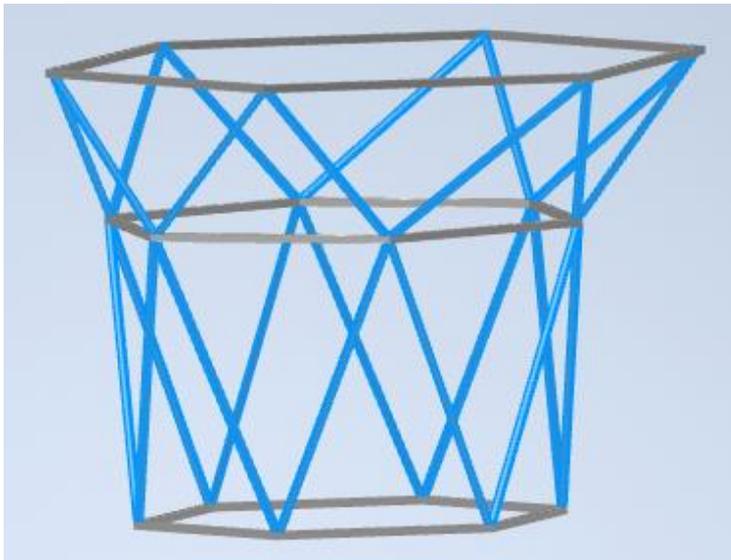


Figura 6: Perfiles 60 x 60 x 2,5 en la estructura

La estructura cuenta con unas dimensiones generales de **6098x5300x4380 mm**, y un peso de **572,448 kg**.

5. JUSTIFICACIÓN DEL DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

Los perfiles han sido dimensionados basándose en el análisis estructural realizado con inventor, soportando la estructura tensiones inferiores al límite elástico del acero empleado.

5.1. JUSTIFICACIÓN DE LAS PARTES Y COMPONENTES

PERFILES

- **Perfiles DIN EN 10219-2 80 x 80 x 3**

Tabla 1: Propiedades perfiles 80 x 80 x 3

Propiedades de geometría	Área de sección (a)	900,823 mm ²
	Anchura de sección	80,000 mm
	Altura de sección	80,000 mm
	Centroide de sección (x)	40,000 mm
	Centroide de sección (y)	40,000 mm
Propiedades mecánicas	Momento de inercia (I _x)	878425,649 mm ⁴
	Momento de inercia (I _y)	878425,649 mm ⁴
	Módulo de rigidez de torsión (J)	1400000,000 mm ⁴
	Módulo de sección (W _x)	21960,641 mm ³
	Módulo de sección (W _y)	21960,641 mm ³
	Módulo de sección de torsión (W _z)	33000,000 mm ³
	Área de esfuerzo cortante reducida (A _x)	408,887 mm ²
	Área de esfuerzo cortante reducida (A _y)	408,887 mm ²
Nombre(s) de pieza	DIN EN 10219-2 80 x 80 x 3 1692635346524.ipt DIN EN 10219-2 80 x 80 x 3 1692635346445.ipt DIN EN 10219-2 80 x 80 x 3 1692635346352.ipt DIN EN 10219-2 80 x 80 x 3 1692635346250.ipt DIN EN 10219-2 80 x 80 x 3 1692635346162.ipt DIN EN 10219-2 80 x 80 x 3 1692635345208.ipt DIN EN 10219-2 80 x 80 x 3 1692635301958.ipt DIN EN 10219-2 80 x 80 x 3 1692635302283.ipt DIN EN 10219-2 80 x 80 x 3 1692635302063.ipt	

DIN EN 10219-2 80 x 80 x 3 1692635296435.ipt
DIN EN 10219-2 80 x 80 x 3 1692635302147.ipt
DIN EN 10219-2 80 x 80 x 3 1692635302215.ipt
DIN EN 10219-2 80 x 80 x 3 1692635269654.ipt
DIN EN 10219-2 80 x 80 x 3 1692635269575.ipt
DIN EN 10219-2 80 x 80 x 3 1692635267405.ipt
DIN EN 10219-2 80 x 80 x 3 1692635269297.ipt
DIN EN 10219-2 80 x 80 x 3 1692635269505.ipt
DIN EN 10219-2 80 x 80 x 3 1692635269418.ipt

○ **Perfiles DIN EN 10219-2 60 x 60 x 2,5**

Tabla 2: Propiedades perfiles 60 x 60 x 2,5

Propiedades de geometría	Área de sección (a)	558,905 mm ²
	Anchura de sección	60,000 mm
	Altura de sección	60,000 mm
	Centroide de sección (x)	30,000 mm
	Centroide de sección (y)	30,000 mm
Propiedades mecánicas	Momento de inercia (I _x)	303421,566 mm ⁴
	Momento de inercia (I _y)	303421,566 mm ⁴
	Módulo de rigidez de torsión (J)	487000,000 mm ⁴
	Módulo de sección (W _x)	10114,052 mm ³
	Módulo de sección (W _y)	10114,052 mm ³
	Módulo de sección de torsión (W _z)	15200,000 mm ³
	Área de esfuerzo cortante reducida (A _x)	254,315 mm ²
	Área de esfuerzo cortante reducida (A _y)	254,315 mm ²
Nombre(s) de pieza	DIN EN 10219-2 60 x 60 x 2,5 1694178845935.ipt DIN EN 10219-2 60 x 60 x 2,5 1694178846004.ipt DIN EN 10219-2 60 x 60 x 2,5 1694178846066.ipt DIN EN 10219-2 60 x 60 x 2,5 1694178846131.ipt DIN EN 10219-2 60 x 60 x 2,5 1694178845472.ipt DIN EN 10219-2 60 x 60 x 2,5 1694178845399.ipt DIN EN 10219-2 60 x 60 x 2,5 1694178845542.ipt DIN EN 10219-2 60 x 60 x 2,5 1694178845604.ipt DIN EN 10219-2 60 x 60 x 2,5 1694178845666.ipt DIN EN 10219-2 60 x 60 x 2,5 1694178845728.ipt	



DIN EN 10219-2 60 x 60 x 2,5 1694178845795.ipt
DIN EN 10219-2 60 x 60 x 2,5 1694178845869.ipt
DIN EN 10219-2 60 x 60 x 2,5 1694178797931.ipt
DIN EN 10219-2 60 x 60 x 2,5 1694178797865.ipt
DIN EN 10219-2 60 x 60 x 2,5 1694178797799.ipt
DIN EN 10219-2 60 x 60 x 2,5 1694178797737.ipt
DIN EN 10219-2 60 x 60 x 2,5 1694178797670.ipt
DIN EN 10219-2 60 x 60 x 2,5 1694178797593.ipt
DIN EN 10219-2 60 x 60 x 2,5 1694178797530.ipt
DIN EN 10219-2 60 x 60 x 2,5 1694178797460.ipt
DIN EN 10219-2 60 x 60 x 2,5 1694178797395.ipt
DIN EN 10219-2 60 x 60 x 2,5 1694178797333.ipt
DIN EN 10219-2 60 x 60 x 2,5 1694178797267.ipt
DIN EN 10219-2 60 x 60 x 2,5 1694178797184.ipt

MATERIALES

Tabla 3: Propiedades del acero S275JR

Nombre	Acero, S275JR	
General	Densidad de masa	7,850 g/cm ³
	Límite de elasticidad	275,000 MPa
	Resistencia máxima a tracción	410,000 MPa
Tensión	Módulo de Young	220,000 GPa
	Coefficiente de Poisson	0,275 su

5.2. CÁLCULOS A REALIZAR

Los cálculos a realizar son los que determina la normativa de aplicación al proyecto, siendo estos los establecidos según la norma UNE-EN 12572-2 en la que hace referencia al CTE para la resolución estructural. Este cálculo es necesario para asegurar la integridad estructural del rocódromo.

Todos estos cálculos están detallados en el anejo de cálculo estructural en el punto 3.2.1.

5.2.1. HIPÓTESIS Y DATOS DE PARTIDA

En cuanto a los **datos de partida** los valores utilizados para el cálculo son los siguientes:

Cargas permanentes



○ **Peso de la estructura**

El peso de la estructura en el caso de este proyecto lo proporciona el programa de cálculo.

○ **Peso paneles de madera**

El peso de los paneles de madera se extrae del dato de la densidad de la madera elegida: $650 \frac{Kg}{m^3}$. Se consideran los paneles como carga permanente para estar siempre del lado de la seguridad, pero estos paneles al estar anclados entre perfiles aportarían una resistencia extra a toda la estructura.

○ **Peso presas de escalada**

A pesar de que esta carga no se contempla en la normativa se ha añadido al cálculo para estar del lado de la seguridad. Además de que al contemplar este dato de carga extra no habría problema en poner gran densidad de presas por toda la superficie escalable si así se desease. Se ha tomado un valor aproximado de $10 \frac{Kg}{m^2}$

Cargas variables

○ **Carga de escaladores**

El valor de las cargas permanentes ha sido extraído de la normativa UNE-EN 12572-2 Anexo A.

Tabla 4: Carga de escaladores (Normativa UNE-EN 12572-2)

	Carga característica kN
Carga de un escalador	0,8
Carga de sustitución por metro cuadrado sobre la superficie de escalada	0,4
Carga de sustitución por metro cuadrado para cualquier zona para estar de pie sobre un muro de escalada	1,6

De esta tabla se ha sacado el valor de la carga de sustitución por metro cuadrado sobre la superficie de escalada. No se tiene en cuenta la carga de zona para estar en pie, ya que la parte superior de la estructura no está destinada para ese uso en este caso. Y la carga de un solo escalador solo se tendrá en cuenta para el cálculo de estabilidad e integridad estructural.

Por lo tanto, el valor de $0,4 \frac{KN}{m^2}$ es el que se tendrá en cuenta por toda la superficie escalable.



En cuanto a la **hipótesis** se han repartido las cargas de forma que la distribución de estas se asemeje a la realidad. Para ello se ha distribuido la carga lineal de sustitución total por los perfiles a los que va anclado cada panel.

El proceso de obtención de cargas lineales para cada una de las acciones se muestra en el punto 3.2.1.2. del Anejo de cálculo estructural. Dando los siguientes valores combinados y ya multiplicados por su factor de seguridad:

Tabla 5: Carga de sustitución

Zona	Carga de sustitución $\frac{KN}{m}$
1	0,3117
2	0,3399
3	0,3117
4	0,3399
5	0,3117
6	0,3399
7	0,3117
8	0,3399
9	0,3117
10	0,3399
11	0,3117
12	0,3399
13	0,2767
14	0,2675
15	0,2772
16	0,2791
17	0,2867
18	0,2943
19	0,2952
20	0,2943
21	0,2867
22	0,2791
23	0,2772
24	0,2675

Para combinar todas las acciones se siguen dos combinaciones distintas con el fin de obtener la más desfavorable. En este caso se trata de la combinación de estabilidad e integridad estructural, en la que además de todas las cargas permanentes y las variables indicadas anteriormente se tendrá en cuenta también la carga de un único escalador en el punto más desfavorable.

Esta combinación tendrá en cuenta los valores de la tabla anterior más un valor de 0,8 KN aplicado en el perfil superior de la zona 19.

Los valores de la tabla se aplican a la estructura de la forma siguiente:

Antes de aplicar cargas externas se añade el valor de la gravedad con un factor de seguridad de 1,35 ya que se debe a una carga permanente. Se muestra como una flecha en dirección de la gravedad aplicada en el centro gravitacional de la estructura.

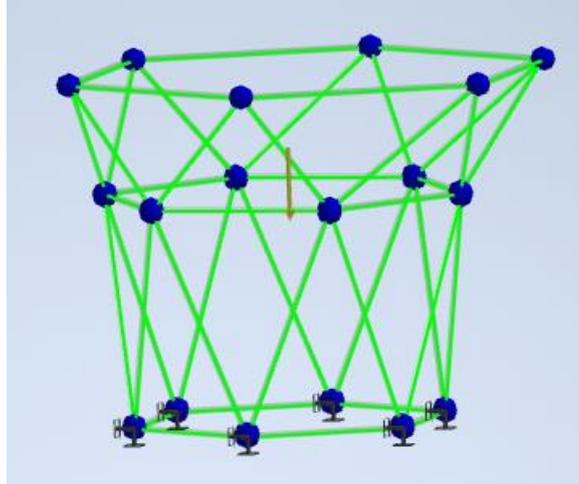


Figura 7: Aplicación de la carga de la gravedad

Primero la carga aplicada en Los perfiles del Hexágono inferior, a los cuales solo afectan las cargas de la zona 1. Teniendo un valor de $0,3117 \frac{KN}{m}$

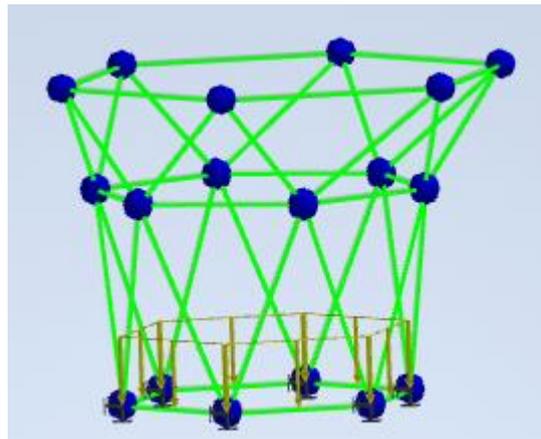


Figura 8: Aplicación de cargas al hexágono inferior

La carga aplicada a todos los perfiles del grupo de pilares inferiores es el valor de la zona 1 más el de la zona 2, ya que las dos caras van al mismo perfil. Teniendo un valor de $0,6516 \frac{KN}{m}$

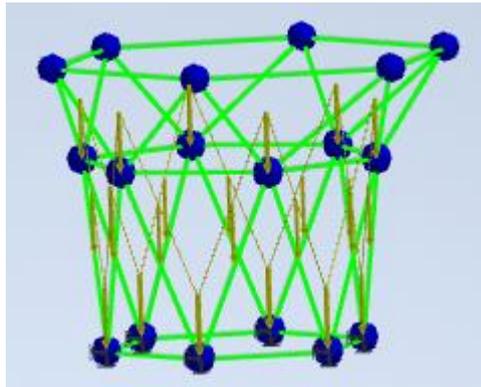


Figura 9: Aplicación de cargas a pilares inferiores

A los perfiles del grupo del hexágono intermedio se le van a aplicar las cargas de las dos zonas que le afectan. Primero la carga del panel inferior que es el valor de la zona 2 y es igual para todos los perfiles del grupo. Teniendo un valor de $0,3399 \frac{KN}{m}$

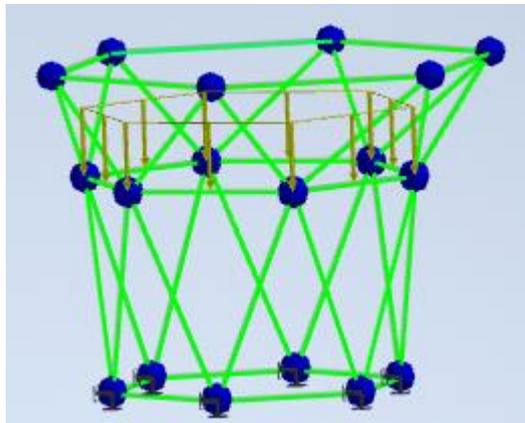


Figura 10: Aplicación de cargas al hexágono intermedio

Para los grupos de pilares y hexágono superiores se añaden las cargas individualmente las cargas a cada uno de los 3 perfiles que actúan en cada zona, de la siguiente forma para cada una de las zonas con su correspondiente valor mostrado en la tabla de carga de sustitución. De esta forma cada barra recibe la suma de cargas correspondiente, ya que en los perfiles del hexágono superior solo aplicarán los de su zona inferior y en los pilares superiores se aplicarán la combinación de las dos zonas colindantes.

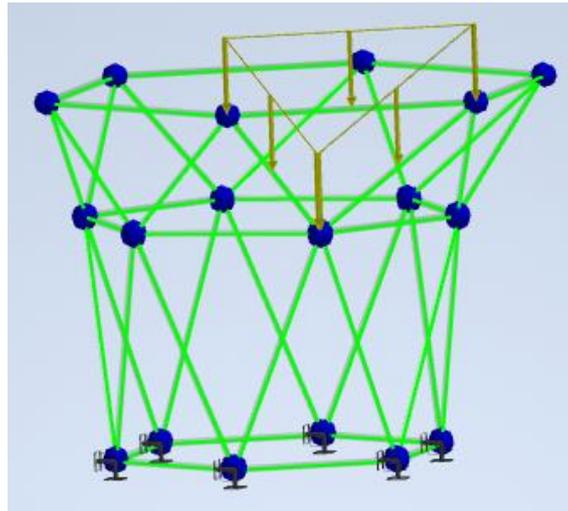


Figura 11: Aplicación de cargas para cada zona superior

De esta forma ya se habrán aplicado todas las cargas a la estructura multiplicadas por un factor de seguridad de 1,5 y las permanentes por uno de 1,35, por tanto, se puede ya calcular la estructura.

5.2.2. RESULTADOS

Los resultados obtenidos en este cálculo son los referentes a la hipótesis de cargas más desfavorable, la de estabilidad e integridad estructural, es decir en la que se aplica además de cargas permanentes y cargas variables una carga puntual de un escalador en el punto más crítico.

○ **Análisis tensiones**

De las gráficas de Esfuerzos máximos y de la de Esfuerzos mínimos se extraen los dos valores absolutos máximas para realizar la comprobación con el más grande de los dos. Los valores obtenidos son los siguientes:

- S Max=48,16 MPa
- S min=60,21 MPa

Por lo tanto, se toma el valor de la S min para comparar que es menor que el límite elástico del material. El límite elástico del acero escogido es de 275 MPa. Dividiendo este dato entre un factor de seguridad de 1.05 obtenemos el valor de cálculo del límite elástico de 262 MPa.

De esta forma $60,21\text{MPa} < 262\text{MPa}$ queda comprobada la resistencia del material empleado.



○ **Análisis flecha**

De la representación de los desplazamientos obtenemos una flecha máxima de 2,709 mm en el centro de la barra sobre la que se aplica la carga puntual de un escalador. Analizando el valor máximo de flecha permitida para el perfil de estudio obtenemos una flecha Max de:

$$Flecha Max = \frac{l}{300} = \frac{3056mm}{300} = 10,18 mm$$

$$2,709 mm < 10,18 mm$$

Por lo tanto, al ser menor nuestra flecha que la obtenida se considera válida estructuralmente, además el valor obtenido de 2,709 mm se considera aceptable para realizar la función requerida ya que sería prácticamente inapreciable para un escalador.

6. OTROS

6.1. PLAN DE MANTENIMIENTO

El plan de mantenimiento de la estructura del rocódromo es necesario para garantizar una seguridad de uso de las instalaciones. Este plan debe realizarse cada 6 meses desde que se monte la estructura. El mantenimiento consta de los siguientes puntos:

- Revisión periódica de las uniones
- Revisión periódica de los perfiles
- Revisión periódica de la correcta distribución de los bloques de hormigón macizos.
- Revisión periódica del correcto estado de las rejillas Tramex.



ÍNDICE DE FIGURAS:

Figura 1: Primera opción	6
Figura 2: Segunda opción	6
Figura 3: Análisis de inclinaciones opción 1.....	8
Figura 4: Análisis de inclinaciones opción 2.....	9
Figura 5: Perfiles 80 x 80 x 3 en la estructura	10
Figura 6: Perfiles 60 x 60 x 2,5 en la estructura	10
Figura 7: Aplicación de la carga de la gravedad	16
Figura 8: Aplicación de cargas al hexágono inferior.....	16
Figura 9: Aplicación de cargas a pilares inferiores	17
Figura 10: Aplicación de cargas al hexágono intermedio	17
Figura 11: Aplicación de cargas para cada zona superior.....	18

ÍNDICE DE TABLAS:

Tabla 1: Propiedades perfiles 80 x 80 x 3.....	11
Tabla 2: Propiedades perfiles 60 x 60 x 2,5.....	12
Tabla 3: Propiedades del acero S275JR.....	13
Tabla 4: Carga de escaladores (Normativa UNE-EN 12572-2)	14
Tabla 5: Carga de sustitución	15



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



TRABAJO FINAL DE GRADO:

**DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DE ESTRUCTURA
METÁLICA PARA ROCÓDROMO RECREATIVO**

GRADO DE INGENIERÍA MECÁNICA

AUTOR: PAU MICÓ GANDIA

TUTOR/A: TERESA PILAR REAL HERRAIZ



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



TRABAJO FINAL DE GRADO:

**DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DE ESTRUCTURA
METÁLICA PARA ROCÓDROMO RECREATIVO**

ANEJO Cálculo Estructural

AUTOR: PAU MICÓ GANDIA

TUTOR/A: TERESA PILAR REAL HERRAIZ



ÍNDICE

ANEJO CÁLCULO ESTRUCTURAL

1.	INTRODUCCIÓN	3
2.	NORMATIVA DE APLICACIÓN	3
3.	ROCÓDROMO	4
3.1.	DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA	4
3.2.	CÁLCULO DE LA ESTRUCTURA	7
3.2.1.	SISTEMA DE CÁLCULO DE LA ESTRUCTURA	7
3.2.1.1.	DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO	8
3.2.1.2.	MODELIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA	13
3.2.2.	ACCIONES ADOPTADAS EN EL CÁLCULO	16
3.2.2.1.	ACCIONES PERMANENTES	16
3.2.2.2.	ACCIONES VARIABLES	17
3.2.3.	VUELCO	18
3.2.4.	UNIONES	20
3.2.5.	CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES Y DE LAS SECCIONES	25
3.2.6.	HIPÓTESIS DE CARGAS	27
3.2.7.	ESFUERZOS OBTENIDOS	27



1. INTRODUCCIÓN

El análisis estructural por realizar se hace sobre una estructura metálica destinada a ser el armazón de un rocódromo recreativo de modalidad Boulder. La geometría ha sido proyectada con la intención de ser estructuralmente resistente formando geometrías triangulares en los perfiles, además sus muchas caras hacen que la escalada sea más variada con distintas inclinaciones en cada zona del rocódromo.

2. NORMATIVA DE APLICACIÓN

La normativa de aplicación es la siguiente. La primera la normativa directa de aplicación **UNE-EN 12572-2** en la que consta toda la información referente a los muros de escalada sin puntos de protección. Y la segunda norma a aplicar es el **CTE**, documento que hace referencia a los métodos de cálculo, en concreto para este proyecto el **DB-SE-A**, ya que recoge la normativa específica de las estructuras metálicas.

- **Código Técnico de la Edificación (CTE)**

Es el marco normativo en España por el que se regulan las exigencias básicas que deben cumplir los edificios y sus instalaciones para satisfacer unos requisitos básicos de seguridad y habitabilidad definidos por la ley 38/1999 de 5 de noviembre de Ordenación de la Edificación.

En concreto en este proyecto se han contemplado los siguientes documentos de código técnico:

- Documento Básico de Seguridad Estructural (DB-SE)
- Documento Básico de Seguridad Estructural Acciones de la edificación (DB-SE-AE)
- Documento Básico de Seguridad Estructural Acero (DB-SE-A)
- Documento Básico de Seguridad Estructural Madera (DB-SE-M)

- **Normas UNE**

Son normas específicas para este proyecto, se trata de las normas que recogen el cálculo y diseño de estructuras artificiales de escalada:

- **UNE-EN 12572-2** Estructuras artificiales de escalada. Parte 2: Requisitos de seguridad y método de ensayo para muros de escalada.

3. ROCÓDROMO

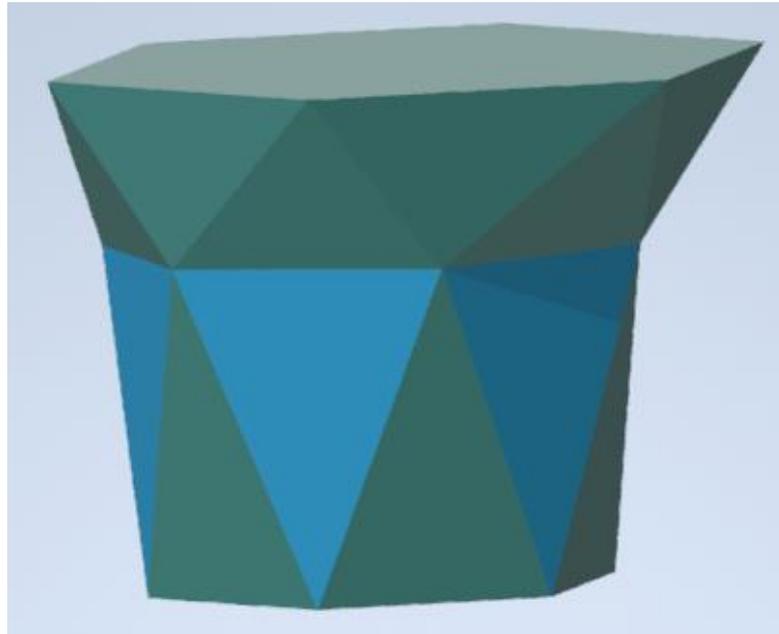


Figura 1: Rocódromo

3.1. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA

Se trata de una estructura metálica proyectada con perfiles laminados de sección cuadrada con acero estructural de tipo S-275JR. Compuesta de una combinación de los dos perfiles estandarizados siguientes:

- **DIN EN 10219-2 80x80x3 (Sección hueca)**
- **DIN EN 10219-2 60x60x2,5 (Sección hueca)**



Figura 2: Estructura rocódromo

Con unas dimensiones generales de 6098x5300x4380 mm

Con el fin de facilitar el análisis se puede dividir la estructura en 5 los grupos de perfiles siguientes:

1- Grupo hexágono inferior:

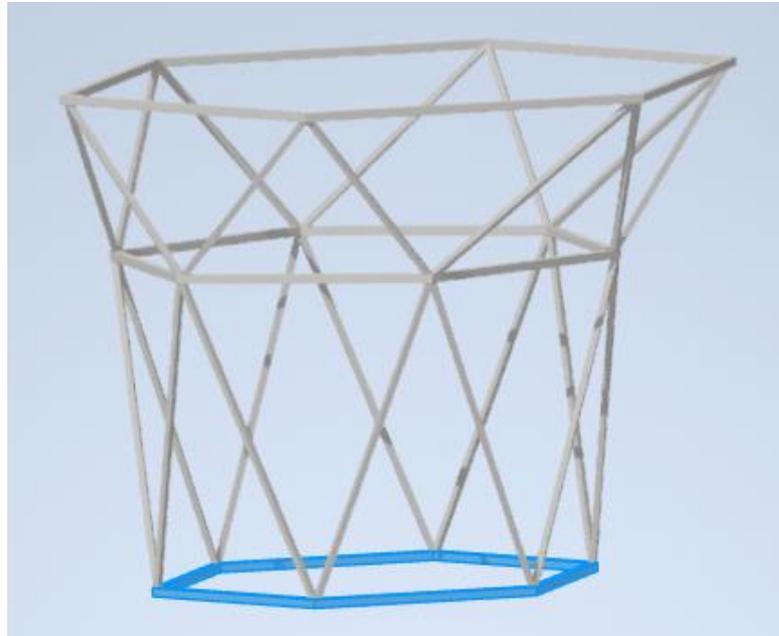


Figura 3: Grupo hexágono inferior

2- Grupo pilares inferiores:

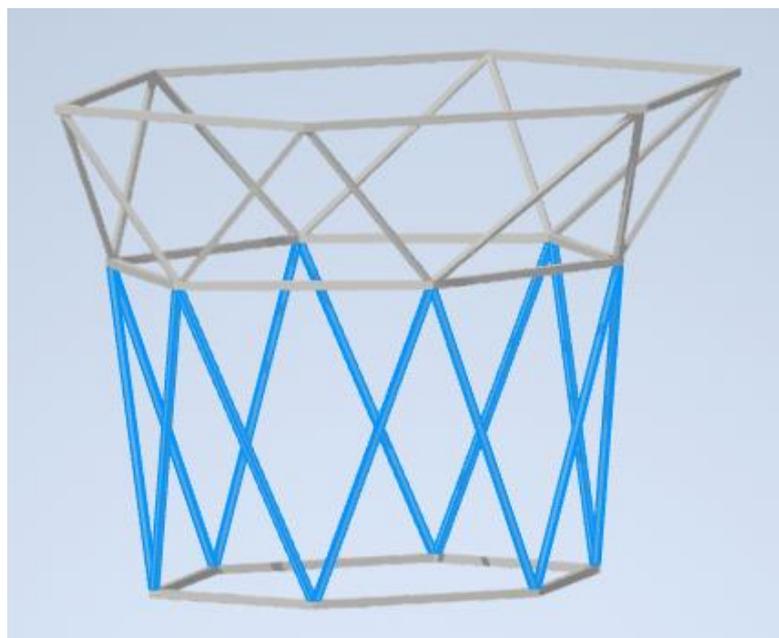


Figura 4: Grupo pilares inferiores

3- Grupo hexágono intermedio:

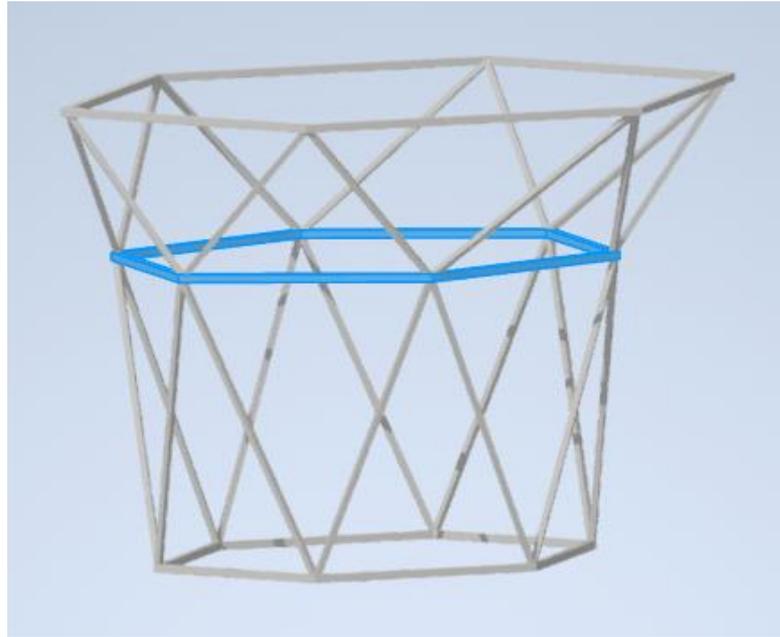


Figura 5: Grupo hexágono intermedio

4- Grupo pilares superiores:

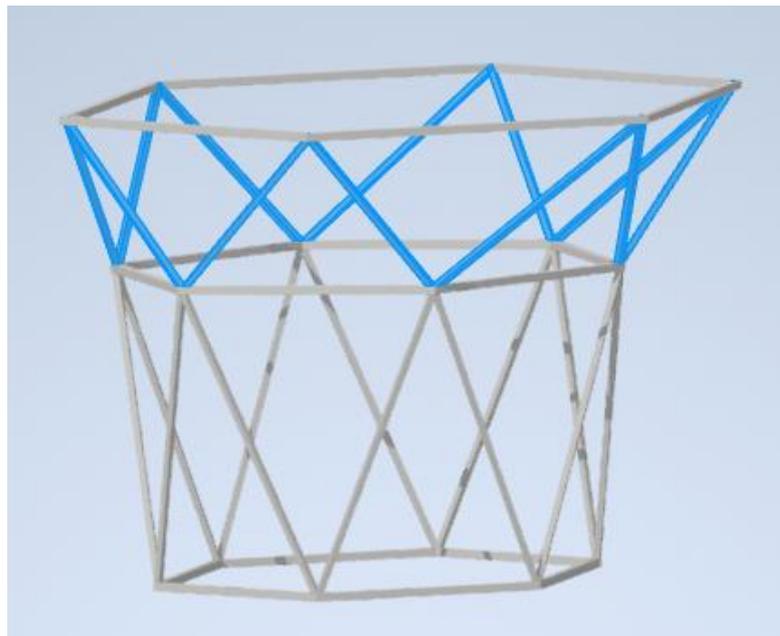


Figura 6: Grupo pilares superiores

5- Grupo hexágono superior:



Figura 7: Grupo hexágono superior

3.2. CÁLCULO DE LA ESTRUCTURA

El cálculo de la estructura es necesario por normativa para asegurar la integridad estructural de la misma. Para este cálculo se ha decidido usar el entorno de análisis estructural del programa Inventor de la empresa Autodesk, ya que la universidad proporciona la licencia gratuita y que es un programa muy polivalente que puede valer para hacer otro tipo de proyectos. Además de facilitar la transición de diseño a estructura y análisis todo en un mismo programa.

3.2.1. SISTEMA DE CÁLCULO DE LA ESTRUCTURA

El sistema por el cual se realiza el cálculo de la estructura se trata de un análisis estático mediante un programa con interfaz de cálculo estructural. El entorno de análisis estructural de Inventor da posibilidad a construir estructuras de distintas formas, en este caso se ha decidido marcar las trayectorias de los perfiles mediante un boceto 3D sacado a partir del diseño estético del rocódromo. A estas trayectorias se les asigna un primer perfil para poder analizar la estructura, que posteriormente se sustituirá por uno que cumpla con las condiciones de resistencia necesarias.

Autodesk Inventor realiza un análisis estructural a partir de un modelo numérico que representa la geometría, cargas, apoyos y restricciones de la estructura, dando como resultado las reacciones, los diagramas de solicitaciones y los movimientos de nudos.

3.2.1.1. DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO

Para el cálculo de la estructura se hará la combinación de acciones que hay sobre la estructura mediante el estado limite último (ELU) todo ello siguiendo la norma UNE-EN 12572-2 Anexo A para la obtención de los efectos y el anexo B para el método de cálculo.

Para el cálculo de las cargas se han sacado los valores de carga lineal a distribuir a cada uno de los 3 perfiles que está en contacto con cada una de las superficies triangulares sobre las que posteriormente se anclarán las presas y recorrerán los escaladores durante la actividad de escalada. Y se obtiene el valor de la carga lineal distribuida de cada una de las acciones de la siguiente manera:

- Acciones permanentes

○ **Peso estructura**

El valor de cálculo de la estructura lo da el programa, al añadirle el valor de la gravedad con los datos que ya tiene el programa de volumen de los perfiles y la densidad del acero saca el peso de la estructura y lo aplica a la misma teniendo en cuenta el peso propio de los perfiles.

○ **Peso paneles madera**

El valor del peso de los paneles de madera se obtiene del dato de la densidad de la madera elegida $650 \frac{Kg}{m^3}$

Primero se obtiene de Inventor los valores del área de cada uno de los paneles para multiplicarlos por el valor del espesor de la madera **18 mm** obteniendo de esta forma el volumen de cada uno de los paneles de madera. Dando como resultado para cada zona:

Tabla 1: Carga paneles de madera

Zonas	Carga paneles
	KN
1	6,3740
2	12,7480
3	19,1220
4	25,4960
5	31,8700
6	38,2440
7	44,6180
8	50,9920
9	57,3660
10	63,7400
11	70,1140
12	76,4880
13	82,8620
14	89,2360
15	95,6100



16	101,9840
17	108,3580
18	114,7320
19	121,1060
20	127,4800
21	133,8540
22	140,2280
23	146,6020
24	152,9760

Los valores de carga total de la superficie en KN se deberán dividir entre el perímetro de cada una de las áreas para obtener la carga distribuida linealmente. Y este valor obtenido se multiplica por el factor de seguridad para cargas permanentes desfavorables de 1,35. Dando como resultado la siguiente tabla de Valores de Cálculo:

Tabla 2: Valor de cálculo tableros de madera

Zonas	Valor de Cálculo Madera
	KN/m
1	0,0543
2	0,0592
3	0,0543
4	0,0592
5	0,0543
6	0,0592
7	0,0543
8	0,0592
9	0,0543
10	0,0592
11	0,0543
12	0,0592
13	0,0482
14	0,0466
15	0,0482
16	0,0486
17	0,0499
18	0,0512
19	0,0514
20	0,0512
21	0,0499
22	0,0486
23	0,0482
24	0,0466

- **Peso presas escalada**

El valor de la carga del peso de las presas de escalada se ha estimado como un valor aproximado de carga superficial de $10 \frac{Kg}{m^2}$.

Para iniciar el cálculo se multiplica la carga superficial por las áreas obtenidas de Inventor de cada una de las zonas. De esta forma se saca el valor de la carga total en cada zona. Quedando los siguientes valores:

Tabla 3: Cargas presas de escalada

Zonas	Cargas presas escalada
	KN
1	0,2804
2	0,3173
3	0,2804
4	0,3173
5	0,2804
6	0,3173
7	0,2804
8	0,3173
9	0,2804
10	0,3173
11	0,2804
12	0,3173
13	0,2257
14	0,1902
15	0,2272
16	0,2073
17	0,2384
18	0,2281
19	0,2479
20	0,2281
21	0,2384
22	0,2073
23	0,2272
24	0,1902

Con este valor De carga total por zona podemos obtener la carga lineal para cada uno de los 3 perfiles que aplican. Esto se obtiene dividiendo la carga total entre el perímetro total de cada panel. Para obtener el valor de cálculo se multiplicará esta carga lineal por el factor de seguridad para cargas permanentes desfavorables de 1,35. Dando como resultado la siguiente tabla:

Tabla 4: Valor de cálculo presas de escalada

Zonas	Valor de Cálculo Presas
	KN/m
1	0,0473
2	0,0516
3	0,0473
4	0,0516
5	0,0473
6	0,0516
7	0,0473
8	0,0516
9	0,0473
10	0,0516
11	0,0473
12	0,0516
13	0,0420
14	0,0406
15	0,0421
16	0,0423
17	0,0435
18	0,0447
19	0,0448
20	0,0447
21	0,0435
22	0,0423
23	0,0421
24	0,0406

- **Acciones variables**

○ **Carga de escaladores**

El valor de partida para obtener la carga de escaladores se obtiene de la normativa UNE-EN 12572-2 Anexo A Tabla A1-Cargas siendo este un valor de sustitución de carga superficial de $0,4 \frac{KN}{m^2}$

Para pasar el valor de carga superficial a carga lineal primero se debe multiplicar el área de cada zona por el valor de $0,4 \frac{KN}{m^2}$ para sacar la carga total en cada zona. El valor obtenido se multiplica también por el factor de seguridad de 1,5 para cargas variables desfavorables. Dando como resultado la siguiente tabla:

Tabla 5: Carga escalador por zona

Zonas	Carga escalador por zona
	KN
1	1,122
2	1,269
3	1,122
4	1,269
5	1,122
6	1,269
7	1,122
8	1,269
9	1,122
10	1,269
11	1,122
12	1,269
13	0,903
14	0,761
15	0,909
16	0,829
17	0,954
18	0,912
19	0,991
20	0,912
21	0,954
22	0,829
23	0,909
24	0,761

Para pasar esta carga total a carga lineal dividiremos el valor anterior entre el perímetro de cada zona. El resultado obtenido se multiplica también por el factor de seguridad de 1,5 para cargas variables desfavorables. Dando como resultado final para cargas variables la siguiente tabla:

Tabla 6: Valor de cálculo para escaladores

Zonas	Valor Cálculo Escaladores
	KN/m
1	0,210
2	0,229
3	0,210
4	0,229
5	0,210
6	0,229
7	0,210
8	0,229



9	0,210
10	0,229
11	0,210
12	0,229
13	0,187
14	0,180
15	0,187
16	0,188
17	0,193
18	0,198
19	0,199
20	0,198
21	0,193
22	0,188
23	0,187
24	0,180

3.2.1.2. MODELIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA

Para la modelización de la estructura hemos repartido las cargas obtenidas en el anterior apartado 3.2.1.1. de forma que la distribución de las cargas se asemeje a la realidad. Para ello se ha distribuido la carga lineal por los perfiles a los que va anclado cada panel.

Debido a que algunos perfiles están aguantando más de un panel de madera habrá perfiles con más cargas que otros. Se han distribuido las siguientes cargas de sustitución por grupos de perfiles que soportan el mismo tipo de cargas y luego las que son diferentes al resto se han añadido independientemente. Sumando los valores de sustitución de cada una de las cargas da como resultado la carga de sustitución final para cada zona:

Tabla 7: Carga de sustitución

Zona	Carga de sustitución $\frac{KN}{m}$
1	0,3117
2	0,3399
3	0,3117
4	0,3399
5	0,3117
6	0,3399
7	0,3117
8	0,3399
9	0,3117
10	0,3399
11	0,3117

12	0,3399
13	0,2767
14	0,2675
15	0,2772
16	0,2791
17	0,2867
18	0,2943
19	0,2952
20	0,2943
21	0,2867
22	0,2791
23	0,2772
24	0,2675

Estos valores son los que deben tener cada uno de los 3 perfiles en contacto con cada una de las zonas.

Antes de aplicar cargas externas se añade el valor de la gravedad con un factor de seguridad de 1,35 ya que se debe a una carga permanente. Se muestra como una flecha en dirección de la gravedad aplicada en el centro gravitacional de la estructura.

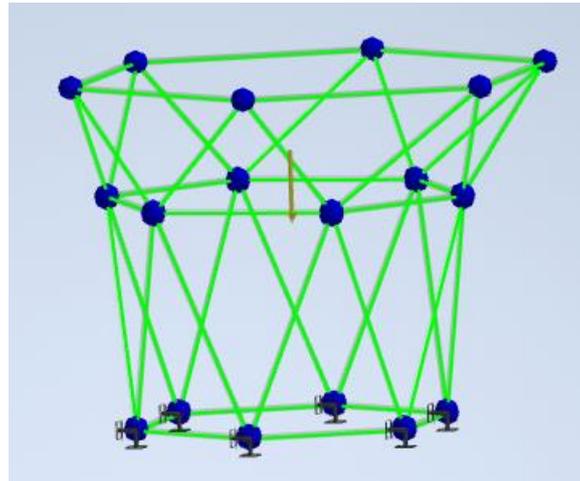


Figura 8: Aplicación de carga de la gravedad

Primero la carga aplicada en Los perfiles del Hexágono inferior, a los cuales solo afectan las cargas de la zona 1. Teniendo un valor de $0,3117 \frac{KN}{m}$

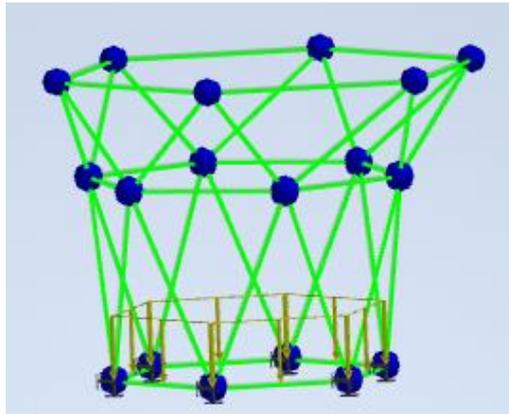


Figura 9: Aplicación de cargas al hexágono inferior

La carga aplicada a todos los perfiles del grupo de pilares inferiores es el valor de la zona 1 más el de la zona 2, ya que las dos caras van al mismo perfil. Teniendo un valor de $0,6516 \frac{KN}{m}$

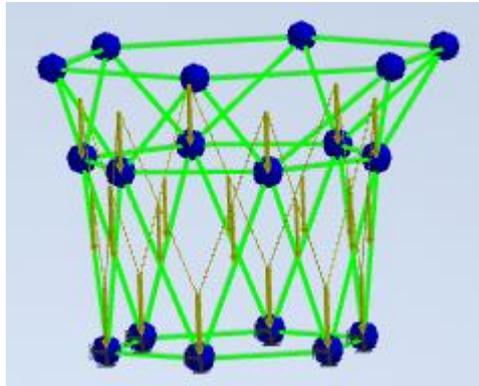


Figura 10: Aplicación de cargas a pilares inferiores

A los perfiles del grupo del hexágono intermedio se le van a aplicar las cargas de las dos zonas que le afectan. Primero la carga del panel inferior que es el valor de la zona 2 y es igual para todos los perfiles del grupo. Teniendo un valor de $0,3399 \frac{KN}{m}$

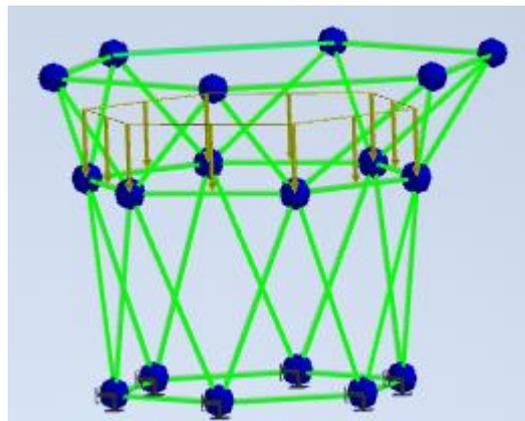


Figura 11: Aplicación de cargas al hexágono intermedio

Para los grupos de pilares y hexágono superiores, se añaden las cargas individualmente a cada uno de los 3 perfiles que actúan en cada zona. De la siguiente forma, para cada una de las zonas se aplicará su correspondiente valor mostrado en la tabla de carga de sustitución. De esta forma cada barra recibe la suma de cargas correspondiente, ya que en los perfiles del hexágono superior solo aplicarán los de su zona inferior y en los pilares superiores se aplicarán la combinación de las dos zonas colindantes.

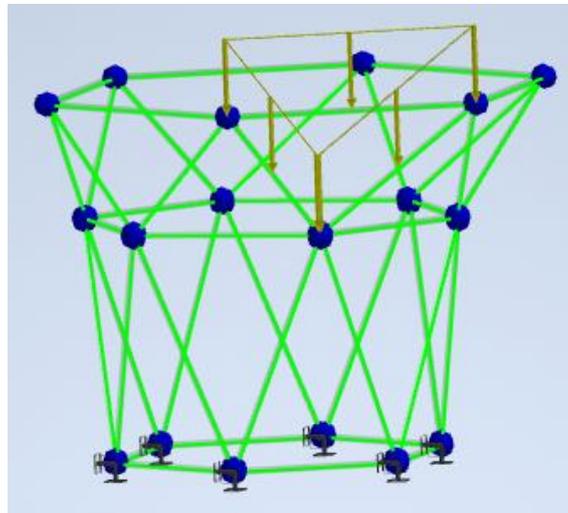


Figura 12: Aplicación de cargas para cada zona superior

De esta forma ya se habrán aplicado todas las cargas a la estructura y por lo tanto ya se puede calcular la estructura.

3.2.2. ACCIONES ADOPTADAS EN EL CÁLCULO

Las acciones adoptadas para el cálculo de este proyecto han sido obtenidas de la normativa UNE-EN 12572-2 en concreto del Anexo A Efectos. También se han añadido otros efectos para intentar que el cálculo se asimile más a la realidad, por lo tanto, siendo más seguro.

Las acciones que aplicar sobre esta estructura son dos:

- **Acciones permanentes**
- **Acciones variables**

3.2.2.1. ACCIONES PERMANENTES

Las acciones permanentes son las que son constantes en el tiempo, es decir están aplicadas en todo momento. En el caso de este proyecto los efectos permanentes comprenden el peso de la estructura y de todo el almacén de esta.



- **Peso de la estructura**

El peso de la estructura en el caso de este proyecto lo proporciona el programa de cálculo.

- **Peso paneles de madera**

El peso de los paneles de madera se extrae del dato de la densidad de la madera elegida: $650 \frac{Kg}{m^3}$. Se consideran los paneles como carga permanente para estar siempre del lado de la seguridad, pero estos paneles al estar anclados entre perfiles aportarían una resistencia extra a toda la estructura.

- **Peso presas de escalada**

A pesar de que esta carga no se contempla en la normativa se ha añadido al cálculo para estar del lado de la seguridad. Además de que al contemplar este dato de carga extra no habría problema en poner gran densidad de presas por toda la superficie escalable si así se desease. Se ha tomado un valor aproximado de $10 \frac{Kg}{m^2}$

3.2.2.2. ACCIONES VARIABLES

Las acciones variables son las que no son constantes en el tiempo, lo que quiere decir que en función del tiempo las cargas podrían no estar aplicadas, estar aplicadas en menor proporción o en su totalidad. Por lo que estas cargas tendrán un factor mayor ya que fluctúa en el tiempo por lo que hay carga y descarga en la estructura.

Ya que la estructura está proyectada para ser usada en interiores no se tendrán en cuenta las acciones debidas a las condiciones meteorológicas.

- **Carga de escaladores**

El valor de las cargas permanentes ha sido extraído de la normativa UNE-EN 12572-2 Anexo A

Tabla 8: Carga de escaladores (Normativa UNE-EN 12572-2)

	Carga característica kN
Carga de un escalador	0,8
Carga de sustitución por metro cuadrado sobre la superficie de escalada	0,4
Carga de sustitución por metro cuadrado para cualquier zona para estar de pie sobre un muro de escalada	1,6

De esta tabla se ha sacado el valor de la carga de sustitución por metro cuadrado sobre la superficie de escalada. No se tiene en cuenta la carga de zona para estar

en pie, ya que la parte superior de la estructura no está destinada para ese uso en este caso. Y la carga de un solo escalador solo se tendrá en cuenta para el cálculo de estabilidad e integridad estructural.

Por lo tanto, el valor de $0,4 \frac{KN}{m^2}$ es el que se tendrá en cuenta por toda la superficie escalable.

3.2.3. VUELCO

La estructura está proyectada con la intención de que no sea necesario anclar la base al suelo, y para ello hay que evitar que la estructura pueda volcar.

Para evitar el vuelco se decide aplicar una carga en la base con contrapeso. Para realizar este cálculo se aplica la combinación de acciones más desfavorable, en la que se tendrán en cuenta todas las acciones permanentes y variables más la carga puntual de un escalador en el sitio más crítico para analizar el vuelco, es decir, el punto más alejado del centro de gravedad.

Se resuelve el vuelco haciendo que sean iguales el momento que genera la carga desfavorable y el momento del contrapeso.

- **Cálculo de distancias**

- **Distancia carga desfavorable**

- La distancia de la carga desfavorable se mide en Inventor de la estructura. Tomando como medida la distancia entre el centro de gravedad y el punto de la estructura más alejado de este.

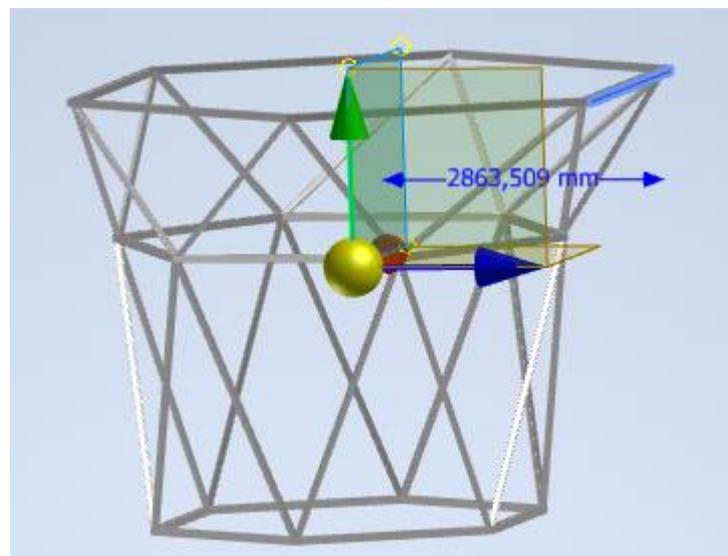


Figura 13: Distancia carga desfavorable (Vuelco)

Dando un valor de **2863,5 mm**

▪ **Distancia contrapeso**

Para definir la distancia a la que se encuentran los contrapesos se busca el punto en el que mejor contrarreste las acciones desfavorables, por lo tanto, se decide colocar pegado al lateral de la base del lado opuesto al de las cargas desfavorables.

Para ello se opta por colocar bloques de hormigón sobre una rejilla tipo Tramex para repartir las cargas sobre la base.

Teniendo en cuenta que los bloques elegidos tienen unas medidas de 20x20x40cm el centro de gravedad de estos estará 10 cm separado del punto más alejado de la base, por lo tanto, se restan los 10 cm a la distancia obtenida.

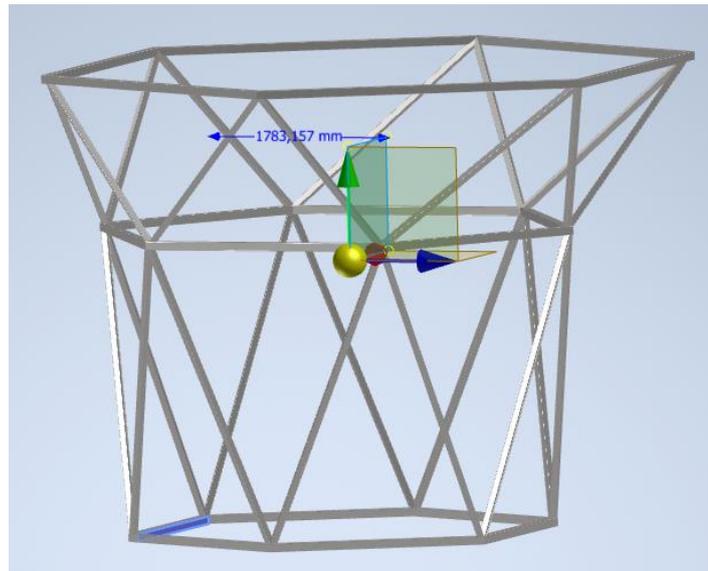


Figura 14: Distancia contrapeso (Vuelco)

Dando un valor final de **1.683,1 mm**

○ **Cálculo de Cargas**

▪ **Carga desfavorable**

El valor de la carga desfavorable al vuelco se obtiene de la suma de la carga de un solo escalador sacada de la normativa UNE-EN 12572-2 y la carga distribuida obtenida de la misma norma aplicada en las 4 caras más críticas para el vuelco.

Tabla 9: Cargas desfavorables para el vuelco

Carga escalador KN	Carga 4 zonas desfavorables KN	más
0,8	1,196	



▪ **Carga contrapeso**

El valor para calcular es el de la carga del contrapeso y para ello son necesarias las medidas obtenidas anteriormente.

Partiendo de que cada carga genera un momento respecto al centro de gravedad de la estructura se pretende igualar el momento que genera la carga desfavorable con el valor del momento que crea el contrapeso. Para calcular el momento se multiplica la carga por la distancia perpendicular al centro de gravedad. Quedando la fórmula de la siguiente manera:

$$Carga\ desf. \times Dist. = Carga\ desf. = Carga\ contrapeso \times Dist. Contrapeso$$

Resolviendo esta ecuación se obtiene el valor de la Carga del contrapeso de **3,395 KN**.

○ **Aplicación de la carga de contrapeso.**

Para aplicar la carga del contrapeso obtenida anteriormente se decide colocar los bloques de hormigón mencionados al obtener la distancia del contrapeso. Se trata de un macizo de hormigón con unas medidas de 20x20x40 cm, siendo su volumen de $0,016\ m^3$. Conociendo la densidad del hormigón que es de $2500\frac{kg}{m^3}$ obtenemos el valor de carga de un único bloque de $0,4\ KN$.

Para sacar el número total de bloques necesarios se divide la carga total de contrapeso entre el valor de carga de un único bloque, dando como resultado 8,5 bloques, por lo que esta cantidad se redondeará a **9 bloques** por cara de la base para estar del lado de la seguridad. Para distribuir esta carga por toda la base se coloca de la misma forma, poniendo los contrapesos pegados a cada uno de los perfiles de la base, y para que quepan linealmente se colocarán dos filas de 4 y el último encima. Haciendo un total de **54 bloques** de hormigón.

3.2.4. UNIONES

Los esfuerzos existentes en la unión más desfavorable son los siguientes:

- Axil: $N = 3367\ N$
- Cortantes:
 - $V_y = 665\ N$
 - $V_z = 409\ N$
- Momentos
 - $M_y = 1,652 \cdot 10^5\ N \cdot mm$
 - $M_z = 3,676 \cdot 10^5\ N \cdot mm$

Las chapas utilizadas para las uniones son distintas para cada tipo de perfil debido a las dimensiones de estos:

- Perfiles 60 x 60 x 2,5 Dimensiones de la chapa 140 x 140 x 5 mm

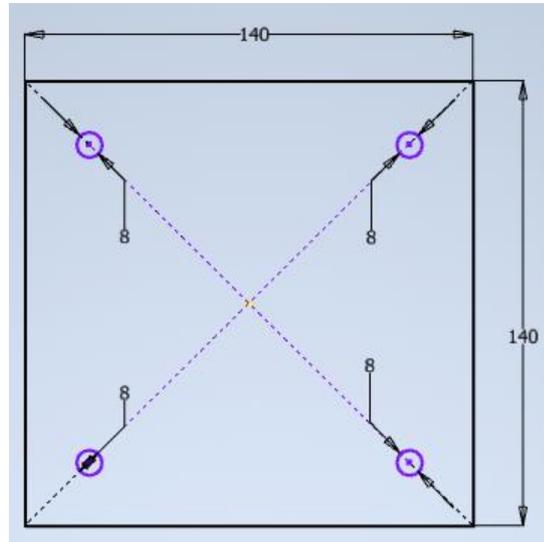


Figura 15: Medidas chapa 140 x 140 x 5

- Perfiles 80 x 80 x 3 Dimensiones de la chapa 160 x 160 x 5 mm

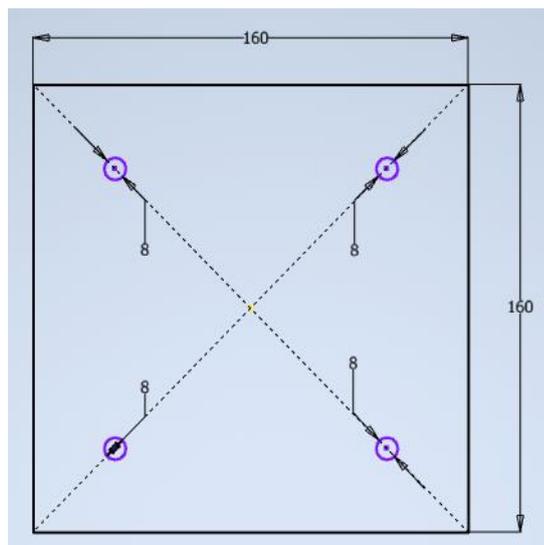


Figura 16: Medidas chapa 160 x 160 x 5

Tornillos separados 20 mm del borde

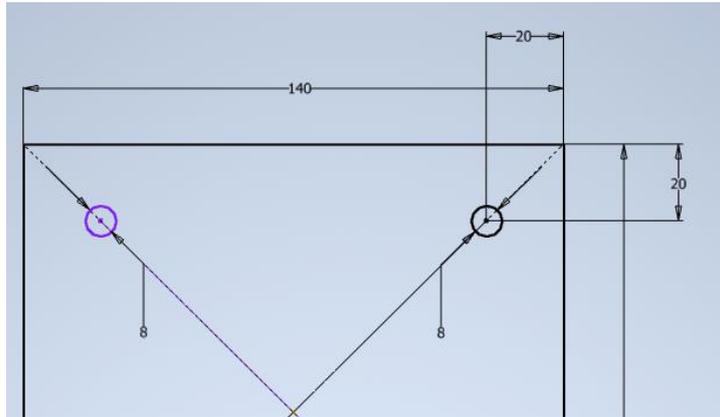


Figura 17: Distancia de separación de tornillos

Se obtiene el valor de cortante para cada momento:

Mz

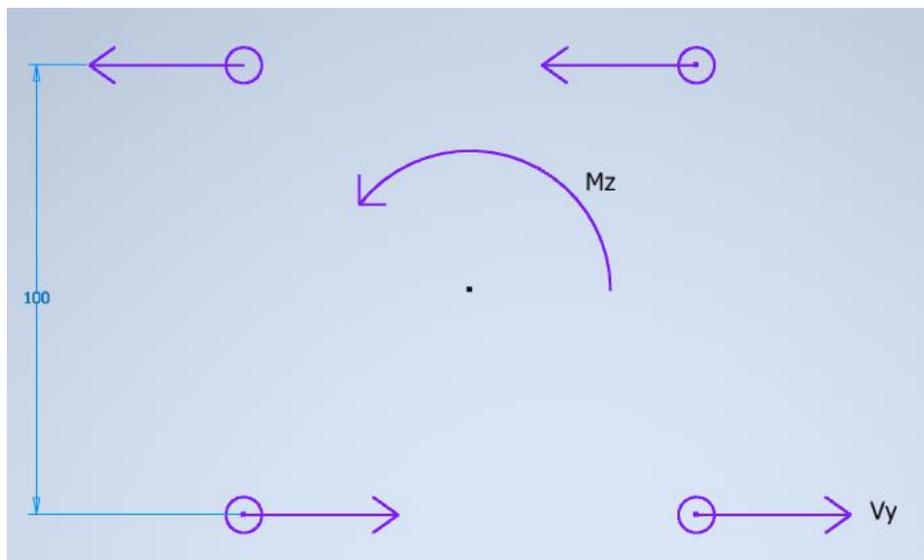


Figura 18: Momentos en z (uniones)

$$2 \cdot V_y \cdot 100 = 3,676 \cdot 10^5$$

$$V_y = 1838 \text{ N}$$

My

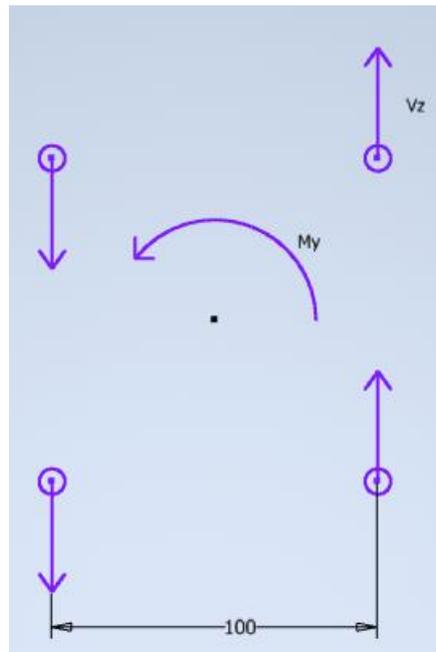


Figura 19: Momentos en y (uniones)

$$2 \cdot Vz \cdot 100 = 1,652 \cdot 10^5$$

$$Vz = 826 \text{ N}$$

Esfuerzos sobre cada tornillo

$$N = \frac{3367}{4} = 841,75 \text{ N}$$

$$Vy = \frac{665}{4} + 1838 = 2004,25 \text{ N} \quad \left. \vphantom{Vy} \right\} V_{result} = \sqrt{Vy^2 + Vz^2} = 2208,77 \text{ N}$$

$$Vz = \frac{409}{4} + 826 = 928,25 \text{ N}$$

Unión mixta sometida a Axil y Cortante

$$\frac{Fv, Ed}{Fv, Rd} + \frac{Ft, Ed}{1,4 \cdot Ft, Rd} \leq 1$$

Se prueba con tornillos **métrica 6 mm, clase 4.6.**

$$Ft, Rd = \frac{0,9 \cdot fub \cdot As}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 400 \cdot 20,141}{1,25} = 5800 \text{ N}$$

Resistencia a cortante:

a. Cortante del tornillo:

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 \cdot f_{ub} \cdot A_s \cdot n}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 400 \cdot 20,141 \cdot 1}{1,25} = 3867 N$$

b. Desgarro de la chapa:

$$F_{b,Rd} = \frac{\alpha \cdot \beta \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

$$\begin{aligned} \alpha &= \min \left\{ \frac{e_1}{3 \cdot d_o}; \frac{\rho_1}{3 \cdot d_o} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right\} \\ &= \min \left\{ \frac{20}{3 \cdot 8}; \frac{100}{3 \cdot 8} - \frac{1}{4}; \frac{600}{430}, 1 \right\} = 0,83 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \beta &= \min \left\{ \frac{2,8 \cdot e_2}{d_o} - 1,7; \frac{1,4 \cdot \rho_{12}}{d_o} - 1,7; 2,5 \right\} \\ &= \min \left\{ \frac{2,8 \cdot 20}{8} - 1,7; \frac{1,4 \cdot 100}{8} - 1,7; 2,5 \right\} \\ &= 2,5 \end{aligned}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{0,83 \cdot 2,5 \cdot 430 \cdot 6 \cdot 5}{1,25} = 21414 N$$

Resistencia de la unión con tornillo **métrica 6 mm, clase 4.6.**

$$\frac{2208,77}{3867} + \frac{841,75}{1,4 \cdot 5800} = 0,57 + 0,1036 = 0,675$$

$$0,675 < 1 \quad \text{✓}$$

3.2.5. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES Y DE LAS SECCIONES

Los **materiales** a tener en cuenta para este proyecto son 2, pero de ellos solo tendremos en cuenta las propiedades físicas de uno, ya que el otro se usa como valor de cálculo de las cargas.

- **Tablón de madera**

Este material será el destinado a cubrir toda la superficie exterior de la estructura. La única propiedad física considerada para el cálculo es su densidad para obtener el peso aplicado sobre el rocódromo. Se da por hecho que el producto final a obtener deberá cumplir con la normativa UNE-EN 12572-2 en concreto los Anexos D y E en los que se detallan las pruebas de resistencia necesarias para que esa madera cumpla con la normativa.

- **Acero S275JR**

Este acero es el material del que están formados los perfiles estructurales aplicados en el rocódromo. Las propiedades físicas son extraídas del Inventor.

▼ Térmico básico	
Conductividad térmica	4,500E+01 Con (m · k)
Calor específico	0,480 J/ (G · ° C)
Coefficiente de dilatación térmica	12,000 µm/(m·°C)
▼ Mecánico	
Comportamiento	Isótropo
Módulo de Young	219,998 GPa
Coefficiente de Poisson	0,28
Módulo cortante	81700,000 MPa
Densidad	7,850 g/cm ³
▼ Resistencia	
Límite de elasticidad	275,000 MPa
Resistencia máxima a tracción	410,000 MPa

Figura 20: Propiedades del acero

Las **secciones** normalizadas utilizadas en la estructura son dos:

- **DIN EN 10219-2 80x80x3 (Sección hueca)**

Se trata de un perfil hueco de sección cuadrada con un ancho y alto de 80 mm y un espesor de la pared de 3 mm

Este perfil es utilizado para los 3 grupos de barras que forman los 3 hexágonos de la estructura.

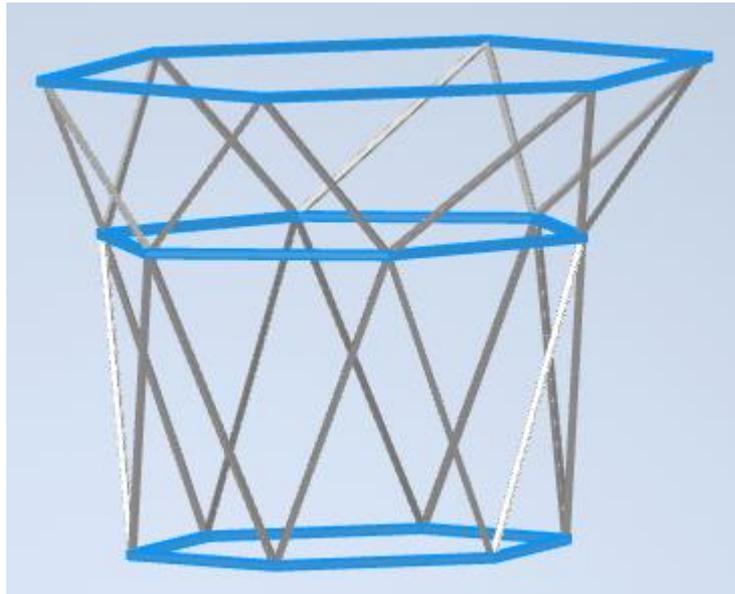


Figura 21: Perfiles 80 x 80 x 3 en la estructura

○ **DIN EN 10219-2 60x60x2,5 (Sección hueca)**

Se trata de un perfil hueco de sección cuadrada con un ancho y alto de 60 mm y un espesor de la pared de 2,5 mm

Este perfil es utilizado para los 2 grupos de barras que forman los pilares superiores y pilares inferiores de la estructura.

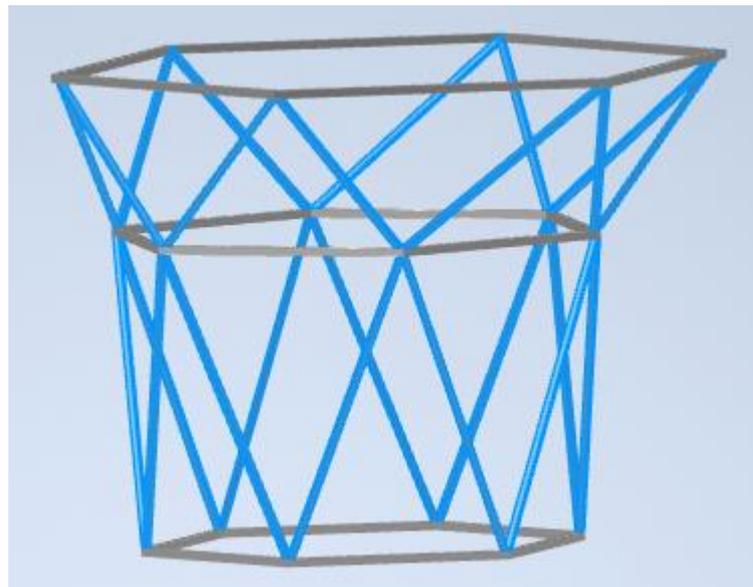


Figura 22: Perfiles 60 x 60 x 2,5 en la estructura



3.2.6. HIPÓTESIS DE CARGAS

Para plantear las hipótesis de cargas del cálculo estructural se consulta la norma UNE-EN 12572-2 extrayendo de la misma dos combinaciones de acciones a aplicar:

- **Estado límite último**

Las cargas para tener en cuenta para el cálculo del ELU constan de

Cargas permanentes + Cargas variables.

- **Estabilidad e integridad estructural**

Las cargas para tener en cuenta para el cálculo del ELU constan de

Cargas permanentes + Cargas variables + Carga un escalador en el punto más desfavorable

Sin necesidad de realizar los cálculos de las dos hipótesis de cargas se tendrá únicamente en cuenta la hipótesis de Estabilidad e integridad estructural, ya que cuenta con las mismas cargas que el estado límite último más la carga indicada por normativa de 0,8 KN para simular la carga de un único escalador en el punto más desfavorable de la estructura

3.2.7. ESFUERZOS OBTENIDOS

Con el fin de mostrar los esfuerzos a los que está sometida la estructura se obtiene el análisis de estructural que genera Inventor para visualizar los resultados obtenidos.

De toda esta información los datos más relevantes son los de las tensiones generadas en la estructura y las deformaciones obtenidas. Con el valor de las tensiones se determina si los perfiles obtenidos para el cálculo resisten los esfuerzos exigidos y con las deformaciones si la estructura tendrá un buen comportamiento para el uso que se le ha asignado.

Los resultados obtenidos en este cálculo son los referentes a la hipótesis de cargas más desfavorable, es decir en la que se aplica además de una carga distribuida referente a escaladores una carga puntual de un escalador en el punto más crítico.

- **Análisis tensiones**

De las gráficas de Esfuerzos máximos y de la de Esfuerzos mínimos se extraen los dos valores absolutos máximas para realizar la comprobación con el más grande de los dos. Los valores obtenidos son los siguientes:

- S Max=48,16 MPa
- S min=60,21 MPa



Por lo tanto, se toma el valor de la S_{min} para comparar que es menor que el límite elástico del material. El límite elástico del acero escogido es de 275 MPa. Dividiendo este dato entre un factor de seguridad de 1.05 obtenemos el valor de cálculo del límite elástico de 262 MPa.

De esta forma $60,21\text{MPa} < 262\text{MPa}$ queda comprobada la resistencia del material empleado.

○ **Análisis flecha**

De la representación de los desplazamientos obtenemos una flecha máxima de 2,709 mm en el centro de la barra sobre la que se aplica la carga puntual de un escalador. Analizando el valor máximo de flecha permitida para el perfil de estudio obtenemos una flecha Max de:

$$Flecha\ Max = \frac{l}{300} = \frac{3056\text{mm}}{300} = 10,18\text{ mm}$$

$$2,709\text{ mm} < 10,18\text{ mm}$$

Por lo tanto, al ser menor nuestra flecha que la obtenida se considera válida estructuralmente, además el valor obtenido de 2,709 mm se considera aceptable para realizar la función requerida ya que sería prácticamente inapreciable para un escalador.



Informe de análisis de la estructura



Tabla 10: Información general del análisis estructural

Archivo analizado:	Estructura metálica Rocódromo
Versión:	2021
Fecha de creación:	10/09/2023, 20:37
Autor de la simulación:	Usuario
Resumen:	

Información de proyecto (iProperties)

Proyecto

Tabla 11: información del diseño

Nº de pieza	Diseño y dimensionamiento de estructura metálica para rocódromo recreativo.
Diseñador	Pau Micó

Propiedades físicas

Tabla 12: Masa y centro de gravedad

Masa	572,448 kg
Centro de gravedad	x=-6,371 mm y=353,474 mm z=-103,509 mm

Simulación:1

Objetivo general y configuración:

Tabla 13: Tipo de simulación

Tipo de simulación	Análisis estático
Fecha de la última modificación	10/09/2023, 20:35



Material(es)

Tabla 14: Materiales

Nombre	Acero, S275JR	
General	Densidad de masa	7,850 g/cm ³
	Límite de elasticidad	275,000 MPa
	Resistencia máxima a tracción	410,000 MPa
Tensión	Módulo de Young	220,000 GPa
	Coefficiente de Poisson	0,275 su
Nombre(s) de pieza	DIN EN 10219-2 80 x 80 x 3 1692635346524.ipt DIN EN 10219-2 80 x 80 x 3 1692635346445.ipt DIN EN 10219-2 80 x 80 x 3 1692635346250.ipt DIN EN 10219-2 80 x 80 x 3 1692635346162.ipt DIN EN 10219-2 80 x 80 x 3 1692635345208.ipt DIN EN 10219-2 80 x 80 x 3 1692635301958.ipt DIN EN 10219-2 80 x 80 x 3 1692635302283.ipt DIN EN 10219-2 80 x 80 x 3 1692635302063.ipt DIN EN 10219-2 80 x 80 x 3 1692635296435.ipt DIN EN 10219-2 80 x 80 x 3 1692635302147.ipt DIN EN 10219-2 80 x 80 x 3 1692635302215.ipt DIN EN 10219-2 80 x 80 x 3 1692635269654.ipt DIN EN 10219-2 80 x 80 x 3 1692635269575.ipt DIN EN 10219-2 80 x 80 x 3 1692635267405.ipt DIN EN 10219-2 80 x 80 x 3 1692635269297.ipt DIN EN 10219-2 80 x 80 x 3 1692635269505.ipt DIN EN 10219-2 80 x 80 x 3 1692635269418.ipt DIN EN 10219-2 60 x 60 x 2,5 1694178845935.ipt DIN EN 10219-2 60 x 60 x 2,5 1694178846004.ipt DIN EN 10219-2 60 x 60 x 2,5 1694178846066.ipt DIN EN 10219-2 60 x 60 x 2,5 1694178846131.ipt DIN EN 10219-2 60 x 60 x 2,5 1694178845472.ipt DIN EN 10219-2 60 x 60 x 2,5 1694178845399.ipt DIN EN 10219-2 60 x 60 x 2,5 1694178845542.ipt DIN EN 10219-2 60 x 60 x 2,5 1694178845604.ipt DIN EN 10219-2 60 x 60 x 2,5 1694178845666.ipt DIN EN 10219-2 60 x 60 x 2,5 1694178845728.ipt DIN EN 10219-2 60 x 60 x 2,5 1694178845795.ipt DIN EN 10219-2 60 x 60 x 2,5 1694178845869.ipt DIN EN 10219-2 60 x 60 x 2,5 1694178797931.ipt DIN EN 10219-2 60 x 60 x 2,5 1694178797865.ipt DIN EN 10219-2 60 x 60 x 2,5 1694178797799.ipt DIN EN 10219-2 60 x 60 x 2,5 1694178797737.ipt DIN EN 10219-2 60 x 60 x 2,5 1694178797670.ipt DIN EN 10219-2 60 x 60 x 2,5 1694178797593.ipt DIN EN 10219-2 60 x 60 x 2,5 1694178797530.ipt	



DIN EN 10219-2 60 x 60 x 2,5 1694178797460.ipt
DIN EN 10219-2 60 x 60 x 2,5 1694178797395.ipt
DIN EN 10219-2 60 x 60 x 2,5 1694178797333.ipt
DIN EN 10219-2 60 x 60 x 2,5 1694178797267.ipt
DIN EN 10219-2 60 x 60 x 2,5 1694178797184.ipt

Tabla 15: Propiedades del acero S275JR

Nombre	Acero, S275JR	
General	Densidad de masa	7,850 g/cm ³
	Límite de elasticidad	275,000 MPa
	Resistencia máxima a tracción	410,000 MPa
Tensión	Módulo de Young	220,000 GPa
	Coefficiente de Poisson	0,275 su
Nombre(s) de pieza	DIN EN 10219-2 80 x 80 x 3 1692635346352.ipt	

Sección o secciones transversales

Tabla 16: Propiedades sección 80 x 80 x 3

Propiedades de geometría	Área de sección (a)	900,823 mm ²
	Anchura de sección	80,000 mm
	Altura de sección	80,000 mm
	Centroide de sección (x)	40,000 mm
	Centroide de sección (y)	40,000 mm
Propiedades mecánicas	Momento de inercia (I _x)	878425,649 mm ⁴
	Momento de inercia (I _y)	878425,649 mm ⁴
	Módulo de rigidez de torsión (J)	1400000,000 mm ⁴
	Módulo de sección (W _x)	21960,641 mm ³
	Módulo de sección (W _y)	21960,641 mm ³
	Módulo de sección de torsión (W _z)	33000,000 mm ³
	Área de esfuerzo cortante reducida (A _x)	408,887 mm ²



	Área de esfuerzo cortante reducida (A_v)	408,887 mm ²
Nombre(s) de pieza	DIN EN 10219-2 80 x 80 x 3 1692635346524.ipt DIN EN 10219-2 80 x 80 x 3 1692635346445.ipt DIN EN 10219-2 80 x 80 x 3 1692635346352.ipt DIN EN 10219-2 80 x 80 x 3 1692635346250.ipt DIN EN 10219-2 80 x 80 x 3 1692635346162.ipt DIN EN 10219-2 80 x 80 x 3 1692635345208.ipt DIN EN 10219-2 80 x 80 x 3 1692635301958.ipt DIN EN 10219-2 80 x 80 x 3 1692635302283.ipt DIN EN 10219-2 80 x 80 x 3 1692635302063.ipt DIN EN 10219-2 80 x 80 x 3 1692635296435.ipt DIN EN 10219-2 80 x 80 x 3 1692635302147.ipt DIN EN 10219-2 80 x 80 x 3 1692635302215.ipt DIN EN 10219-2 80 x 80 x 3 1692635269654.ipt DIN EN 10219-2 80 x 80 x 3 1692635269575.ipt DIN EN 10219-2 80 x 80 x 3 1692635267405.ipt DIN EN 10219-2 80 x 80 x 3 1692635269297.ipt DIN EN 10219-2 80 x 80 x 3 1692635269505.ipt DIN EN 10219-2 80 x 80 x 3 1692635269418.ipt	

Tabla 17: Propiedades sección 60 x 60 x 2,5

Propiedades de geometría	Área de sección (a)	558,905 mm ²
	Anchura de sección	60,000 mm
	Altura de sección	60,000 mm
	Centroide de sección (x)	30,000 mm
	Centroide de sección (y)	30,000 mm
Propiedades mecánicas	Momento de inercia (I_x)	303421,566 mm ⁴
	Momento de inercia (I_y)	303421,566 mm ⁴
	Módulo de rigidez de torsión (J)	487000,000 mm ⁴
	Módulo de sección (W_x)	10114,052 mm ³
	Módulo de sección (W_y)	10114,052 mm ³
	Módulo de sección de torsión (W_z)	15200,000 mm ³
	Área de esfuerzo cortante reducida (A_x)	254,315 mm ²
	Área de esfuerzo cortante reducida (A_v)	254,315 mm ²



Nombre(s) de pieza	DIN EN 10219-2 60 x 60 x 2,5 1694178845935.ipt DIN EN 10219-2 60 x 60 x 2,5 1694178846004.ipt DIN EN 10219-2 60 x 60 x 2,5 1694178846066.ipt DIN EN 10219-2 60 x 60 x 2,5 1694178846131.ipt DIN EN 10219-2 60 x 60 x 2,5 1694178845472.ipt DIN EN 10219-2 60 x 60 x 2,5 1694178845399.ipt DIN EN 10219-2 60 x 60 x 2,5 1694178845542.ipt DIN EN 10219-2 60 x 60 x 2,5 1694178845604.ipt DIN EN 10219-2 60 x 60 x 2,5 1694178845666.ipt DIN EN 10219-2 60 x 60 x 2,5 1694178845728.ipt DIN EN 10219-2 60 x 60 x 2,5 1694178845795.ipt DIN EN 10219-2 60 x 60 x 2,5 1694178845869.ipt DIN EN 10219-2 60 x 60 x 2,5 1694178797931.ipt DIN EN 10219-2 60 x 60 x 2,5 1694178797865.ipt DIN EN 10219-2 60 x 60 x 2,5 1694178797799.ipt DIN EN 10219-2 60 x 60 x 2,5 1694178797737.ipt DIN EN 10219-2 60 x 60 x 2,5 1694178797670.ipt DIN EN 10219-2 60 x 60 x 2,5 1694178797593.ipt DIN EN 10219-2 60 x 60 x 2,5 1694178797530.ipt DIN EN 10219-2 60 x 60 x 2,5 1694178797460.ipt DIN EN 10219-2 60 x 60 x 2,5 1694178797395.ipt DIN EN 10219-2 60 x 60 x 2,5 1694178797333.ipt DIN EN 10219-2 60 x 60 x 2,5 1694178797267.ipt DIN EN 10219-2 60 x 60 x 2,5 1694178797184.ipt
--------------------	--

Restricción personalizada:1

Tabla 18: Restricción personalizada 1

Tipo de restricción	Personalizado
α - Rotación sobre el eje Z	0,00 gr
β - Rotación sobre el eje Y	0,00 gr
γ - Rotación sobre el eje X	0,00 gr
Desfase	0,000 mm
Desplazamiento	
Eje X	fijo 0,000 N/mm
Eje Y	fijo 0,000 N/mm
Eje Z	fijo 0,000 N/mm
Rotación	
Eje X	fijo 0,000 N mm/gr

Eje Y	fijo	0,000 N mm/gr
Eje Z	fijo	0,000 N mm/gr

Referencias seleccionadas

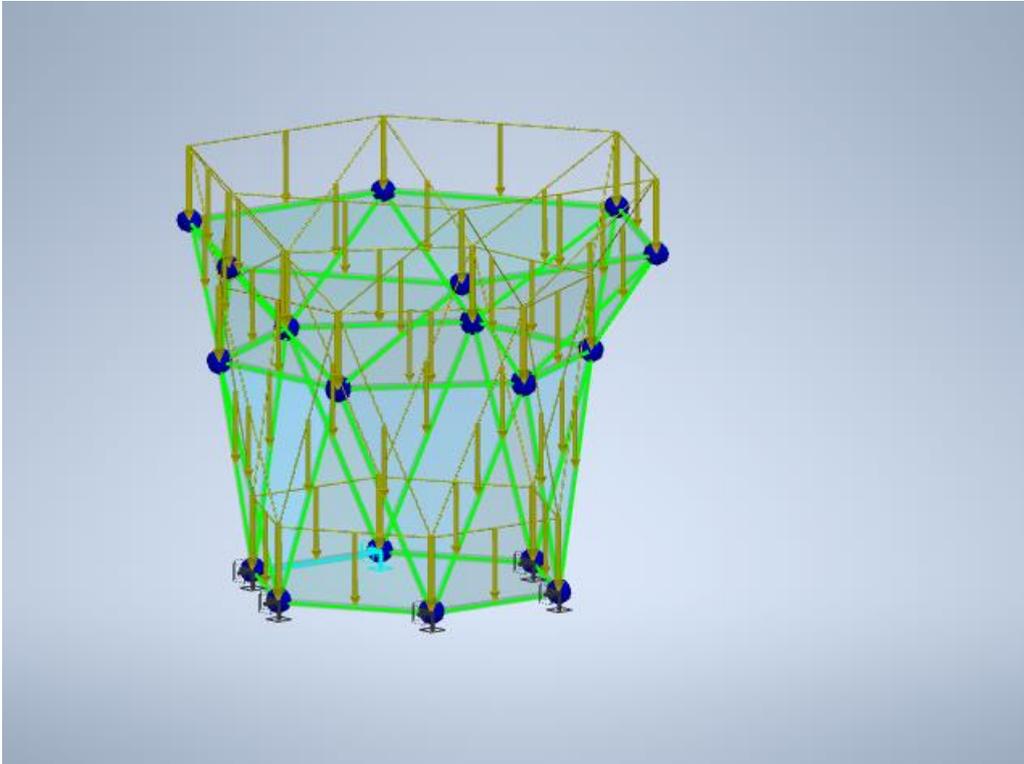


Figura 23: Restricción personalizada 1

Restricción personalizada:2

Tabla 19: Restricción personalizada 2

Tipo de restricción	Personalizado
α - Rotación sobre el eje Z	0,00 gr
β - Rotación sobre el eje Y	0,00 gr
γ - Rotación sobre el eje X	0,00 gr
Desfase	0,000 mm
Desplazamiento	
Eje X	fijo 0,000 N/mm
Eje Y	fijo 0,000 N/mm

Eje Z	fijo	0,000 N/mm
Rotación		
Eje X	fijo	0,000 N mm/gr
Eje Y	fijo	0,000 N mm/gr
Eje Z	fijo	0,000 N mm/gr

Referencias seleccionadas

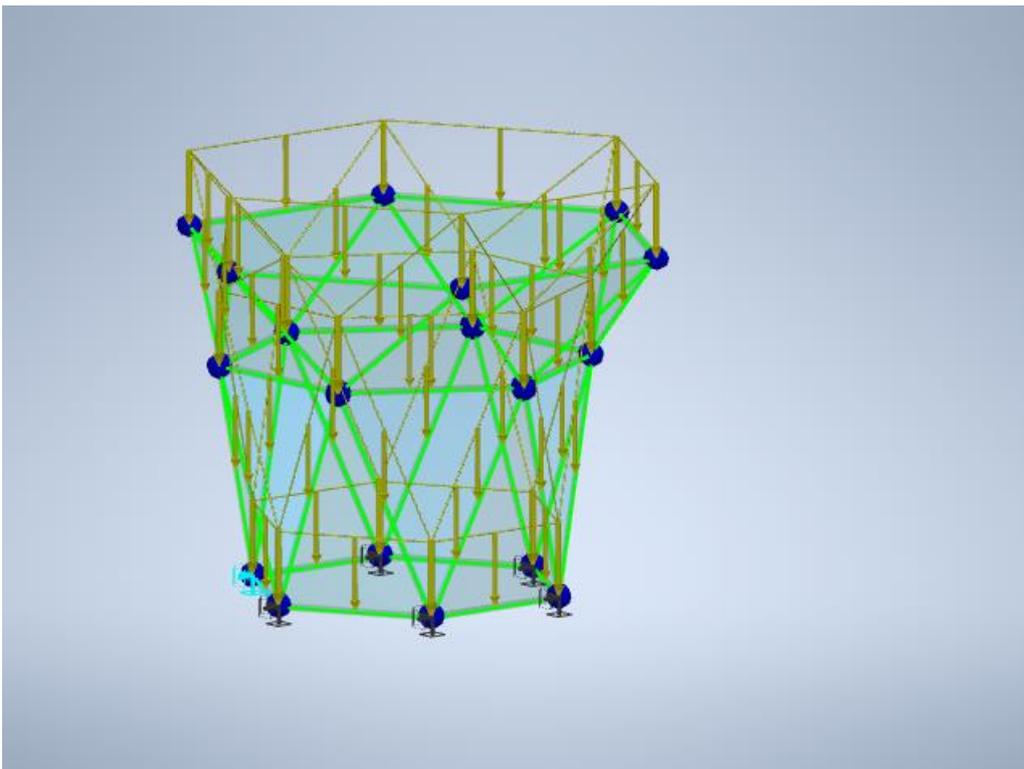


Figura 24: Restricción personalizada 2

Restricción personalizada:6

Tabla 20: Restricción personalizada 6

Tipo de restricción	Personalizado
α - Rotación sobre el eje Z	0,00 gr
β - Rotación sobre el eje Y	0,00 gr
γ - Rotación sobre el eje X	0,00 gr
Desfase	0,000 mm

Desplazamiento	
Eje X	fijo 0,000 N/mm
Eje Y	fijo 0,000 N/mm
Eje Z	fijo 0,000 N/mm
Rotación	
Eje X	fijo 0,000 N mm/gr
Eje Y	fijo 0,000 N mm/gr
Eje Z	fijo 0,000 N mm/gr

Referencia o referencias seleccionadas

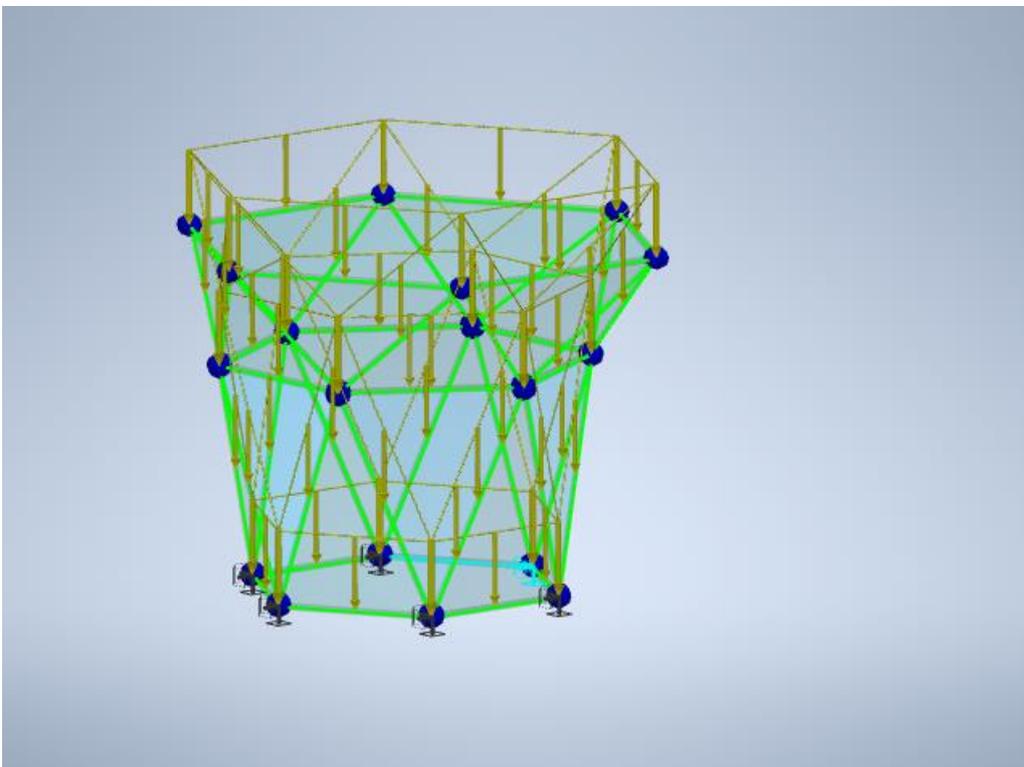


Figura 25: Restricción personalizada 6

Restricción personalizada:3

Tabla 21: Restricción personalizada 3

Tipo de restricción	Personalizado
α - Rotación sobre el eje Z	0,00 gr
β - Rotación sobre el eje Y	0,00 gr
γ - Rotación sobre el eje X	0,00 gr
Desfase	1987,086 mm
Desplazamiento	
Eje X	fijo 0,000 N/mm
Eje Y	fijo 0,000 N/mm
Eje Z	fijo 0,000 N/mm
Rotación	
Eje X	fijo 0,000 N mm/gr
Eje Y	fijo 0,000 N mm/gr
Eje Z	fijo 0,000 N mm/gr

Referencia o referencias seleccionadas

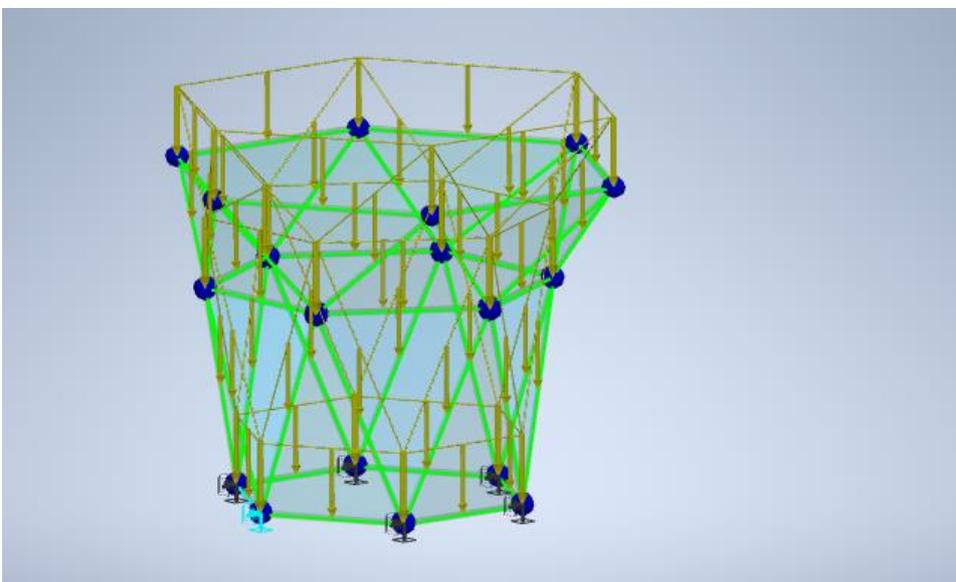


Figura 26: Restricción personalizada 3

Restricción personalizada:4

Tabla 22: Restricción personalizada 4

Tipo de restricción	Personalizado
α - Rotación sobre el eje Z	0,00 gr
β - Rotación sobre el eje Y	0,00 gr
γ - Rotación sobre el eje X	0,00 gr
Desfase	1987,086 mm
Desplazamiento	
Eje X	fijo 0,000 N/mm
Eje Y	fijo 0,000 N/mm
Eje Z	fijo 0,000 N/mm
Rotación	
Eje X	fijo 0,000 N mm/gr
Eje Y	fijo 0,000 N mm/gr
Eje Z	fijo 0,000 N mm/gr

Referencia o referencias seleccionadas

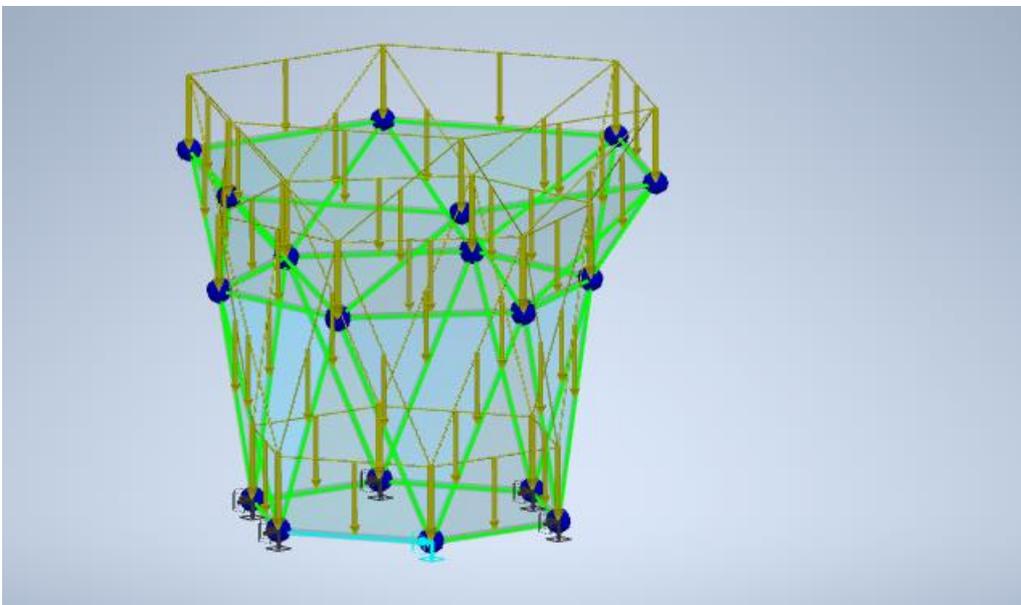


Figura 27: Restricción personalizada 4

Restricción personalizada:5

Tabla 23: Restricción personalizada 5

Tipo de restricción	Personalizado
α - Rotación sobre el eje Z	0,00 gr
β - Rotación sobre el eje Y	0,00 gr
γ - Rotación sobre el eje X	0,00 gr
Desfase	1987,086 mm
Desplazamiento	
Eje X	fijo 0,000 N/mm
Eje Y	fijo 0,000 N/mm
Eje Z	fijo 0,000 N/mm
Rotación	
Eje X	fijo 0,000 N mm/gr
Eje Y	fijo 0,000 N mm/gr
Eje Z	fijo 0,000 N mm/gr

Referencia o referencias seleccionadas

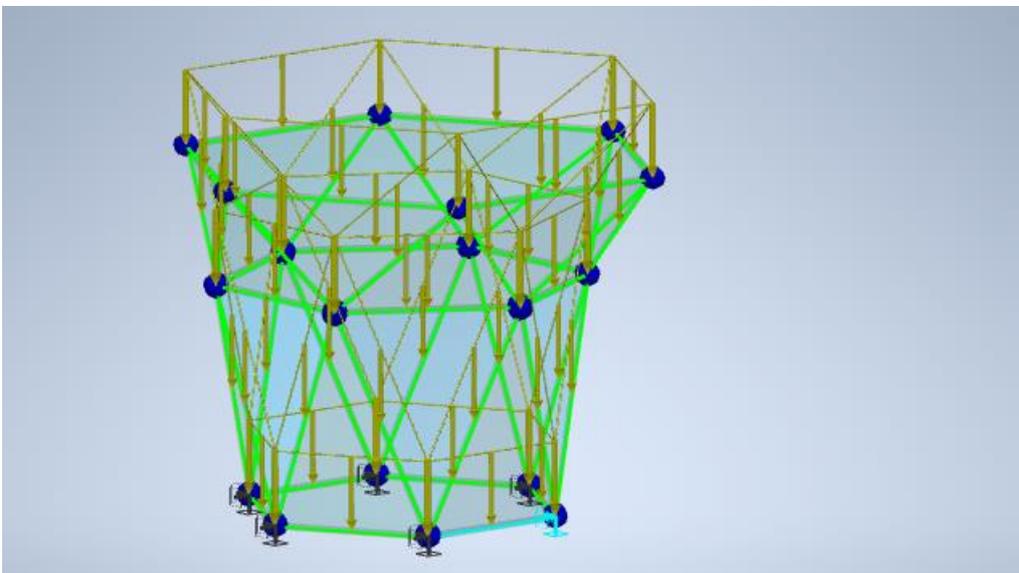


Figura 28: Restricción personalizada 5



Resultados

Resumen de resultados estáticos

Tabla 24: Resumen de resultados estáticos

Nombre		Mínimo	Máximo
Desplazamiento		0,000 mm	2,706 mm
Fuerzas	Fx	-12107,523 N	13728,920 N
	Fy	-3753,696 N	3767,671 N
	Fz	-2402,879 N	6095,040 N
Momentos	Mx	-107487,592 N mm	172354,569 N mm
	My	-382730,682 N mm	682611,051 N mm
	Mz	-109344,600 N mm	109391,580 N mm
Tensiones normales	Smax	-9,090 MPa	48,155 MPa
	Smin	-60,208 MPa	1,747 MPa
	Smax(Mx)	-0,000 MPa	17,041 MPa
	Smin(Mx)	-17,041 MPa	0,000 MPa
	Smax(My)	0,000 MPa	37,841 MPa
	Smin(My)	-37,841 MPa	-0,000 MPa
	Saxial	-10,905 MPa	2,667 MPa
Tensión de corte	Tx	-33,576 MPa	29,611 MPa
	Ty	-14,815 MPa	14,760 MPa
Tensiones de torsión	T	-3,318 MPa	3,315 MPa

Figuras

Desplazamiento

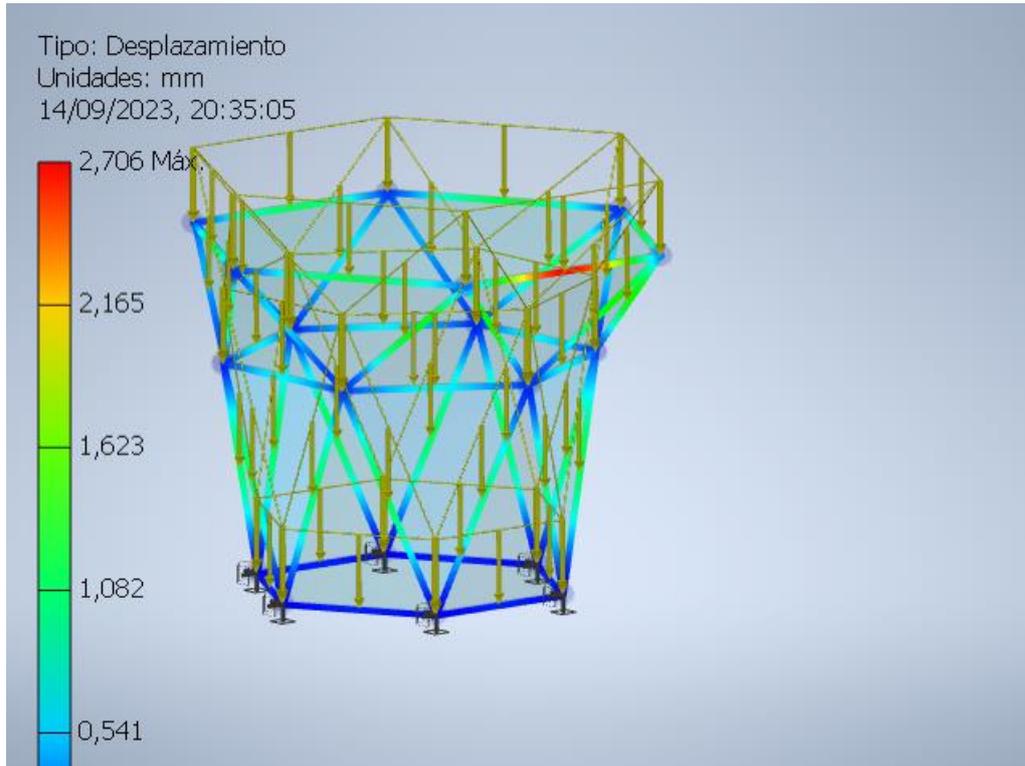


Figura 29: Desplazamientos

Fx

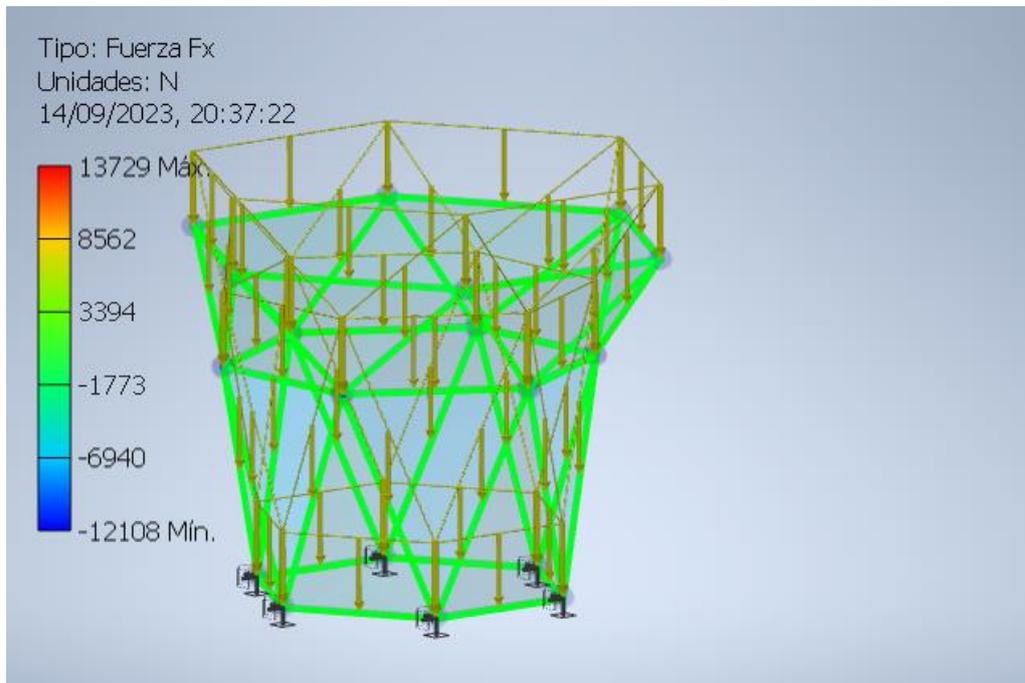


Figura 30: Fx

Fy

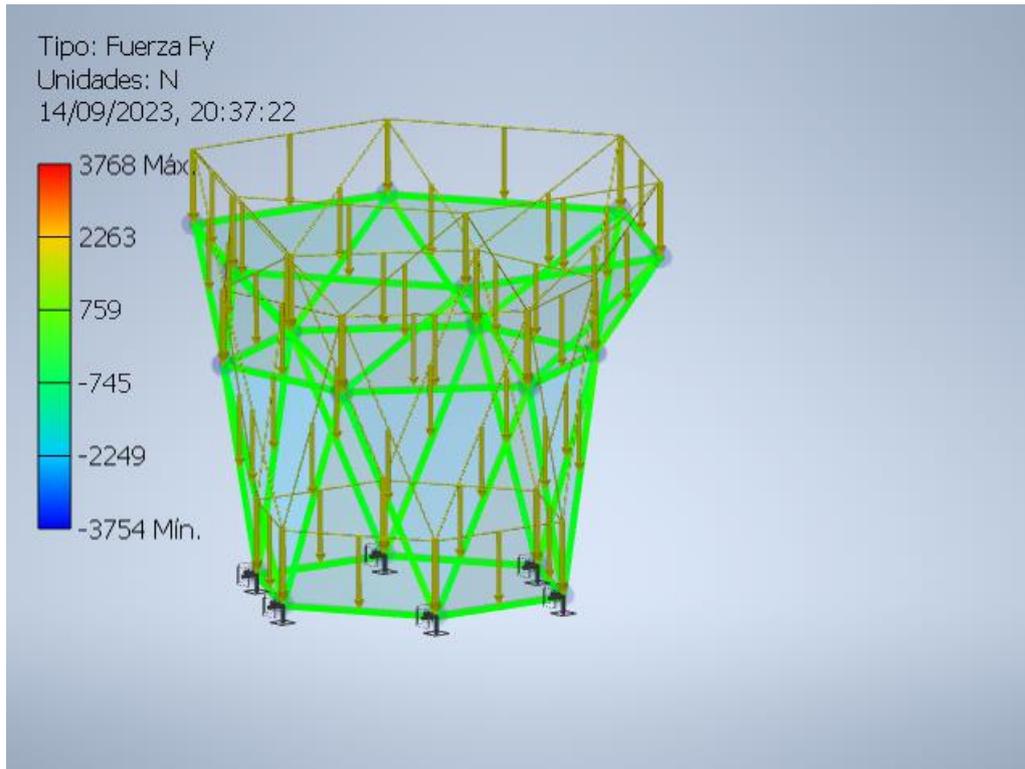


Figura 31: Fy

Fz

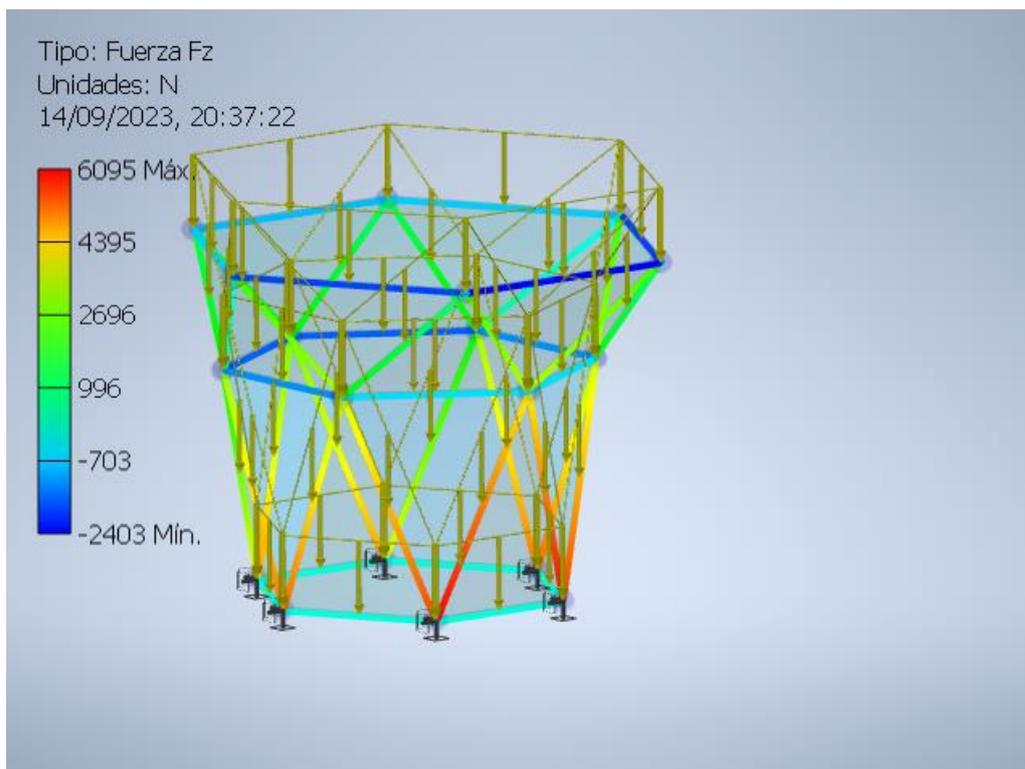


Figura 32: Fz

Mx

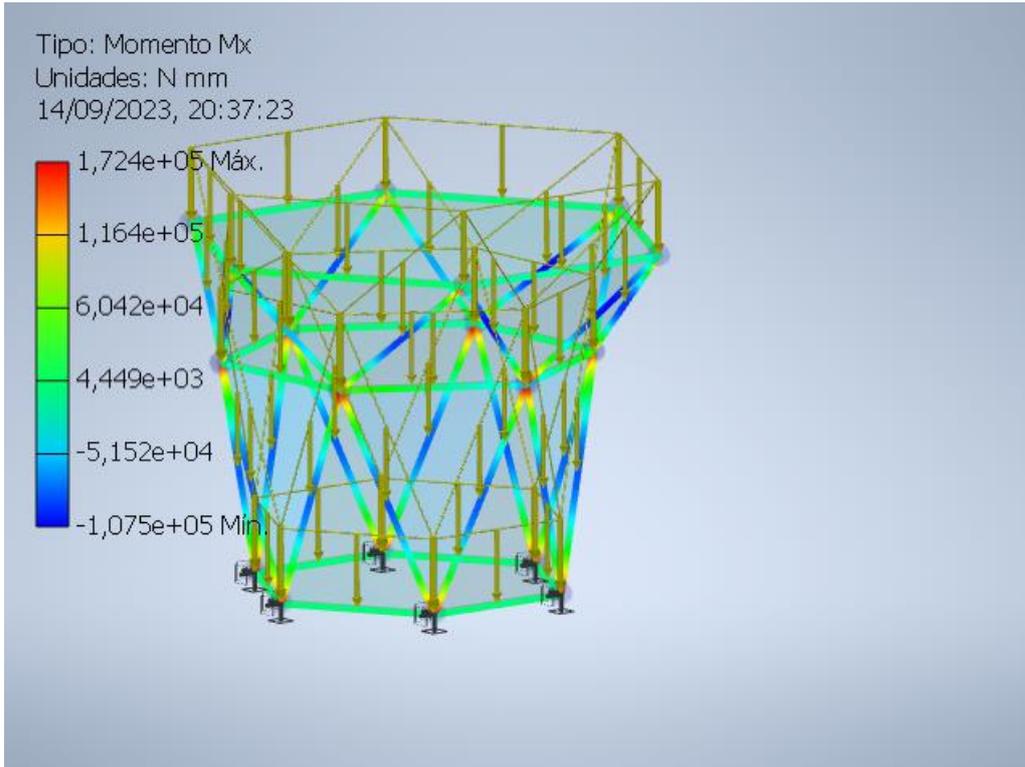


Figura 33: Mx

My

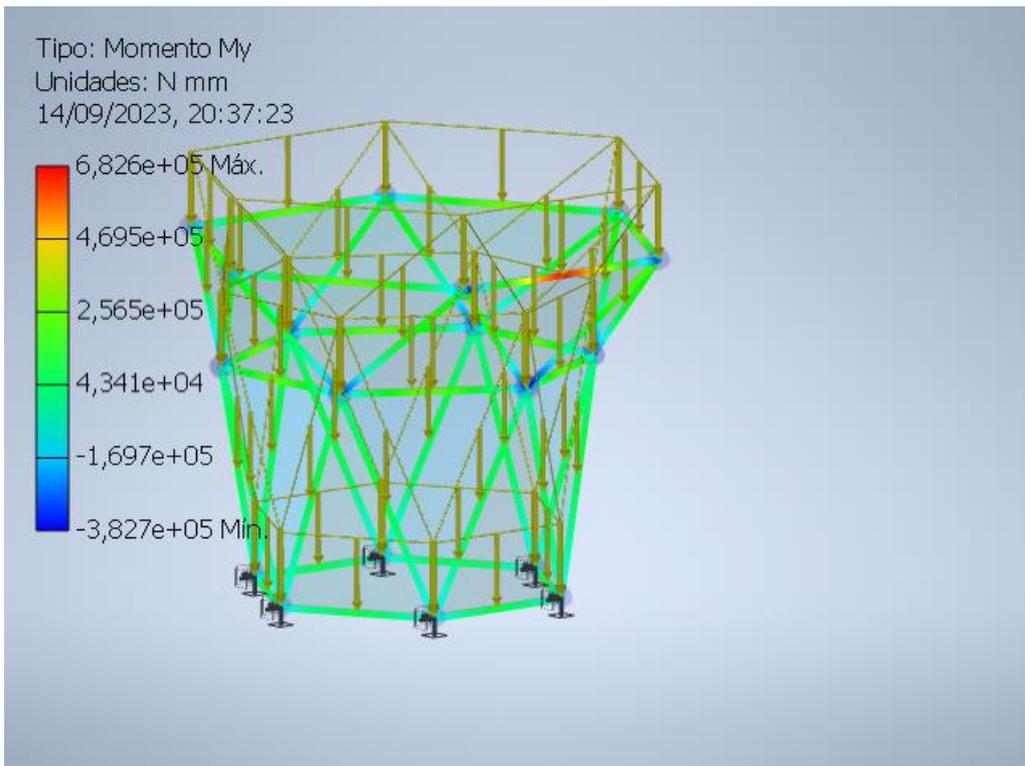


Figura 34: My

Mz

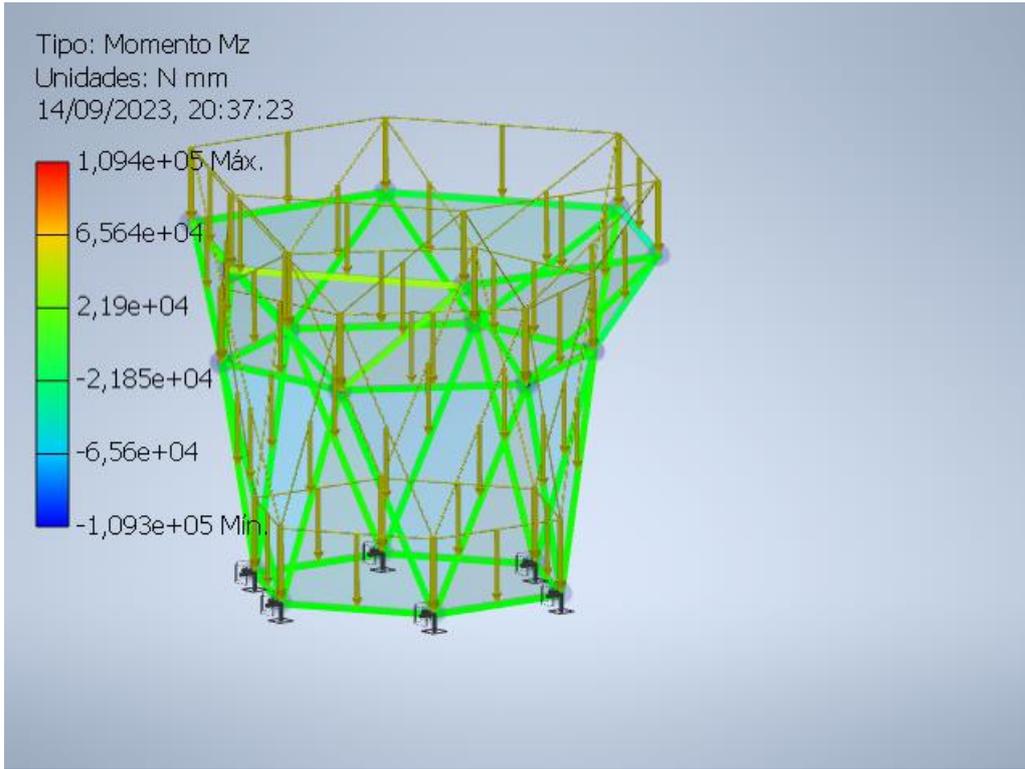


Figura 35: Mz

Smax

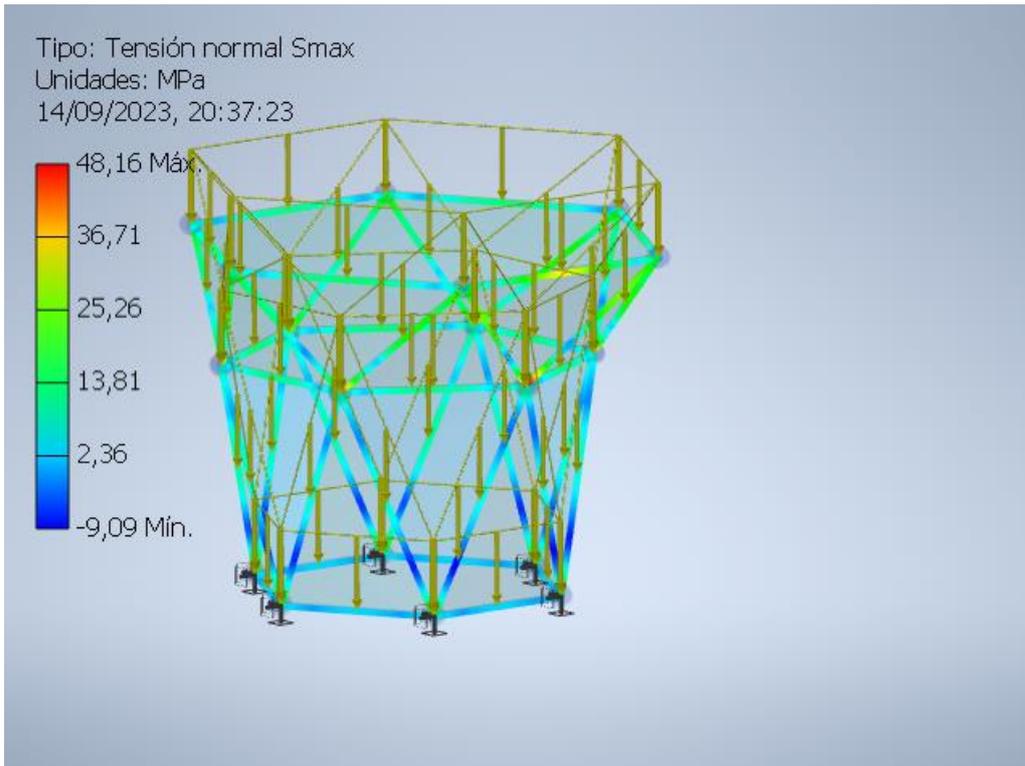


Figura 36: Smax

Smin

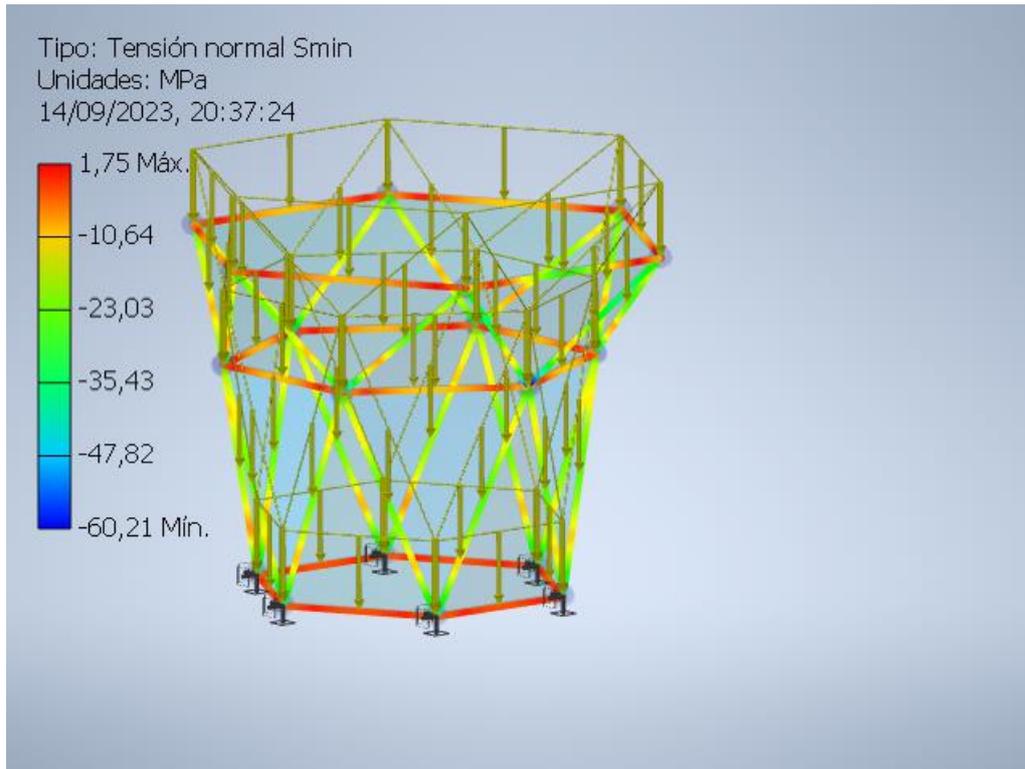


Figura 37: Smin

Smax(Mx)

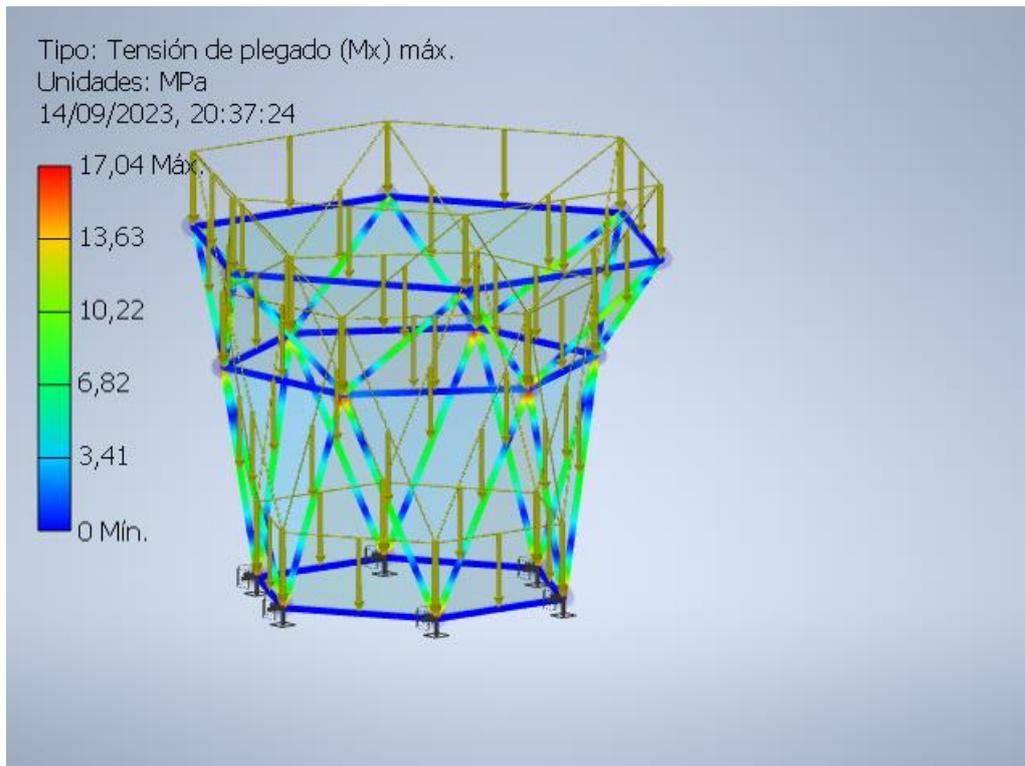


Figura 38: Smax (Mx)

Smin(Mx)

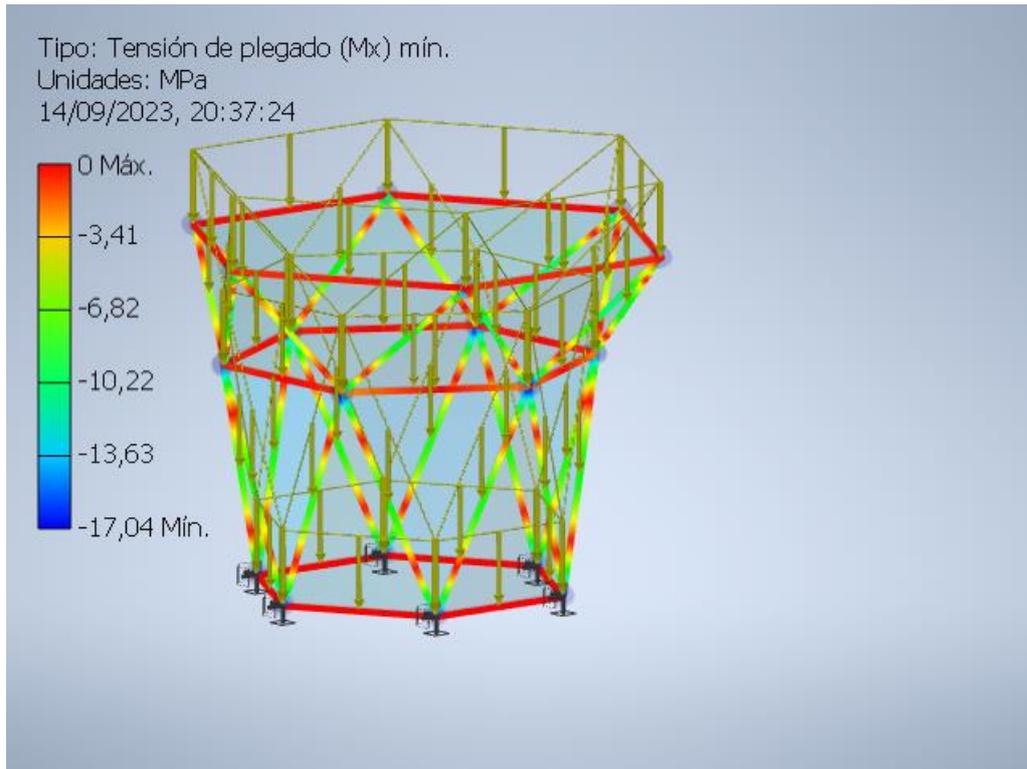


Figura 39: Smin (Mx)

Smax(My)

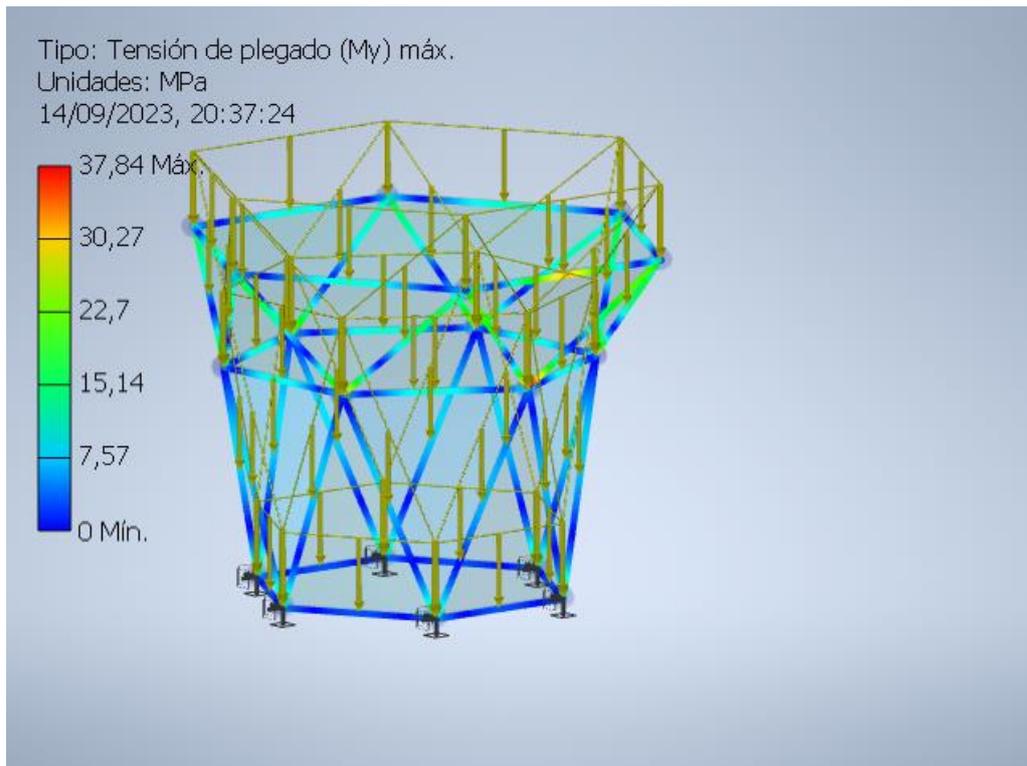


Figura 40: Smax (My)

Smin(My)

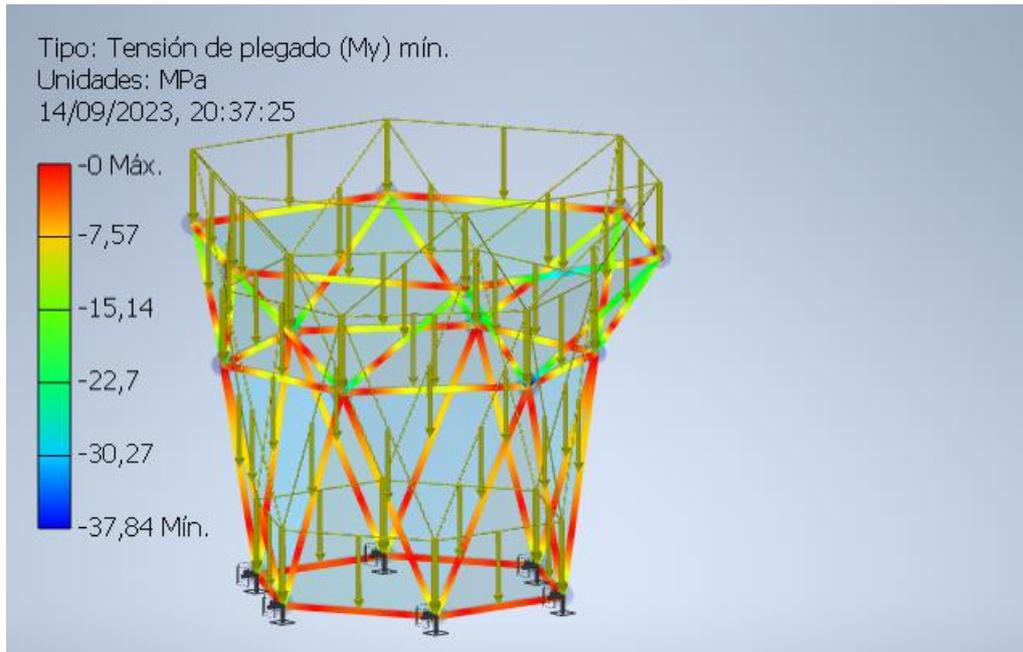


Figura 41: Smin (My)

Saxial

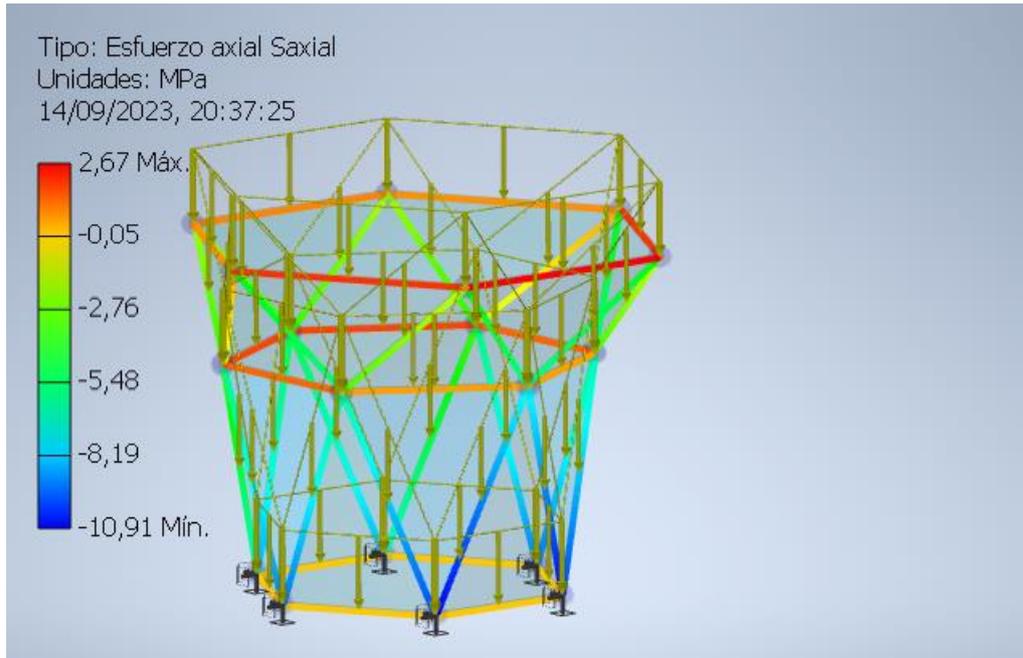


Figura 42: Saxial

Tx

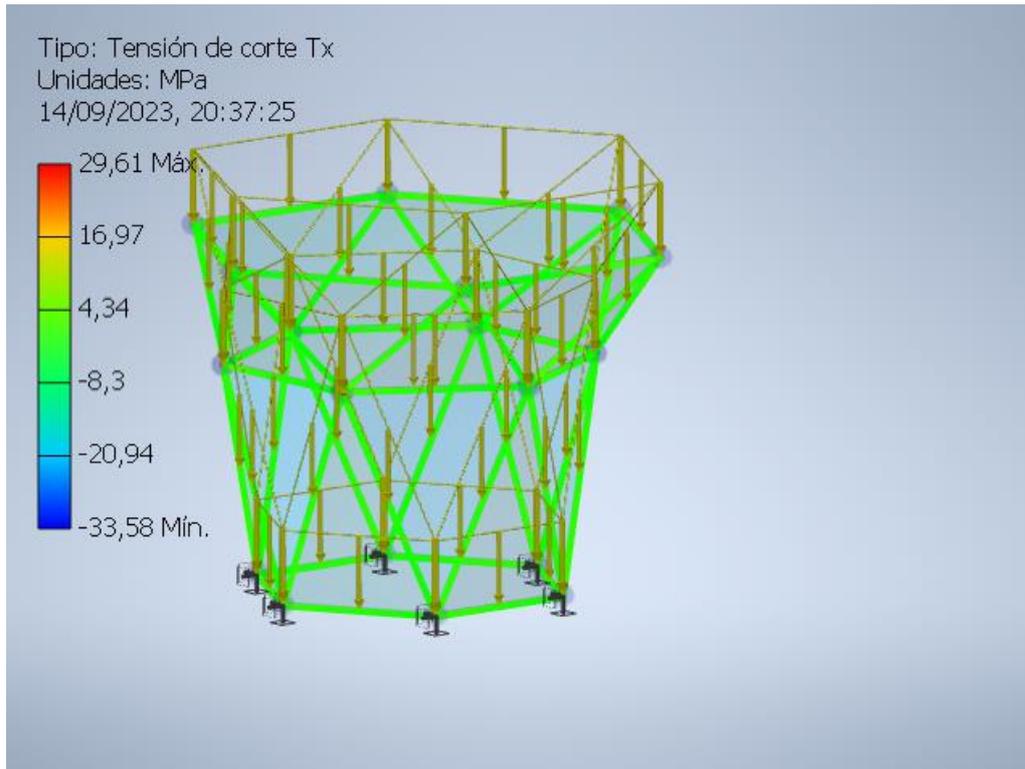


Figura 43: Tx

Ty

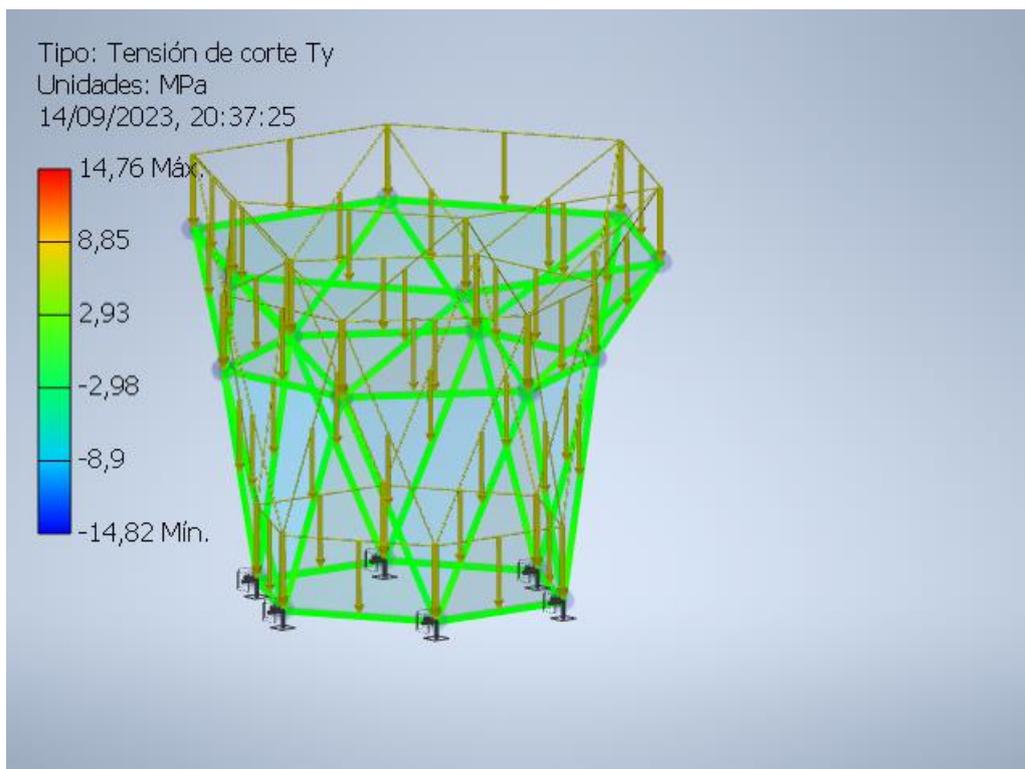


Figura 44: Ty

T

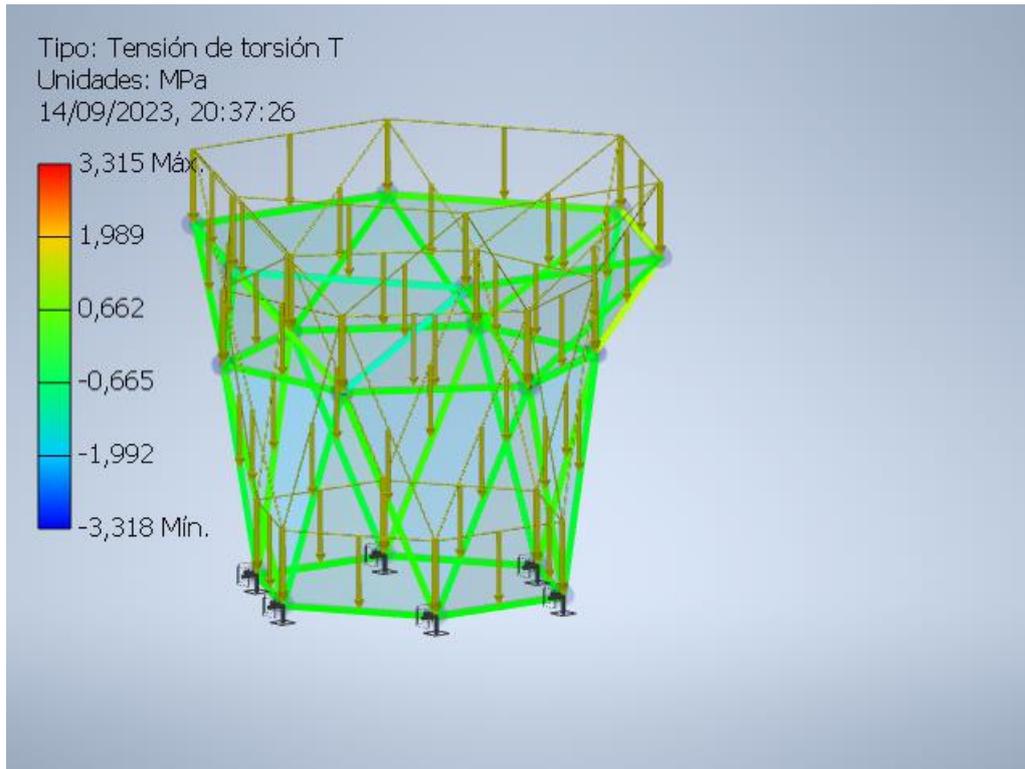


Figura 45: T



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Rocódromo	4
Figura 2: Estructura rocódromo.....	4
Figura 3: Grupo hexágono inferior.....	5
Figura 4: Grupo pilares inferiores	5
Figura 5: Grupo hexágono intermedio.....	6
Figura 6: Grupo pilares superiores	6
Figura 7: Grupo hexágono superior	7
Figura 8: Aplicación de carga de la gravedad	14
Figura 9: Aplicación de cargas al hexágono inferior.....	15
Figura 10: Aplicación de cargas a pilares inferiores	15
Figura 11: Aplicación de cargas al hexágono intermedio.....	15
Figura 12: Aplicación de cargas para cada zona superior.....	16
Figura 13: Distancia carga desfavorable (Vuelco)	18
Figura 14: Distancia contrapeso (Vuelco)	19
Figura 15: Medidas chapa 140 x 140 x 5.....	21
Figura 16: Medidas chapa 160 x 160 x 5.....	21
Figura 17: Distancia de separación de tornillos	22
Figura 18: Momentos en z (uniones).....	22
Figura 19: Momentos en y (uniones).....	23
Figura 20: Propiedades del acero	25
Figura 21: Perfiles 80 x 80 x 3 en la estructura	26
Figura 22: Perfiles 60 x 60 x 2,5 en la estructura	26
Figura 23: Restricción personalizada 1	34
Figura 24: Restricción personalizada 2	35
Figura 25: Restricción personalizada 6	36
Figura 26: Restricción personalizada 3	37
Figura 27: Restricción personalizada 4	38
Figura 28: Restricción personalizada 5	39
Figura 29: Desplazamientos.....	41
Figura 30: F_x	41
Figura 31: F_y	42
Figura 32: F_z	42
Figura 33: M_x	43
Figura 34: M_y	43
Figura 35: M_z	44
Figura 36: S_{max}	44
Figura 37: S_{min}	45
Figura 38: $S_{max} (M_x)$	45
Figura 39: $S_{min} (M_x)$	46
Figura 40: $S_{max} (M_y)$	46
Figura 41: $S_{min} (M_y)$	47
Figura 42: S_{axial}	47
Figura 43: T_x	48
Figura 44: T_y	48

Figura 45: T.....49

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Carga paneles de madera	8
Tabla 2: Valor de cálculo tableros de madera	9
Tabla 3: Cargas presas de escalada	10
Tabla 4: Valor de cálculo presas de escalada	11
Tabla 5: Carga escalador por zona	12
Tabla 6: Valor de cálculo para escaladores	12
Tabla 7: Carga de sustitución	13
Tabla 8: Carga de escaladores (Normativa UNE-EN 12572-2)	17
Tabla 9: Cargas desfavorables para el vuelco	19
Tabla 10: Información general del análisis estructural.....	29
Tabla 11: información del diseño.....	29
Tabla 12: Masa y centro de gravedad	29
Tabla 13: Tipo de simulación	29
Tabla 14: Materiales	30
Tabla 15: Propiedades del acero S275JR.....	31
Tabla 16: Propiedades sección 80 x 80 x 3.....	31
Tabla 17: Propiedades sección 60 x 60 x 2,5.....	32
Tabla 18: Restricción personalizada 1	33
Tabla 19: Restricción personalizada 2	34
Tabla 20: Restricción personalizada 6	35
Tabla 21: Restricción personalizada 3	37
Tabla 22: Restricción personalizada 4	38
Tabla 23: Restricción personalizada 5	39
Tabla 24: Resumen de resultados estáticos	40



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



TRABAJO FINAL DE GRADO:

**DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DE ESTRUCTURA
METÁLICA PARA ROCÓDROMO RECREATIVO**

DOCUMENTO 1: MEMORIA Y ANEJOS

AUTOR: PAU MICÓ GANDIA

TUTOR/A: TERESA PILAR REAL HERRAIZ

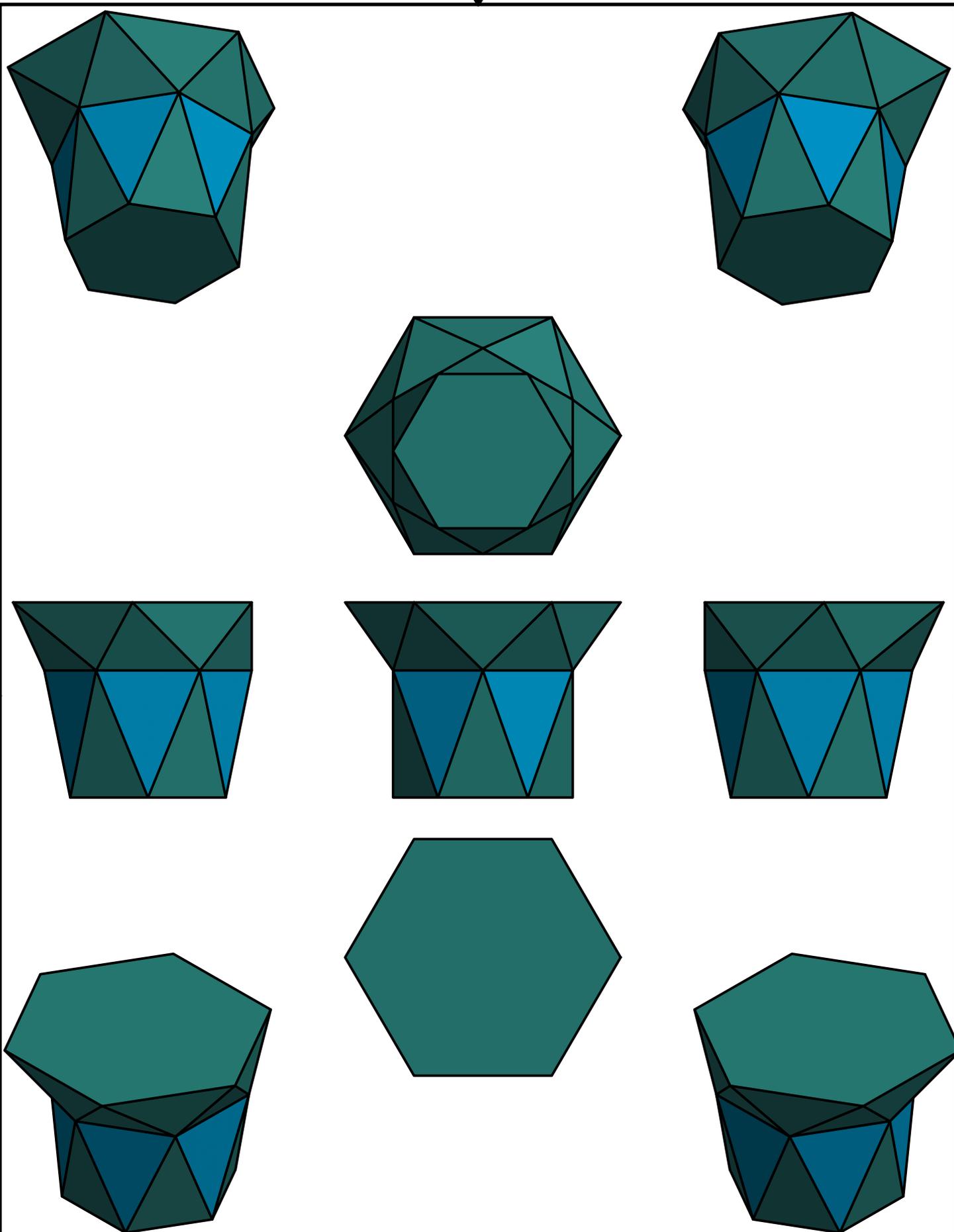


ÍNDICE

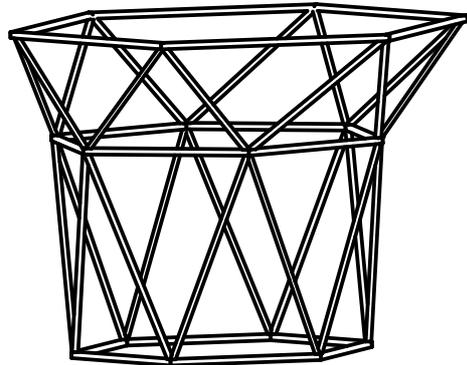
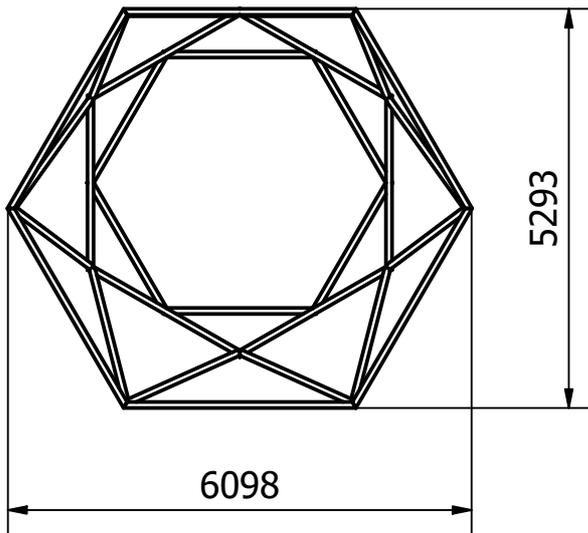
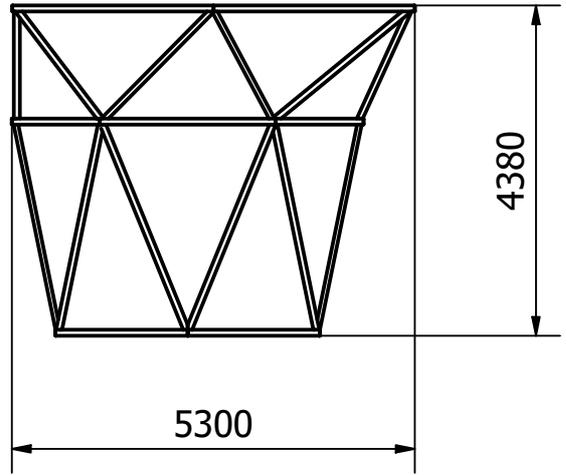
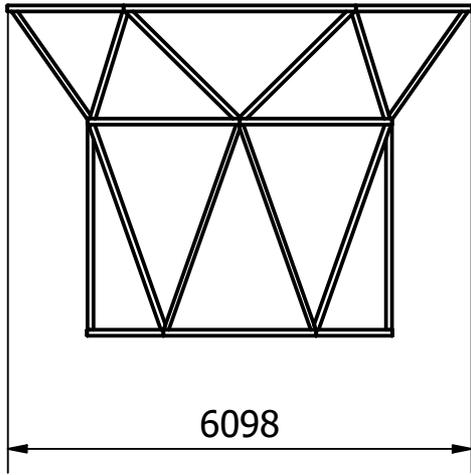
DOCUMENTO Nº2: PLANOS

Contenido

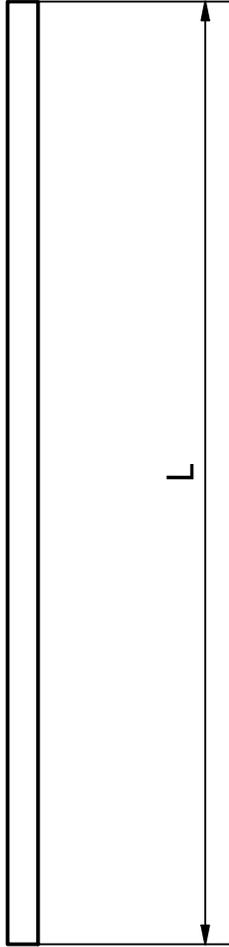
1.	VISTAS ESTÉTICAS ROCÓDROMO	2
2.	DIMENSIONES GENERALES DE LA ESTRUCTURA.....	3
3.	PLANO PERFILES DE GRUPOS HEXAGONALES.....	4
4.	PLANO 1 GRUPO PILARES INFERIORES Y PILARES SUPERIORES	5
5.	PLANO 2 GRUPO PILARES INFERIORES Y PILARES SUPERIORES	6
6.	CHAPA UNIÓN PERFILES 60 X 60 X 2,5.....	7
7.	CHAPA UNIÓN PERFILES 80 X 80 X 3.....	8



Diseño de Pau Micó Gandia	<i>Pau</i>	Fecha 13/09/2023	
Universitat Politècnica de València	VISTAS ESTÉTICAS ROCÓDROMO		
	Planos TFG	Escala 1:110	Hoja 2



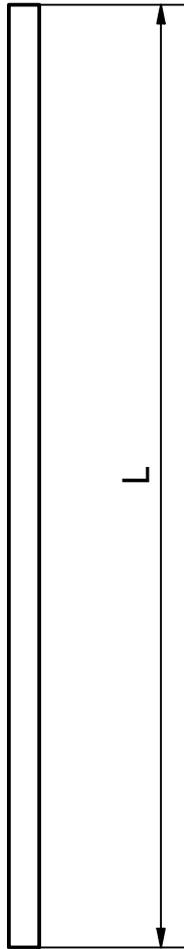
Diseño de Pau Micó Gandia		Fecha 13/09/2023	
Universitat Politècnica de València		DIMENSIONES GENERALES DE LA ESTRUCTURA	
		Planos TFG	<table border="1"> <tr> <td>Escala 1:100</td> <td>Hoja 3</td> </tr> </table>
Escala 1:100	Hoja 3		



LISTA DE PIEZAS		
Nº DE PIEZA		
DIN EN 10219-2 - 80 x 80 x 3 S275JR		
TABLA		
Columna 2	Cantidad	Longitud L (mm)
Grupo Hexágono Inferior	6	2009
Grupo Hexágono Intermedio	6	2313
Grupo Hexágono Superior	6	3056

Todos los perfiles van cortados a una distancia de 100 mm de los dos extremos del mismo. Quedando la parte central como Perfil de unión entre nudos y las secciones de extremo de 100 mm se usan para la construcción de los nudos.

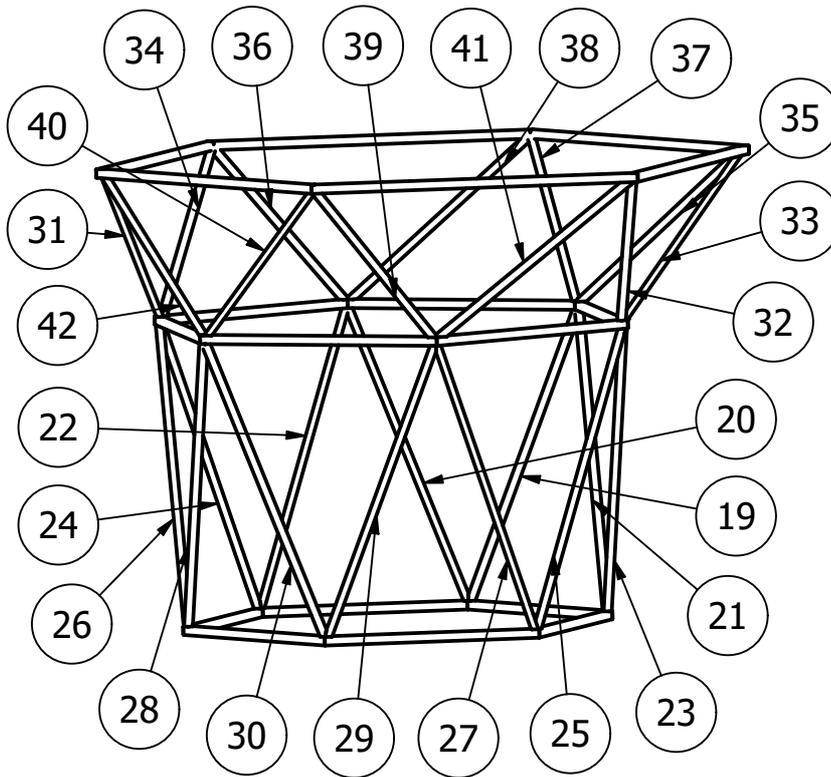
Diseño de Pau Micó Gandia		Fecha 13/09/2023	
Universitat Politècnica de València	PLANO PERFILES DE GRUPOS HEXAGONALES		
	Planos TFG	<table border="1"> <tr> <td>Escala NINGUNA</td> <td>Hoja 4</td> </tr> </table>	Escala NINGUNA
Escala NINGUNA	Hoja 4		



LISTA DE PIEZAS	
ELEMENTO	LONGITUD L
19	2956 mm
20	2956 mm
21	2956 mm
22	2956 mm
23	2956 mm
24	2956 mm
25	2956 mm
26	2956 mm
27	2956 mm
28	2956 mm
29	2956 mm
30	2956 mm
31	2112 mm
32	2214 mm
33	2214 mm
34	2112 mm
35	2394 mm
36	1921 mm
37	1984 mm
38	2341 mm
39	1986 mm
40	2341 mm
41	2379 mm
42	1921 mm

<p>Todos los perfiles van cortados a una distancia de 100 mm de los dos extremos del mismo. Quedando la parte central como Perfil de unión entre nudos y las secciones de extremo de 100 mm se usan para la construcción de los nudos.</p>	
TABLA	
Material	Perfil Estandarizado
Acero S275 JR	DIN EN 10219-2- 60 x 60 x 2,5

Diseño de Pau Micó Gandia			Fecha 13/09/2023	
Universitat Politècnica de València		PLANO 1 GRUPOS PILARES INFERIORES Y PILARES SUPERIORES		
		Planos TFG		Escala NINGUNA Hoja 5



LISTA DE PIEZAS	
ELEMENTO	Unidades
19	1
20	1
21	1
22	1
23	1
24	1
25	1
26	1
27	1
28	1
29	1
30	1
31	1
32	1
33	1
34	1
35	1
36	1
37	1
38	1
39	1
40	1
41	1
42	1

TABLA	
Material	Perfil Estandarizado
Acero S275 JR	DIN EN 10219-2- 60 x 60 x 2,5

Diseño de Pau Micó Gandia		Fecha 13/09/2023
Universitat Politècnica de València	PLANO 2 GRUPOS PILARES INFERIORES Y PILARES SUPERIORES	
	Planos TFG	Escala Hoja 6

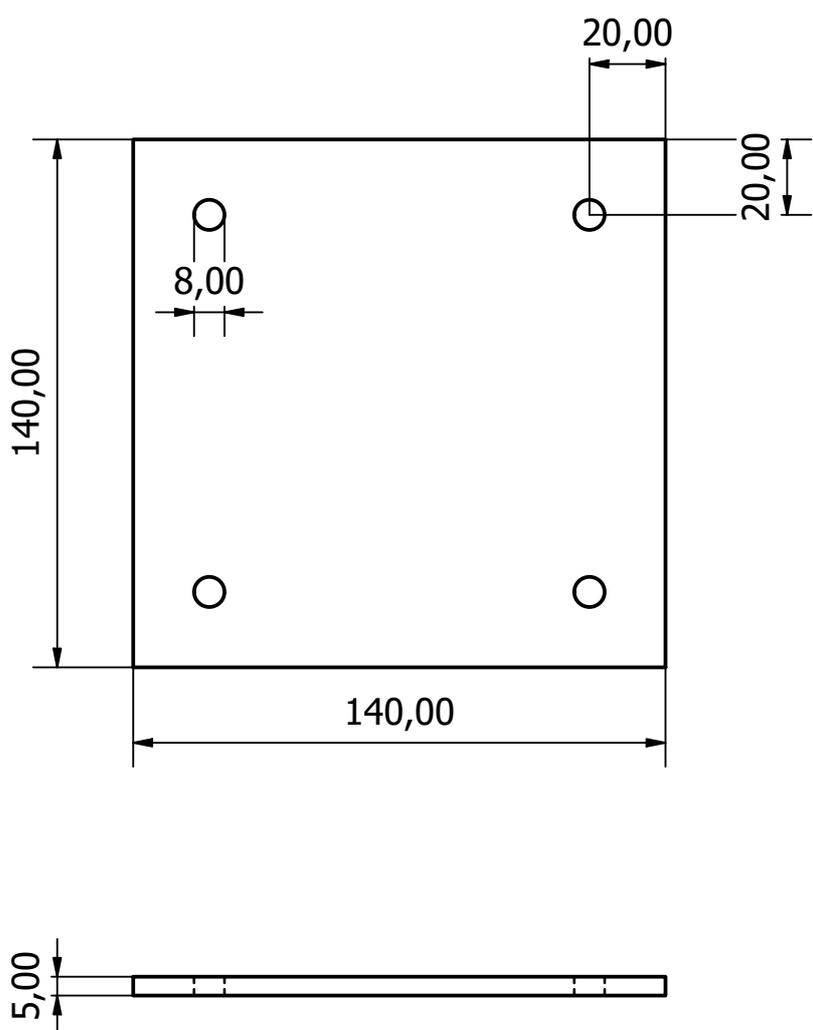


TABLA
Material
Acero S275JR

Diseño de Pau Micó Gandia	<i>Pau</i>	Fecha 13/09/2023	
Universitat Politècnica de València	CHAPA UNIÓN PERFILES 60 X 60 X 2,5		
	Planos TFG	<table border="1"> <tr> <td>Escala 1:2</td> <td>Hoja 7</td> </tr> </table>	Escala 1:2
Escala 1:2	Hoja 7		

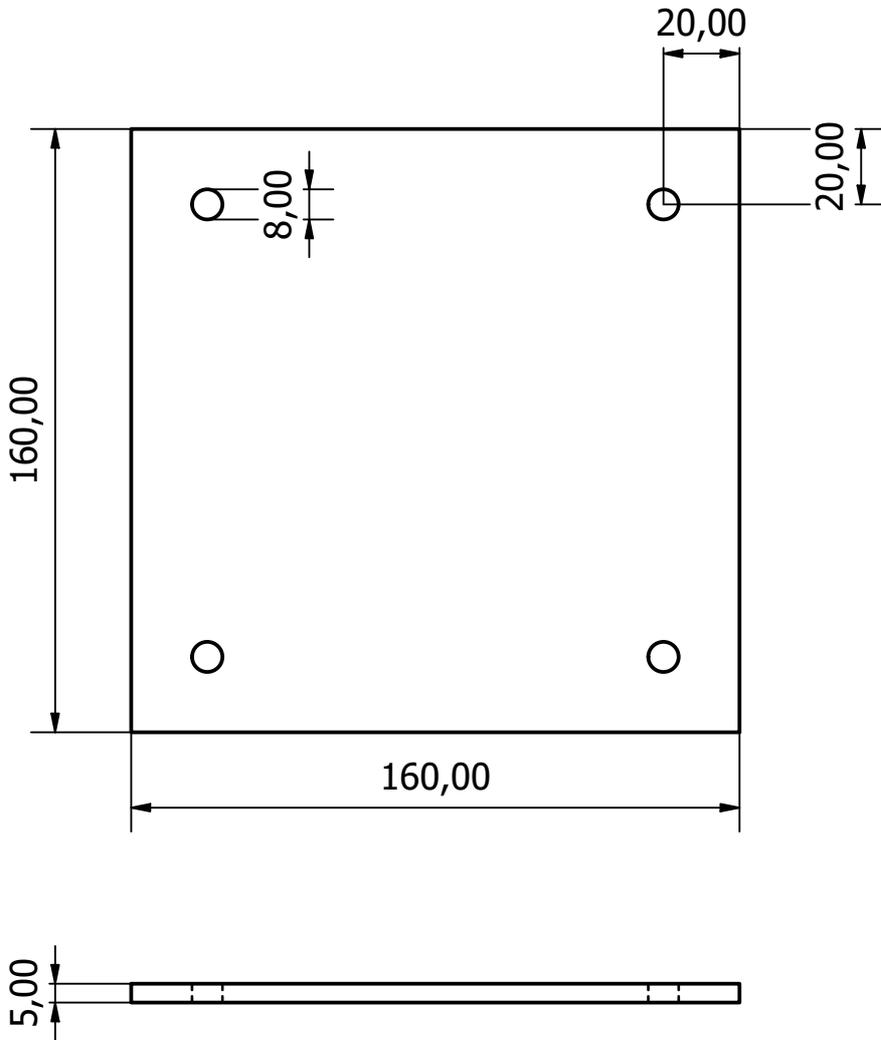


TABLA
Material
Acero S275JR

Diseño de Pau Micó Gandia	<i>Pau</i>	Fecha 13/09/2023			
Universitat Politècnica de València	CHAPA UNIÓN PERFILES 80 X 80 X 3				
	Planos TFG	<table border="1"> <tr> <td>Escala</td> <td>Hoja</td> </tr> <tr> <td></td> <td>8</td> </tr> </table>	Escala	Hoja	
Escala	Hoja				
	8				



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



TRABAJO FINAL DE GRADO:

**DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DE ESTRUCTURA
METÁLICA PARA ROCÓDROMO RECREATIVO**

GRADO DE INGENIERÍA MECÁNICA

AUTOR: PAU MICÓ GANDIA

TUTOR/A: TERESA PILAR REAL HERRAIZ



ÍNDICE:

1. MEMORIA Y ANEJOS
2. PLANOS
3. PLIEGO DE CONDICIONES
4. PRESUPUESTO



TRABAJO FINAL DE GRADO:

**DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DE ESTRUCTURA
METÁLICA PARA ROCÓDROMO RECREATIVO**

DOCUMENTO 3: PLIEGO DE CONDICIONES

AUTOR: PAU MICÓ GANDIA

TUTOR/A: TERESA PILAR REAL HERRAIZ



ÍNDICE

DOCUMENTO Nº1: PLIEGO DE CONDICIONES

1. OBJETO	4
2. NORMATIVA APLICABLE	4
3. DESCRIPCIÓN DEL MONTAJE	4
4. MATERIALES	5



1. OBJETO

El objetivo de este proyecto es diseñar y dimensionar una estructura, con el fin de ser usada como base para un rocódromo recreativo de la modalidad de bloque.

Para llevar a cabo este proyecto es necesario este pliego de condiciones, el cual garantiza un buen montaje y uso de la estructura siguiendo la normativa de aplicación exigible.

2. NORMATIVA APLICABLE

Para la normativa aplicable a los pliegos de condición, únicamente se tendrá en cuenta la siguiente normativa:

- **UNE-EN 12572-2** Estructuras artificiales de escalada. Parte 2: Requisitos de seguridad y método de ensayo para muros de escalada.
Principalmente se tendrán en cuenta los apartados 5, 6 y 7 de esta norma, los títulos de los cuales son: Marcado, Manual de instrucciones y Documentación técnica del muro de escalada

De cada uno de estos puntos se extrae información necesaria que se debe aportar a un cliente junto a un producto de un rocódromo completamente acabado.

3. DESCRIPCIÓN DEL MONTAJE

El montaje de la estructura se realizará mediante la unión de distintos perfiles a uniones ya preensambladas para que únicamente haga falta añadir tornillos en las uniones. Dicho procedimiento deberá seguirse en un orden concreto para facilitar el proceso.

Ya que los nudos se fabrican ya soldados primero se unirán todos los perfiles del grupo hexagonal inferior a sus nudos, a los que posteriormente se le unirán los perfiles del grupo pilares inferiores.

A la parte superior de los pilares inferiores se anclarán los nudos que unen el hexágono intermedio con los pilares inferiores y superiores. Tras colocar estos nudos se podrá completar el hexágono intermedio y luego posicionar los pilares superiores. Para estos pilares superiores sí que existe una posición determinada para cada una de las barras, las cuales deberán ir correctamente numeradas.

A la parte superior de los pilares superiores se atornillan los nudos que unirán estos pilares al hexágono superior, dando por concluido el montaje de la estructura.

4. MATERIALES

Los **materiales** a tener en cuenta para este proyecto son 2, pero de ellos solo se atiende a las propiedades físicas de uno, ya que el otro se usa como valor de cálculo de las cargas.

- **Tablón de madera**

Este material será el destinado a cubrir toda la superficie exterior de la estructura. La única propiedad física considerada para el cálculo es su densidad, para obtener el peso aplicado sobre el rocódromo. Se da por hecho que el producto final a obtener deberá cumplir con la normativa UNE-EN 12572-2 en concreto los “Anexos D y E” en los que se detallan las pruebas de resistencia necesarias para que esa madera cumpla con la normativa.

- **Acero S275JR**

Este acero es el material del que están formados los perfiles estructurales aplicados en el rocódromo. Las propiedades físicas son extraídas del Inventor.

▼ Térmico básico		
Conductividad térmica	4,500E+01 Con (m · k)	▲ ▼
Calor específico	0,480 J/ (G · ° C)	▲ ▼
Coefficiente de dilatación térmica	12,000 μm/(m·°C)	▲ ▼
▼ Mecánico		
Comportamiento	Isótropo	▼
Módulo de Young	219,998 GPa	▲ ▼
Coefficiente de Poisson	0,28	▲ ▼
Módulo cortante	81700,000 MPa	▲ ▼
Densidad	7,850 g/cm ³	▲ ▼
▼ Resistencia		
Límite de elasticidad	275,000 MPa	▲ ▼
Resistencia máxima a tracción	410,000 MPa	▲ ▼

Figura 1: Propiedades del acero S275JR

Las **secciones** normalizadas utilizadas en la estructura son dos:

○ **DIN EN 10219-2 80x80x3 (Sección hueca)**

Se trata de un perfil hueco de sección cuadrada con un ancho y alto de 80 mm y un espesor de la pared de 3 mm

Este perfil es utilizado para los 3 grupos de barras que forman los 3 hexágonos de la estructura.



○ **DIN EN 10219-2 60x60x2,5 (Sección hueca)**

Se trata de un perfil hueco de sección cuadrada con un ancho y alto de 60 mm y un espesor de la pared de 2,5 mm

Este perfil es utilizado para los 2 grupos de barras que forman los pilares superiores y pilares inferiores de la estructura.

- **Hormigón**

El hormigón se emplea en la estructura para aportar el peso de la carga de contrapeso.

Son bloques de medidas 200 x 200 x 400 mm con un peso de 40 kg

Tabla 1: Datos hormigón

Material	Dimensiones	Peso	Cantidad
Hormigón	200x200x400 mm	40 kg	54 Uds.

- **Tornillos de unión**

Los tornillos empleados para todas las uniones son los obtenidos en el anejo de cálculo estructural en el apartado de uniones. Siendo estos tornillos de **métrica 6 y clase 4.6**.

- **Rejilla Trames**

La rejilla trames es utilizada para sostener la carga de los bloques de hormigón macizo, apoyando sobre los perfiles del grupo hexágono inferior.

El área se ha obtenido a partir de la superficie en contacto entre la base del rocódromo y el suelo.

Tabla 2: Metros cuadrados acero galvanizado

Material	m ²
Acero galvanizado en caliente	10



ÍNDICE DE FIGURAS:

Figura 1: Propiedades del acero S275JR5

ÍNDICE DE TABLAS:

Tabla 1: Datos hormigón6

Tabla 2: Metros cuadrados acero galvanizado6



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



TRABAJO FINAL DE GRADO:

**DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DE ESTRUCTURA
METÁLICA PARA ROCÓDROMO RECREATIVO**

GRADO DE INGENIERÍA MECÁNICA

AUTOR: PAU MICÓ GANDIA

TUTOR/A: TERESA PILAR REAL HERRAIZ



ÍNDICE:

1. MEMORIA Y ANEJOS
2. PLANOS
3. PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS
4. PRESUPUESTO



TRABAJO FINAL DE GRADO:

**DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DE ESTRUCTURA
METÁLICA PARA ROCÓDROMO RECREATIVO**

DOCUMENTO 4: PRESUPUESTO

AUTOR: PAU MICÓ GANDIA

TUTOR/A: TERESA PILAR REAL HERRAIZ



ÍNDICE

DOCUMENTO Nº4: PRESUPUESTO

1.	MEDICIONES.....	4
1.1.	ACERO	4
1.2.	BLOQUES HORMIGÓN.....	6
1.3.	REJILLA TRAMEX.....	7
2.	PRESUPUESTO	7
2.1.	ACERO	7
2.2.	BLOQUES HORMIGÓN.....	7
2.3.	REJILLA TRAMEX.....	8
3.	PREUSPUESTO TOTAL	8

1. MEDICIONES

1.1. ACERO

Los perfiles utilizados han sido proyectados con acero S275JR. Se pueden agrupar en dos tipos de perfiles:

- **Perfiles 80 x 80 x 3:**

Este perfil es el aplicado para los grupos de hexágono inferior, intermedio y superior

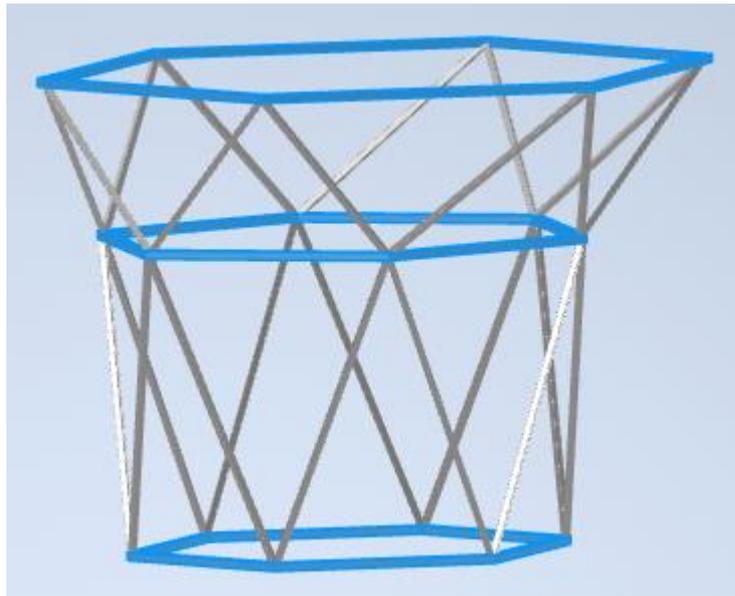


Figura 1: Grupo de perfiles 80 x 80 x 3

- **Perfiles 60 x 60 x 2,5**

Este perfil es el aplicado para los grupos de pilares superiores e inferiores.

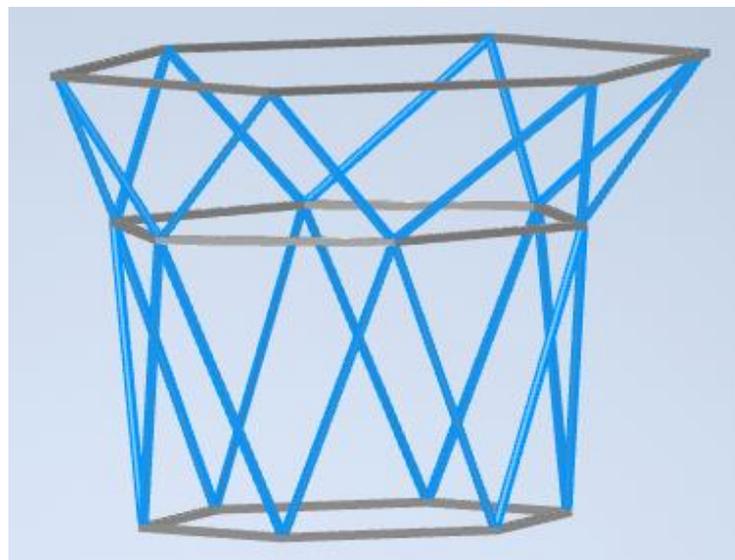


Figura 2: Grupo de perfiles 60 x 60 x 2,5

- **PERFILES 80 x 80 x 3**

Tabla 1: Propiedades perfiles 80 x 80 x 3

Elemento	Nº de pieza	CTDAD (mm)	Masa (Kg)
1	DIN EN 10219-2 - 80 x 80 x 3	2009,179	13,881
2	DIN EN 10219-2 - 80 x 80 x 3	2312,855	16,029
3	DIN EN 10219-2 - 80 x 80 x 3	3056,107	21,285
14	DIN EN 10219-2 - 80 x 80 x 3	2009,179	13,881
15	DIN EN 10219-2 - 80 x 80 x 3	2009,179	13,881
16	DIN EN 10219-2 - 80 x 80 x 3	2009,179	13,881
17	DIN EN 10219-2 - 80 x 80 x 3	2009,179	13,881
18	DIN EN 10219-2 - 80 x 80 x 3	2009,179	13,881
19	DIN EN 10219-2 - 80 x 80 x 3	2312,855	16,029
20	DIN EN 10219-2 - 80 x 80 x 3	2312,855	16,029
21	DIN EN 10219-2 - 80 x 80 x 3	2312,855	16,029
22	DIN EN 10219-2 - 80 x 80 x 3	2312,855	16,029
23	DIN EN 10219-2 - 80 x 80 x 3	2312,855	16,029
24	DIN EN 10219-2 - 80 x 80 x 3	3056,107	21,285
25	DIN EN 10219-2 - 80 x 80 x 3	3056,107	21,285
26	DIN EN 10219-2 - 80 x 80 x 3	3056,107	21,285
27	DIN EN 10219-2 - 80 x 80 x 3	3056,107	21,285
28	DIN EN 10219-2 - 80 x 80 x 3	3056,107	21,285

- **PERFILES 60 x 60 x 2,5**

Tabla 2: Propiedades perfiles 60 x 60 x 2,5

Elemento	Nº de pieza	CTDAD (mm)	Masa (Kg)
4	DIN EN 10219-2 - 60 x 60 x 2,5	2956,401	12,824
5	DIN EN 10219-2 - 60 x 60 x 2,5	2950,737	12,755
6	DIN EN 10219-2 - 60 x 60 x 2,5	2112,238	9,094
7	DIN EN 10219-2 - 60 x 60 x 2,5	2214,07	9,561
8	DIN EN 10219-2 - 60 x 60 x 2,5	2394,164	10,283



9	DIN EN 10219-2 - 60 x 60 x 2,5	1921,364	8,286
10	DIN EN 10219-2 - 60 x 60 x 2,5	1984,48	8,552
11	DIN EN 10219-2 - 60 x 60 x 2,5	2341,339	10,061
12	DIN EN 10219-2 - 60 x 60 x 2,5	1986,289	8,552
13	DIN EN 10219-2 - 60 x 60 x 2,5	2379,576	10,279
29	DIN EN 10219-2 - 60 x 60 x 2,5	2956,401	12,824
30	DIN EN 10219-2 - 60 x 60 x 2,5	2956,401	12,824
31	DIN EN 10219-2 - 60 x 60 x 2,5	2956,401	12,824
32	DIN EN 10219-2 - 60 x 60 x 2,5	2956,401	12,824
33	DIN EN 10219-2 - 60 x 60 x 2,5	2950,737	12,755
34	DIN EN 10219-2 - 60 x 60 x 2,5	2956,401	12,824
35	DIN EN 10219-2 - 60 x 60 x 2,5	2950,737	12,755
36	DIN EN 10219-2 - 60 x 60 x 2,5	2956,401	12,824
37	DIN EN 10219-2 - 60 x 60 x 2,5	2950,737	12,755
38	DIN EN 10219-2 - 60 x 60 x 2,5	2956,401	12,824
39	DIN EN 10219-2 - 60 x 60 x 2,5	2214,07	9,561
40	DIN EN 10219-2 - 60 x 60 x 2,5	2112,238	9,094
41	DIN EN 10219-2 - 60 x 60 x 2,5	2341,339	10,061
42	DIN EN 10219-2 - 60 x 60 x 2,5	1921,364	8,286

1.2. BLOQUES HORMIGÓN

La aplicación de una carga para evitar el vuelco de la estructura se resuelve mediante el uso de bloques de hormigón macizos. La cantidad necesaria para evitarlo se ha obtenido del cálculo de vuelco ubicado en el anejo de cálculo estructural.

Tabla 3: Propiedades Acero S275JR

Material	Dimensiones	Peso	Cantidad
Hormigón	200x200x400 mm	40 kg	54 uds.

1.3. REJILLA TRAMEX

La rejilla trames es utilizada para sostener la carga de los bloques de hormigón macizo, apoyando sobre los perfiles del grupo hexágono inferior.

El área se ha obtenido a partir de la superficie en contacto entre la base del rocódromo y el suelo.

Tabla 4: Superficie rejilla Trames

Material	m ²
Acero galvanizado en caliente	10

2. PRESUPUESTO

Para la obtención del presupuesto, se han utilizado estimaciones del precio actual para cada unidad de medida establecido en el mercado

2.1. ACERO

Tabla 5: Presupuesto Acero S275JR

Material	Dimensiones	Peso total (kg)	Precio/Kg (€)	Precio total (€)
Acero S275JR	80 x 80 x 3	307,17	1,85	568,26 €
Acero S275JR	60 x 60 x 2,5	265,282	1,85	490,77 €
			Total	1.059,04 €

2.2. BLOQUES HORMIGÓN

Tabla 6: Presupuesto bloques de hormigón macizo

Material	Dimensiones	Peso	Cantidad	Precio/ud. (€)	Precio total (€)
Hormigón	200x200x400 mm	40 kg	54 uds.	45	2.430,00 €



2.3. REJILLA TRAMEX

Tabla 7: Presupuesto rejilla Tramex

Material	m ²	Precio/m ² (€)	Precio total (€)
Acero galvanizado en caliente	10	56,5	565,64 €

3. PREUSPUESTO TOTAL

Tabla 8: Presupuesto total

Material	Precio total (€)
Hormigón	2.430,00 €
Acero S275JR	1.059,04 €
Acero galvanizado en caliente	565,64 €
	4.054,67 €
	TOTAL

El presupuesto global se ve incrementado por el alto coste de los bloques de hormigón macizo, por ello se plantean futuras soluciones para abaratar dicho coste. Aun así, el coste de la estructura es asequible para el futuro valor del producto final.



ÍNDICE DE FIGURAS:

Figura 1: Grupo de perfiles 80 x 80 x 3	4
Figura 2: Grupo de perfiles 60 x 60 x 2,5	4

ÍNDICE DE TABLAS:

Tabla 1: Propiedades perfiles 80 x 80 x 3	5
Tabla 2: Propiedades perfiles 60 x 60 x 2,5	5
Tabla 3: Propiedades Acero S275JR	7
Tabla 4: Superficie rejilla Tramex	7
Tabla 5: Presupuesto Acero S275JR	7
Tabla 6: Presupuesto bloques de hormigón macizo	7
Tabla 7: Presupuesto rejilla Tramex	8
Tabla 8: Presupuesto total	8