

Trabajo Fin de Grado

Análisis estructural de la cubierta del anfiteatro del
parque de La Paz en Zaragoza

Structural analysis of the amphitheatre canopy
located in La Paz park (Zaragoza)

Autor/es

Ester Lidón Hernández

Director/es

José David Bel Cacho

EINA Escuela de Arquitectura e Ingeniería

2018-2019

Análisis estructural de la cubierta del anfiteatro del parque de La Paz en Zaragoza

RESUMEN

El objetivo de este TFG es comprobar si la estructura de la cubierta del anfiteatro del Parque de La Paz en Zaragoza, que data de los años 80, resiste las cargas establecidas por la normativa actual (Código Técnico de la Edificación).



La cubierta está formada por una serie de teselas sujetas por una red de cables que se comportan de forma análoga a una membrana. En el TFG se simulará su comportamiento con una membrana cuyas propiedades deberán determinarse previamente comparando los resultados de las simulaciones con los datos que figuran en la memoria del proyecto original.

Se utilizará un programa análisis por elementos finitos para simular la estructura bajo la acción de diferentes cargas. Se determinarán las propiedades más adecuadas de la membrana (Módulo Elástico, Rigidez y espesor) para reproducir los datos que figuran en la memoria de cálculo del proyecto original (flechas de los cables, secciones, etc.) lo más fielmente que sea posible. Una vez validado el modelo de cálculo se analizará el efecto de las cargas de viento y nieve que establece el Código Técnico de la Edificación.

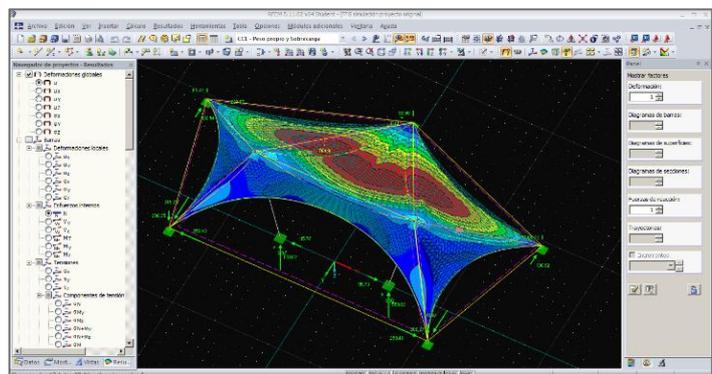


Tabla de contenido

1. Introducción	1
2. Descripción de la estructura según el proyecto original de 1980	3
2.1. Pilares	3
2.2 Cables	5
2.3 Cubierta	7
3. Descripción del modelo utilizado para el análisis computacional	9
3.1 Pilares.....	9
3.2 Coordenadas de la carpa.....	10
3.3 Cables.....	11
3.3.1. Definición de sección y material	11
3.4 Cubierta de la estructura.....	13
3.4.1 Cálculo del espesor de la membrana	13
3.4.2 Cálculo del peso específico de la membrana.....	16
4. Diseño de estructuras tensadas	17
4.1 Búsqueda de forma y cálculo de la malla de elementos finitos.....	17
4.2 Aplicación de cargas.....	18
4.2.1 Cargas según normativa actual DBSE-AE del CTE	18
4.2.1.1 Peso propio.....	18
4.2.1.2 Carga de nieve	19
4.2.1.3 Carga de viento.....	19
4.2.2 Carga aplicada en proyecto original.....	24
5. Resultados	24
5.1 Resultados obtenidos aplicando las cargas del CTE actual	24
5.1 Resultados obtenidos aplicando las cargas del proyecto original	26
5.2 Tabla resumen esfuerzos y cálculo del coeficiente de seguridad	29
Anexo I: Obtención del proyecto original	31
Anexo II: Fotografías de la maqueta de 1980	42
Anexo III: Catálogo de cables del proyecto original	44
Anexo IV: Búsqueda de forma y comparación del desplazamiento máximo	50
Anexo V: Resultados de la membrana con carga de nieve y carga de viento	53
Anexo VI: Capturas del programa con los axiles de los cables principales y perimetrales	55
BIBLIOGRAFÍA	66

1. INTRODUCCIÓN

El Parque de La Paz en Zaragoza se construyó en 1977, unos años más tarde, se llevo a cabo el Proyecto del Polígono 37, el cual albergaría en el centro del parque un anfiteatro con un monumental toldo de chapas metálicas pintadas en color blanco y rojo que aprovechó como graderío natural el talud de la colina donde se localiza.

El autor de el llamado “Monumento de las Cinco Cabezas” es Rafael Barnola Usano doctor ingeniero de montes e Ingeniero Director del Servicio de Parques y Jardines del Excmo. Ayuntamiento de Zaragoza desde 1970 a 1991. Es en la sujeción de estos tirantes desde donde asoman cinco cabezas distintas de gran tamaño.

Fue un arduo trabajo encontrar el proyecto sobre el anfiteatro, ya que, el nombre del parque aún no era el actual, sino que se llamaba Parque Viator y al estar localizado en un parque los planos están más dispersos en las distintas Instituciones. Aunque pertenecía al Sector Parques y Jardines se acabó encontrando en unos ficheros desubicados del Registro del Ayuntamiento de Zaragoza. Se puede observar todo el proceso de búsqueda en el Anexo I.

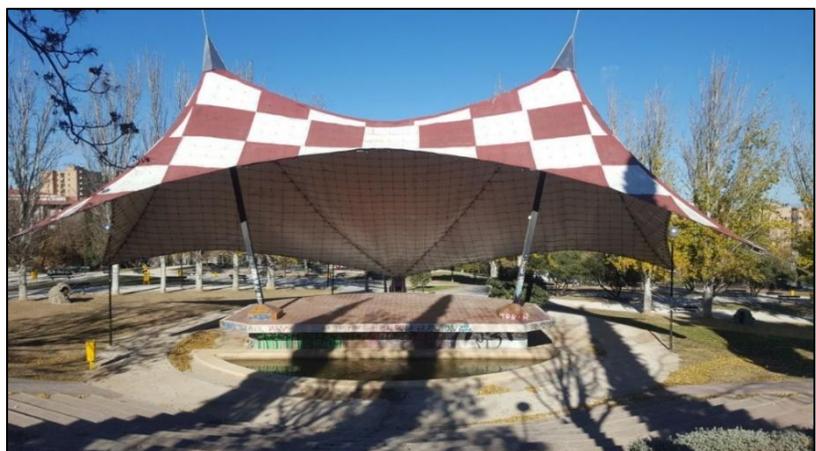


Una vez obtenida la documentación de los planos y la memoria del proyecto original que ofrecía datos sobre materiales y secciones utilizados, se buscó en ella toda la información relevante para la generación del modelo de simulación.

El anfiteatro está formado por una estructura tensada apoyada en dos pilares cimentados y con cinco tensores que acaban en unos contrapesos enormes formando, las ya mencionadas, cabezas de hormigón en sus extremos.

Los elementos estructurales de los que está compuesta son unos pilares inclinados un cierto ángulo, unos cables principales y perimetrales y unos cables de relleno sobre los que apoyan unas teselas metálicas.

Esta fotografía actual ayuda a ilustrar cada uno de los elementos que se mencionan y en el Anexo II se encuentran las fotos de una maqueta realizada en 1980.



En este TFG se ha estudiado cada uno de los elementos de manera independiente para conseguir el modelo más ajustado al proyecto original.

El objetivo del trabajo es, con los datos del proyecto de 1980, simular la estructura tensada mediante un programa de cálculo por elementos finitos. El programa escogido es RFEM que es un potente programa de análisis por elementos finitos 3D que sirve de soporte a los calculistas estructurales. Está indicado para el modelado de tanto estructuras simples como complejas. Entre algunos de sus proyectos de clientes, está el Estadio Allianz Arena de Múnich, Alemania.

Existen muchos programas de cálculo de estructuras, pero en éste, en concreto, tiene un módulo llamado RF-FORM-FINDING que permite la búsqueda de forma, el análisis estructural y la determinación de patrones de corte de estructuras de membranas y cables tensados, que lo hacen el más adecuado para nuestra simulación.

La primera fase de la simulación es la búsqueda de forma bajo la acción de su propio peso a través del módulo recién explicado. Se obtiene una configuración de equilibrio con unas flechas en cada cable que determinarán la forma de la cubierta en este estado inicial sin tener en cuenta las sobrecargas que pueda tener. Esta comparativa de resultados se encuentra en el Anexo IV.

La segunda fase de la simulación conlleva la aplicación de cargas, haciendo una diferenciación entre la carga estimada por el proyectista en el año 1980 y las que establece el Código Técnico de Edificación vigente. En el proyecto original se consideraron una estimación del peso propio y una sobrecarga vertical y en el modelo computacional hemos aplicado, además, el peso propio calculado por el programa, la carga de nieve determinada por la ubicación del parque y una carga de viento calculada según DBSE-AE del CTE.

Cabe mencionar que actualmente no existe ninguna normativa que especifique la carga de viento para estructuras formadas por una membrana tensada. Ha sido necesario revisar otros proyectos e investigaciones para conseguir aproximar el efecto de la carga de viento sin realizar ensayos con túnel de viento ni simulaciones mediante CFD (Computer Fluid Dynamics), que quedaban fuera del alcance del TFG propuesto.

Tras la aplicación de las cargas en dos simulaciones independientes y el cálculo con ambas hipótesis de cálculo, se procede al análisis de los resultados obtenidos y comparación con los datos que figuran en la memoria original.

Los resultados arrojados por ambos modelos demuestran que la estructura es estable y que la aproximación de la carga del proyecto original, a pesar de ser más sencilla, guarda bastante similitud con el cálculo más preciso realizado en base a la normativa actual.

2. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA SEGÚN EL PROYECTO ORIGINAL DE 1980

En los planos del proyecto original se encuentra información acerca de las secciones y materiales utilizados para construir la estructura. Se va a analizar dicho proyecto para extraer la información que se utilizará para construir el modelo de elementos finitos sobre el que se realizará la simulación computacional de la estructura.

La estructura se compone de pilares, cables y cubierta.

2.1 PILARES

El primer elemento estructural a tener en cuenta en la carpa son los pilares.

El diseño de los pilares se encuentra en el proyecto original (Imagen 1). Se trata de pilares empesillados de 11,5 m de altura, cuya sección está formada por dos perfiles UPN 240 unidos por 11 pares de pletinas de 175 x 160 x 8 mm dispuestas cada 1108 mm.

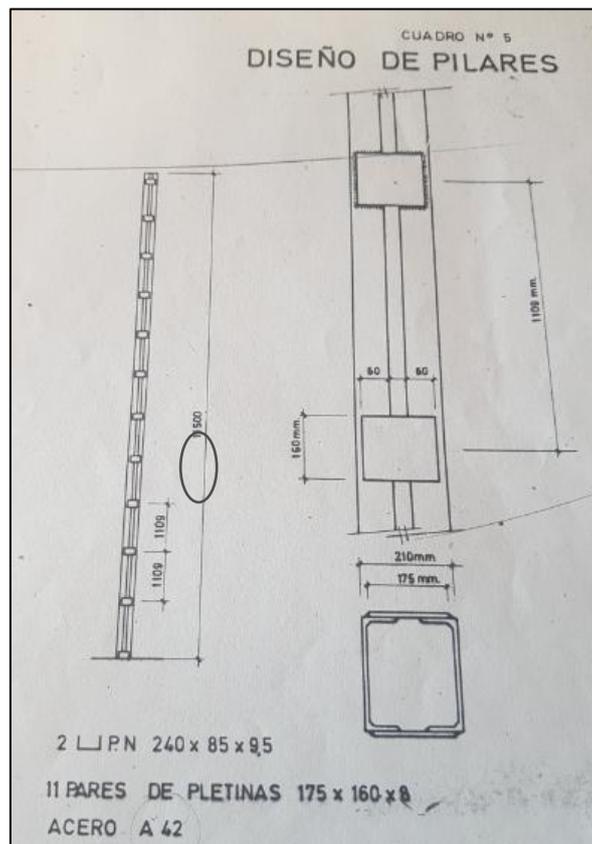


IMAGEN 1.

El acero utilizado en la construcción de los pilares es A42, actualmente la designación ha cambiado por lo que se busca cuál es el nombre actual según sus características.

Según la Norma Española NBE-EA95, el número que sigue a la letra A en su designación indica en kp/mm^2 la mínima resistencia requerida de dicho acero en el ensayo de tracción.

Se definen 3 grados: “b, c y d”, para perfiles y chapas se utilizaba el A42b con las siguientes características aportadas en el cuadro 1.

Clase de acero	Límite elástico mínimo σ_u (kp/mm^2)			Resistencia a tracción min.-máx.	Energía absorbida en ensayo de resiliencia	
	$t \leq 16mm$	$16 < t \leq 40$	$40 < t \leq 63$		ρ (kpm)	Temp. °C
A37b	24	23	22	37-48	2,8	+20°
A37c	24	23	22	37-45	2,8	0°
A37d	24	23	22	37-45	2,8	-20°
A42b	26	25	24	42-53	2,8	+20°
A42c	26	25	24	42-50	2,8	0°
A42d	26	25	24	42-50	2,8	-20°

CUADRO 1

La designación actual de los aceros es según las normas UNE EN 10025. El código A42 ha desaparecido, ya que sólo se utilizaba en España; en Europa se utilizaba el A44 o St44 que tenía características algo mejores. Para perfiles y chapas con dichas características, se denomina **S275JR**. Posee un límite elástico de 275 MPa (2.800 kg/cm^2).

La inclinación de los pilares se obtiene con las coordenadas de la carpa en el proyecto original. Como vemos en la imagen de la planta, la cabeza del poste se encuentra a una altura de 11250 mm (11'25 m) y en el diseño original encontramos que la longitud total es 11500 mm.

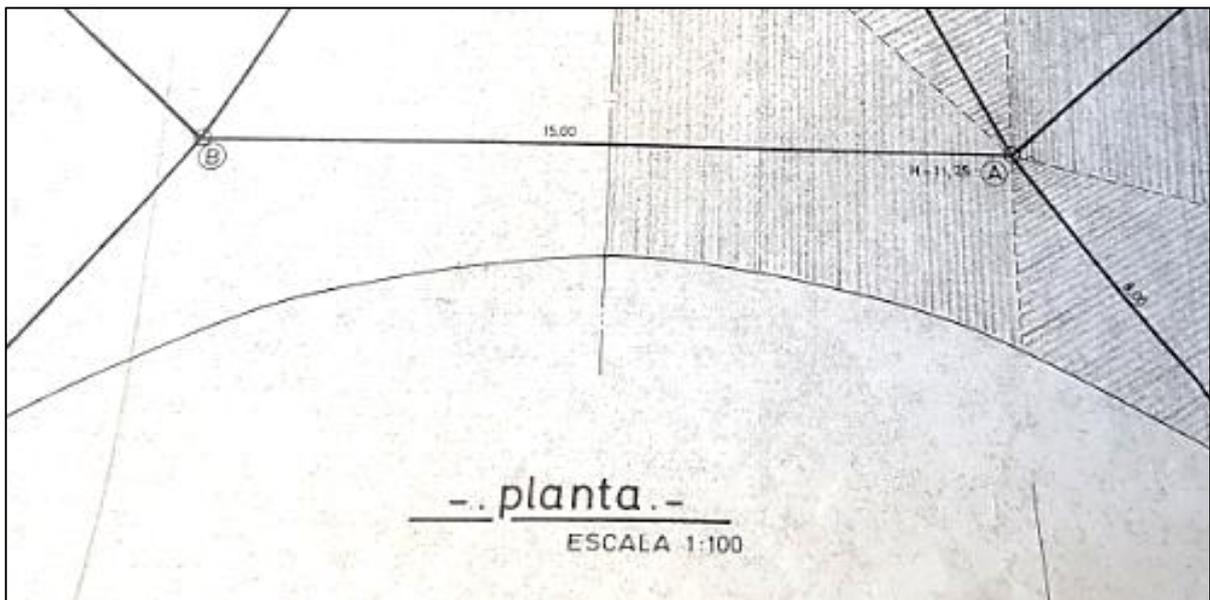
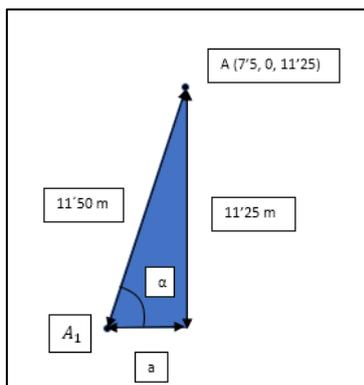


IMAGEN 2.



A través del Teorema de Pitágoras, calculamos las distancias del extremo inferior del pilar:

$$11'25^2 + a^2 = 11'50^2$$

$$a = 2'38 \text{ m}$$

El ángulo que forman los pilares con la base de la estructura:

$$\alpha = \arctg \frac{11'25}{2'38} = 78'05^0$$

Por lo que, obtenemos el punto de la cimentación de los pilares: $A_1 = (5'12, 0, 0)$.

2.2 CABLES

Se utilizan cables no elásticos y de acero galvanizado. El acero galvanizado o inoxidable se utiliza para ambientes húmedos, evitando así la corrosión de los cables.

Los cables son elementos estructurales sin rigidez a la flexión, por lo que su forma se adapta a la carga que se le aplique de manera que trabajen únicamente a tracción. La estructura de la carpa está formada por 12 cables considerados principales y perimetrales, cinco tensores y los cables de relleno que forman la cubierta.

Según estas características podemos dividirlos en los siguientes grupos:

- Cables principales: 7 cables con uno de sus extremos en los puntos "A" o "B", soportan la carga de la estructura.
- Cables perimetrales: 5 cables que forman el perímetro de la carpa que actúan también de tensores de la estructura.
- Cables de relleno: cables correa y cabio que se entrecruzan formando la cubierta, en el proyecto los sustituimos por una membrana.
- Cables tensores: cables desde los vértices de la membrana: 1, 2, 3, 4 y 5 hasta la cimentación.

En este plano a escala de la planta de la cubierta obtenido del proyecto original, los cables principales y perimetrales están distribuidos de la siguiente manera:

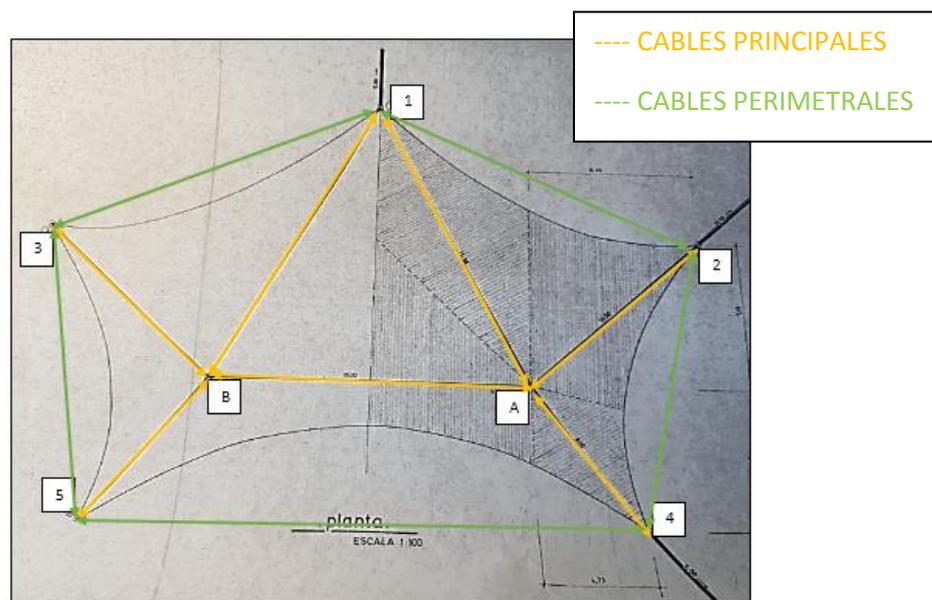


IMAGEN 3. PLANTA DEL PROYECTO ORIGINAL

Como se puede observar en el dibujo de la planta, tenemos también todas las coordenadas de los extremos de la carpa, lo que utilizaremos para dimensionar la cubierta en el modelo simulado por ordenador.

En el proyecto original se adjunta un catálogo de cables la empresa que los suministró, aportando información sobre las propiedades mecánicas según el tipo y diámetro seleccionado (Ver en Anexo III)

Para los cables principales y perimetrales se utiliza: 1 cordón formado por 37 alambres.

2.3 CUBIERTA

La cubierta es el elemento principal de la estructura, tiene una superficie total de 500 m^2 y una proyección horizontal de 340 m^2 .

En el proyecto original, la cubierta del anfiteatro está formada por losas metálicas soportadas sobre unos cables de relleno (agrupados en correas y cabios) de las siguientes características:

- 1 cordón con un diámetro de 12 mm formado por 7 alambres.

$$1 \times 7 + 0$$



Por el procedimiento anterior, se pueden proporcionar los CABLES CORREA y los CABLES CABIO, así como también los restantes de relleno, tensores, etc.. Conviene que todos sean de Tipo ESPIROIDAL y a tal fin acompañamos también la fotocopia de la Tabla de cables

$$1 \times 7 + 0$$

IMAGEN 7.

Como vemos en la siguiente imagen correspondiente al catálogo las propiedades de dicho cable de relleno son:

- Peso aproximado del cable: $0'6990 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$
- Carga de rotura real mínima garantizada para una resistencia de $160 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$ es: 13090 kg.

NUEVA MONTANA QUIJANO, S. A.

P. 1. Cables espiroidales

$1 \times 7 + 0$

Diámetro nominal del cable mm.	Número de alambres mm.	Espesor del alambre mm.	Peso aproximado del cable kg/m.	CARGA DE ROTURA REAL MÍNIMA GARANTIZADA EN KG. CON 100%					
				100%	125%	150%	175%	200%	225%
10.50	19.00	3.50	0.5350	1.880	2.100	2.610	3.200	3.800	4.400
11.00	19.40	3.60	0.5560	1.880	2.210	2.700	3.270	3.850	4.450
11.50	19.80	3.70	0.5770	2.210	2.500	3.000	3.500	4.000	4.500
12.00	20.20	3.80	0.5980	2.450	2.800	3.400	4.000	4.600	5.200

IMAGEN 8.

Sobre estos cables, se disponen las losas metálicas.

En la siguiente imagen del aspecto actual de la estructura se pueden apreciar dichos cables y losas formando un sistema estructural equivalente a una membrana, dado que en la época en

la que se construyó la estructura encontrar fabricantes de telas tensadas que suministrarán a un precio asequible para un parque público era muy complicado.



IMAGEN 9.

Cuando se realice una remodelación de la estructura de la carpa, no cabe duda de que se generará la cubierta a través de una membrana tensada que abarataría costes y tiene un menor mantenimiento.

3. DESCRIPCIÓN DEL MODELO UTILIZADO PARA EL ANÁLISIS COMPUTACIONAL

Indicar el programa que se va a utilizar para realizar el modelo y el análisis computacional

3.1 PILARES

Tal como se ha comentado antes, la sección de estos pilares es un UPN 240. El programa facilita muchas secciones para elegir según la geometría a emplear. Se realiza el modelo con la sección de las dimensiones facilitadas.

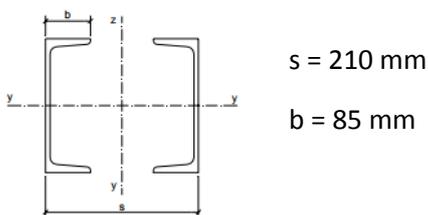


IMAGEN 10.

El espesor del alma es de 9´5 mm y el de las alas de 13´5 mm.

Esta es la pantalla que se obtiene al crear los perfiles de los pilares en el programa:

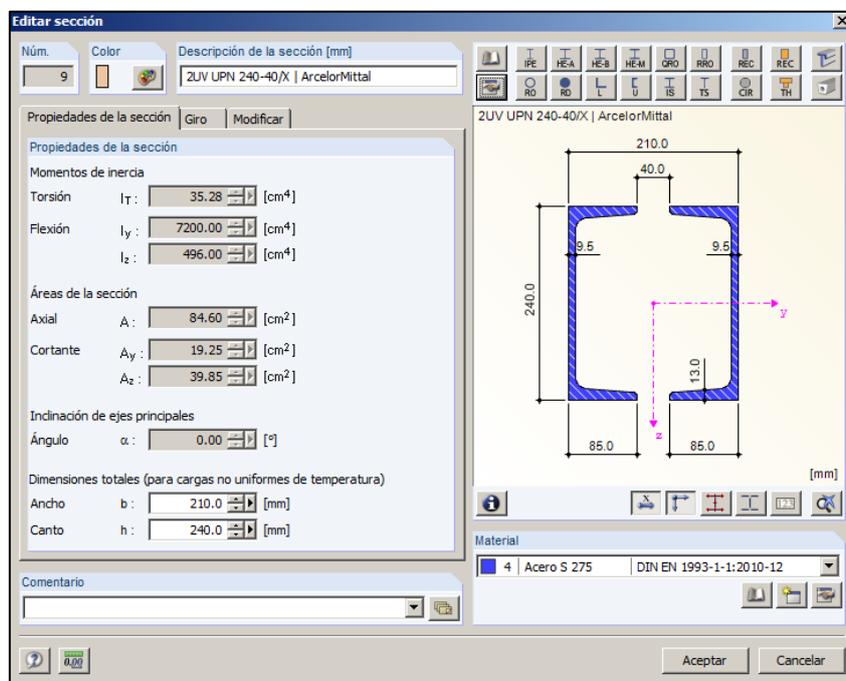


IMAGEN 11.

Como se puede apreciar en la captura, el programa aporta todas las propiedades de la sección.

Generamos dos barras con la longitud y coordenadas finales obtenidas a través del proyecto original. El tipo de barra será una viga y empotramos el apoyo inferior al suelo.

La imagen obtenida del programa es la siguiente:

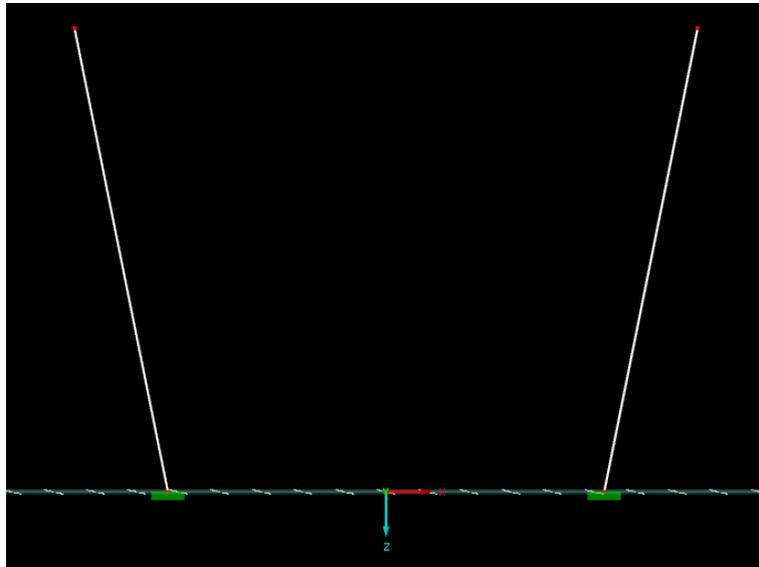


IMAGEN 12.

3.2 COORDENADAS DE LOS PUNTOS QUE DEFINEN LA CARPA

Una vez construidos los pilares, procedemos a generar los vértices de la carpa, que a su vez serán los extremos de los cables.

Utilizamos el dibujo de la planta de la cubierta del proyecto original y generamos los apoyos en las coordenadas exactas, quedando de la siguiente manera:

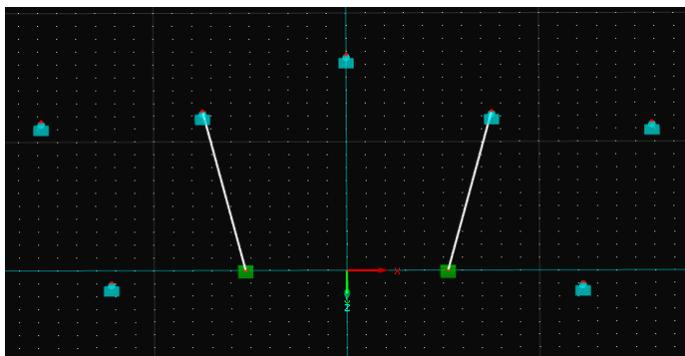


IMAGEN 13.

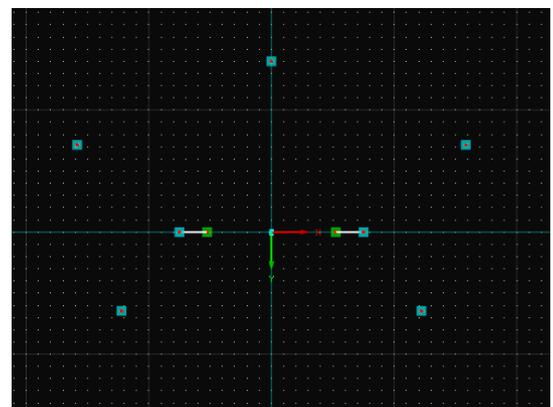


IMAGEN 14.

3.3 CABLES

3.3.1. Definición de sección y material

En el primer apartado, se han mostrado los cables elegidos en el proyecto original y para simularlos con el programa se han mantenido la forma y material utilizados, pero actualmente los cables tienen una estructura más compacta.

La compactación de los cables ha aumentado considerablemente en todos los sectores ya que este proceso de deformación en frío aporta muchas ventajas: mayor superficie de contacto entre alambres, permeabilidad, distribución más uniforme de la tensión de los alambres, ...

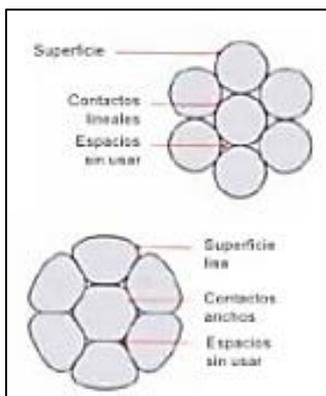


IMAGEN 15.

Como en el catálogo de la empresa Nueva Montaña Quijano S.A. aportado en el proyecto original (ver completo en el anexo III), no se encuentra información sobre el límite elástico consultamos catálogos de cables actuales para, con la geometría del cable y una resistencia de 160 kg/mm^2 , obtener el módulo elástico más apropiado para el material.

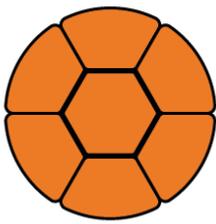
cordón rígido				
1x7 Compacted - ACERO INOXIDABLE AISI316	\varnothing NOMINAL	Peso	Carga de Rotura	
	mm	kg/m	kN	kg
<ul style="list-style-type: none"> Resistencia 1570 N/mm^2 Módulo Elástico (E) 130000 N/mm^2 Acabado Púldido  <ul style="list-style-type: none"> Barandillas Jarcias Fijas Cables Estructurales Stays Plantas de Aguas Residuales 	4,00	0,088	17,61	1795
	5,00	0,137	25,02	2550
	6,00	0,196	36,02	3672
	7,00	0,268	49,03	4998
	8,00	0,35	62,04	6324
	10,00	0,55	98,06	9996
	12,00	0,79	144,09	14688

IMAGEN 16.

Como se puede ver en la imagen del catálogo de cables inoxidables de la empresa Cables Estructurales S.L., el material apropiado tiene que tener un módulo elástico de 130000 N/mm^2 .

En el programa se pueden elegir varias opciones:

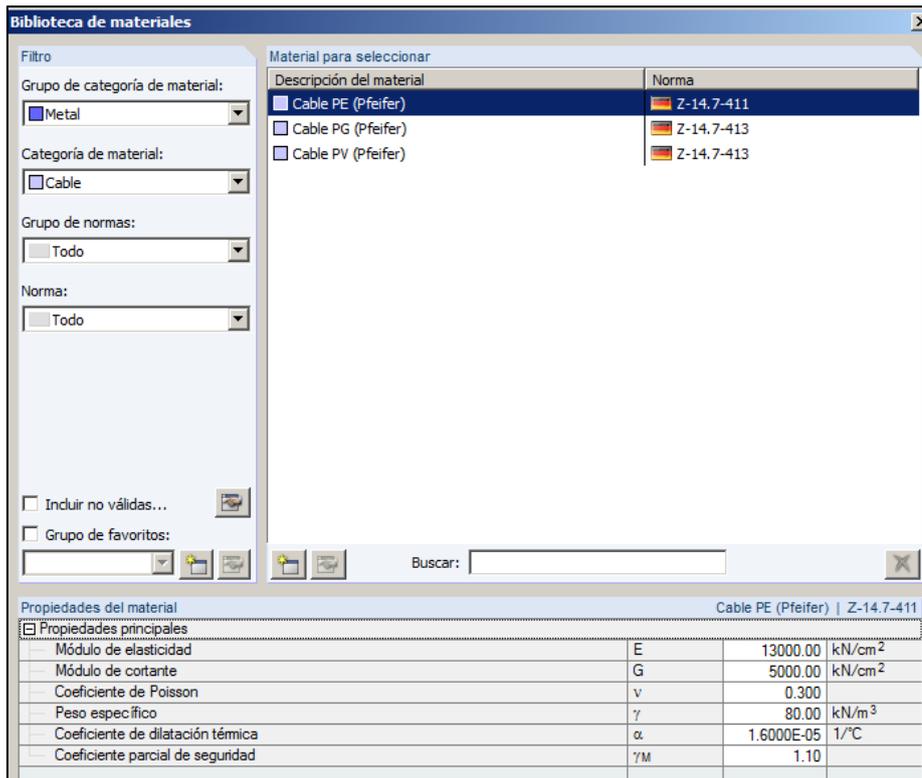


IMAGEN 17.

Se elige Cable PE (Pfeifer), porque cumple con las características requeridas y se consulta el catálogo de la empresa alemana Pfeifer para asegurar la elección.



IMAGEN 18.

Una vez determinado el material se crean los cables que generarán los vértices de la carpa, de forma que la captura del programa queda de la siguiente forma:

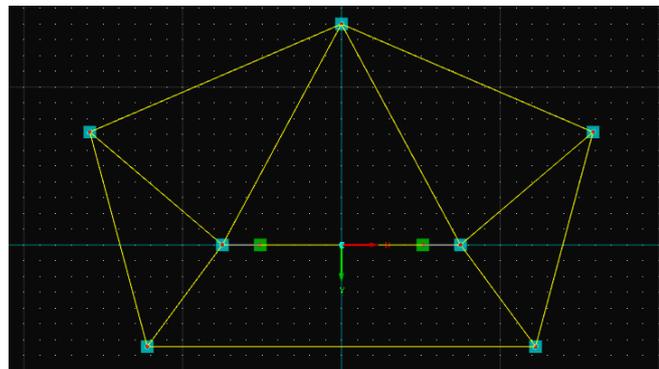


IMAGEN 19.

3.4 CUBIERTA

En el proyecto original, como se ha explicado en la primera parte, la cubierta está formada por cables que se entrecruzan y unas losas metálicas encima de éstos. Para realizar la simulación el programa, sustituimos esos cables con losas por una membrana.

3.4.1 Cálculo del espesor de la membrana.

Para determinar el espesor de la membrana equivalente a la red de cables de relleno, se iguala la rigidez de ambos elementos para relacionar el número de cables por unidad de longitud con el espesor t de la membrana.

Los cálculos son los siguientes:

$$\text{RIGIDEZ DE LOS CABLES} = n_{cable} \cdot A_{cable} \cdot E$$

$$n_{cable} \cdot A_{cable} \quad \bullet \bullet \bullet \bullet \bullet \bullet \bullet$$

$$\text{RIGIDEZ DE LA MEMBRANA} = E \cdot A_{membrana} = E \cdot t \cdot L$$



$$\frac{\text{Rigidez Membrana}}{\text{Unidad de } L} = E \cdot t$$

$$E \cdot t \cdot L$$

$$\frac{\text{Rigidez Cables}}{\text{Unidad de } L} = \frac{n_{cable} \cdot E \cdot A_{cable}}{L}$$

Siendo el módulo elástico E , el mismo:

$$E \cdot t = \frac{n_{cable} \cdot E \cdot A_{cable}}{L}$$

El espesor de la membrana equivalente se calculará de la siguiente manera:

$$t = \frac{n_{cable} \cdot A_{cable}}{L}$$

Siendo:

A_{cable} : área del cable relleno

L : longitud de la deformada

n_{cable} : número de cables de relleno.

Como el diámetro de los cables de relleno es 12 mm.

$$A_{cable} = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot 6^2 = 113'09 \text{ mm}^2$$

Numeramos los polígonos formados por los cables de la carpa para obtener el $\frac{n_{cable}}{L}$ de cada uno de ellos:

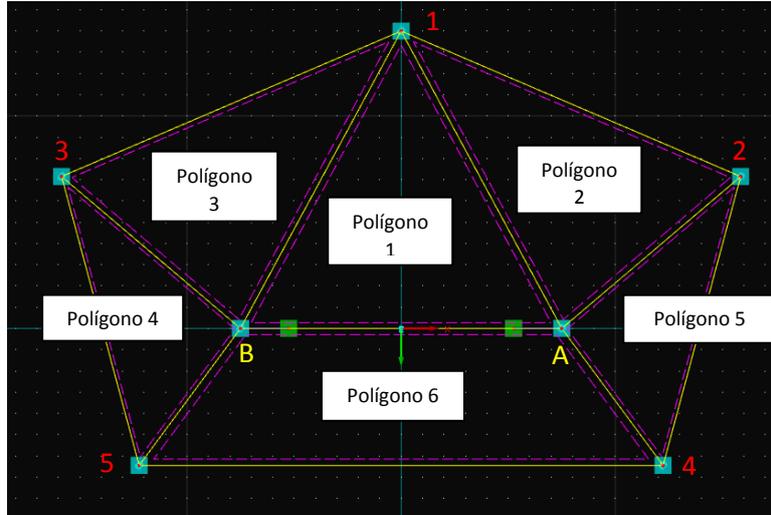
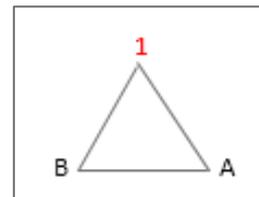


IMAGEN 20.

POLÍGONO 1:

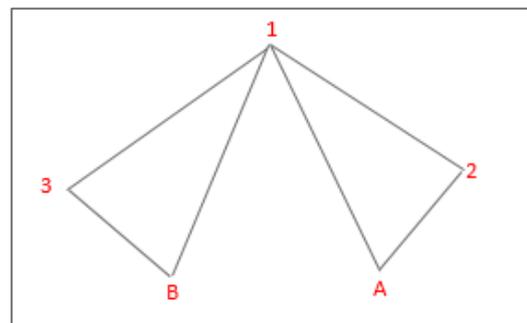
- Lado AB: $\frac{n_{cable}}{L} = \frac{27}{15'80 m}$
- Lado 1A: $\frac{n_{cable}}{L} = \frac{27}{18'90 m}$
- Lado 1B: $\frac{n_{cable}}{L} = \frac{27}{18'90 m}$



$$\bar{X}_1 = \frac{\frac{27}{15'80} + \frac{27}{18'90} + \frac{27}{18'90}}{3} = 1'5220 \text{ cable/m}$$

POLÍGONO 2 Y POLÍGONO 3:

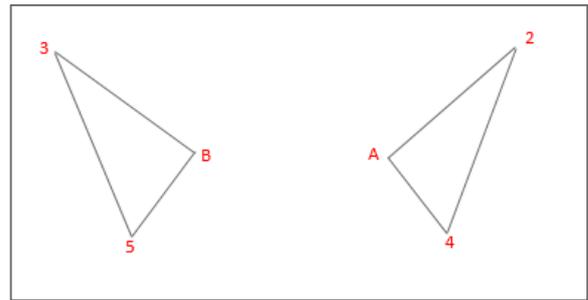
- Lado 1A / 1B: $\frac{n_{cable}}{L} = \frac{27}{18'90 m}$
- Lado 12 / 13: $\frac{n_{cable}}{L} = \frac{27}{17'80 m}$
- Lado 2A / 3B: $\frac{n_{cable}}{L} = \frac{24}{12'50 m}$



$$\bar{X}_2 = \bar{X}_3 = \frac{\frac{27}{18'90} + \frac{27}{17'80} + \frac{24}{12'50}}{3} = 1'6218 \text{ cable/m}$$

POLÍGONO 4 Y POLÍGONO 5:

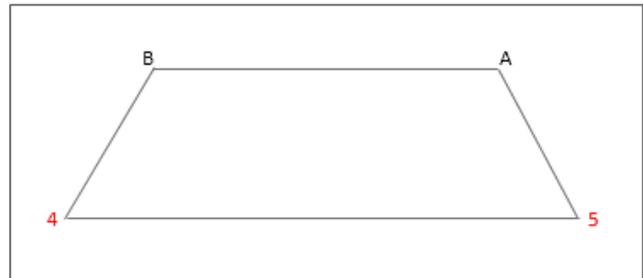
- Lado 2A / 3B: $\frac{n_{cable}}{L} = \frac{18}{12'50 m}$
- Lado 4B / 5A: $\frac{n_{cable}}{L} = \frac{17}{10'50 m}$
- Lado 24 / 35: $\frac{n_{cable}}{L} = \frac{24}{15'60 m}$



$$\overline{X}_4 = \overline{X}_5 = \frac{\frac{18}{12'50} + \frac{17}{10'50} + \frac{24}{15'60}}{3} = 1'5325 \text{ cable/m}$$

POLÍGONO 6:

- Lado AB: $\frac{n_{cable}}{L} = \frac{29}{15'80 m}$
- Lado 4B: $\frac{n_{cable}}{L} = \frac{16}{10'50 m}$
- Lado 4A: $\frac{n_{cable}}{L} = \frac{16}{10'50 m}$
- Lado 45: $\frac{n_{cable}}{L} = \frac{39}{29 m}$



$$\overline{X}_6 = \frac{\frac{29}{15'80} + \frac{16}{10'50} + \frac{16}{10'50} + \frac{39}{29}}{4} = 1'5569 \text{ cable/m}$$

Se obtiene la media de cable/m en la estructura:

$$MEDIA = \frac{\overline{X}_1 + \overline{X}_2 + \overline{X}_3 + \overline{X}_4 + \overline{X}_5 + \overline{X}_6}{6} = \frac{1'5220 + (1'6218 \cdot 2) + (1'5325 \cdot 2) + 1'5569}{6} =$$

$$\frac{n_{cable}}{L} = 1'5645 \cdot 10^{-3} \text{ cable/mm}$$

Se aplica la fórmula obtenida antes:

$$t = \frac{n_{cable} \cdot A_{cable}}{L}$$
$$t = \frac{n_{cable}}{L} \cdot A_{cable} = 1'5645 \cdot 10^{-3} \frac{\text{cable}}{\text{mm}} \cdot 113'09 \text{ mm}^2 = 0'177 \text{ mm}$$

El espesor de la membrana en el modelo será de 0'18 mm.

El material utilizado para generar dicha membrana será el mismo que el de los cables de relleno, cable PFEIFER PE. Es necesario tener en cuenta que el peso específico de la membrana no va a ser el mismo, por lo que se procede al cálculo.

3.4.2 Cálculo del peso específico de la membrana.

Para el cálculo del peso específico de la membrana, tenemos en cuenta:

1. El número de cables por unidad de longitud: $1'56 \cdot 10^{-3}$ cable/mm.
2. La red de cables está formada por dos grupos perpendiculares entre sí (correas y cabios) cuyo peso debe tenerse en cuenta para evaluar la densidad de la membrana que los reemplaza en el modelo computacional.
3. Para los cables de relleno se ha extraído de la tabla del proyecto original un peso por unidad de longitud de $0'6990 \frac{kg}{m} = 0'7 \cdot 10^{-3} \frac{kg}{mm}$
4. El espesor de la membrana, $t = 0'18 \text{ mm}$

$$\text{Densidad volumétrica} = \frac{2 \cdot 1'56 \cdot 0'7 \cdot 10^{-6}}{0'18} = 12'44 \cdot 10^{-6} \frac{kg}{mm^3} = 120 \frac{kN}{m^3}$$

Se genera una membrana con un espesor de 0'2 mm (el programa no permite introducir centésimas de mm en el espesor de la membrana) de un material con las siguientes características:

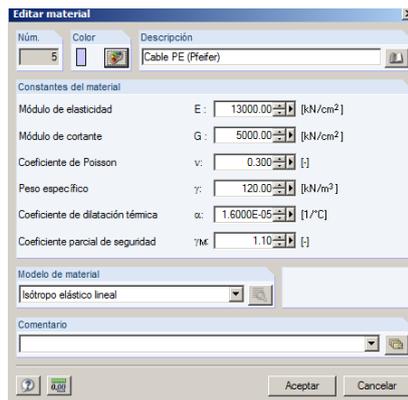


IMAGEN 21.

La captura obtenida del programa con los nudos, cables y superficies ya construidos es la siguiente:

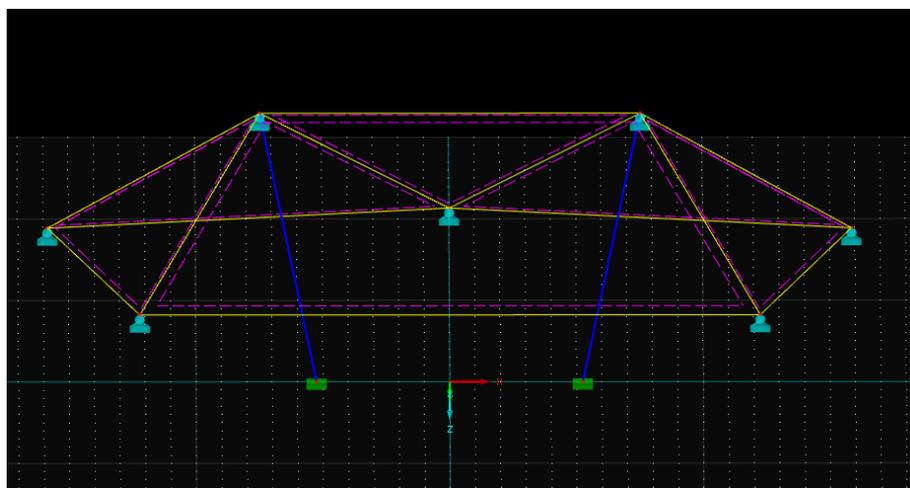


IMAGEN 22.

4. DISEÑO DE ESTRUCTURAS TENSADAS

Como ya se ha comentado en la introducción, la simulación consta de dos fases claramente diferenciadas. En una primera fase se realiza una búsqueda de la forma de la cubierta y en la segunda fase, se aplican las cargas diferenciando entre las estimadas en el proyecto original y las que exigen la normativa actual.

4.1 Búsqueda de forma y construcción de la malla de elementos finitos

Para unas condiciones de contorno, la forma de la superficie se obtiene considerando el equilibrio de las tensiones internas y la carga externa (si corresponde) en cada punto.

El proceso de cálculo de esta forma de equilibrio se considera el proceso de búsqueda de forma. La forma de equilibrio se obtiene sin el uso de propiedades como la rigidez, la manera de ajustar esta forma de equilibrio es cambiar la tensión en los elementos y / o la geometría de los soportes. Los resultados obtenidos para las flechas se encuentran en el Anexo IV.

Resultando la siguiente comparativa de los desplazamientos máximos (flechas):

	COMPARACIÓN FLECHAS (desplazamiento máximo) en mm						
	CABLES PRINCIPALES				CABLES PERIMETRALES		
	CABLE A-B	CABLE 1A-1B	CABLE 2A-3B	CABLE 4A-5B	Cable 12-13	Cable 24-35	Cable 45
PROYECTO ORIGINAL	2000	2100	1000	1000	2000	3000	6600
SIMULACIÓN	2059	2104	1064	1157	1758	2872	6611

IMAGEN 23.

Para generar la malla se realiza a través de elementos triangulares que se adaptan mejor a geometrías difíciles, obteniendo una malla más homogénea y con mayor aproximación en los extremos.

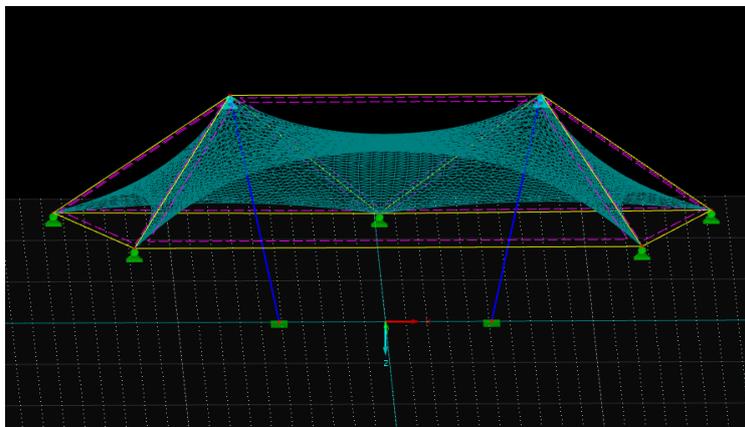


IMAGEN 24.

4.2 Aplicación de cargas

Se va a realizar una comparación entre la carga estimada del proyecto original y la calculada a través de la normativa actual DBSE-AE.

4.2.1 Cargas según normativa actual: DBSE-AE del Código Técnico de la Edificación.

DB SE-AE Seguridad Estructural Acciones en la edificación

Requisitos básicos:	Según CTE		En Proyecto	Prestaciones según el CTE en proyecto
Seguridad	DB-SE	Seguridad estructural	DB-SE	Se aplicarán a este proyecto ya que el edificio tendrá un comportamiento estructural adecuado frente a las acciones e influencias previsibles a las que estará sometido durante la instalación de la cubierta así como en su posterior uso.
	DB-SI	Seguridad en caso de incendio	DB-SI	NO PROCEDE. Ya que no le aplican las exigencias básicas del CTE.
	DB-SU	Seguridad de utilización	DB-SUA	NO PROCEDE. Ya que no le aplican las exigencias básicas del CTE.

ACCIONES CONSIDERADAS

La determinación de las acciones sobre la estructura se ha realizado teniendo en consideración la aplicación de las normativas que se relacionan en el apartado correspondiente de la presente memoria.

Según el DB SE-AE Seguridad Estructural Acciones en la edificación, las acciones y las fuerzas que actúan sobre un edificio se pueden agrupar en 3 categorías: acciones permanentes, acciones variables y acciones accidentales. La consideración particular de cada una de ellas se detalla en los siguientes subapartados, y responde a lo estipulado en los apartados 2, 3 y 4 del DB SE-AE.

1. ACCIONES PERMANENTES: Peso propio

Se incluyen en este grupo el peso propio de los elementos estructurales (cables y postes) y el de las losas no incluidas en el modelo.

El valor característico del peso propio de los elementos constructivos se ha determinado como su valor medio obtenido a partir de las dimensiones nominales y de los pesos específicos medios.

2. ACCIONES VARIABLES: Sobrecarga de nieve y sobrecarga de viento.

Se va a proceder a calcular cada una de ellas con detalle.

4.2.1.1 Peso propio + Sobrecarga

El programa ofrece la opción de elegir si aplicar el peso propio que él mismo calcula a través de las secciones y materiales utilizados en la estructura o no. En este caso seleccionamos su aplicación, para que tenga en cuenta el peso de los cables y la membrana que sustituye a los

cables de relleno. Para que la simulación sea lo más similar a la generada en el proyecto original deberemos añadir el peso de las teselas como una sobrecarga.

Considerando unas teselas metálicas de 1 mm de chapa y siendo la densidad del acero de $7850 \frac{kg}{m^3}$, se obtiene una densidad superficial de $7'850 \frac{kg}{m^2}$. La superficie total de cubierta es de $500 m^2$ por lo que el peso total de las losas es de 3925 kg.

Teniendo en cuenta que la superficie de la cubierta sobre la proyección horizontal es de $340 m^2$:

$$\frac{3925 \text{ kg}}{340 \text{ m}^2} \approx 10 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

Introduciremos $0'1 \frac{kN}{m^2}$ como carga permanente sobre la proyección horizontal de la membrana.

4.2.1.2 Sobrecarga de nieve

La distribución y la intensidad de la carga de nieve sobre un edificio, o en particular sobre una cubierta, depende del clima del lugar, del tipo de precipitación, del relieve del entorno, de la forma del edificio o de la cubierta, de los efectos del viento, y de los intercambios térmicos en los paramentos exteriores. Las cargas derivadas de la acción de la nieve se calcularán atendiendo al artículo 3.5 del DB-SE-AE del CTE.

La carga de nieve considerada en este caso es de $0,50 \text{ kN/m}^2$ (Zaragoza).

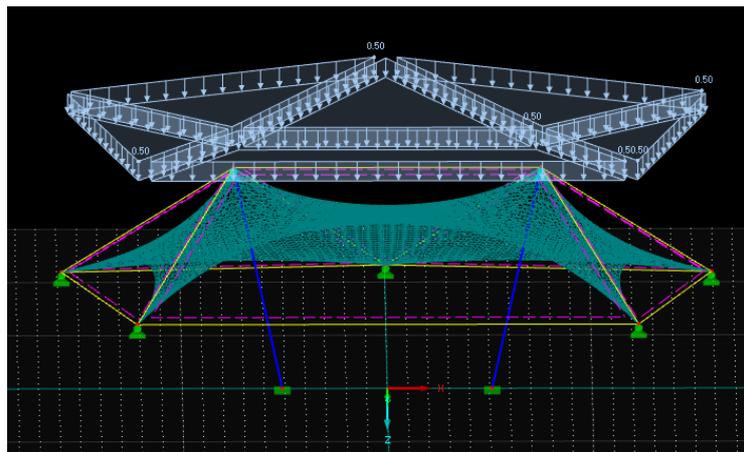


IMAGEN 25.

4.2.1.3 Sobrecarga de viento

Los ejes de coordenadas en la carpa quedan de la siguiente manera:

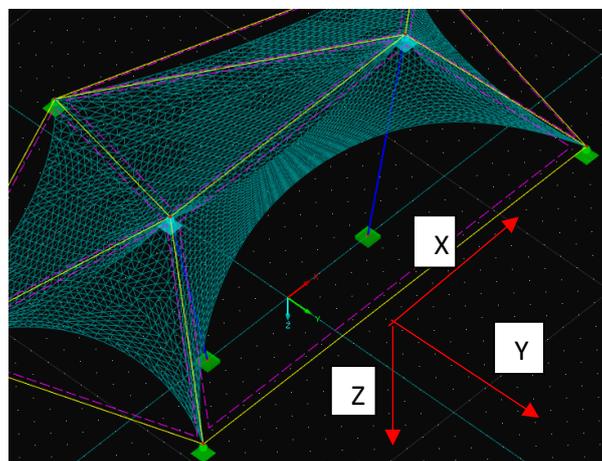


IMAGEN 26.

Se considera la acción de viento, de forma general como una fuerza perpendicular a la superficie de cada punto expuesto.

Esta fuerza se obtiene mediante la presión estática, q_e , que puede expresarse como:

$$q_e = q_b \cdot C_e \cdot C_p$$

Siendo:

q_b : la presión dinámica del viento. De forma simplificada, como valor en cualquier punto del territorio español, puede adoptarse $0,5 \text{ kN/m}^2$, según el CTE.

C_e : el coeficiente de exposición, variable con la altura del punto considerado, en función del grado de aspereza del entorno donde se encuentra ubicada la construcción.

Se encuentra en la tabla 3.3 del DBSE-AE. Se considera un Grado de Aspereza IV al encontrarse el parque de La Paz dentro de la zona urbana de Zaragoza, de manera que con una altura máxima de 12 m se tiene un $C_e = 1,9$.

Tabla 3.3 Valores del coeficiente de exposición C_e .

Grado de aspereza del entorno	Altura del punto considerado (m)							
	3	6	9	12	15	18	24	30
I Borde del mar o de un lago, con una superficie de agua en la dirección del viento de al menos 5 km de longitud	2,2	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,3	3,5
II Terreno rural llano sin obstáculos ni arbolado de importancia	2,1	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,3	3,5
III Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas	1,6	2,0	2,3	2,5	2,6	2,7	2,9	3,1
IV Zona urbana en general, industrial o forestal	1,3	1,4	1,7	1,9	2,1	2,2	2,4	2,6
V Centro de negocio de grandes ciudades, con profusión de edificios en altura	1,2	1,2	1,2	1,4	1,5	1,6	1,9	2,0

C_p : el coeficiente eólico o de presión, nombrado anteriormente. Este coeficiente varía con el ángulo formado entre la dirección del viento y la normal a la superficie de la membrana.

Como no existe normativa específica para una membrana tensada, para determinarlo se consultan varios artículos y proyectos en los que se describen obras similares construidas en Bruselas y Tijarafe (La Palma). En ellos se utiliza el programa Wintess especializado en el cálculo de estructuras superficiales tensadas y que evalúa el coeficiente de presión para distintos valores del ángulo entre la velocidad del viento y la normal a la superficie, a partir de ensayos en túneles de viento y simulaciones computacionales mediante CFD (Computer Fluid Dynamics). Este programa facilita la siguiente tabla del valor de C_p para distintos ángulos.

Los coeficientes de presión C_p utilizados son:

α (°)	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
C_p	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,6	-0,4	-0,2	0,2	0,8	0,9	1,0	0,9	0,8	0,8	0,8	0,6	0,4	0,4

Los coeficientes eólicos negativos tienen el significado de presión sobre la membrana, mientras que los valores positivos significan succión.

Se calcula la sobrecarga de viento en las tres direcciones +X, +Y, -Y.

Los resultados obtenidos en la membrana se adjuntan en el Anexo V.

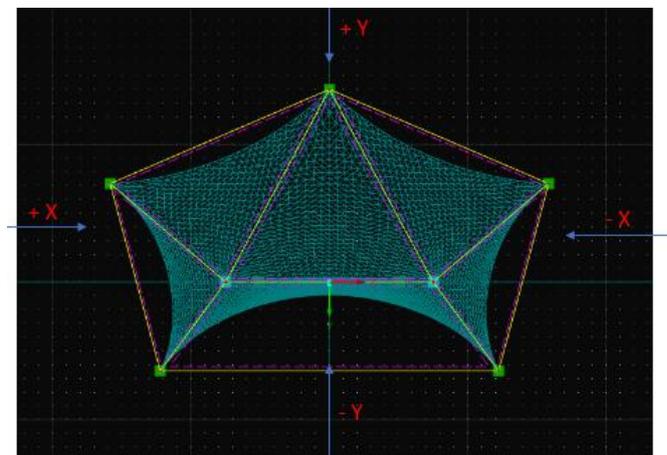


IMAGEN 27.

CARGA DE VIENTO EN EJE X

La carga de viento en +X y en -X, es igual ya que la estructura es simétrica. El viento producirá presión en las superficies situadas a barlovento y succión en las que se encuentran a sotavento.

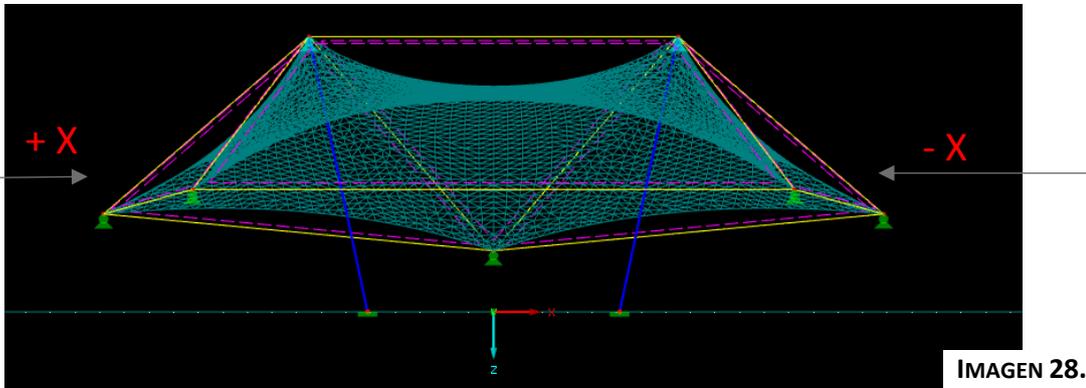


IMAGEN 28.

Se obtienen los ángulos con la geometría de la carpa y a través del cuadro mostrado, el coeficiente eólico.

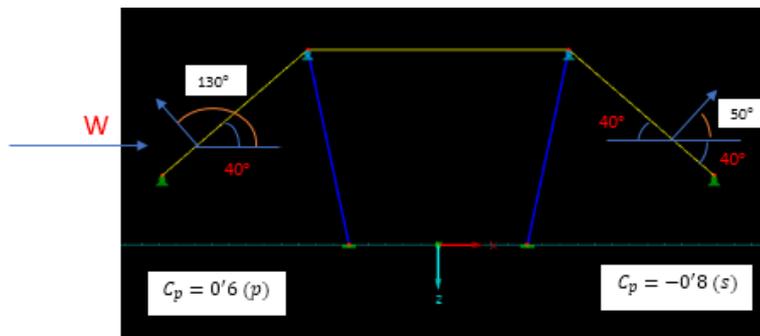


IMAGEN 29.

$$q_e = q_b \cdot C_e \cdot C_p$$

$$q_e = 0'5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 1'9 \cdot 0'6$$

$$q_e = 0'57 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \text{ (PRESIÓN)}$$

$$q_e = 0'5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 1'9 \cdot -0'8$$

$$q_e = -0'76 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \text{ (SUCCIÓN)}$$

Una vez calculadas las cargas de viento en X, las introducimos al programa:

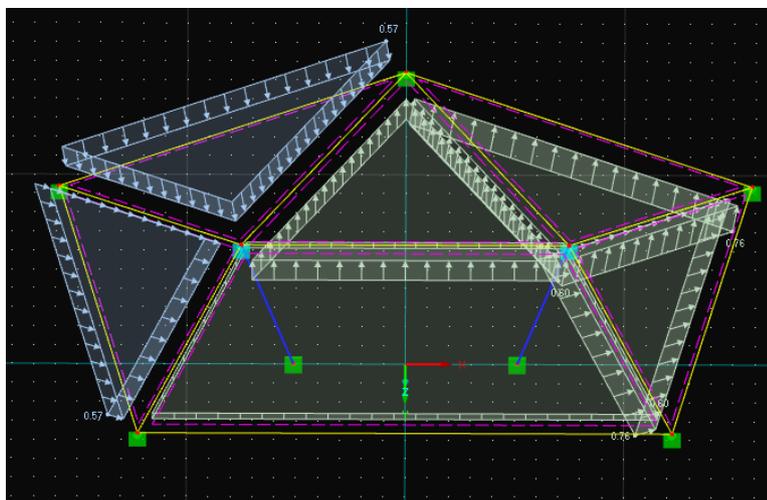


IMAGEN 30.

CARGA DE VIENTO EN EJE +Y

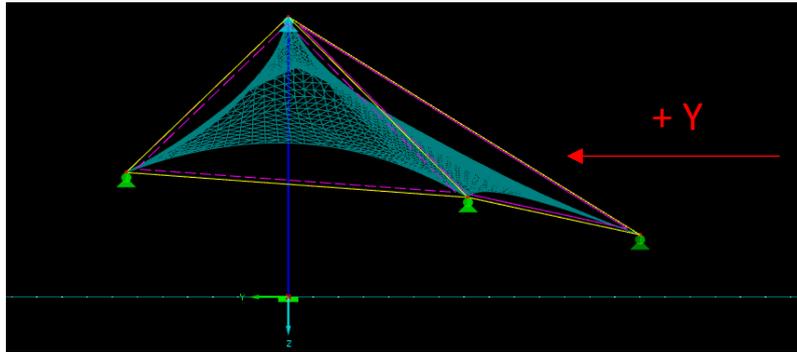


IMAGEN 31.

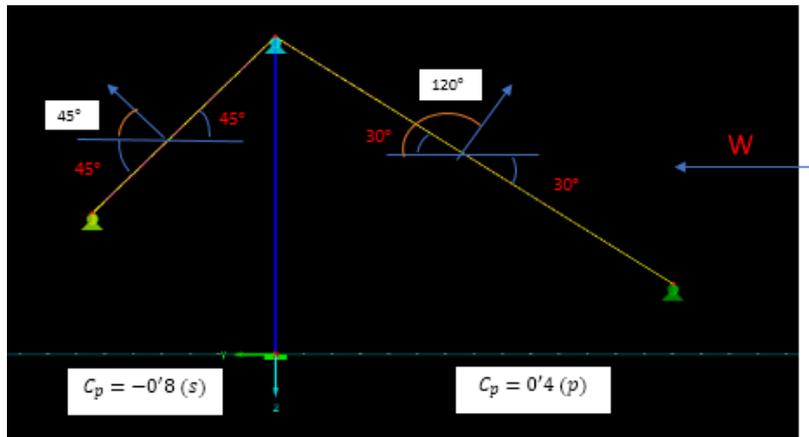


IMAGEN 32.

$$q_e = q_b \cdot C_e \cdot C_p$$

$$q_e = 0.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 1.9 \cdot -0.8$$

$$q_e = -0.76 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \text{ (SUCCIÓN)}$$

$$q_e = 0.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 1.9 \cdot 0.4$$

$$q_e = 0.38 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \text{ (PRESIÓN)}$$

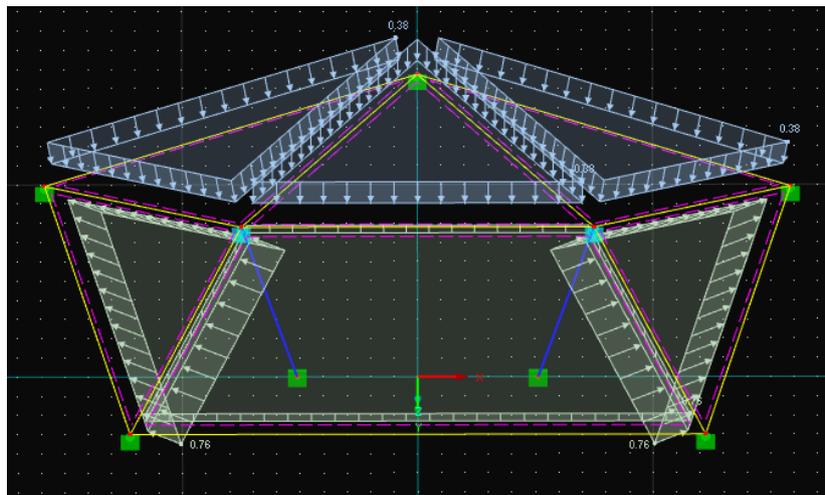


IMAGEN 33.

CARGA DE VIENTO EN EJE -Y

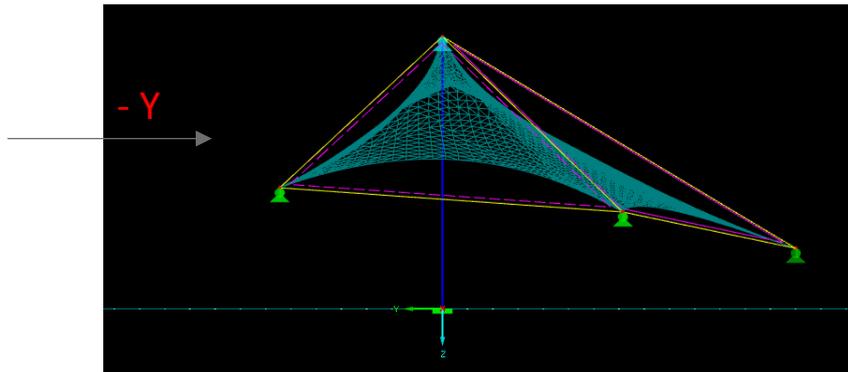


IMAGEN 34.

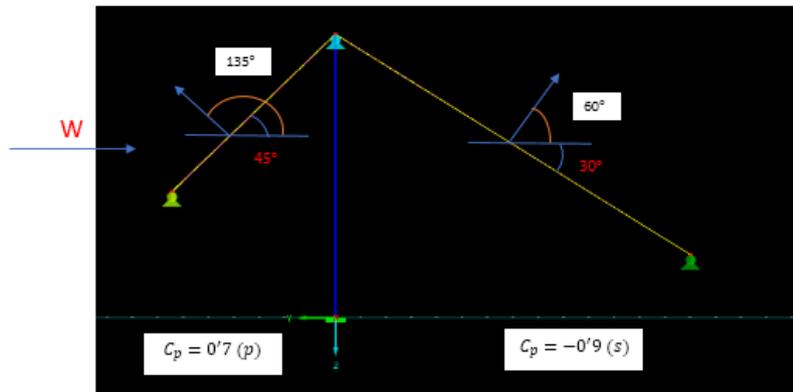


IMAGEN 35.

$$q_e = q_b \cdot C_e \cdot C_p$$

$$q_e = 0.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 1.9 \cdot 0.7$$

$$q_e = 0.665 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \text{ (PRESIÓN)}$$

$$q_e = 0.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 1.9 \cdot -0.9$$

$$q_e = -0.855 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \text{ (SUCCIÓN)}$$

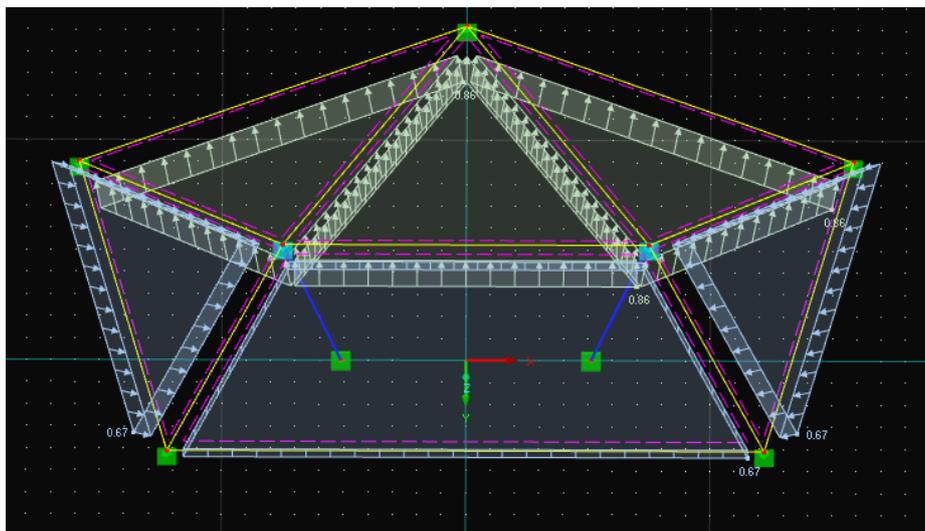


IMAGEN 36.

4.2.2 Carga aplicada en proyecto original

En el proyecto original, el proyectista consideró un peso propio de 50 kg/m² más una sobrecarga de 100 kg/m², dando lugar a una carga combinada de:

$$150 \text{ kg/m}^2 = 1'5 \text{ kN/m}^2.$$

En este caso aplicamos una carga en la proyección horizontal de este valor y no activamos el peso propio calculado por el programa.

5. RESULTADOS

En este último bloque vamos a exponer los resultados obtenidos en la simulación del proyecto original y los obtenidos en el modelo con cargas según CTE.

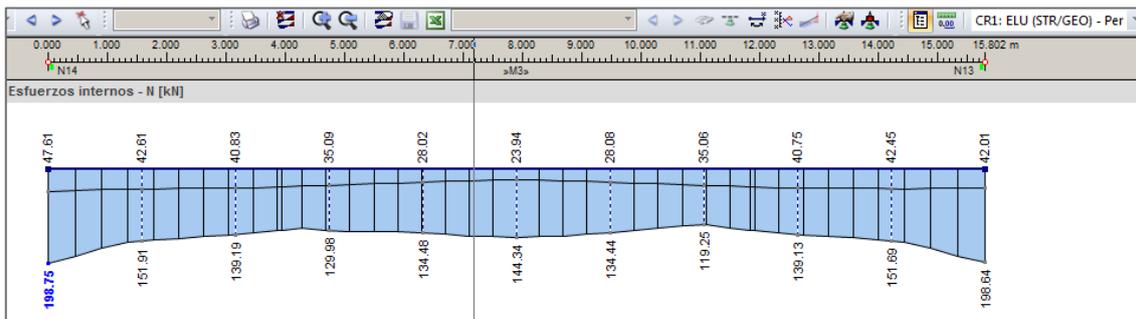
5.1 Resultados obtenidos aplicando las cargas del Código Técnico de Edificación.

Introduciendo las cargas descritas en el apartado 4.2.1, el programa RFEM calcula todas las combinaciones posibles para una situación persistente o transitoria en Estado Límite Último y, a partir de ellas, las envolventes de esfuerzos máximos en cada punto, que son los valores que se muestran en este apartado.

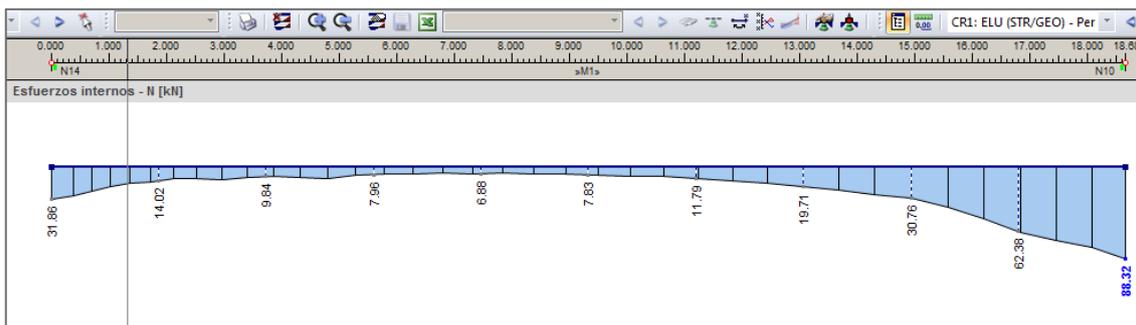
El Estado Límite Último (ELU) es un estado límite, tal que de ser rebasado la estructura completa o una parte de la misma puede colapsar al superar su capacidad resistente. En el Anexo VI, se encuentran los axiles dibujados en el modelo en 3D.

5.1.2 CABLES PRINCIPALES Y PERIMETRALES

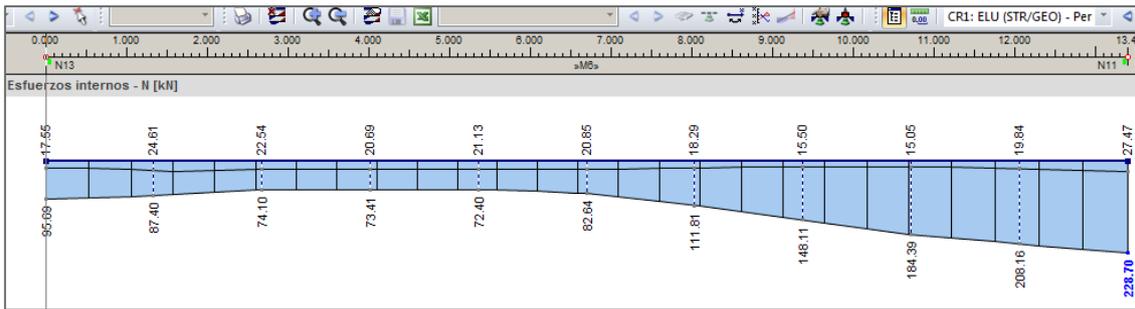
- **CABLE A-B:** Tiene un axil máximo en los extremos de 198 kN.



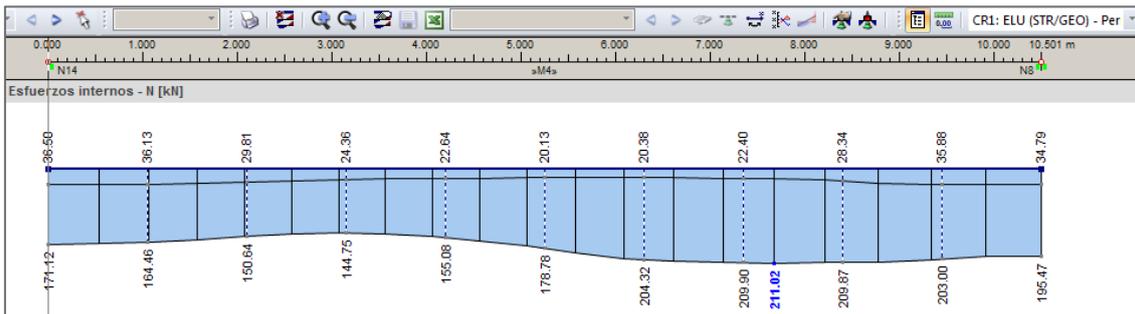
- **CABLE 1-A y 1-B:** Tiene un axil máximo de 88 kN.



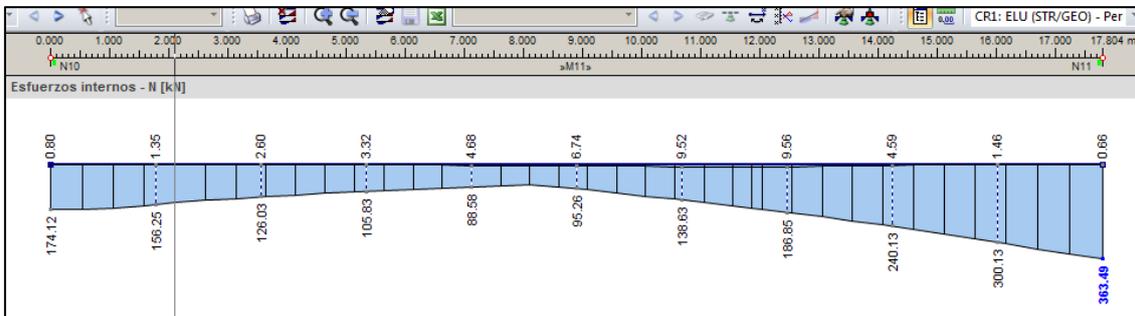
- **CABLE 2-A y 3-B:** Tiene un axil máximo de 228 kN.



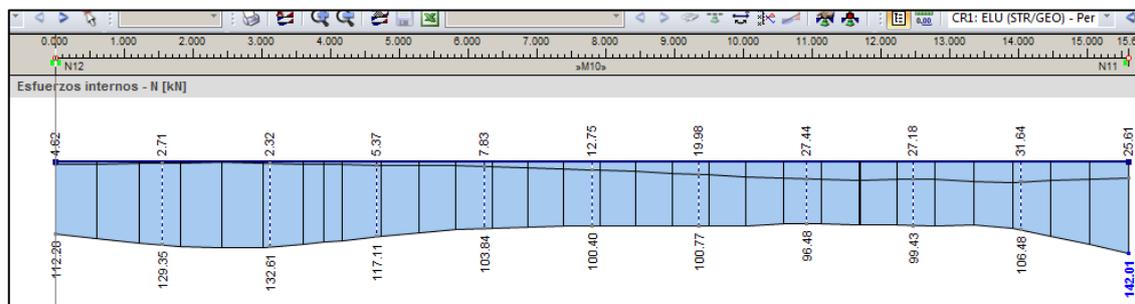
- **CABLE 4-A y 5-B:** Tiene un axil máximo de 210 kN.



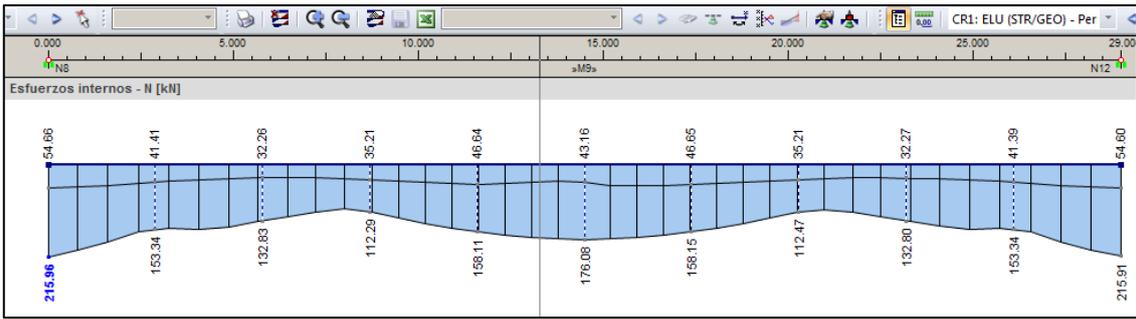
- **CABLE 1-2 y 1-3:** Tiene un axil máximo de 363 kN.



- **CABLE 2-4 y 3-5:** Tiene un axil máximo de 142 kN.



- **CABLE 4-5:** Tiene un axil máximo de 215 kN.



5.1.2 MEMBRANA

El mapa de desplazamientos verticales para la membrana en ELU es el siguiente:

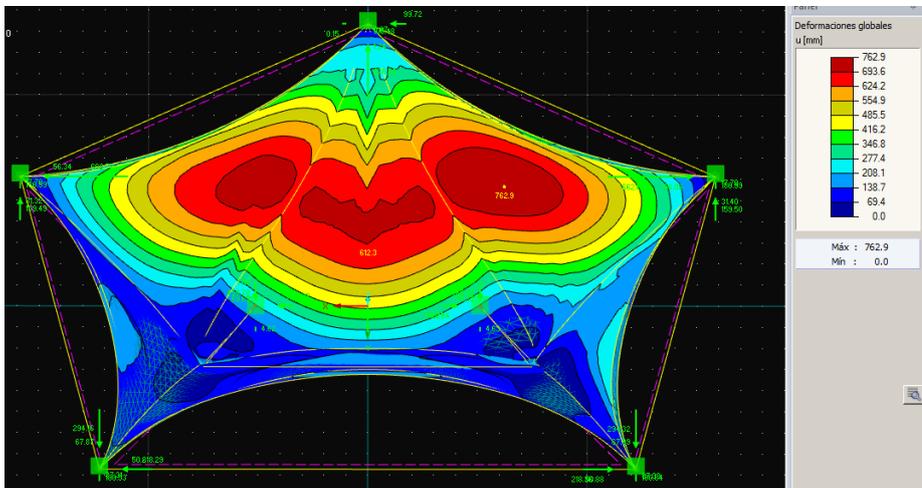


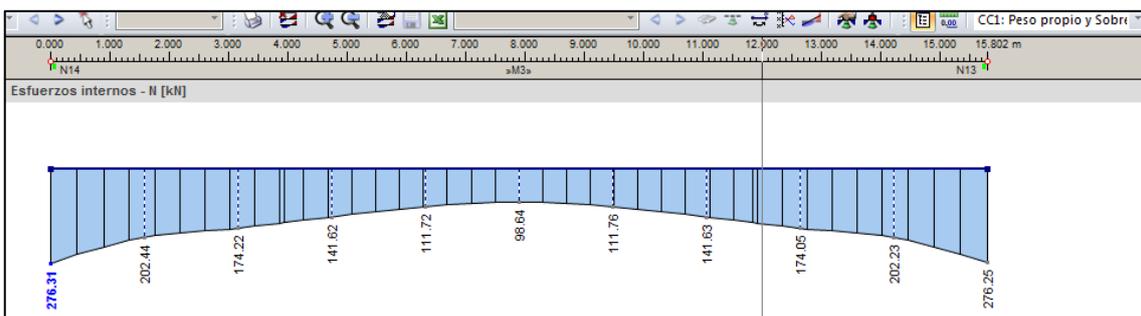
IMAGEN 36.

Normalmente los desplazamientos se calculan para un Estado Límite de Servicio, pero, dado que en estructuras textiles no constituyen una magnitud de control y que se muestran únicamente a efectos de comparación de los dos casos de cargas contemplados en el TFG, se presenta también la envolvente para las distintas combinaciones de Estado Límite Último.

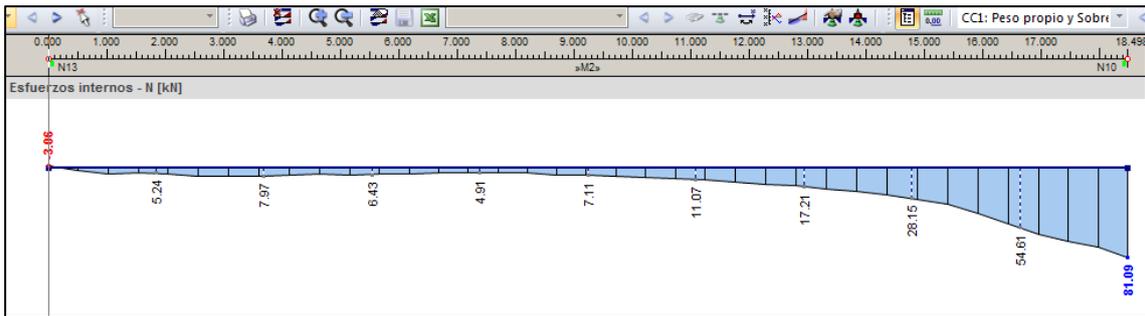
5.2 Resultados obtenidos aplicando las cargas del proyecto original

5.2.1 CABLES PRINCIPALES Y PERIMETRALES

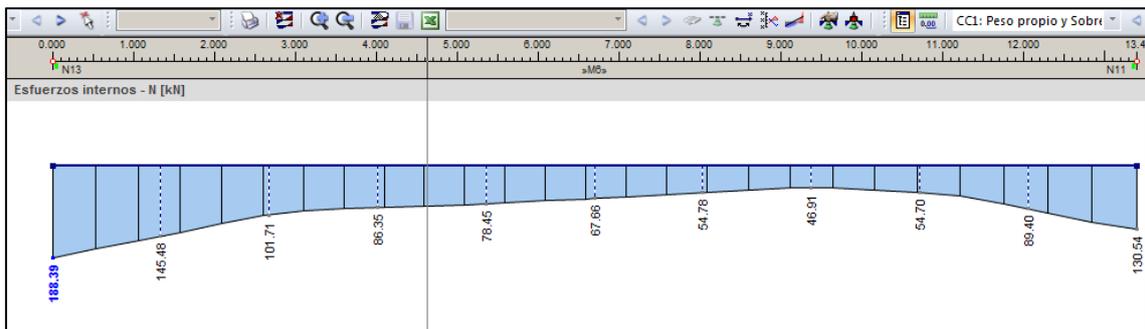
- **CABLE A-B:** Tiene un axil máximo de 276 kN.



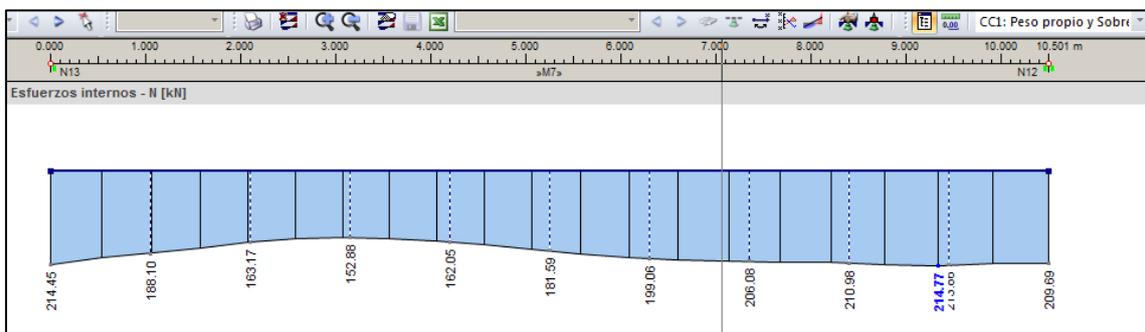
- **CABLE 1-A y 1-B:** Tiene un axil máximo de 81 kN.



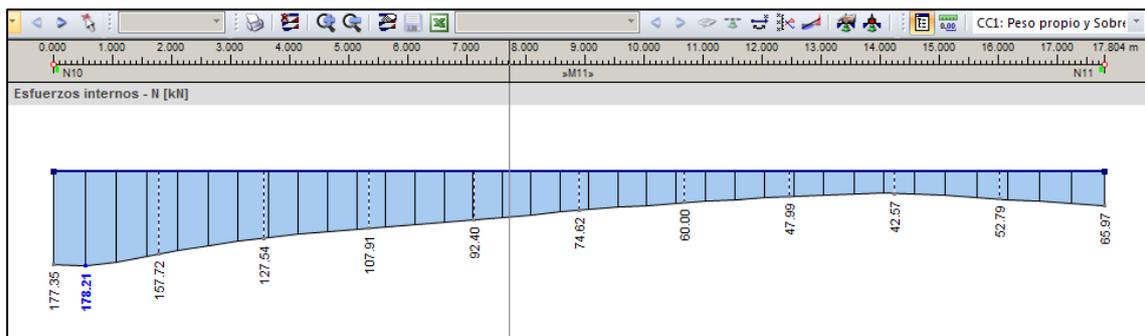
- **CABLE 2-A y 3-B:** Tiene un axil máximo de 188 kN.



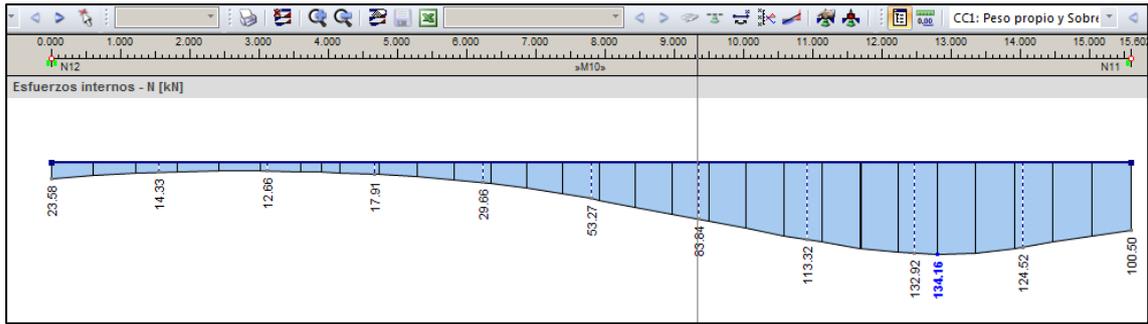
- **CABLE 4-A y 5-B:** Tiene un axil máximo de 215 kN.



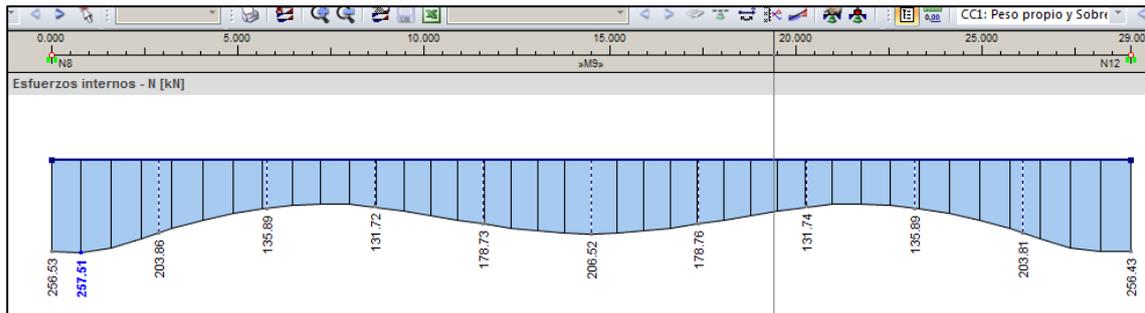
- **CABLE 1-2 y 1-3:** Tiene un axil máximo de 179 kN.



- **CABLE 2-4 y 3-5:** Tiene un axil máximo de 134 kN.



- **CABLE 4-5:** Tiene un axil máximo de 247 kN.



5.2.2 MEMBRANA

El mapa de desplazamientos verticales para la membrana en Peso Propio + Sobrecarga es el siguiente:

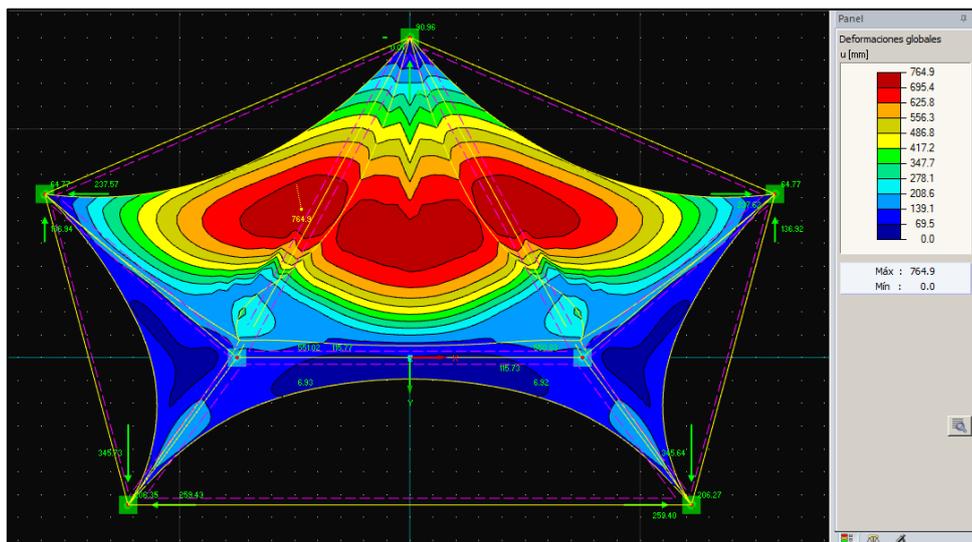


IMAGEN 37.

5.3 Tabla resumen esfuerzos y cálculo del coeficiente de seguridad

Los resultados obtenidos se presentan en una tabla resumen con los axiles máximos resultantes en cada cable para los dos casos de carga:

		RESULTADOS EN AXILES (kN)						
		CABLES PRINCIPALES				CABLES PERIMETRALES		
	APLICACIÓN DE CARGA	CABLE A-B	CABLE 1A-1B	CABLE 2A-3B	CABLE 4A-5B	Cable 12-13	Cable 24-35	Cable 45
ELU(PERM/TRANS)	Según CTE actual	198	88	228	210	363	142	215
PP+SC 1'5 kN/m2	Proyecto Original	276	81	188	215	179	134	257

Como se puede observar en el cuadro anterior, los axiles de las barras son similares en ambos modelos. La diferencia más significativa ese encuentra en el cable 12-13. Esto se debe a que este es el cable más largo y uno de los que soporta la zona de cubierta más extensa, de manera que en él las diferencias entre la carga aplicada en el proyecto original (exclusivamente vertical) y la de viento (perpendicular a la superficie y de presión o succión dependiendo de qué zona de la cubierta se considere) son máximas.

El cálculo del coeficiente de seguridad se realiza comparando la resistencia en kN de cada uno de los cables empleados con los axiles máximos obtenidos en el cálculo mediante elementos finitos. Es importante destacar que, como los cálculos se han realizado con cargas mayoradas con los coeficientes de seguridad establecidos en el CTE, el coeficiente de seguridad presentado aquí constituye una reserva adicional de resistencia en los cables por encima de la que exige la normativa.

Para un diámetro de 24 mm (utilizado en cable AB y cable 1A - 1B) es 448'07 kN y para un diámetro de 26 mm (resto de cables de la estructura) es 559'67 kN.

Por lo que obtenemos los siguientes coeficientes:

		COEFICIENTE DE SEGURIDAD						
		CABLES PRINCIPALES				CABLES PERIMETRALES		
	APLICACIÓN DE CARGA	CABLE A-B	CABLE 1A-1B	CABLE 2A-3B	CABLE 4A-5B	Cable 12-13	Cable 24-35	Cable 45
ELU(PERM/TRANS)	Según CTE actual	2,26	5,09	2,45	2,67	1,54	3,94	2,60
PP+SC 1'5	Proyecto Original	1,62	5,53	2,98	2,60	3,13	4,18	2,18

Como se puede observar, los coeficientes obtenidos son siempre superiores a 1,5. El coeficiente de seguridad del cálculo realizado de acuerdo con la normativa actual es similar al obtenido con los cálculos del proyecto original y en muchas ocasiones algo superior.

$$\gamma_{CTE actual} > \gamma_{proyecto original}$$

La única excepción la constituye el resultado en los cables 12 y 13 ya comentado anteriormente y, aún en este caso, la reserva de resistencia que queda en el cable es superior al 50%

ANEXOS:

- **ANEXO I: OBTENCIÓN DEL PROYECTO ORIGINAL**
- **ANEXO II: FOTOGRAFÍAS DE LA MAQUETA DE 1980**
- **ANEXO III: CATÁLOGO DE CABLES DEL PROYECTO ORIGINAL**
- **ANEXO IV: BÚSQUEDA DE FORMA Y COMPARACIÓN DEL DESPLAZAMIENTO MÁXIMO**
- **ANEXO V: RESULTADOS DE LA MEMBRANA CON CARGA NIEVE Y CARGA DE VIENTO**
- **ANEXO VI: CAPTURAS DEL PROGRAMA CON LOS AXILES DE LOS CABLES PRINCIPALES Y PERIMETRALES**

ANEXO I: Obtención del proyecto original

En el ayuntamiento, tenemos acceso a todos los planos de las construcciones realizadas en Zaragoza, por lo que, me pareció interesante buscar los planos originales de la construcción de la carpa.

Mi búsqueda comienza en la página del Ayuntamiento, con el fin de recabar los máximos datos posibles de la carpa para conseguir los planos.

La información encontrada en dicha página es:

Cinco cabezas

Música y Artes Escénicas

Autor/es
BARNOLA USANO, Rafael (Ingeniero de Montes, Paisajista, Escultor, Pintor) CLEMENTE OCHOA, Manuel (Escultor)

Colaboradores
Mariano Cester Zapata

Emplazamiento
Parque de la Paz, Rotonda Villa de Pau

Periodo
[1976-2000] Último cuarto del siglo XX

Materiales
hormigón formado con cemento y fibra de nylon (en lugar de arena)

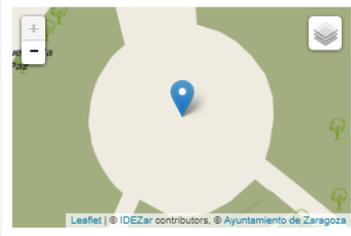
Dimensiones
cada una de las cinco caras es de dimensiones variables, alcanzan un máximo de 1,50 m. de altura x 1,70 de anchura y 2,40 de profundidad

Cronología
1987-8

Promotor
Ayuntamiento de Zaragoza (Servicio de Parques y Jardines)

Propietario
Ayuntamiento de Zaragoza

Cinco cabezas
Cinco cabezas
Cinco cabezas
Cinco cabezas
Cinco cabezas
Cinco cabezas



Crónica

Este parque, realizado donde antes estaba el poblado gitano de "Las graveras", cuenta como atractivo principal un anfiteatro, cuyo graderío se construyó aprovechando el talud de la colina, ante una fuente cuyos chorros pueden alzarse en vertical para servir de telón, aunque normalmente brotan a poca altura para dejar ver el escenario del kiosko, cubierto con un monumental entoldado de chapas metálicas pintadas. Tal es su peso, que para sujetarlo hubo que amarrar los cinco tirantes que lo sujetan a inmensas bases de hormigón hundidas en el suelo, de las que sólo asoman estas gigantescas cabezas.

Comentarios

Este magnífico y divertido conjunto es típicamente postmoderno por su fecha y material, por el manierismo de su proporción ciclópea, por las gesticulaciones a veces burlescas, los juegos irónicos -algunos ojos y pestañas se han dibujado presionando con una palma de mano abierta en el cemento fresco-, y por los abundantes guiños históricos: una especie de careta de comedia romana, un personaje con ropas románticas, una cabeza miguelangelesca, una evocación de las caras que decoran el Jardín de las Maravillas de Bomarzo, etc. También es muy postmoderno el hecho de que estén huecas y accesibles, sirviendo de escondite en los juegos infantiles, entrando en aparente contradicción con su uso estructural; porque en realidad no sirven sólo como contrapeso, pues su función es sobre todo estética y de seguridad: si se hubieran atado a un poste pequeño o menos vistoso, algún paseante o animal hubiera podido tropezarse con él o con el cable donde entra en ángulo con el suelo.

Hoy en día, el monumento se llama “Cinco Cabezas” y está situado en La Rotonda Villa de Pau. Aunque como veremos más adelante, en el momento de la construcción, dicha rotonda aún no tenía el nombre que posee ahora.

Como podemos apreciar en la captura de pantalla, el periodo del que data es de 1976-2000. No precisa la fecha de comienzo de construcción exacta ni sabemos con la exactitud la fecha de depósito de dicho proyecto.

La obtención de los planos concernientes al proyecto de la Carpa del barrio la Paz, fue una ardua tarea. Para comenzar, la Carpa se encuentra en un parque por lo que se considera del sector Parques y Jardines. En el parque Labordeta, se encuentra dentro del Jardín Botánico la zona dedicada a administrar dicho sector, pero con planos tan antiguos es complicado determinar su lugar de archivo. Después de un par de viajes a ambos lugares, determinaron, que, de estar, estarían en el Ayuntamiento de Zaragoza C/Vía Hispanidad.

Una vez centrado el lugar de mi búsqueda, me encontré el problema comentado antes: sin tener la fecha exacta de la aprobación del monumento que, hoy en día, se llama las “Cinco cabezas”, necesitaba el emplazamiento para que en el depósito del Ayuntamiento pudieran encontrar la caja que contenía el proyecto, pero con calle Rotonda Villa de Pau no existía nada respecto al parque.

La mejor opción era consultar en el sector de urbanismo la Cartografía Histórica, para encontrar el nombre o la situación en el mapa de Zaragoza entre los años 1970 y 1980.

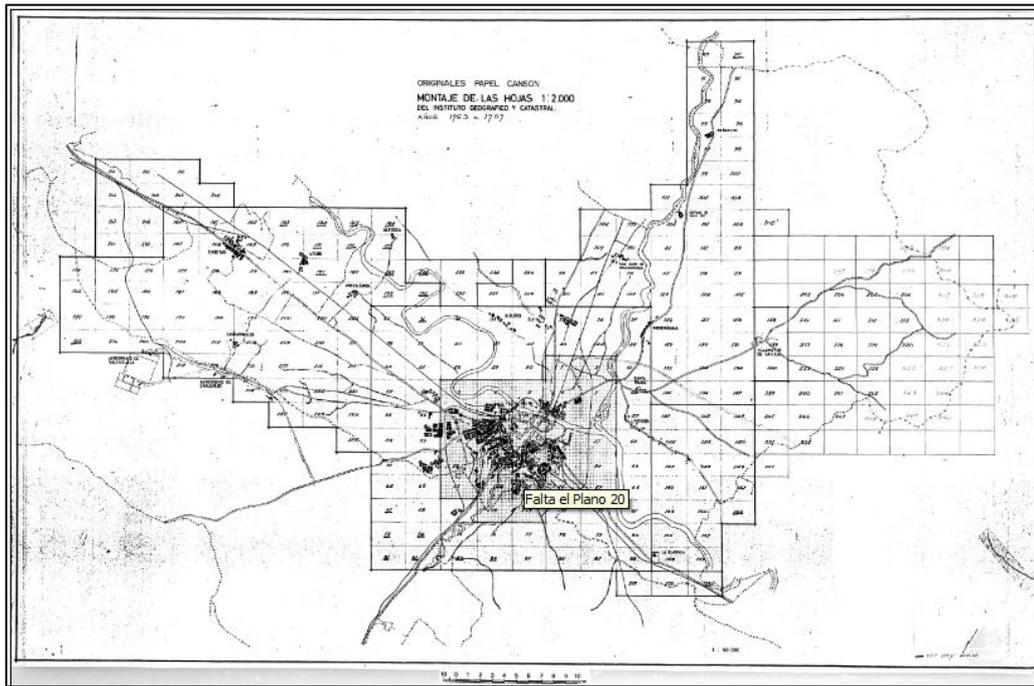
URBANISMO

CARTOGRAFÍA HISTÓRICA: ÍNDICE DE PLANOS

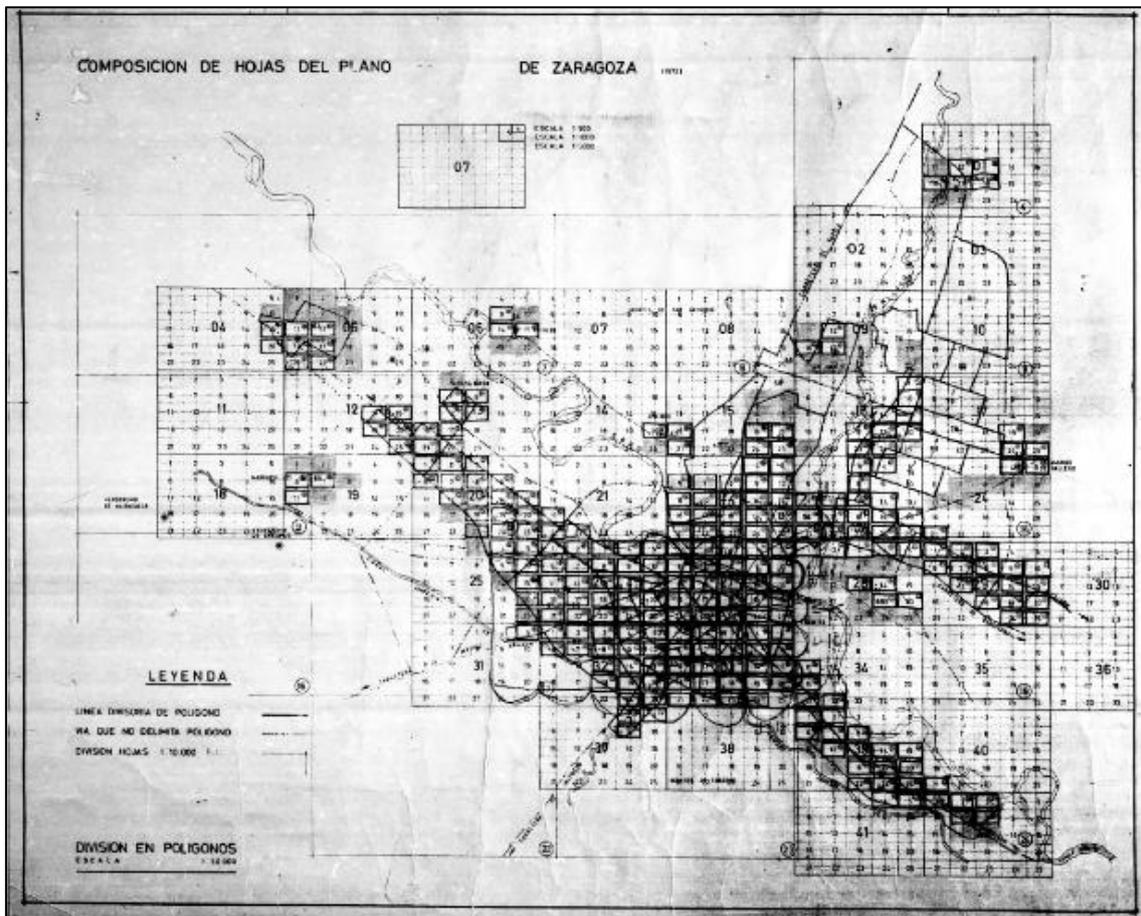
Planos Históricos de la Ciudad de Zaragoza

- Plano general. Dionisio Casañal. 1879
- Plano del término municipal. Dionisio Casañal. 1892
- Plano [1910-1920]
- Plano general parcelario del casco histórico. Dionisio Casañal. 1911
- Plano del [casco histórico] de Zaragoza. Dionisio Casañal. 1911 (por manzanas y casas)
- Plano parcelario. Instituto Geográfico y Catastral. 1935
- Plano por sectores o barriadas. 1944
- Plano parcelario del término municipal. Instituto Geográfico y Catastral y Ayuntamiento de Zaragoza. 1962-1969
- Plano topográfico o parcelario del término municipal. Galtier. 1971-1974
- Plano de la ciudad. Ayuntamiento de Zaragoza. 1982
- Plan General de Ordenación Urbana de 1986

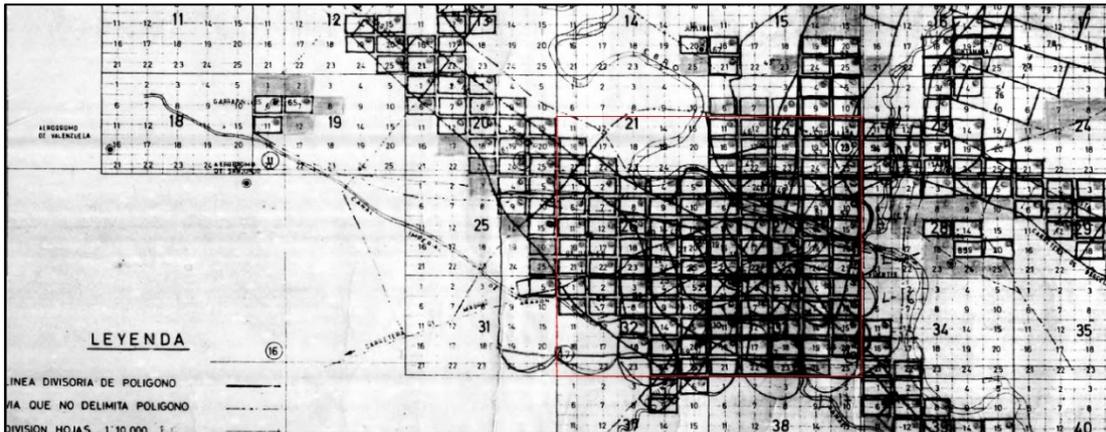
Comienzo revisando en el registro parcelario del término municipal del Ayuntamiento de Zaragoza e Instituto Geográfico y Catastral de 1962 a 1969, pero faltan los planos de la zona central de la ciudad.



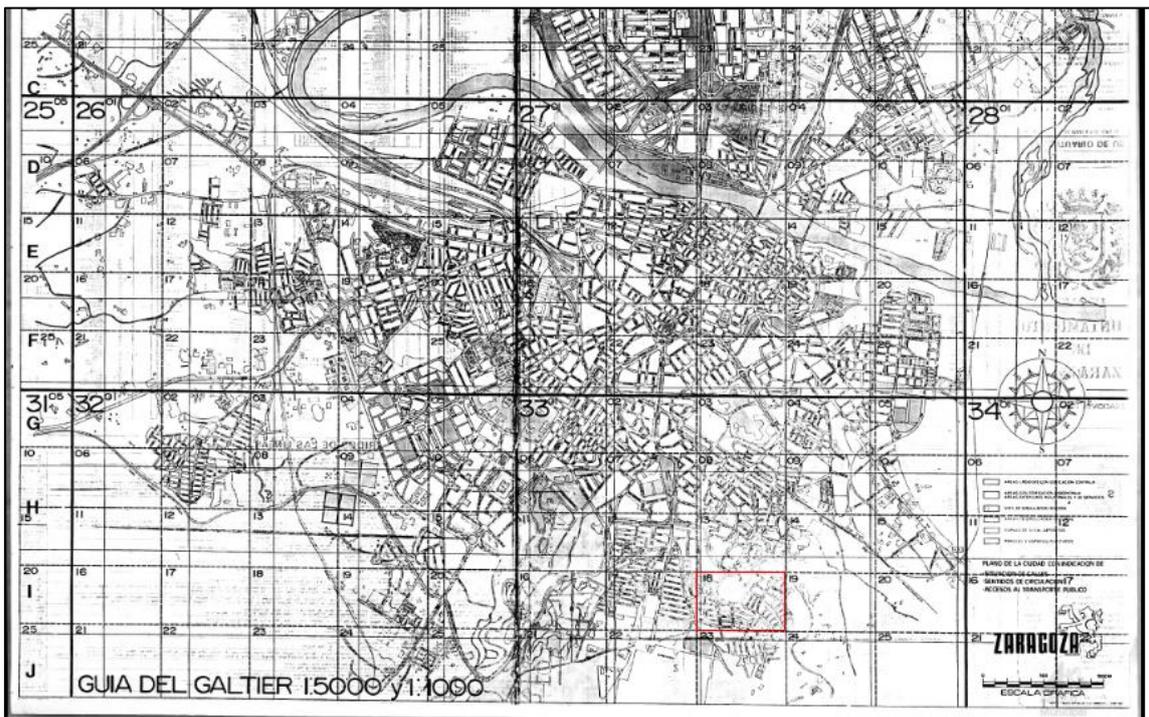
Por lo que, compruebo en los plano topográfico o parcelario del término municipal Galtier. 1971-1974.



El sector marcado en rojo te lleva a otra página de referenciación.

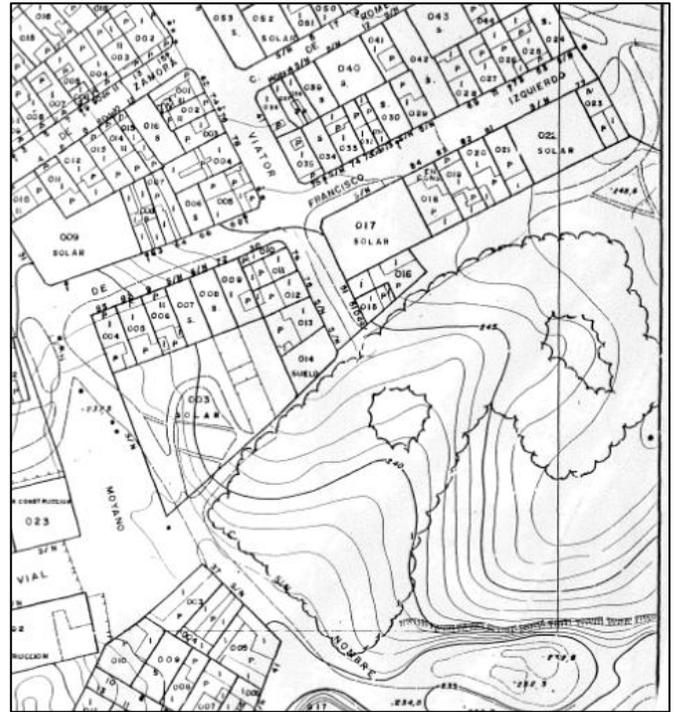


Dentro de ese sector nos centramos en el 33-18 y 33-19, en el cual se encontrará alojado nuestro futuro parque.

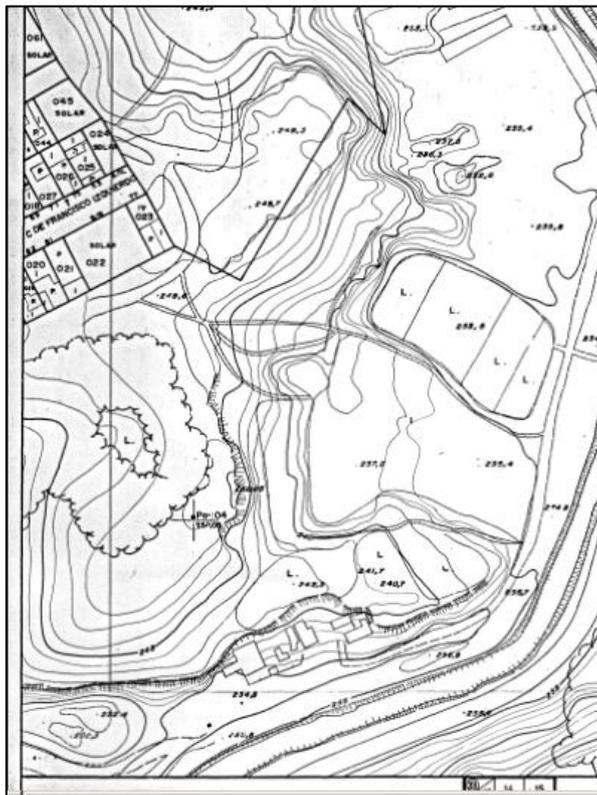


El parque aún no está construido, pero encontramos el futuro emplazamiento del parque. Vemos la calle sin nombre que rodea la zona verde. Como calles colindantes encontramos: Calle Francisco Izquierdo, Calle Viator y Calle Teniente Coronel León Moyano.

Galtier 1971-1974, PLANO 33-18

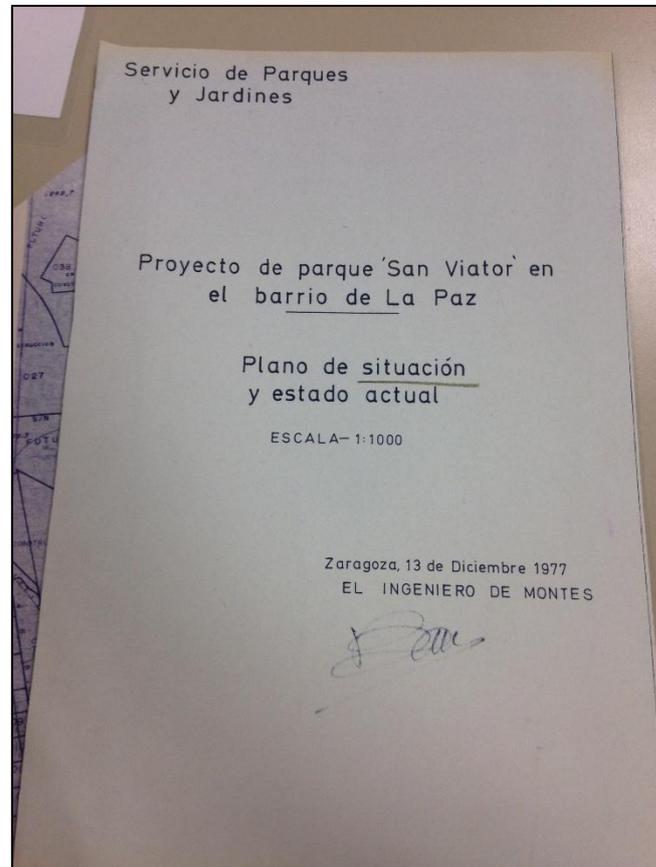


PLANO 33-19



Acudo al archivo del Ayuntamiento de Zaragoza, tras pedir cita previa, para encontrar la construcción del Parque La Paz con las calles obtenidas previamente (C/ Francisco Izquierdo, C/ Viator y Moyano) y en la fecha comprendida entre 1974 (Planos de Galtier) y 1982, los siguientes planos encontrados.

La búsqueda arroja el primer avance en mi proyecto, encuentro el proyecto referente a la construcción del parque.



Como vemos, los planos adjuntados del Proyecto de parque "San Viator" en el barrio de La Paz, se corresponden con los encontrados de Galtier, coincidiendo también la fecha que aparece en el proyecto, diciembre de 1977, entre ambas fechas de los planos del Ayuntamiento.

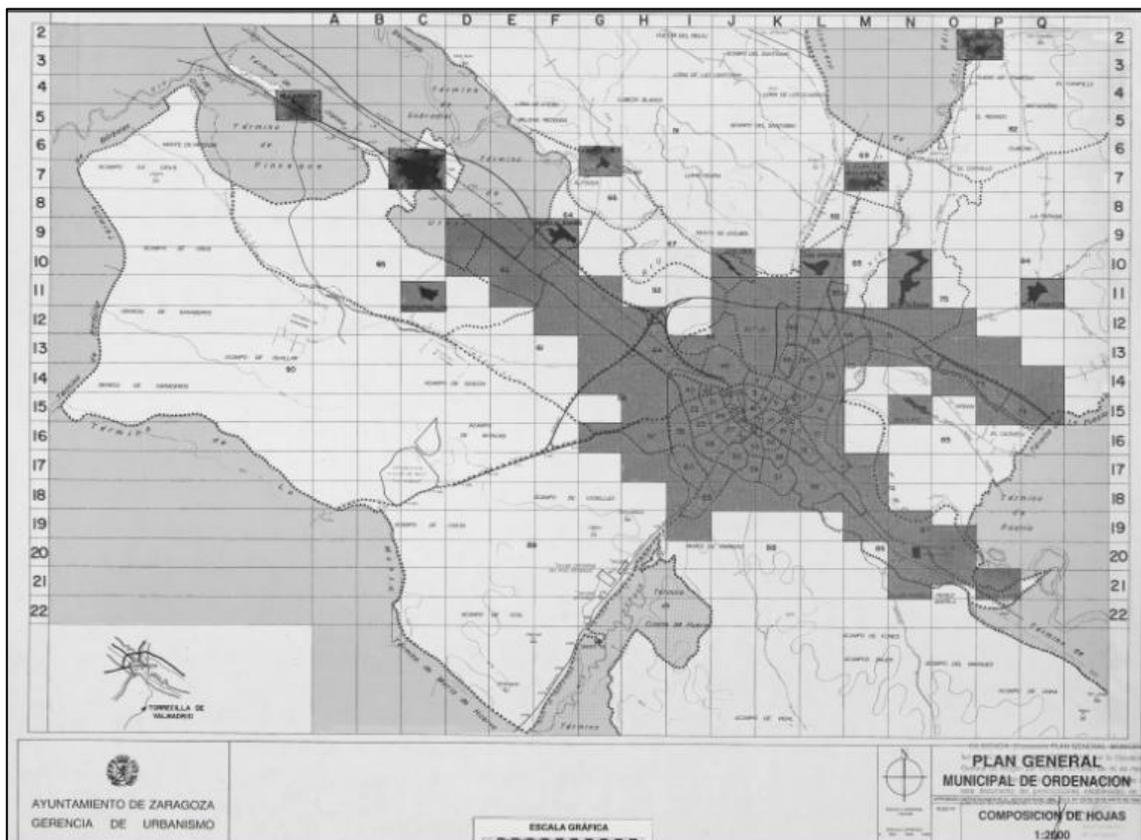
La mala noticia es que no aparece nada respecto al Anfiteatro. Supongo que la construcción será posterior, así que reviso en el buscador del registro las fechas posteriores sin encontrar ningún proyecto.

Mi única opción es revisar los planos del Plan General de Ordenación Urbana de 1986, esperando obtener algún dato que me aporte información extra para poder cambiar alguna variante en el buscador.

PLAN GENERAL DE ORDENACIÓN URBANA DE ZARAGOZA. 1986

URBANISMO	
CARTOGRAFÍA HISTÓRICA	
Plan General de Ordenación Urbana de Zaragoza	
Año	1986
Contiene	<ul style="list-style-type: none">• Ordenación de suelo urbano (Escala 1:50000, 1:17500 y 1:1000)• Centro Histórico (Escala 1:3000)• Calificación del suelo (Escala 1:5000 y 1:25000)• Clasificación del suelo (Escala 1:25000 y 1:5000)
Escala	Varias escalas
	Ver Imágenes <ul style="list-style-type: none">• Ordenación• Centro Histórico• Calificación• Clasificación

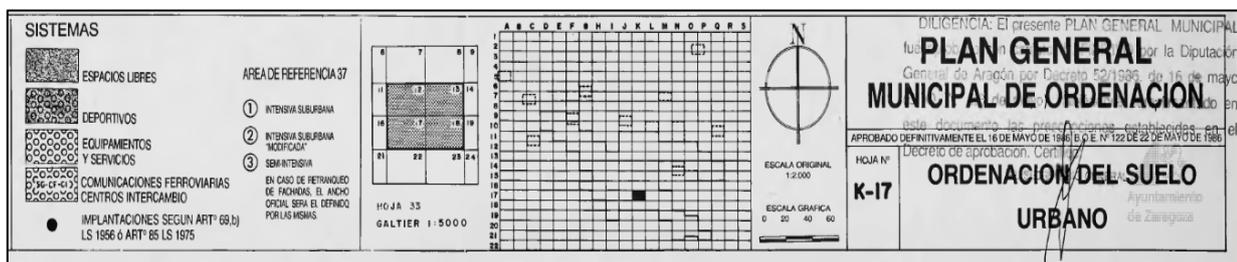
Dentro de Ordenación, encontramos el plano de Referencia:

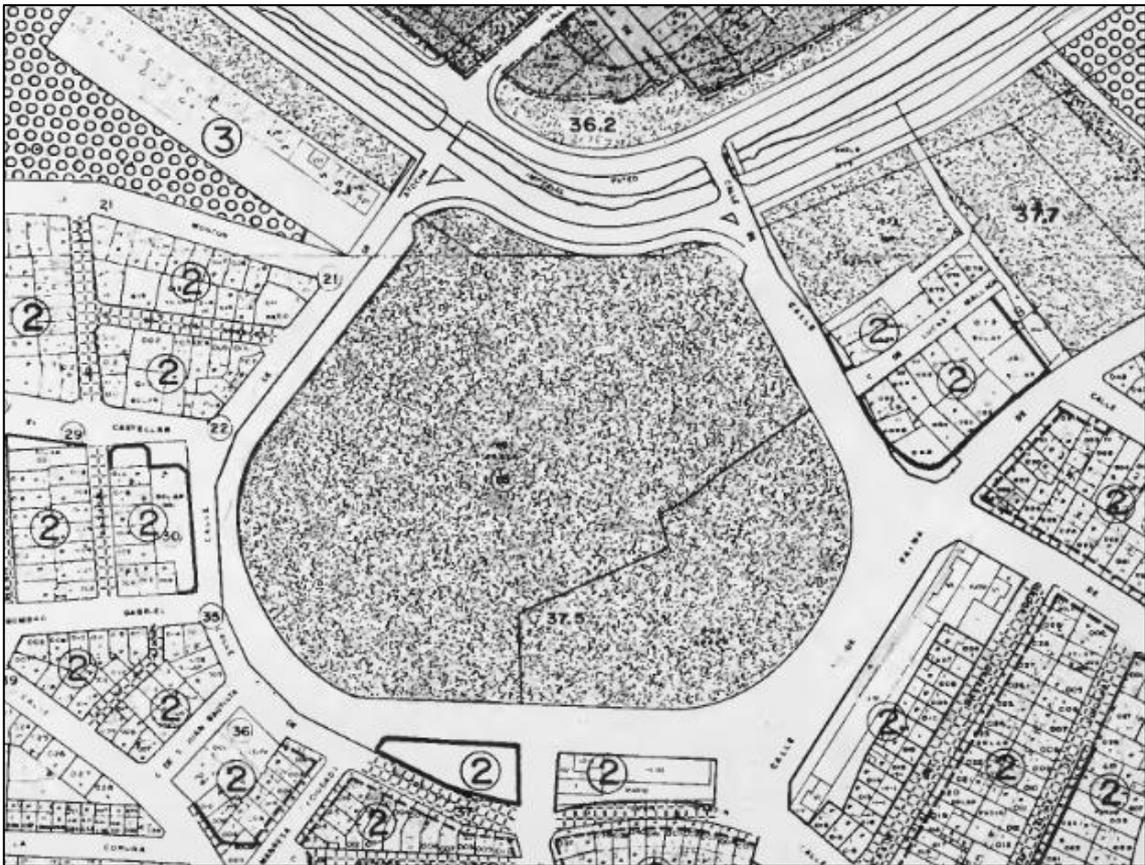
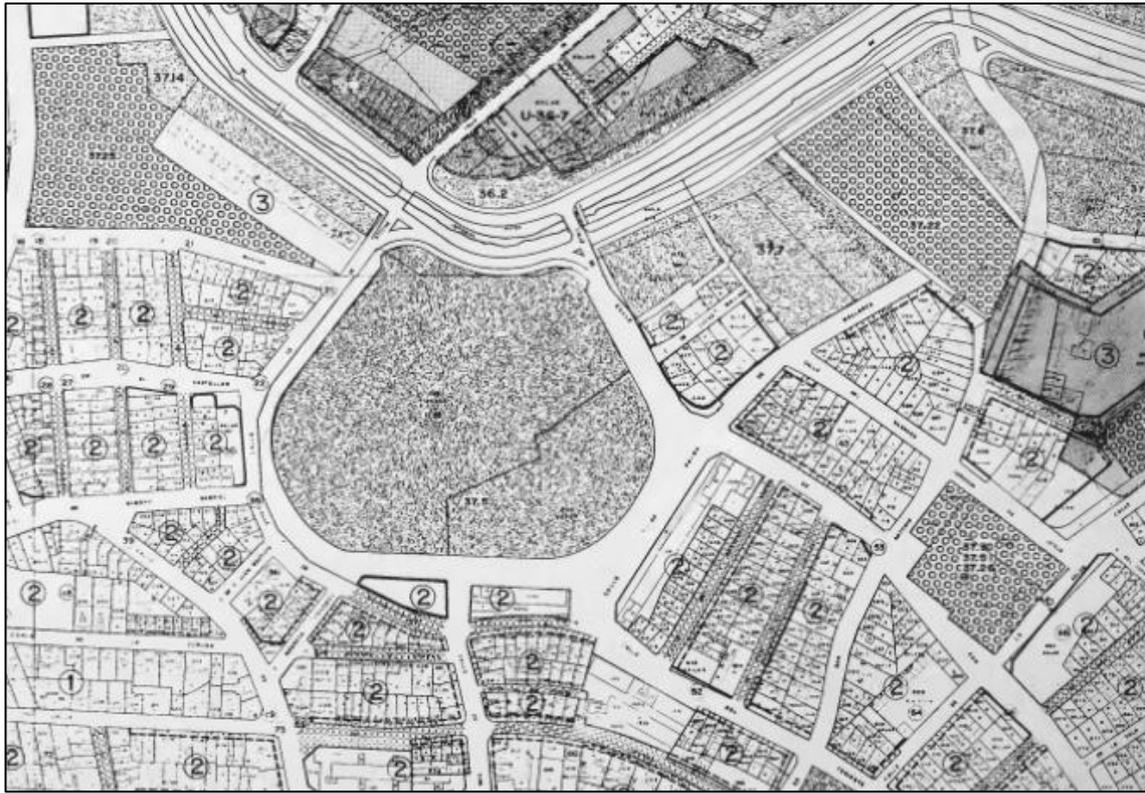


Al ampliar el plano de Ordenación encontramos que nuestro Parque se encuentra en el Polígono 37.



La leyenda del plano del Polígono 37 es muy interesante, hace referencia al Plano de Galtier 1982 y nos incluye unos gráficos para diferenciar el tipo de actividad de cada zona delimitada.



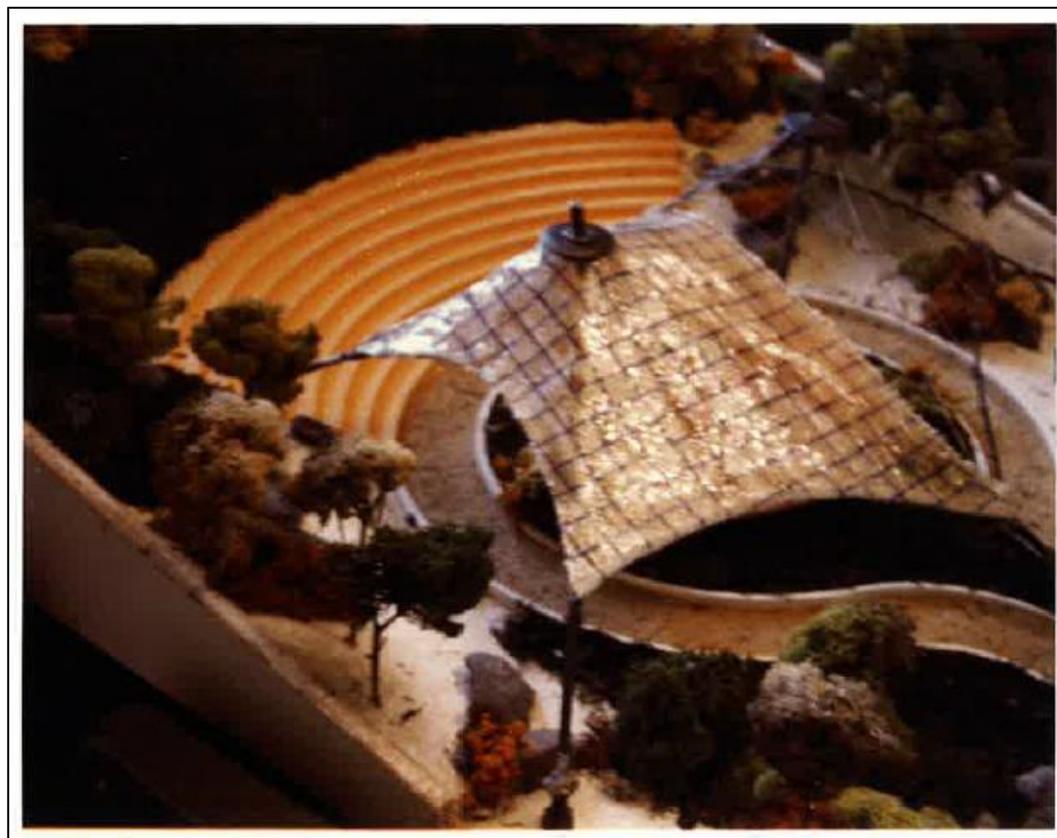


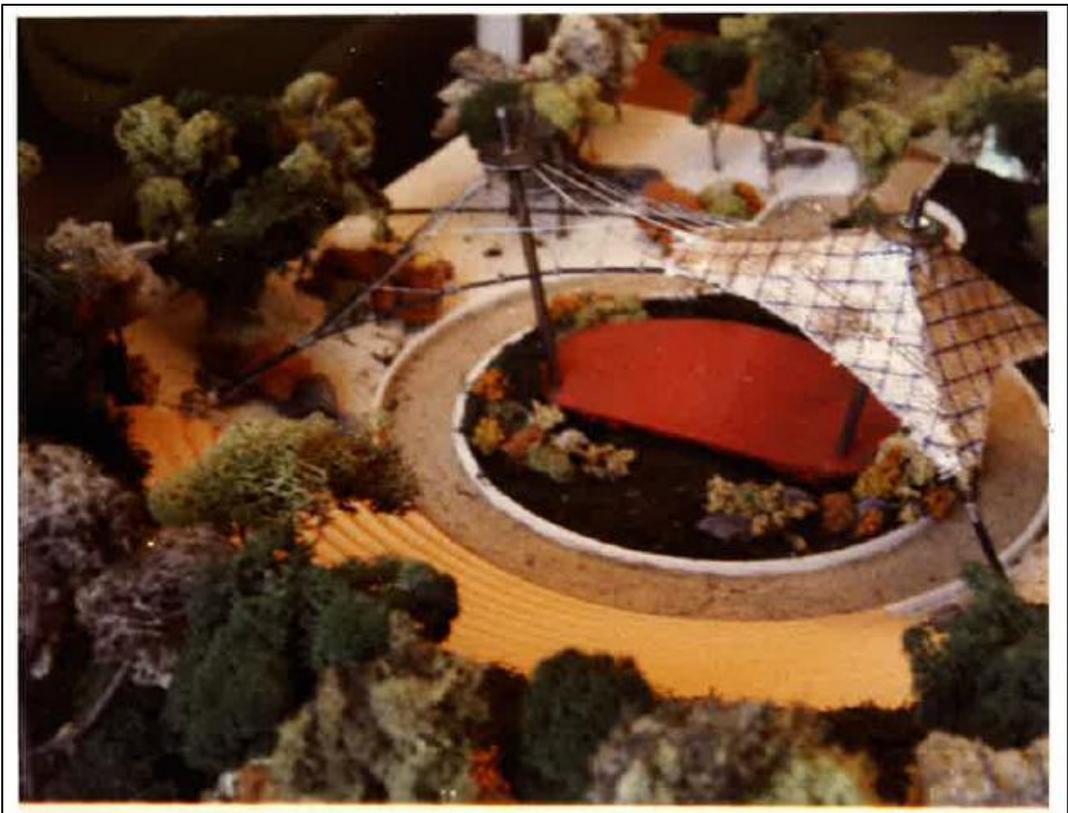
Al volver al Ayuntamiento a consultar el archivo, encontré el proyecto que concernía a la construcción del monumento “Cinco Cabezas”.

Proyecto de zonas verdes en el polígono 37 bº de la Paz (Zaragoza).

Dicho proyecto contiene varios sectores, entre los cuales se encuentra SECTOR 6 Auditorium. El parque se construyó en 1977 unos años antes de comenzar el proyecto de la carpa, en 1980, el cual finalizó en 1985.

ANEXO II: FOTOGRAFÍAS DE LA MAQUETA DE 1980





ANEXO III-. CATÁLOGO DE CABLES DEL PROYECTO ORIGINAL

NUEVA MONTAÑA QUIJANO, S. A.

LAS CARACTERÍSTICAS QUE DEFINEN UN CABLE SON LAS SIGUIENTES:

- 1.º—Longitud del cable en metros.
- 2.º—Diámetro del cable en milímetros.
- 3.º—Composición, o sea, número de cordones, número, forma y disposición de los alambres en el cordón.
- 4.º—Alma del cable, que puede ser textil o metálica, en cuyo último caso hay que indicar su composición.
- 5.º—Calidad o resistencia de los alambres en Kgs./mm².
- 6.º—Protección o recubrimiento, que puede ser gris, galvanizado, galvanizado reforzado o estañado.
- 7.º—Torsión de los cordones en el cable y de los alambres en el cordón.
- 8.º—Carga de rotura del cable en Kgs.
- 9.º—Diámetro de los alambres en milímetros y sección metálica del cable en mm².
- 10.º—Peso aproximado del cable en Kgs.

Las siete primeras características determinan el cable y es imprescindible sean indicadas por nuestros clientes al hacer el pedido.

Las tres últimas vienen dadas por las anteriores y son facilitadas por los fabricantes en sus catálogos. (Ver nuestro Capítulo VI).

La acertada elección de estas características de acuerdo con el trabajo que el cable ha de desarrollar en la instalación es fundamental para su duración.

En el caso de instalaciones en servicio, dotadas con cables idóneos, el fijar estas características no ofrecerá dificultad pues basta repetir las de los cables en uso. Si nuestros clientes no las conocen con seguridad rogamos nos indiquen su pedido anterior, ya que nuestros servicios archivan y clasifican escrupulosamente los datos completos de los suministros efectuados y les podremos informar con exactitud; cuando los cables empleados no sean de nuestra fabricación el envío de una pequeña muestra de 30 a 50 cms., en buen estado, nos permitirá, asimismo, precisar estas características.

Tratándose de instalaciones nuevas, reformadas o en que los cables no den resultados satisfactorios, detallamos a continuación algunos aspectos de estas características, que junto con las generalidades expuestas en los Capítulos III, IV y V permitirán a los usuarios una elección acertada.

Por otra parte, nuestro Departamento Técnico, está incondicionalmente a disposición de los clientes y con mucho gusto atenderá cualquier consulta sobre el particular. Para ello será

3° 2.—Cables espiroidales.

Constituyen la forma más elemental de cable, ya que están formados por un solo cordón. Este puede tener una o varias capas de alambres en general del mismo diámetro.

Al carecer de alma textil son muy rígidos, pero de gran sección metálica (tanto más cuanto menor número de capas tenga).

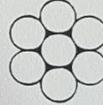
Por ello quedan generalmente descartados en instalaciones cuyos cables trabajan en movimiento arrollándose frecuentemente sobre poleas. En cambio, son muy usados como cables carriles de transportadores aéreos, cables guías en pozos mineros y aquellos usos en que el cable trabaja estáticamente sin esfuerzos apreciables de flexión repetida, tales como vientos, tensores, frenos, líneas de protección contra rayo, líneas de transporte de energía eléctrica, núcleo para la construcción de cables de aluminio acero, tomas de tierra de pararrayos, cordones de ligar..., etc.

Para aserrar piedras se emplea un cordón especial de tres alambres de acero al manganeso, de gran resistencia al desgaste.

Los cables Bowden son cordones de alta resistencia empleados como tensores en aviación.



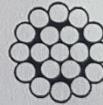
$$1 \times 3 + 0$$



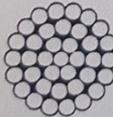
$$1 \times 7 + 0$$



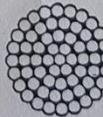
$$1 \times 12 + 0$$



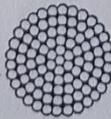
$$1 \times 19 + 0$$



$$1 \times 37 + 0$$



$$1 \times 61 + 0$$



$$1 \times 91 + 0$$

7. CABLES ESTÁTICOS

Los cables que se emplean en usos estáticos, al no sufrir o ser muy limitados los esfuerzos de flexión, tienen una gran duración, que suele depender, en primer término, de la protección frente a los agentes atmosféricos corrosivos. Por ello, a no ser que lleven protecciones o pinturas especiales, son siempre galvanizados.

1.—Puentes colgantes.

Este tipo de estructuras consta esencialmente de un tablero sostenido por péndolas que tienen los esfuerzos a los cables de suspensión catenaria. Para obtener las máximas duraciones se recurre al empleo de cables galvanizados de garantía con alambres de diámetro grueso. Por otra parte, para reducir los pesos y, por consiguiente, los costes, la resistencia a la fatiga de los alambres suele ser la máxima compatible con el diámetro. Como no se requiere que los cables sean flexibles, se usan de preferencia los cables espiroidales

$$\begin{aligned} &1 \times 7 + 0 \\ &1 \times 19 + 0 \\ &1 \times 37 + 0 \\ &1 \times 61 + 0 \end{aligned}$$

cables cerrados o semicerrados o las composiciones.

$$\begin{aligned} &7 \times 7 + 0 \\ &7 \times 19 + 0 \end{aligned}$$

En los puentes colgantes importantes se recurre con frecuencia a instalar varios cables espiroidales contiguos paralelamente. Se prescinde siempre de las almas textiles que pudieran ocasionar internamente la corrosión.

Los cables de suspensión se suelen calcular con un coeficiente de seguridad de cuatro y los péndolas con cinco.

2.—Cables fiadores o de suspensión.

La suspensión catenaria de las líneas aéreas de contacto de los ferrocarriles se realiza mediante cables espiroidales o cordones. Asimismo se utilizan como fiadores de los conductores eléctricos aéreos en los cruces de líneas o con vías de comunicación. Véase la «Reglamentación para instalaciones eléctricas», publicada en el *Boletín Oficial* del 10 de abril de 1949.

Son composiciones usuales:

$$\begin{aligned} &1 \times 7 + 0 \quad \text{galvanizado.} \\ &1 \times 19 + 0 \quad \text{»} \\ &1 \times 37 + 0 \quad \text{»} \\ &7 \times 7 + 0 \quad \text{»} \end{aligned}$$

Como su trabajo estático es poco variable, suele tomarse un coeficiente de seguridad de cuatro.

7° - 3.—Líneas de protección contra rayos.

Llamadas también líneas de tierra, constituyen la protección contra descargas atmosféricas de los circuitos aéreos eléctricos. Son cables espiroidales galvanizados o galvanizados reforzados, que sólo soportan su propio peso o el eventual esfuerzo del viento o hielo. La tensión de tendido suele venir fijada teniendo en cuenta la flecha máxima. Consúltese el «Reglamento para instalaciones eléctricas».

7° - 4.—Pararrayos.

Los circuitos de toma de tierra de pararrayos y líneas de tierra se establecen con cordones o cables de sección metálica suficiente. Las características mecánicas del alambre son indiferentes, ya que no soportan trabajo alguno. Es, en cambio, imprescindible un buen galvanizado con vistas a su duración.

7° - 5.—Vientos y riostras.

Para el anclaje o arriostamiento de estructuras verticales cuya estabilidad no está asegurada exclusivamente por su base (chimeneas, derricks, torres de hormigonado, mástiles de radio y televisión, etc.), se emplean cables galvanizados, cuyas más usuales composiciones son:

$$\begin{aligned} &1 \times 7 + 0 \\ &1 \times 19 + 0 \\ &1 \times 37 + 0 \\ &7 \times 7 + 0 \end{aligned}$$

Excepto si la fuerza de vuelco tiene una dirección y sentido invariable, en cuyo caso basta con instalar un solo viento, se recurre a la colocación de varios en distintas direcciones.

La mejor disposición es colocar los distintos vientos fijos a la misma altura de la estructura, formando el mismo ángulo con la horizontal (suele estar comprendido entre 30° y 45°), dispuestos simétricamente y con igual tensión inicial (es deseable el 20 % de la carga máxima de trabajo).

Para calcular la carga máxima de trabajo de cada viento, debe multiplicarse la componente horizontal de las fuerzas de vuelco por los dos coeficientes dados en las tablas siguientes

Número de riostras	Coefficiente
3	1,15
4	1,00
5	0,90
6	0,75
7	0,65
8	0,55
9	0,50
10	0,45
11	0,40
12	0,37

Ángulo de las riostras con la horizontal	Coefficiente
50°	1,55
45°	1,41
40°	1,30
35°	1,22
30°	1,15
25°	1,10

Se suele emplear 5 como coeficiente de seguridad.

1º 4. Cables espiroidales



↓ 1 × 37 + 0

Diámetro comercial del cable mm.	Diámetro nominal del cable mm.	Diámetro del alambre mm.	Peso aproximado del cable kg./m.	CARGA DE ROTURA REAL MÍNIMA GARANTIZADA EN KGS. CON ACERO								
				Suave recocido	Suave	120 kg./mm. ²	140 kg./mm. ²	160 kg./mm. ²	180 kg./mm. ²	200 kg./mm. ²	220 kg./mm. ²	
1,40	1,40	0,20	0,0094	29	79					175	195	215
1,50	1,55	0,22	0,0114	35	95					215	240	260
1,60	1,60	0,23	0,0125	39	105					235	260	285
1,70	1,70	0,24	0,0136	42	115					255	285	310
1,80	1,80	0,26	0,0160	50	135					300	335	365
2,00	2,00	0,28	0,0185	58	155				355	350	385	425
—	2,10	0,30	0,0213	66	175				380	400	445	490
—	2,20	0,31	0,0224	71	190				455	425	475	520
—	2,40	0,34	0,0273	85	230				540	515	570	630
2,50	2,60	0,37	0,0324	100	270				610	610	675	745
—	2,80	0,40	0,0379	120	315				830	710	790	870
—	3,00	0,45	0,0479	150	400				900	900	1.000	1.100
3,00	3,20	0,45	0,0479	150	400				900	1.110	1.240	1.360
3,50	3,50	0,50	0,0591	185	495		865		1.200	1.340	1.490	1.640
—	3,90	0,55	0,0716	225	525		1.050		1.240	1.600	1.780	1.960
4,00	4,20	0,60	0,0852	265	620		1.240		1.420	1.800	2.090	2.290
4,50	4,60	0,65	0,1000	315	730		1.460		1.670	1.880	2.180	2.420
—	4,90	0,70	0,1160	365	845		1.690		1.940	2.180	2.420	2.680
5,00	5,30	0,75	0,1330	415	970		1.950		2.220	2.500	2.780	3.060
5,50	5,60	0,80	0,1510	475	1.110		2.210		2.530	2.850	3.160	3.480
6,00	6,00	0,85	0,1710	535	1.250		2.500		2.960	3.210	3.570	
—	6,30	0,90	0,1920	600	1.400		2.800		3.200	3.600	4.000	
—	6,70	0,95	0,2140	670	1.560		3.120		3.570	4.010	4.460	
6,50	6,70	0,95	0,2140	670	1.560		3.120		3.570	4.010	4.460	
7,00	7,10	1,00	0,2370	740	1.730	2.960	3.460		3.950	4.450	4.940	
—	7,40	1,05	0,2610	815	1.780	3.270	3.810		4.560	4.900	5.450	
7,50	7,80	1,10	0,2860	895	1.790	3.580	4.180		4.790	5.380	5.980	
8,00	8,10	1,15	0,3130	980	1.960	3.920	4.570		5.230	5.880	6.530	
8,50	8,50	1,20	0,3410	1.070	2.130	4.270	4.980		5.690	6.400	7.110	
—	8,80	1,25	0,3700	1.160	2.320	4.630	5.400		6.180	6.950	7.720	
9,00	9,20	1,30	0,4000	1.250	2.500	5.010	5.840		6.680	7.510	8.350	
8,50	9,50	1,35	0,4310	1.350	2.700	5.400	6.300		7.200	8.100	9.000	
—	9,90	1,40	0,4640	1.450	2.900	5.810	6.780		7.750	8.710	9.680	
10,00	10,20	1,45	0,4980	1.560	3.120	6.230	7.270		8.310	9.350	10.380	
10,50	10,60	1,50	0,5330	1.670	3.330	6.670	7.780		8.890	10.000	11.120	
11,00	11,30	1,60	0,6060	1.900	3.790	7.590	8.850		10.120	11.380		
12,00	11,90	1,70	0,6840	2.140	4.280	8.570	9.950		11.420	12.850		
12,50	12,70	1,80	0,7670	2.400	4.800	9.600	11.200		12.800	14.410		
13,00	13,40	1,90	0,8550	2.680	5.350	10.700	12.480		14.270	16.050		
14,00	14,10	2,00	0,9470	2.980	5.930	11.860	13.830		15.810	17.780		
14,50	14,80	2,10	1,0440	3.270	6.560	13.070	15.250		17.430	19.610		
15,50	15,50	2,20	1,1460	3.590	7.240	14.350	16.740		19.130	21.520		
16,00	16,20	2,30	1,2520	3.920	7.960	15.680	18.290		20.910	23.520		
17,00	16,90	2,40	1,3640	4.270	8.710	17.070	19.920		22.730	25.610		
17,50	17,60	2,50	1,4800	4.630	9.490	18.530	21.610		24.700	27.790		
18,00	18,30	2,60	1,6000	5.010	10.300	20.040	23.380		26.720			
19,00	19,00	2,70	1,7260	5.400	11.160	21.610	25.210		28.810			
19,50	19,70	2,80	1,8560	5.810	12.060	23.240	27.110		30.980			
20,00	20,40	2,90	1,9910	6.230	13.000	24.930	29.080		33.240			
21,00	21,20	3,00	2,1300	6.670	14.000	26.880	31.120		35.570			
22,50	22,60	3,20	2,4240	7.590	15.040	28.990	33.310		38.000			
24,00	24,00	3,40	2,7360	8.570	16.140	31.360	35.410		40.470			
24,50	24,70	3,50	2,9000	9.080	17.290	33.560	37.560		42.990			
25,00	25,40	3,60	3,0680	9.600	18.480	35.910	39.760		45.560			
26,50	26,80	3,80	3,4180	10.700	20.720	39.300	44.820		51.220			
28,00	28,20	4,00	3,7880	11.960	23.080	43.430	49.030		57.070			
—	—	—	—	—	—	—	—		63.230			

Los cables a que se refiere esta tabla, se suministran en galvanizado ordinario o sin galvanizar.

1º 1.- Cables espiroidales

1 × 7 + 0



Diámetro comercial del cable mm.	Diámetro nominal del cable mm.	Diámetro del alambre mm.	Peso aproximado del cable kg./m.	CARGA DE ROTURA REAL MÍNIMA GARANTIZADA EN KGS. CON ACERO							
				Suave recocido	Suave	120 kg./mm.²	140 kg./mm.²	160 kg./mm.²	180 kg./mm.²	200 kg./mm.²	220 kg./mm.²
0,60	0,60	0,20	0,0017	8	16				36	40	45
0,65	0,66	0,22	0,0021	7	19				44	49	55
—	0,69	0,23	0,0023	8	21				48	54	60
—	0,72	0,24	0,0025	9	23				53	58	66
0,70	0,72	0,24	0,0025	9	23				53	58	66
0,75	0,78	0,26	0,0029	10	27				62	69	77
—	0,84	0,28	0,0034	12	32				72	80	90
0,80	0,81	0,30	0,0039	13	36			73	82	92	105
—	0,94	0,31	0,0041	14	39			78	88	98	110
—	1,00	0,34	0,0050	17	47			94	105	120	130
1,00	1,10	0,37	0,0059	20	56			110	125	140	155
—	1,20	0,40	0,0069	24	65			130	145	160	185
1,40	1,40	0,45	0,0084	31	82			165	185	210	230
—	1,50	0,50	0,0109	38	100		180	205	230	260	285
1,70	1,70	0,55	0,0132	46	110		215	245	280	310	345
1,80	1,80	0,60	0,0157	55	130		255	295	330	370	415
—	2,00	0,65	0,0184	64	150		300	345	390	430	485
—	2,10	0,70	0,0214	75	175		350	400	450	500	560
—	2,30	0,75	0,0245	86	200		400	460	515	580	645
—	2,40	0,80	0,0279	93	230		455	525	590	650	735
2,50	2,60	0,85	0,0315	110	260		515	590	665	740	
—	2,70	0,90	0,0353	125	290		580	660	745	830	
—	2,90	0,95	0,0394	140	325		645	740	830	920	
—	3,00	1,00	0,0436	155	360	815	715	820	920	1.020	
—	3,20	1,05	0,0481	170	385	890	790	900	1.010	1.130	
—	3,30	1,10	0,0528	185	370	740	865	990	1.110	1.240	
—	3,50	1,15	0,0577	200	405	810	945	1.080	1.220	1.350	
—	3,60	1,20	0,0628	220	440	885	1.030	1.180	1.330	1.470	
—	3,80	1,25	0,0682	240	480	960	1.120	1.280	1.440	1.600	
—	3,90	1,30	0,0738	260	520	1.040	1.210	1.380	1.560	1.730	
4,00	4,10	1,35	0,0795	280	560	1.120	1.300	1.490	1.680	1.880	
—	4,20	1,40	0,0856	300	600	1.200	1.400	1.600	1.800	2.000	
—	4,40	1,45	0,0918	320	645	1.290	1.500	1.720	1.940	2.150	
—	4,50	1,50	0,0982	345	690	1.380	1.610	1.840	2.070	2.300	
—	4,80	1,60	0,1120	390	785	1.570	1.830	2.100	2.360		
5,00	5,10	1,70	0,1260	440	890	1.770	2.070	2.370	2.680		
—	5,40	1,80	0,1420	495	995	1.990	2.320	2.650	2.980		
5,50	5,70	1,90	0,1580	550	1.110	2.210	2.580	2.950	3.320		
6,00	6,00	2,00	0,1750	610	1.230	2.450	2.860	3.270	3.680		
—	6,30	2,10	0,1930	675	1.335	2.710	3.160	3.610	4.060		
6,50	6,60	2,20	0,2110	740	1.440	2.970	3.460	3.960	4.480		
—	6,90	2,30	0,2310	810	1.550	3.240	3.780	4.330	4.870		
7,00	7,20	2,40	0,2520	880	1.670	3.530	4.120	4.710	5.300		
7,50	7,50	2,50	0,2730	955	1.800	3.830	4.470	5.110	5.750		
—	7,80	2,60	0,2950	1.040	1.930	4.150	4.840	5.530			
8,00	8,10	2,70	0,3180	1.120	1.980	4.470	5.220	5.970			
—	8,40	2,80	0,3420	1.200	2.090	4.810	5.610	6.420			
8,50	8,70	2,90	0,3670	1.290	2.150	5.160	6.020	6.880			
9,00	9,10	3,00	0,3930	1.380	2.300	5.520	6.440	7.370			
9,50	9,70	3,20	0,4470	1.570	2.620	6.280	7.330	8.380			
—	10,30	3,40	0,5050	1.770	2.950	7.090	8.270	9.460			
10,50	10,60	3,50	0,5350	1.880	3.130	7.510	8.760	10.030			
11,00	10,90	3,60	0,5660	1.980	3.310	7.950	9.270	10.610			
11,50	11,50	3,80	0,6310	2.210	3.690	8.860	10.330	11.820			
12,00	12,10	4,00	0,6990	2.450	4.090	9.810	11.450	13.080			

Los cables a que se refiere esta tabla, se suministran en galvanizado ordinario o sin galvanizar. Para esta misma composición con galvanizado reforzado, véase la tabla de la página 167.

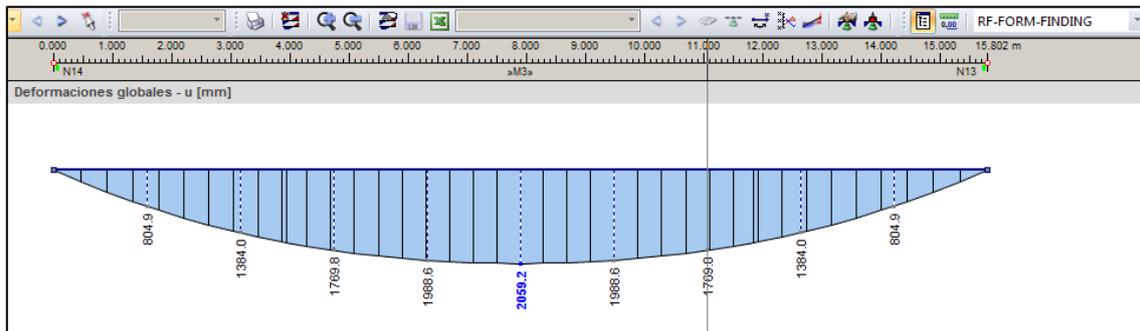
ANEXO IV: BÚSQUEDA DE FORMA Y COMPARACIÓN DEL DESPLAZAMIENTO MÁXIMO

La búsqueda de forma es común para ambas simulaciones. Se ha realizado un cuadro resumen de las flechas de los cables que facilita el proyecto original y las obtenidas en la simulación:

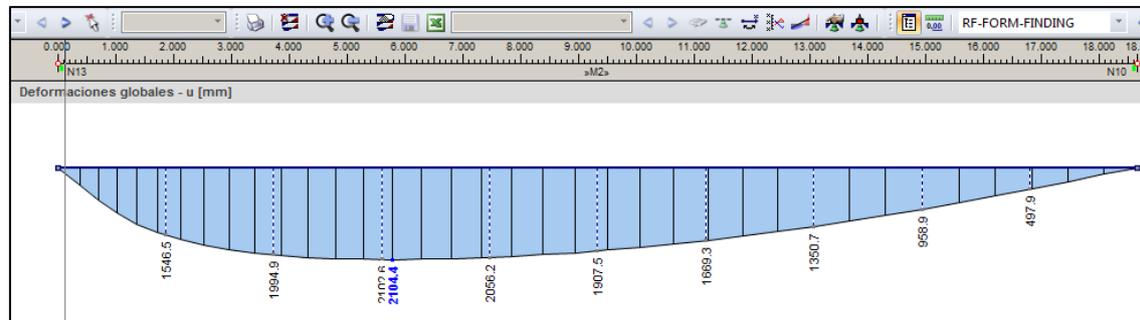
	COMPARACIÓN FLECHAS (desplazamiento máximo) en mm						
	CABLES PRINCIPALES				CABLES PERIMETRALES		
	CABLE A-B	CABLE 1A-1B	CABLE 2A-3B	CABLE 4A-5B	Cable 12-13	Cable 24-35	Cable 45
PROYECTO ORIGINAL	2000	2100	1000	1000	2000	3000	6600
SIMULACIÓN	2059	2104	1064	1157	1758	2872	6611

Los diagramas de resultados dibujados para dichos desplazamientos son los siguientes:

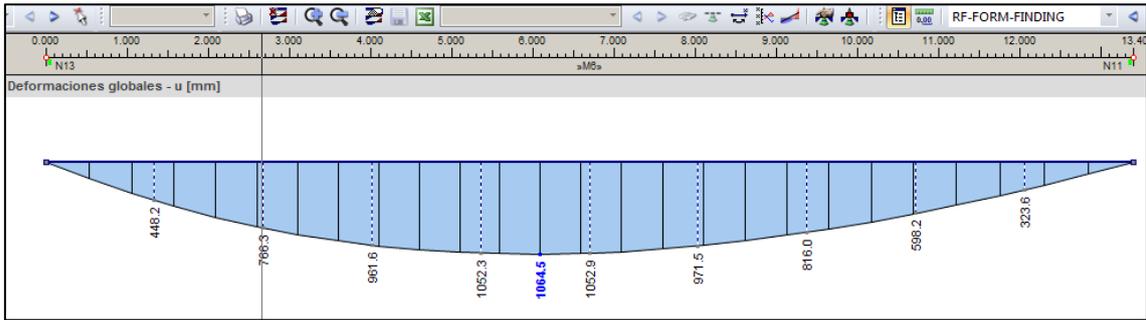
CABLE A-B: Una flecha de 2059 mm.



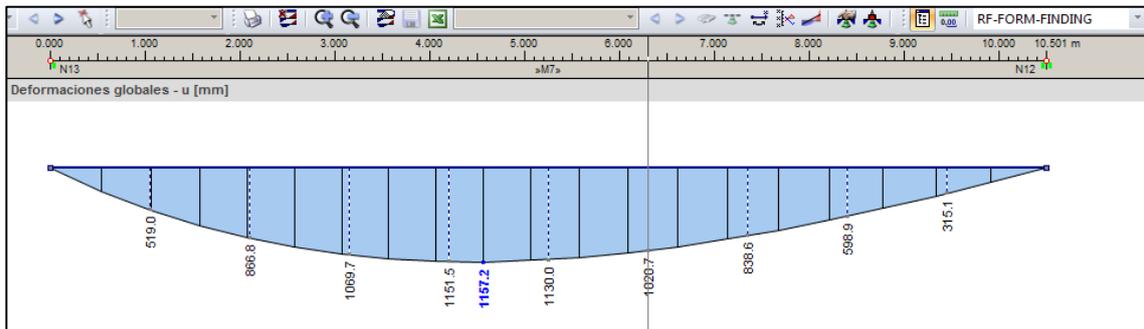
CABLE 1-A y 1-B: Una flecha de 2104 mm.



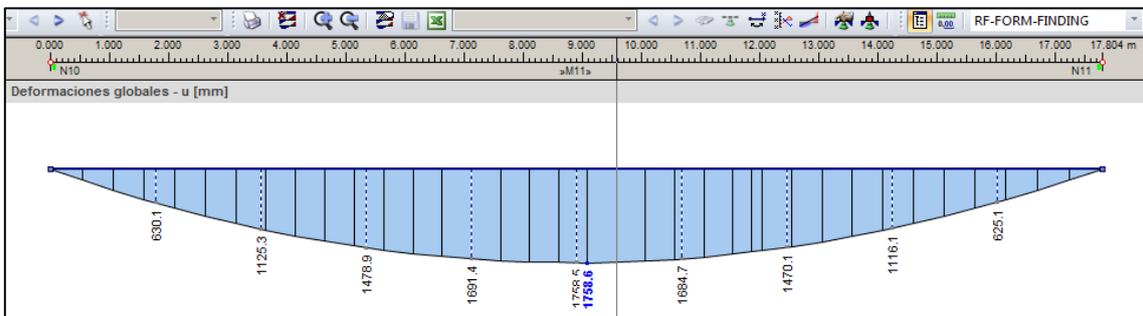
CABLE 2-A y 3-B: Una flecha de 1064 mm.



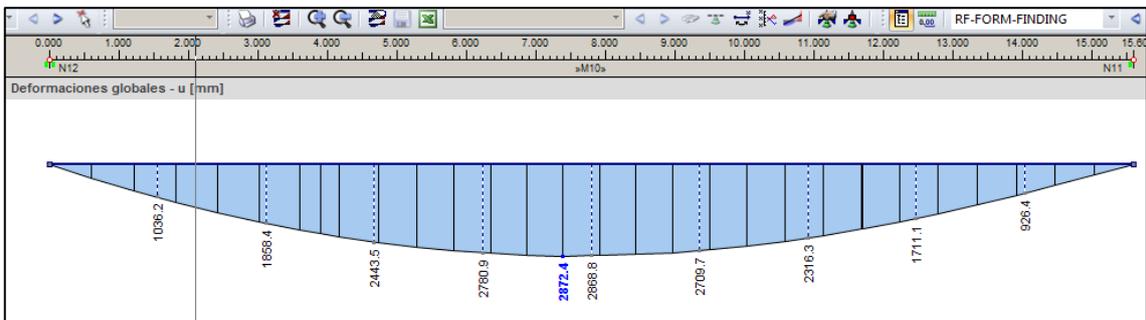
CABLE 4-A y 5-B: Una flecha de 1157 mm.



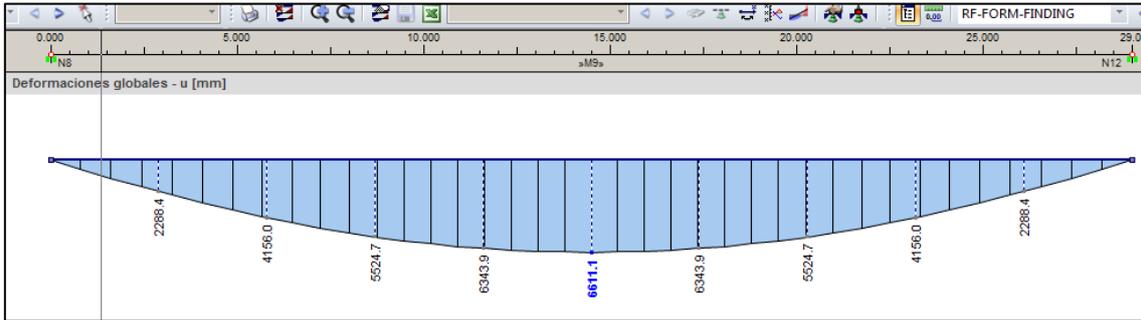
CABLE 1-2 y 1-3: Una flecha de 1758 mm.



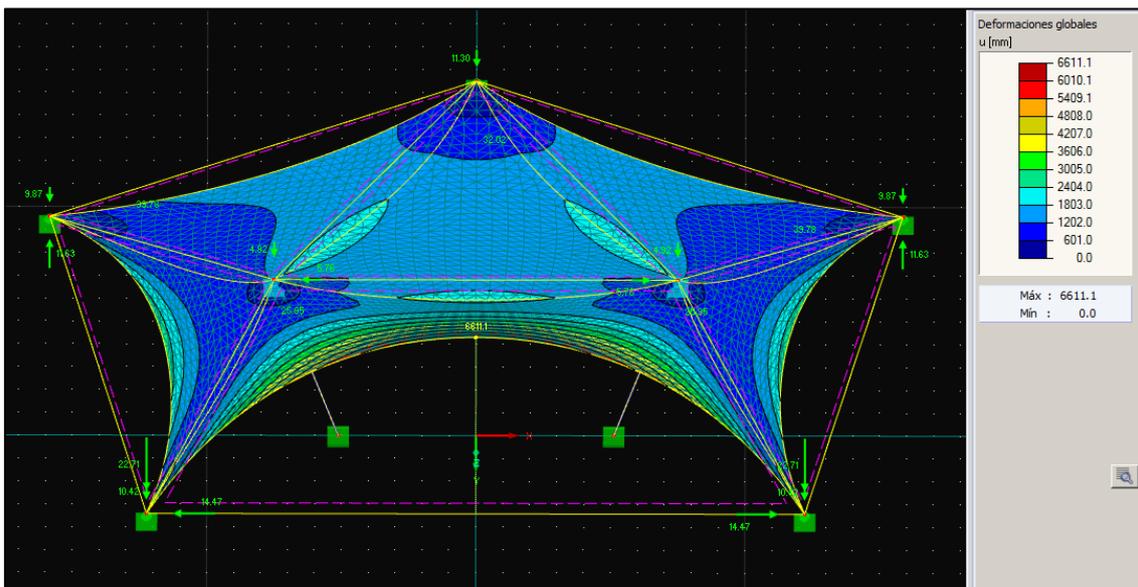
CABLE 2-4 y 3-5: Una flecha de 2872 mm.



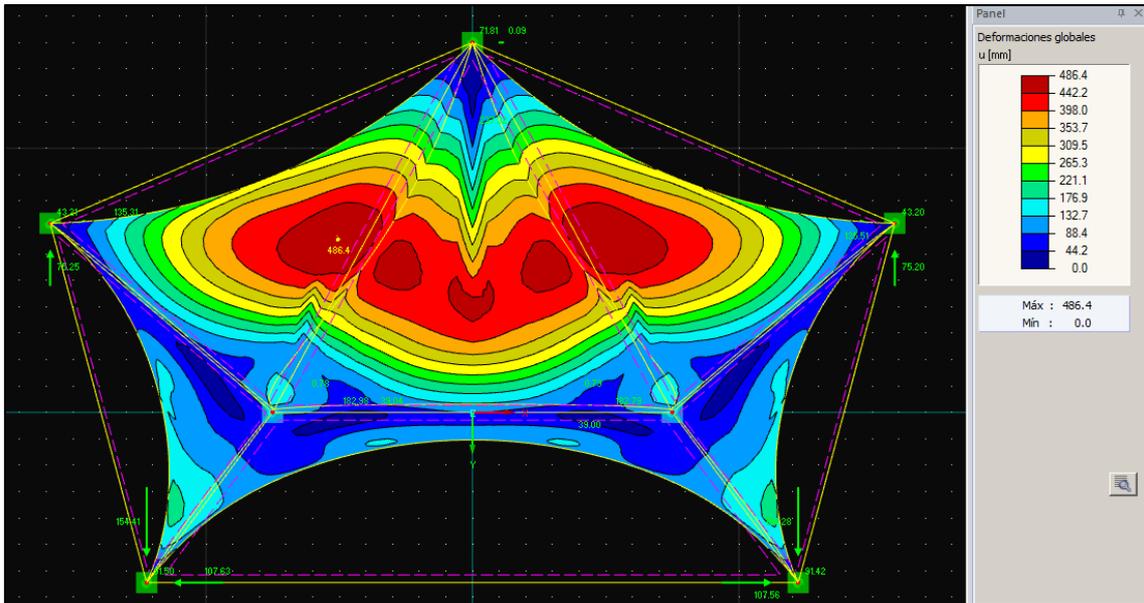
CABLE 4-5: Una flecha de 6611 mm.



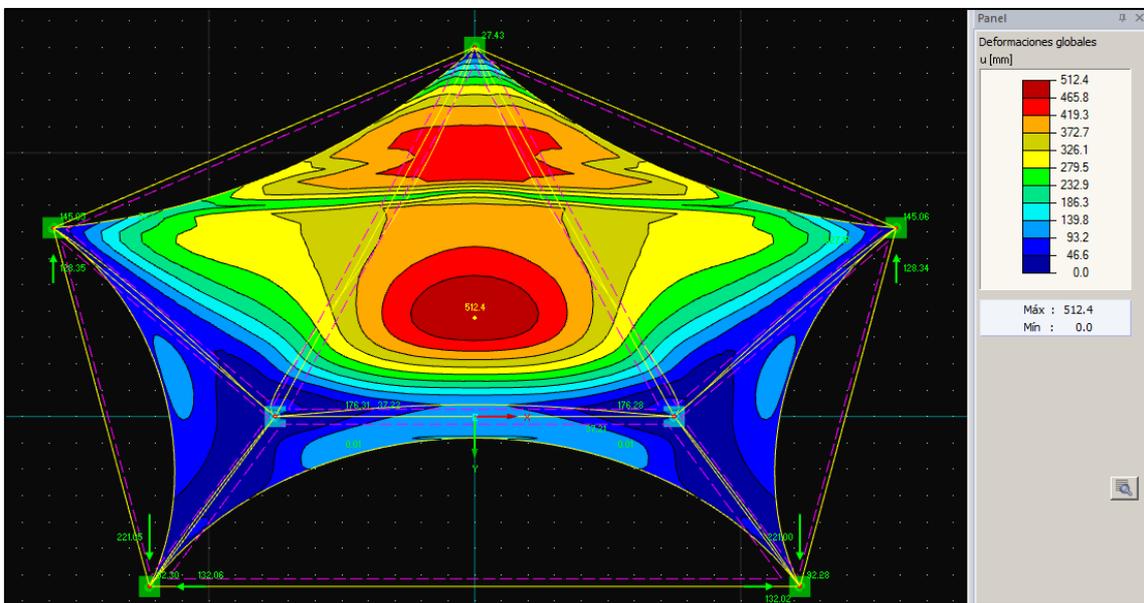
Obteniendo en la cubierta el siguiente mapa de desplazamientos:



CARGA DE VIENTO EN +Y:



CARGA DE VIENTO EN -Y:

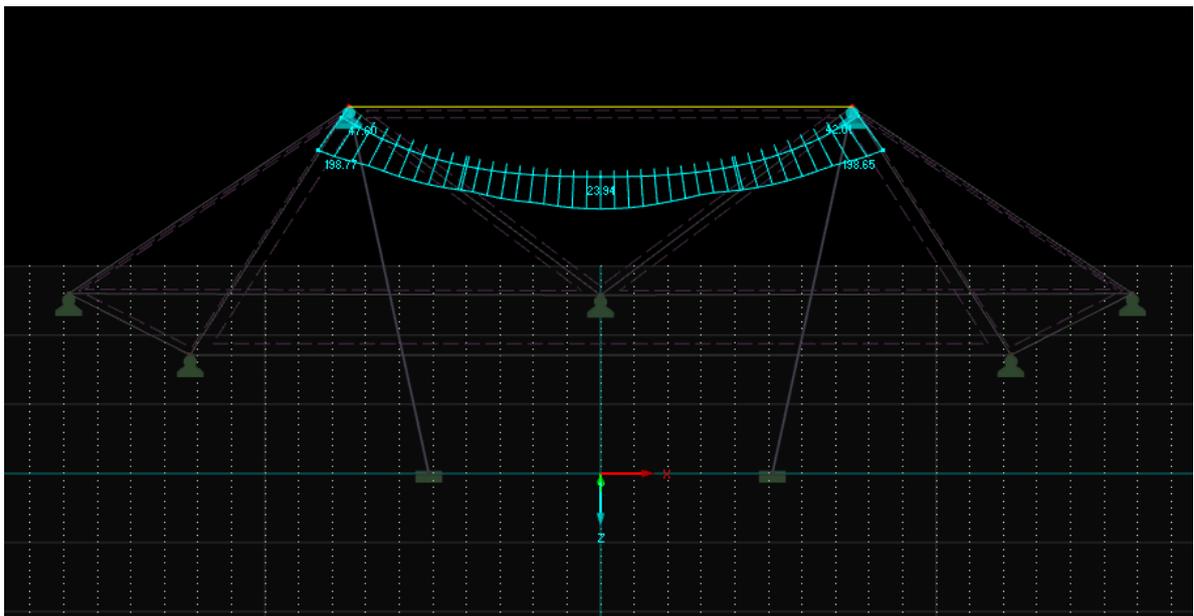


ANEXO VI: CAPTURAS DEL PROGRAMA CON LOS AXILES DE LOS CABLES PRINCIPALES Y PERIMETRALES

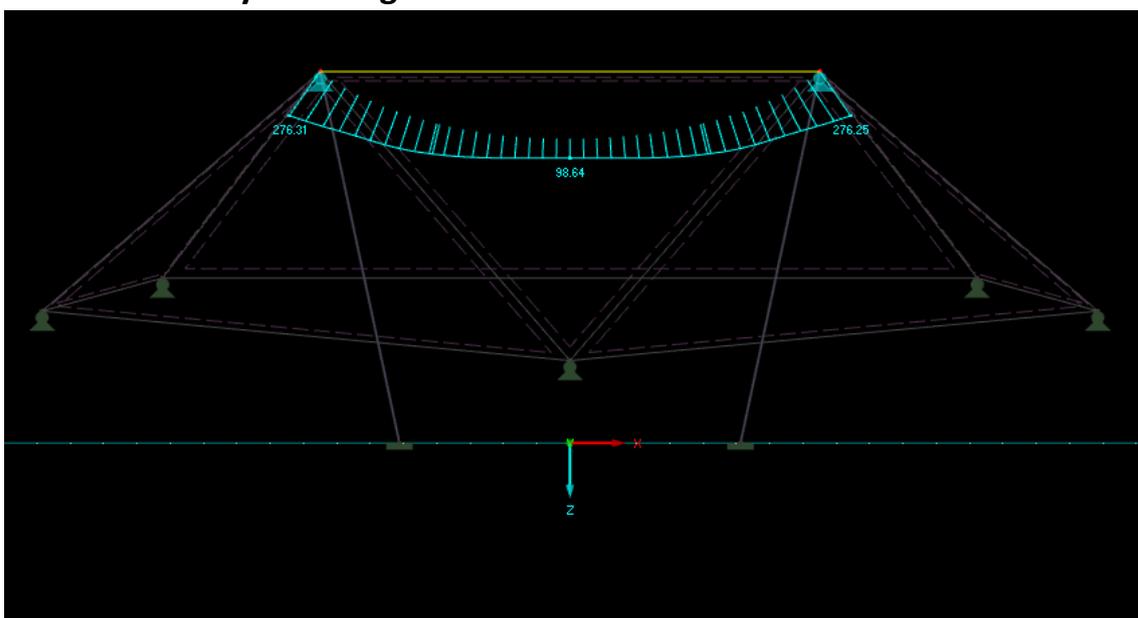
En la memoria se adjuntan imágenes de los diagramas de resultados de los axiles en cada una de las barras y con cada simulación. Las capturas de pantalla de la visualización en el modelo 3D son las siguientes:

CABLE A-B:

Simulación Normativa Actual:

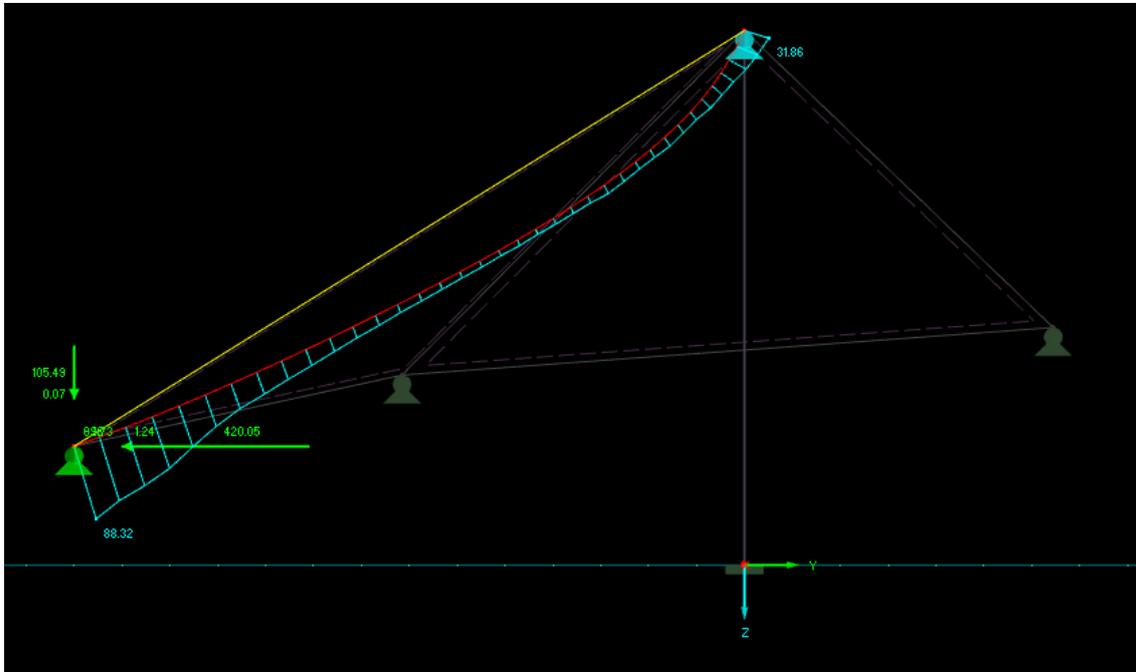


Simulación Proyecto Original:

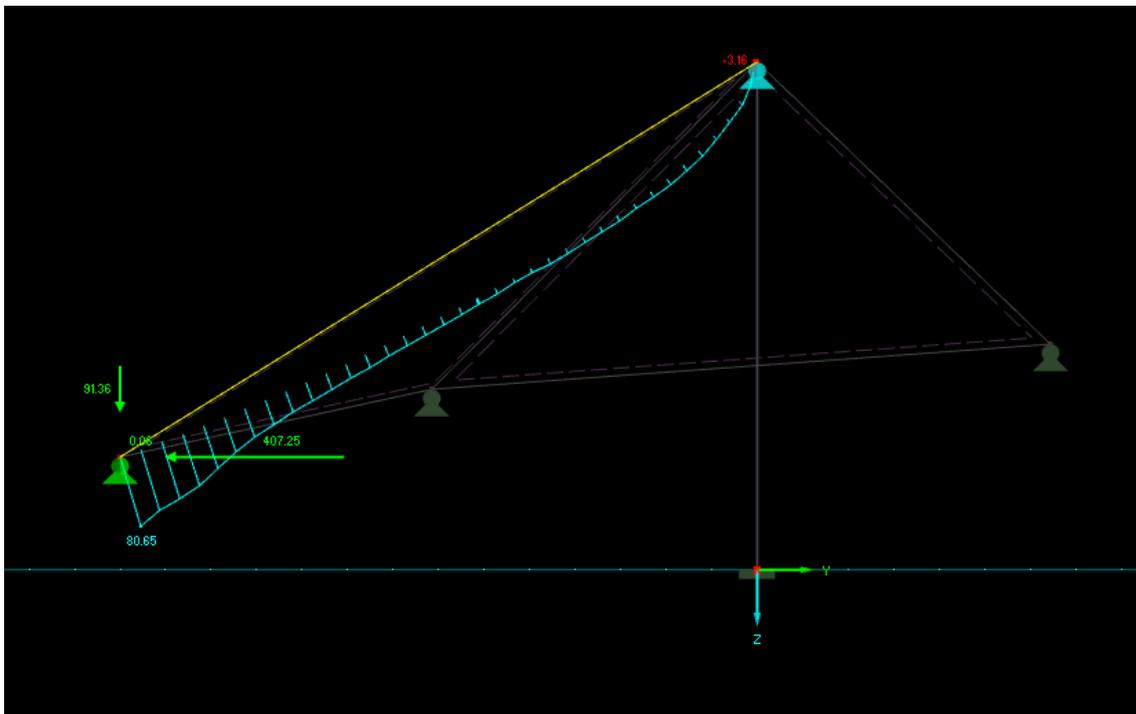


CABLE 1-A y 1-B:

Simulación Normativa Actual:

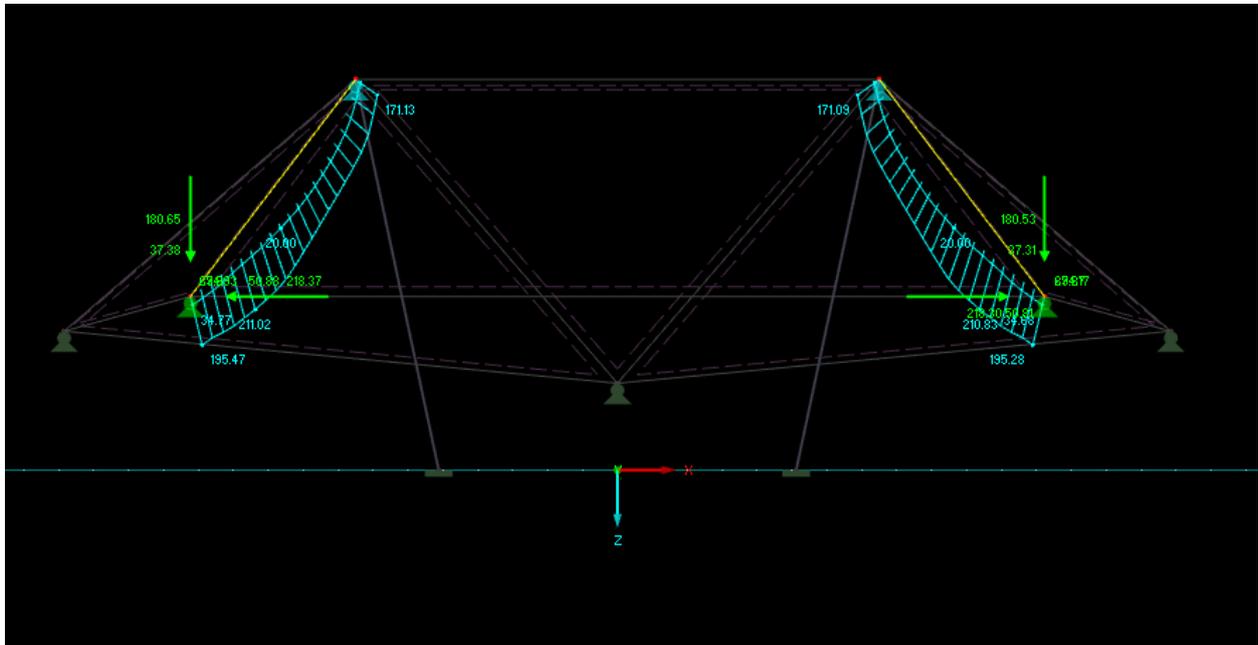


Simulación Proyecto Original:

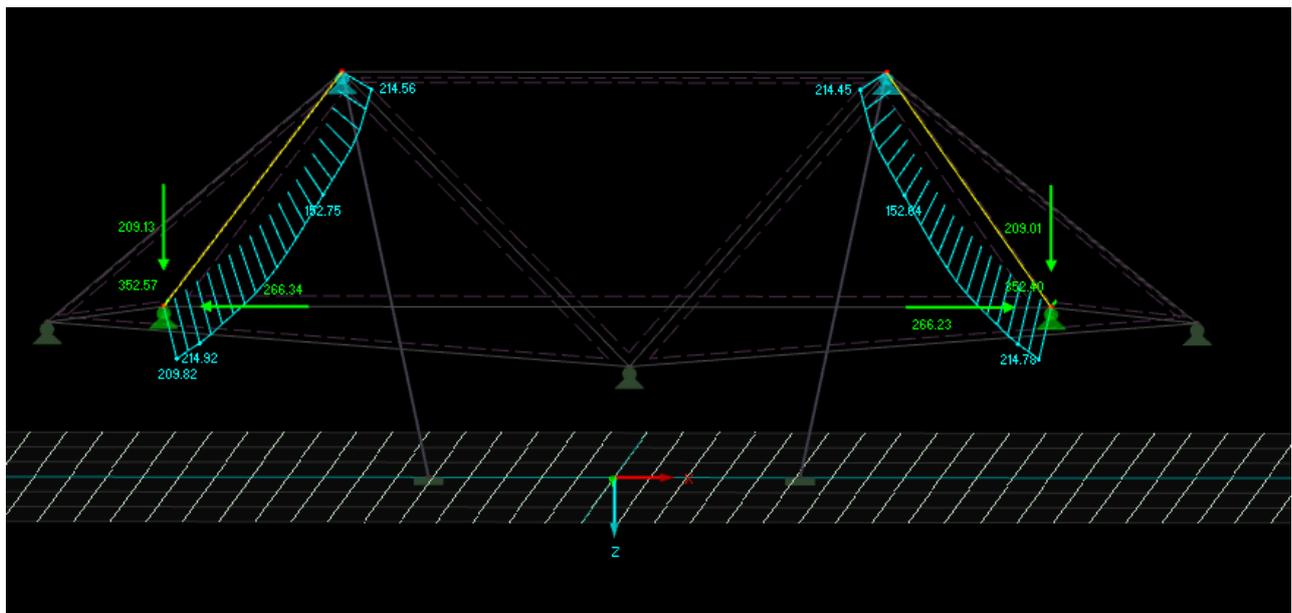


CABLE 4-A y 5-B:

Simulación Normativa Actual:

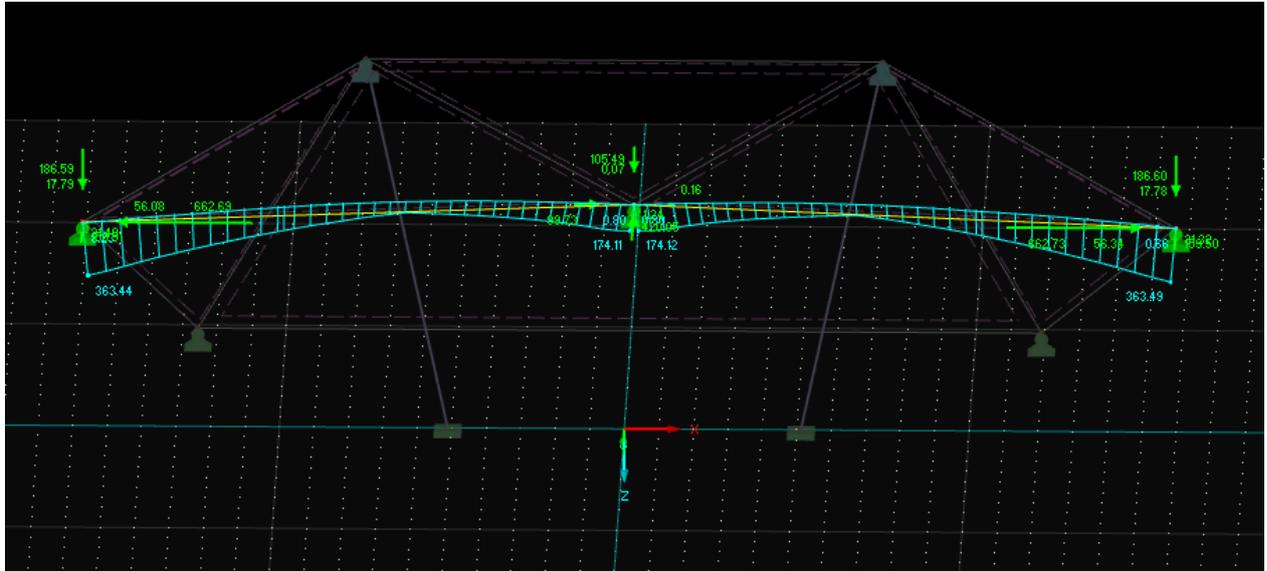


Simulación Proyecto Original:

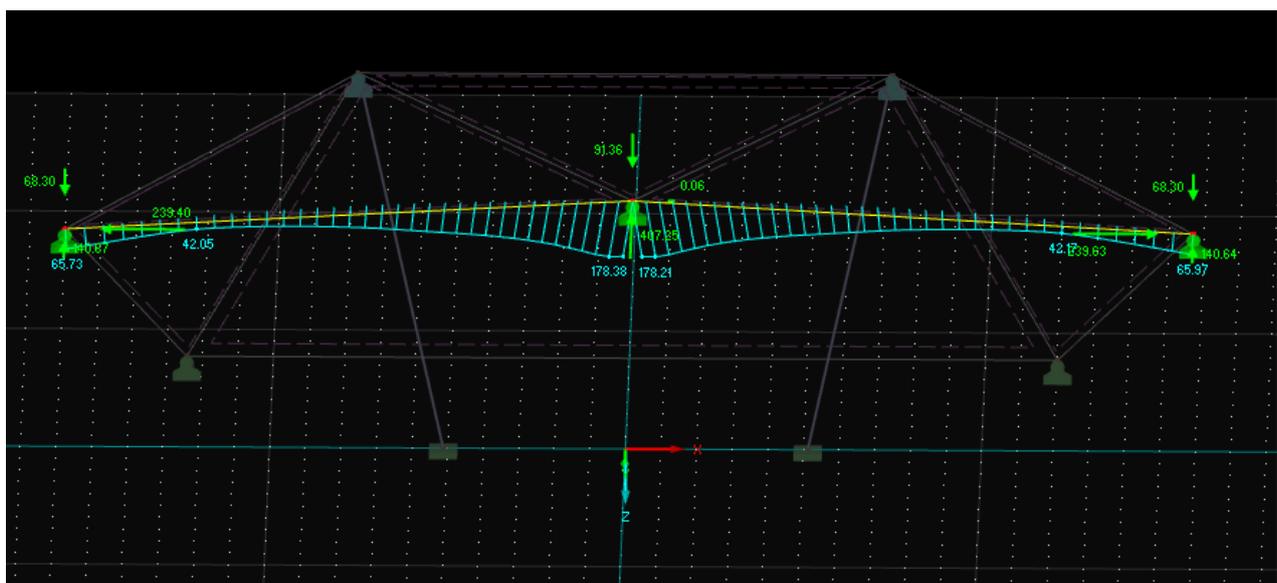


CABLE 1-2 y 1-3:

Simulación Normativa Actual:

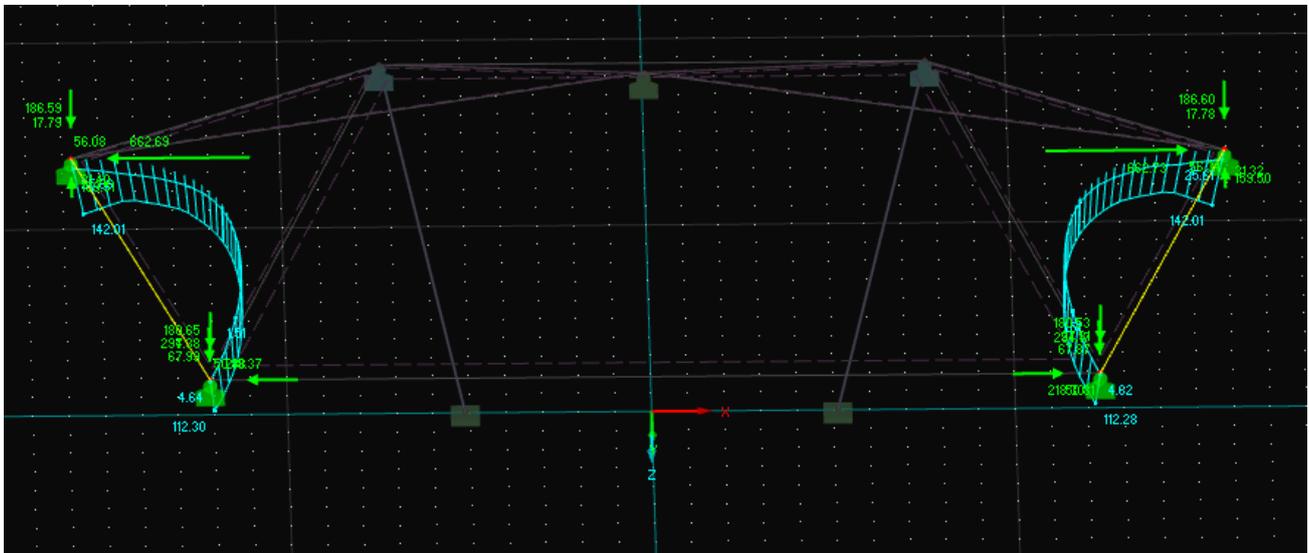


Simulación Proyecto Original:

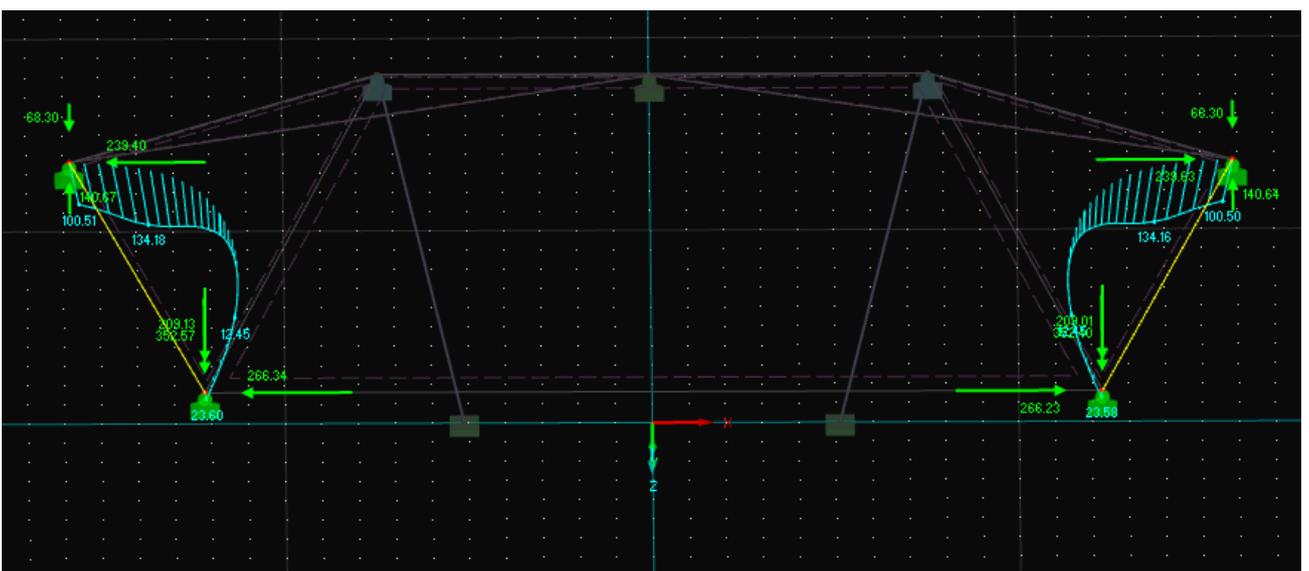


CABLE 2-4 y 3-5:

Simulación Normativa Actual:

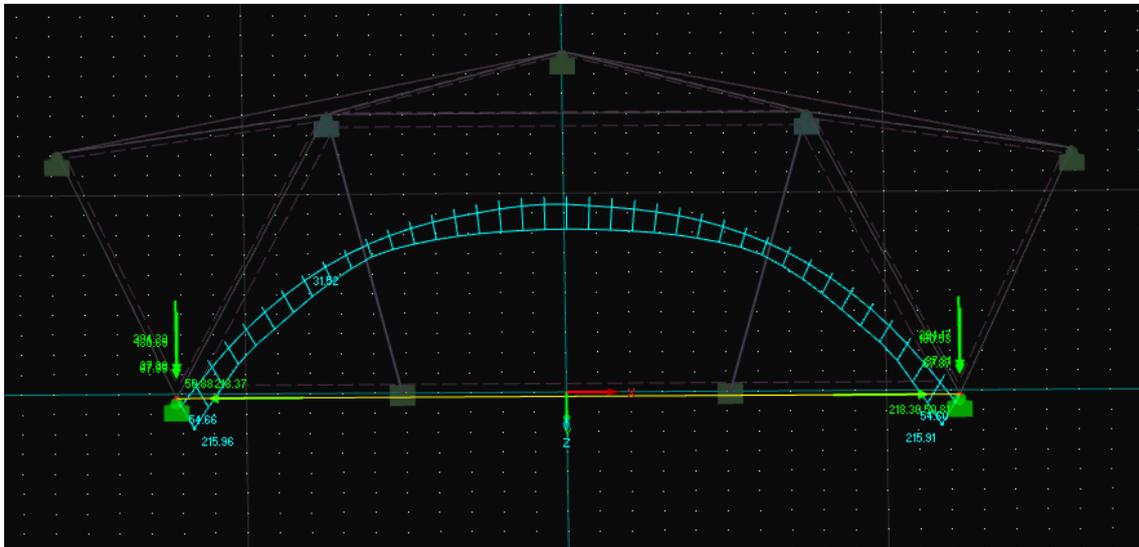


Simulación Proyecto Original:

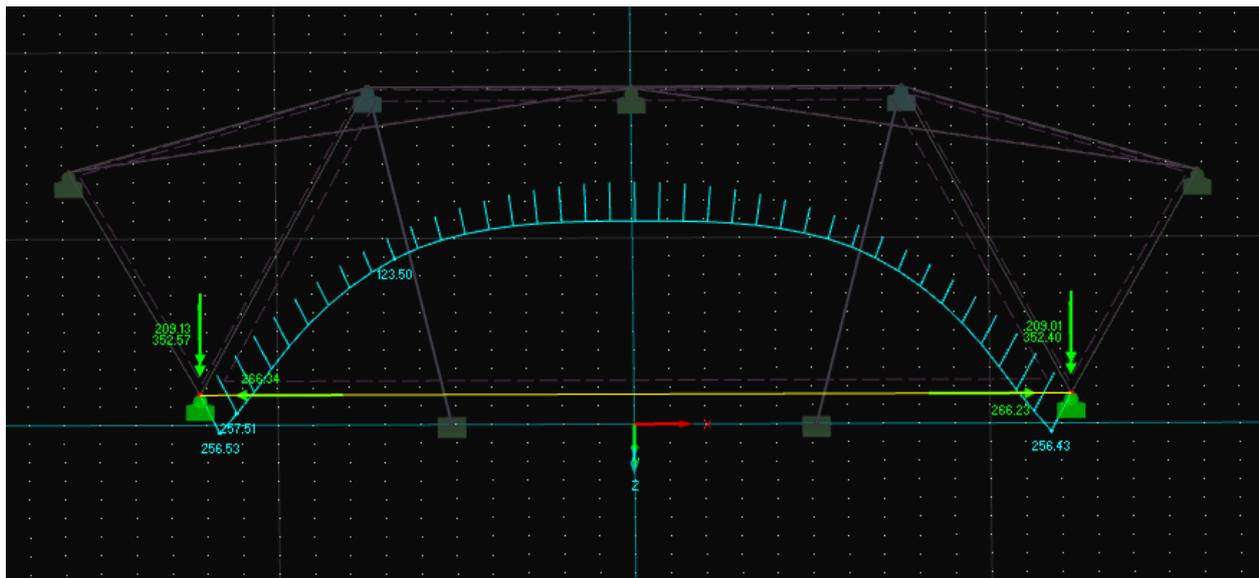


CABLE 4-5:

Simulación Normativa Actual:



Simulación Proyecto Original:



BIBLIOGRAFÍA

Información sobre el monumento

<https://www.esculturaurbanaaragon.com.es/cinco cabezas.htm>

Apuntes de asignaturas impartidas en:

- Universidad de Zaragoza
- Universidad Complutense de Oviedo

<http://ocw.uniovi.es>

- Universidad de Castilla La Mancha

<https://www.uclm.es/>

- Facultad de ARQUITECTURA, Diseño y Urbanismo UDELAR

<http://www.fadu.edu.uy/>

- AYUNTAMIENTO DE ZARAGOZA (OBTENCIÓN DE PLANOS)

https://www.zaragoza.es/ciudad/urbanismo/planeamiento/enlace/usic/cartografia/cartos_planos.htm

- Catálogo de cables de Cables Estructura S.L.
- Colliers Jimmy Silvia, 2013-2014, Wind loading on tensile surface structures, Master Thesis, Universidad de Bruselas, Facultad de Ingeniería.
- Trabajo Fin de Máster: **Modelo de análisis de estudio de viento para estructuras tensadas** Diana Carolina Hernández Rubio y Dr. Ramón Sastre.
- Proyecto de estructura para cubierta de textil tensada para espacio público multifuncional, de Beatriz Cabrera Gutiérrez.
- Artículo: The design of tensile surface structures, Marijke Mollaert.

