

EL JARDIN RESILIENTE

} Ecologías experimentales frente a un clima en mutación {

MÁSTER HABILITANTE. CURSO 2024-2025 ETSAM

UNIDAD DOCENTE ÁBALOS.

Tutora_Nieves Mestre

Andrea Manzarbeitia Eced_18230

El proyecto se sitúa en Marbella, concretamente en las orillas del río Guadaiza. Nace de una problemática local: la desaparición progresiva de la agricultura de la zona de San Pedro de Alcántara. Esta pérdida no solo amenaza el paisaje agrícola, sino también la autosuficiencia productiva del territorio y la resiliencia del sistema agroalimentario local. En un contexto de turismo masificado y de alta demanda de productos, surge la necesidad de revalorizar y adaptar la agricultura local a una nueva realidad, más tecnológica, más rentable, menos dependiente de las importaciones, en un clima más extremo.

“ En octubre de 2008, el 66.70% del suelo de Marbella estaba edificado. Para octubre de 2016, esta cifra había aumentado al 77.86%. “

La estrategia se estructura en tres líneas de acción.

Primero, situar este proyecto en un enclave estratégico: una parcela cercana a las últimas zonas agrícolas activas, bien conectada con los núcleos urbanos

Segundo, crear un nodo de innovación agrícola que sirva de puente entre el conocimiento tradicional y las herramientas del futuro.

Al mismo tiempo conservar y recuperar el entorno natural de los tres ecosistemas que conviven, el agrícola, el del humedal y el de ribera.

Y por último, alinear diseño y paisaje, conociendo las características de la parcela.

Adaptándose a las condiciones de la parcela. Adaptándose a las condiciones climáticas, a la línea de cota de inundación del río Guadaiza de 10, 50, 100, 500.

El objetivo no es solo producir, sino hacerlo de forma integrada con el territorio.

Se propone un ciclo de flujos integrados de energía, agua y datos:

- Flujos energéticos, basados en soluciones renovables y eficientes.
- Flujos hidráulicos, que aprovechan la cercanía al cauce del río y optimizan el uso del agua.
- Y flujos de datos, que conectan sensores, cultivos y sistemas de análisis en tiempo real, generando inteligencia agronómica de alto valor.

Y agentes principales que intervienen como el humedal, cultivos y centro de procesamiento de datos.

El proyecto se concibe como un ecosistema agrícola que interconecta producción, desarrollo e innovación.

Incluye:

- Laboratorios e instalaciones de I+D, dedicadas a la mejora genética de cultivos resilientes adaptados al clima local.
- Aulas de divulgación y espacios de formación, para fomentar la transferencia de conocimiento y el vínculo con la comunidad.
- Y un centro de datos agrícolas, ubicado en la planta superior, encargado de procesar y distribuir información clave para agricultores, técnicos y potenciales inversores.

En la planta baja se localizan los espacios de desarrollo agrícola, los laboratorios y las zonas de experimentación.

En la zona inundable, se proyectan invernaderos ligeros, que albergarán bancos de semillas y cultivos piloto de variedades locales, reforzando la capacidad de adaptación del sistema agrícola marbellí.

En la planta segunda se localizan los servidores, procesadores para la lectura, almacenaje y distribución de los datos.

Se plantea una estructura mixta reticular para la construcción de la espina, con una envolvente de varias capas con acabado GRC, para la segunda planta, y para la baja una envolvente de vidrio. En cuanto a los pabellones se determina un sistema atirantado, elevando el primer forjado 1,5m del suelo, Siendo una estructura ligera con envolvente de policarbonato.

Se configuran distintas opciones de pabellón, aumentan del número de apoyos, pero manteniendo tanto tipos de elementos como la condición de voladizo inscrito en una circunferencia de 6m por cada mástil.

El proyecto propone un centro de innovación agrícola, basado en la integración estratégica de ciclos de energía, agua e información, capaz de activar los tres paisajes existentes en la región. Mediante una arquitectura respetuosa y adaptable al medio.

EL JARDÍN RESILIENTE

· · · Ecologías experimentales frente a un clima en mutación · · ·



Taller de estructuras

Máster Habilitante

UD. Ábalos

Tutor : David Mencías

Andrea Manzarbeitia

Índice

1. Introducción

- 1.1. Objetivo del trabajo
- 1.2. Alcance del análisis
- 1.3. Normativa de referencia

2. Descripción del proyecto

- 2.1 Contexto proyectual
- 2.2 Tipología estructural
- 2.3 Configuración geométrica
- 2.4 Modelo a analizar
- 2.5 Materiales utilizados

3. Acciones

- 3.1 Cargas variables
 - 3.1.1 Horizontales
 - 3.1.2 Verticales
- 3.2 Cargas permanentes
- 3.3 Hipótesis y Combinaciones de Carga
 - 3.3.1 Estados Límite Últimos (ELU)
 - 3.3.2 Estados Límite de Servicio (ELS)
 - 3.3.3 Método de combinación (manual / automático)

4. Bases de cálculo

- 4.1 Proceso de cálculo estructuras

5. Modelado y Análisis en RFEM6 _ Predimensionado

- 5.1 Definición del modelo estructural
- 5.2 Resultado del Análisis
 - 5.2.1 Reacciones de apoyos & cargas
 - 5.2.2 Deformación máxima

6. Modelado y Análisis en RFEM6 _ Dimensionado

- 6.1 Definición del modelo estructural
- 6.2 Aplicación de cargas
- 6.3 Resultado del Análisis
 - 6.3.1 Reacciones de apoyos
 - 6.3.2 Deformación máxima
 - 6.3.3 Tabla de esfuerzos máximos por barra
 - 6.3.4 Esfuerzo axial máximo
 - 6.3.5 Diagrama de momentos Y y corte en Z máximos en barra
 - 6.3.6. Diagrama de momentos Z y corte en Y máximos en barra

7. Cálculo de Cimentación

- 7.1 Datos geotécnicos y parámetros del terreno
- 7.2 Tipología de cimentación seleccionada
- 7.3 Encepados
 - 7.3.1 Verificación a punzamiento
 - 7.3.2. Refuerzo
 - 7.3.3. Anclaje del acero de los pilotes
 - 7.3.4. Rigidez estructural

7.4 Pilotes

9. Anexos

EL JARDÍN RESILIENTE

· · Ecologías experimentales frente a un clima en mutación · ·

1. Introducción

1.1. Objetivo del Trabajo

El presente trabajo tiene como objetivo realizar el análisis estructural de una estructura metálica ubicada en Marbella, España, utilizando el software especializado RFEM6. El estudio comprende la definición del modelo estructural, la aplicación de cargas, la generación de combinaciones de carga y la obtención de los resultados necesarios para verificar el comportamiento resistente y funcional de la estructura bajo las acciones previstas, conforme a la normativa española aplicable.

1.2 Alcance del Análisis

El análisis se centra en evaluar la respuesta estructural de la estructura metálica bajo diferentes situaciones de carga, considerando tanto los Estados Límite Último (ELU) como los Estados Límite de Servicio (ELS). El trabajo se limita a:

Modelado geométrico y estructural.

Definición de materiales, perfiles y secciones.

Asignación de cargas gravitatorias, de uso y de viento, según las condiciones específicas de Marbella.

Configuración de combinaciones de carga conforme a los criterios establecidos en el Código Técnico de la Edificación (CTE).

Análisis estático lineal y verificación de deformaciones y esfuerzos.

1.3 Normativa de Referencia

Para la realización de este análisis se ha considerado como base normativa la legislación vigente en España, especialmente:

Código Técnico de la Edificación (CTE):

CTE DB-SE: Seguridad estructural.

CTE DB-SE-AE: Acciones en la edificación.

CTE DB-SE-A: Estructuras de acero.

CTE DB-SE-C: Cimientos.

2. Descripción del proyecto

2.1 Contexto proyectual

Este proyecto se localiza en Marbella, en las cercanías del río Guadaiza, dentro de un entorno natural privilegiado caracterizado por su proximidad al cauce fluvial, vegetación autóctona y vistas hacia el entorno montañoso. La intervención se plantea desde una perspectiva sostenible, respetuosa con el medio ambiente y con una integración paisajística que permita combinar arquitectura y naturaleza, proponiendo espacios productivos, de ocio y de investigación vinculados a la agricultura y la botánica.

La parcela objeto de intervención cuenta con una superficie aproximada de 8.500 m² y presenta una topografía moderada en ligera pendiente hacia el cauce del río, con vegetación preexistente que se preserva en gran medida, salvo en zonas puntuales donde se habilitarán accesos y explanadas. Limita al norte con zonas de vegetación de cultivos locales y al sur terreno moldeado con lagunas y taludes, formando un humedal, que dispondrá de pequeños caminos rurales, lo que facilita los accesos y permite mantener la privacidad del conjunto. La orientación predominante y la cercanía al río condicionan las decisiones volumétricas y constructivas, buscando siempre optimizar soleamiento, ventilación natural y relación con el paisaje.

2.2 Tipología estructural

El programa se organiza en torno a dos piezas principales: un centro de investigación y desarrollo con un centro de procesamiento de datos y un conjunto modular de invernaderos productivos y experimentales. La volumetría responde a una condición de inundabilidad de la parcela, adaptada a la pendiente y evitando movimientos de tierra agresivos. En el límite no inundable se encuentra el centro de investigación; ocupando aproximadamente 500 m², distribuidos en planta baja, con espacios de exposición, talleres, almacenes y áreas administrativas y el CPD; con una extensión en la planta segunda de 250 m². En la zona inundable de los humedales, se encuentran los invernaderos modulares suman en total 1.200 m², organizados en cinco módulos independientes de 240 m² cada uno. Esta disposición permite una flexibilidad funcional y una optimización de los sistemas constructivos.

2.3 Configuración geométrica

El sistema estructural del conjunto del centro de investigación y CPD se basa en estructura mixta, pilares (SHS 140 x 140 x 10) y vigas (IPE 300) y un forjado de hormión (losa alveolar pretensada, canto 20cm). Una cimentación profunda de encepados con dos pilotes cada uno. En cuanto a las envolventes, para las estancias de planta baja un acristalamiento y para la planta superior se opta con una fachada ventilada de paneles grc, y por último de determina en toda la cubierta una vegetal extensiva.

Por otro lado, los invernaderos tienen un sistema estructural distinto, al estar en terreno inundable la estrucutra se eleva de la cota del suelo metro y medio, se utiliza acero galvanizado dando flexibilidad para la geometría curva de estas estancias. Esto se consigue al utilizar un sistema de barras atirantadas que sujetan los dos forjados que a su vez las sujetan un conjunto de mástiles que hacen contacto con el suelo. Como refuerzo se colocan titantes que llegan hasta suelo, dando estabilidad. En cuanto a los planos verticales, se determina una viga perimetral, de donde se unen los tirantes, y luego unas vigas metálicas que hacen contacto perpendicular con esta viga y los mástiles, haciendo la utilidad de rigidizador. Se elige como forjado inferior con una chapa colaborante, y respecto al forjado superior y la envolvente vertical, se determina un acabado de policarbonato translúcido. En cuanto la cimentación, se elige tres pilotes arriostrados con un encepado, por cada mástil.

2.4 Módulo a analizar

De forma concreta, se definirá un módulo de invernadero para realizar una validación estructural Este módulo cuenta con una planta rectangular de 20 x 12 metros (240 m²) y una altura máxima en cumbre de 4,5 metros. La estructura se compone de pórticos metálicos cada 4 metros, con vigas tipo cercha para reducir peso y permitir grandes luces sin apoyos intermedios. Los elementos secundarios, como correas y tensores, completan el arriostramiento y garantizan la estabilidad frente a viento y cargas variables. Se han considerado las acciones climáticas específicas de la zona, como viento, lluvias torrenciales y exposición solar, adaptando la geometría y los anclajes para optimizar la durabilidad y seguridad de la estructura.

2.5 Materiales utilizados

- HORMIGÓN ARMADO HA30

De acuerdo con la Instrucción CE , se ha tomado el siguiente coeficiente de seguridad:

Coeficiente de seguridad hormigón, γ_c : 1.5

Para todos los elementos de hormigón armado se utilizará hormigón HA-30, con una mínima cantidad de cemento de 275 kg/m². Como base de la cimentación se dispondrá de un hormigón de limpieza.

Hormigón HA30	
Denominación	HA30/B/40/XS1
Resistencia carac.	30 N/mm ²
Consistencia	B (blando)
Límites del asiento	7,5 cm
Tamaño máximo árido	40 mm
Tipo de árido	Silíceo
Ambiente	XS1
Recubrimiento mín.	40 mm
Control	Estadístico

- ACERO PARA ARMADURAS B500

Se toman como coeficiente de mayoración de acciones los señalados en DB SE 4.2 y para los coeficientes relativos al material, a los medios de unión y a la fatiga, los señalados en DB SE-A 2.3.3.

Coeficiente de seguridad acero de armar, γ_s : 1.15 (redondos)

Para todos los redondos de zapatas de la estructura se utilizará acero B500 S

Acero de armar B500

Coef. seguridad	γ_s	1,15
Resistencia carac.	f_{sk} (N/mm ²)	500
Resistencia calc.	f_{sd} (N/mm ²)	434,8

- ACERO LAMINADO S275

De acuerdo con el DB SE-A se toman como coeficiente de mayoración de acciones los señalados en el DB SE 4.2 y, para los coeficientes relativos al material, a los medios de unión y a la fatiga, los señalados en el DB SE 2.3.3

Coeficiente de seguridad acero, γ_s (DB SE-A): 1.05

Para todos los elementos de las cerchas, correas y soportes de la estructura se empleará el acero S275. Sólomente se utilizará acero S460 para los cables trenzados de los arriostramientos.

Acero laminado S275/S460

Coef. seguridad	γ_s	1,05
Resistencia carac.	f_{sk} (N/mm ²)	275/460
Resistencia calc.	f_{sd} (N/mm ²)	261,9/438,1

3. Acciones

En este apartado se describen y justifican las acciones consideradas para el análisis y diseño estructural del proyecto. Las acciones incluyen tanto cargas permanentes como variables, de acuerdo con la normativa vigente aplicable. Estas acciones se refieren a los efectos que los distintos agentes externos pueden provocar sobre el edificio, tales como el peso propio de la estructura, el peso de los materiales, la sobrecarga de uso, el viento, la nieve, el sismo, entre otros.

3.1 Cargas variables

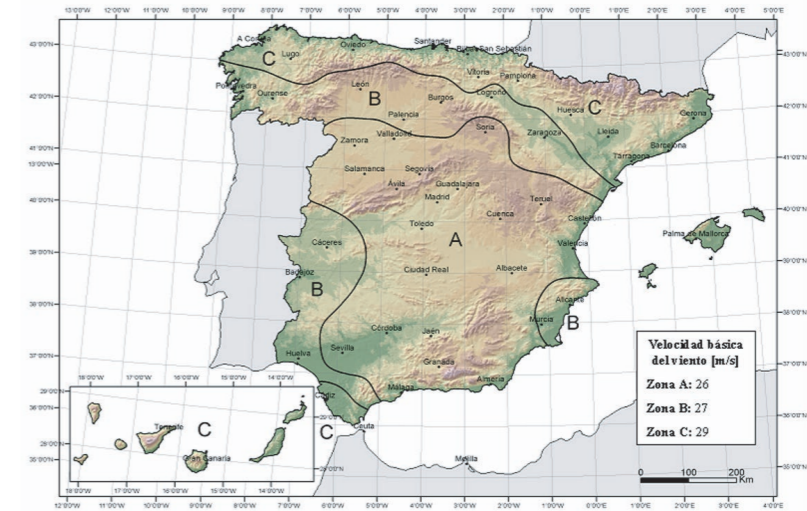
3.1.1. Horizontales_Viento

Los edificios se comprobarán ante la acción del viento en todas las direcciones. El CTE es de aplicación para edificios situados en altitudes $\leq 2000m$. La presión del viento perpendicular a la superficie de cada punto expuesto puede expresarse mediante la presión estática Q_e de valor:

$$Q_e = Q_b \times C_e \times C_p$$

Q_b = Presión dinámica del viento. Se obtiene de la expresión:

v_b : Velocidad básica del viento. En Madrid, dentro de la zona A, tomamos un valor de 26m/s



$$Q_b = 0,5 \times 1,25 \times 26^2 = 0,422 \text{ kN/m}^2$$

C_e = Coeficiente de exposición. Se obtiene de la tabla 3.4. del CTE DB SE-AE:

Tabla 3.4. 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	2,4	2,7	3,0	3,1	3,3	3,4	3,5	3,7
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 : Coeficiente eólico. Dependiente de la forma y la orientación de la superficie respecto al viento, y en su caso, de la situación respecto a los bordes de esa superficie.

Tabla 3.5. Coeficiente eólico en edificios de pisos

	Esbeltez en el plano paralelo al viento					
	< 0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	$\geq 5,00$
Coeficiente eólico de presión, c_p	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8
Coeficiente eólico de succión, c_s	-0,3	-0,4	-0,4	-0,5	-0,6	-0,7

Distancia larga x : $h/a = 0.3 // 0.58$

Distancia larga y : $h/b = 0.3 // 0.58$

$h=6m$

$a=b=12$

Con toda esta información, llegamos a la expresión:

$$Q_e = 0.422 \times 2.4 \times (0.7 + / - 0.4) = 1.12 \text{ kn/m}^2$$

3.1.2. Verticales

- Sobre carga de uso (Q_k)
Forjado inferior_Uso invernadero_2 kn/m²
Forjado superior_Cubierta (mantenimiento)_1 kn/m²
- Nieve: (altitud 0)_Sk= 0.2 kn/m²

3.2. Cargas permanentes

3.2.1. Verticales_Peso propio

(se especifica en la tabla resumen)

3.3. Cargas accidentales

Las acciones sísmicas están reguladas en la NSCE (Norma de construcción sismorresistente)

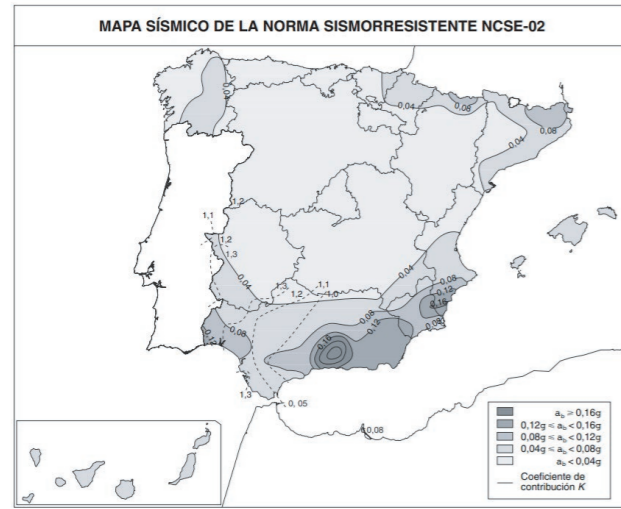


Figura 2.1 Mapa de Peligrosidad Sísmica

Aceleración sísmica de cálculo a_c

$$a_c = S \times p \times a_b$$

S : coeficiente amplificación del terreno

$$p \times a_b \leq 0.1g$$

$$S = c/1.25 = 1.6/1.25 = 1.28$$

c=1.6 (tipo de terreno 111)

$$a_c = 1.28 \times 1.3 \times 0.08 = 1.133$$

CARGAS ACCIDENTALES	SISMO	$a_c = s \cdot r \cdot a_b$	0,133	SITUACIÓN DE INCENDIO	Resistencia al fuego de la estructura	Invernadero local riesgo bajo $h < 10$	Estructura portante
		$S = C/1,25$	1,28				R90
		construcción de importancia especial	1,3				Paredes y techos
		0,04-0,08	0,08				R90

3.3 Hipótesis y Combinaciones de Carga

En el presente proyecto se ha utilizado el software RFEM 6 para la generación automática de combinaciones de carga, en cumplimiento con las disposiciones establecidas por el Código Técnico de la Edificación (CTE) y los Eurocódigos, particularmente la norma UNE-EN 1990 (Eurocódigo 0: Bases de cálculo estructural) y la UNE-EN 1991 (Eurocódigo 1: Acciones sobre las estructuras).

El programa permite definir las distintas hipótesis de carga (acciones permanentes, variables, accidentales y sísmicas si corresponde) y combinarlas automáticamente según los criterios de seguridad estructural y funcional establecidos en la normativa. Las combinaciones generadas contemplan tanto los Estados Límite Últimos (ELU) como los Estados Límite de Servicio (ELS), garantizando que se evalúan todas las situaciones posibles que podrían comprometer la estabilidad o funcionalidad de la estructura.

RFEM 6 genera las combinaciones de forma automatizada a partir de las hipótesis de carga definidas en el modelo. Para ello, aplica:

Coefficientes parciales de seguridad sobre las cargas según el CTE (γ_G para acciones permanentes, γ_Q para acciones variables).

Factores de combinación Ψ_0 , Ψ_1 y Ψ_2 sobre las cargas variables, en función del tipo de ELS analizado (característico, frecuente o cuasi-permanente).

Reglas de simultaneidad entre acciones, considerando cada carga variable como acción principal en su correspondiente combinación y las demás como acciones acompañantes.

El programa también permite incluir combinaciones accidentales o sísmicas si fueran necesarias, ajustando los coeficientes según los criterios específicos de diseño.

La tabla que se adjunta recoge todas las combinaciones de carga generadas por RFEM 6 para el modelo estructural. En ella se identifican:

El número de la combinación.

El tipo de combinación (ELU o ELS).

La naturaleza del estado límite (característico, frecuente, cuasi-permanente).

Los factores de multiplicación aplicados a cada acción.

Las hipótesis de carga activas en cada combinación.

Estas combinaciones se han empleado para el análisis global de esfuerzos internos, reacciones en cimentación, y verificación de los distintos elementos estructurales. La inclusión de todas las combinaciones relevantes asegura la correcta evaluación del comportamiento estructural bajo las condiciones más desfavorables posibles, tanto en términos de resistencia como de servicio.

Resumen cuadro de cargas

CARGAS VARIABLES	HORIZONTALES	Carga de viento [W]	$q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p$ (kn/m ²)									
			Presión dinámica del viento (q_b)	Coeficiente exposición		Coeficiente eólico (h=4m / a=b=12m)		Carga superficial (q_e)	Carga lineal (q_w) = $q_e \cdot$ ancho tributario		Q(carga puntual) = $q_w \cdot$ fachada tributaria	
			zona A	Grado I	Altura pto. (2m)	c_p	c_s	kn/m ²	kn/m	6	kn	1,25
		0,45	2,4	0,7	0,4	1,2	7,1	8,9				
		Anejo D. Acción del viento. [CTE DBSE-AE]	D1 Presión dinámica /situación geográfica	Tabla 3.4 DB SE AE.		Tabla 3.5. Coeficiente eólico en edificios de pisos						
	VERTICALES	S.C.U [q(kn/m ²)]	Uso invernadero kn/m ²	Cubierta (mantenimineto) kn/m ²								
		2	1									
	Nieve (kn/m ²)	0,2 kn/m ²	se tiene en cuenta la carga de mantenimiento, despreciando la de nieve									

CARGAS PERMANENTES	VERTICALES	Grupo	Elemento	Características			Peso propio kn/m
		Forjado inferior	Chapa colaborante	canto (h)= 0,16 // luz max 4m			2,75
			Vigas metálicas	IPE 200// sección 28,5cm2//densidad 7850 kg/m3			0,224
		Forjado cubierta	Envolvente cubierta	Sistema Danpal, policarbonato(caract. Fabricante)			0,05
			Vigas metálicas	IPE 200// sección 28,5cm2//densidad 7850 kg/m3			0,224
		Cerramiento	envolvente fachada	Sistema Danpal, policarbonato(caract. Fabricante)			0,05
cargas muertas	Tierra húmeda maceteros	carga tierra	espesor maceteros		16		
		20	79	0,8			
		km/m3	cm	m			
		Total			3,3 kn/m ²		

Comb. de acc.	Nombre	Ac	Situación de proyecto	Factor	A 1 Núm.	Factor	A 2 Núm.	Factor	A 3 Núm.	Factor	A 4 Núm.
CA1	1.35 * A1	✓	ELU SP1 - ELU (STR/GEO) - Permanente y transitoria - Ec. 6.10	1.35	G A1						
CA2	1.35 * A1 + 1.50 * A2	✓	ELU SP1 - ELU (STR/GEO) - Permanente y transitoria - Ec. 6.10	1.35	G A1	1.50	Qs A2				
CA3	1.35 * A1 + 1.50 * A2 + 0.90 * A3	✓	ELU SP1 - ELU (STR/GEO) - Permanente y transitoria - Ec. 6.10	1.35	G A1	1.50	Qs A2	0.90	Qw A3		
CA4	1.35 * A1 + 1.50 * A2 + 0.90 * A3 + 0.00...	✓	ELU SP1 - ELU (STR/GEO) - Permanente y transitoria - Ec. 6.10	1.35	G A1	1.50	Qs A2	0.90	Qw A3	0.00	Ql H A4
CA5	1.35 * A1 + 1.50 * A2 + 0.00 * A4	✓	ELU SP1 - ELU (STR/GEO) - Permanente y transitoria - Ec. 6.10	1.35	G A1	1.50	Qs A2	0.00	Ql H A4		
CA6	1.35 * A1 + 1.50 * A3	✓	ELU SP1 - ELU (STR/GEO) - Permanente y transitoria - Ec. 6.10	1.35	G A1	1.50	Qw A3				
CA7	1.35 * A1 + 0.75 * A2 + 1.50 * A3	✓	ELU SP1 - ELU (STR/GEO) - Permanente y transitoria - Ec. 6.10	1.35	G A1	0.75	Qs A2	1.50	Qw A3		
CA8	1.35 * A1 + 0.75 * A2 + 1.50 * A3 + 0.00...	✓	ELU SP1 - ELU (STR/GEO) - Permanente y transitoria - Ec. 6.10	1.35	G A1	0.75	Qs A2	1.50	Qw A3	0.00	Ql H A4
CA9	1.35 * A1 + 1.50 * A3 + 0.00 * A4	✓	ELU SP1 - ELU (STR/GEO) - Permanente y transitoria - Ec. 6.10	1.35	G A1	1.50	Qw A3	0.00	Ql H A4		
CA10	1.35 * A1 + 1.50 * A4	✓	ELU SP1 - ELU (STR/GEO) - Permanente y transitoria - Ec. 6.10	1.35	G A1	1.50	Ql H A4				
CA11	1.35 * A1 + 0.75 * A2 + 1.50 * A4	✓	ELU SP1 - ELU (STR/GEO) - Permanente y transitoria - Ec. 6.10	1.35	G A1	0.75	Qs A2	1.50	Ql H A4		
CA12	1.35 * A1 + 0.75 * A2 + 0.90 * A3 + 1.50...	✓	ELU SP1 - ELU (STR/GEO) - Permanente y transitoria - Ec. 6.10	1.35	G A1	0.75	Qs A2	0.90	Qw A3	1.50	Ql H A4
CA13	1.35 * A1 + 0.90 * A3 + 1.50 * A4	✓	ELU SP1 - ELU (STR/GEO) - Permanente y transitoria - Ec. 6.10	1.35	G A1	0.90	Qw A3	1.50	Ql H A4		
CA14	A1	✓	S Ch SP2 - ELS - Característica	1.00	G A1						
CA15	A1 + A2	✓	S Ch SP2 - ELS - Característica	1.00	G A1	1.00	Qs A2				
CA16	A1 + A2 + 0.60 * A3	✓	S Ch SP2 - ELS - Característica	1.00	G A1	1.00	Qs A2	0.60	Qw A3		
CA17	A1 + A2 + 0.60 * A3 + 0.00 * A4	✓	S Ch SP2 - ELS - Característica	1.00	G A1	1.00	Qs A2	0.60	Qw A3	0.00	Ql H A4
CA18	A1 + A2 + 0.00 * A4	✓	S Ch SP2 - ELS - Característica	1.00	G A1	1.00	Qs A2	0.00	Ql H A4		
CA19	A1 + A3	✓	S Ch SP2 - ELS - Característica	1.00	G A1	1.00	Qw A3				
CA20	A1 + 0.50 * A2 + A3	✓	S Ch SP2 - ELS - Característica	1.00	G A1	0.50	Qs A2	1.00	Qw A3		
CA21	A1 + 0.50 * A2 + A3 + 0.00 * A4	✓	S Ch SP2 - ELS - Característica	1.00	G A1	0.50	Qs A2	1.00	Qw A3	0.00	Ql H A4
CA22	A1 + A3 + 0.00 * A4	✓	S Ch SP2 - ELS - Característica	1.00	G A1	1.00	Qw A3	0.00	Ql H A4		
CA23	A1 + A4	✓	S Ch SP2 - ELS - Característica	1.00	G A1	1.00	Ql H A4				
CA24	A1 + 0.50 * A2 + A4	✓	S Ch SP2 - ELS - Característica	1.00	G A1	0.50	Qs A2	1.00	Ql H A4		
CA25	A1 + 0.50 * A2 + 0.60 * A3 + A4	✓	S Ch SP2 - ELS - Característica	1.00	G A1	0.50	Qs A2	0.60	Qw A3	1.00	Ql H A4
CA26	A1 + 0.60 * A3 + A4	✓	S Ch SP2 - ELS - Característica	1.00	G A1	0.60	Qw A3	1.00	Ql H A4		

EL JARDÍN RESILIENTE

· · · Ecologías experimentales frente a un clima en mutación · · ·

4. Bases de cálculo

Para llevar a cabo el análisis estructural del edificio se ha utilizado el software de análisis RFEM 6 (Dubal,2021), el cual ha permitido realizar el estudio de los esfuerzos en toda la estructura. A partir de estos resultados, se procederá al dimensionado de los diferentes elementos estructurales que conforman el edificio.

Es un software de análisis por elementos finitos que permite modelar rápida y fácilmente, así como realizar el análisis estático y dinámico, y dimensionamiento de estructuras con elementos de barras, placas, muros, placas plegadas, cáscaras y sólidos.

Método numérico que permite estudiar el comportamiento estructural de un edificio dividiéndolo en pequeñas partes llamadas elementos finitos. Estos elementos pueden ser barras, placas, láminas o sólidos, según el tipo de estructura y las características geométricas que se quieran representar.

Cada uno de estos elementos se conecta en puntos llamados nodos, y a través de estos se transmiten fuerzas, desplazamientos y otros efectos. RFEM 6 genera una malla de elementos finitos que simula el comportamiento real del edificio bajo diferentes tipos de cargas (gravitatorias, viento, nieve, sísmicas, etc.).

El software resuelve las ecuaciones de equilibrio y compatibilidad en cada nodo y calcula cómo se distribuyen los esfuerzos, deformaciones y desplazamientos en toda la estructura. Gracias a esto, es posible obtener resultados detallados como:

Tensiones internas (axiales, cortantes, momentos)

Deformaciones y desplazamientos

Reacciones en los apoyos

Verificación de estados límite (resistencia, estabilidad y servicio)

Además, RFEM 6 permite trabajar con materiales y secciones complejas, simular condiciones de carga reales y realizar análisis lineales, no lineales, dinámicos o inestables, adaptándose a diferentes tipologías estructurales.

4.1. Proceso de cálculo estructural

El proceso de cálculo estructural mediante el método de elementos finitos en el software RFEM 6 se inicia con la definición geométrica de la estructura, especificando los elementos que la componen, sus propiedades mecánicas y características geométricas. Seguidamente, se establecen las condiciones de contorno, incluyendo los apoyos, uniones y restricciones que limitan los grados de libertad de la estructura. A continuación, se aplican las distintas acciones previstas, tales como cargas permanentes, sobrecargas de uso, viento, nieve o acciones sísmicas, distribuidas según la tipología y configuración del modelo.

Una vez definidos estos parámetros, se procede a la generación de la malla de elementos finitos, discretizando la estructura en elementos conectados por nodos. RFEM 6 calcula las matrices de rigidez locales de cada elemento y las ensambla en una matriz global que representa el comportamiento estructural del conjunto. Este sistema de ecuaciones se resuelve para determinar los desplazamientos y rotaciones en los nodos bajo las condiciones de carga establecidas. Posteriormente, a partir de los desplazamientos obtenidos, se calculan los esfuerzos internos, tensiones y deformaciones en los distintos elementos, permitiendo evaluar la respuesta estructural del edificio. Finalmente, se verifican los resultados conforme a los criterios normativos aplicables, comprobando desplazamientos admisibles, reacciones en apoyos y la seguridad frente a los estados límite último y de servicio.

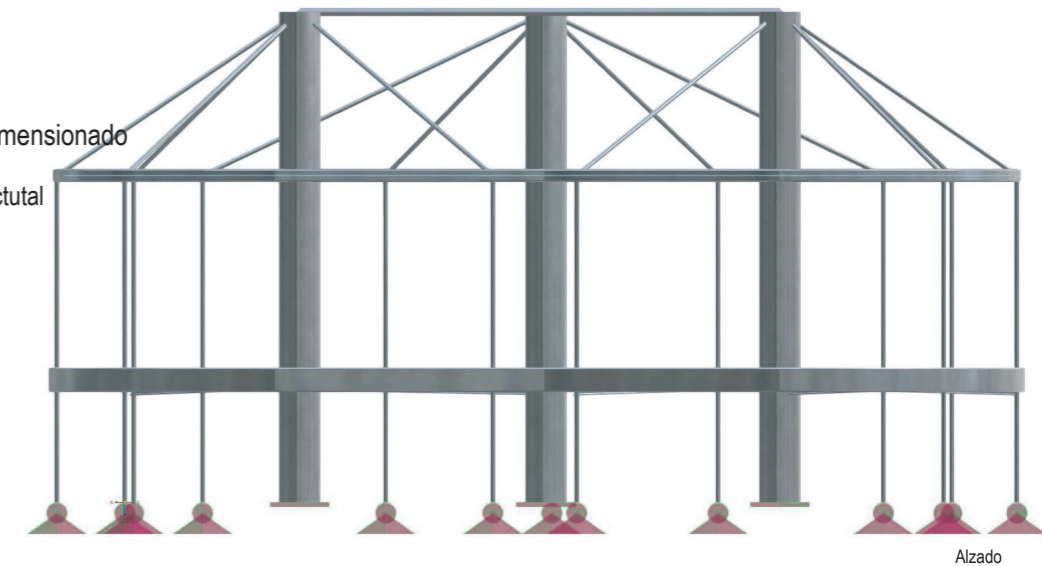
5. Modelado y análisis en RFEM 6_Predimensionado

5.1. Definición de modelo estructural

Tras haber diseñado un esquema sintético se modela la estructura en el software de cálculo.

5.1.1 Predimensionado

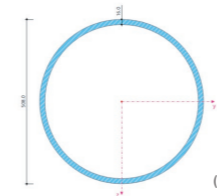
Se hace un primer tanteo de tipos y dimensiones de secciones de los elementos estructurales, definiendo apoyos y materiales.



Alzado

Mástiles

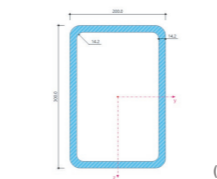
CHS 508x16 /S235JR



(mm)

Viga perimetral inferior

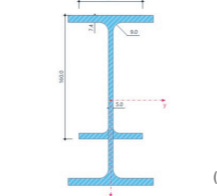
RHS 300x200x14.2 /S235JR



(mm)

Rigidizadores inferiores

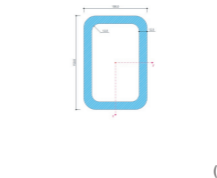
IPE 200 /S235JR
IPE 160 /S235JR



(mm)

Viga perimetral superior

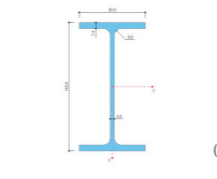
RHS 150x100x12.5 /S235JR



(mm)

Rigidizadores superior

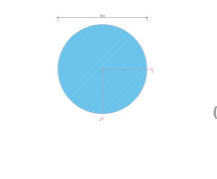
IPE 160 /S235JR



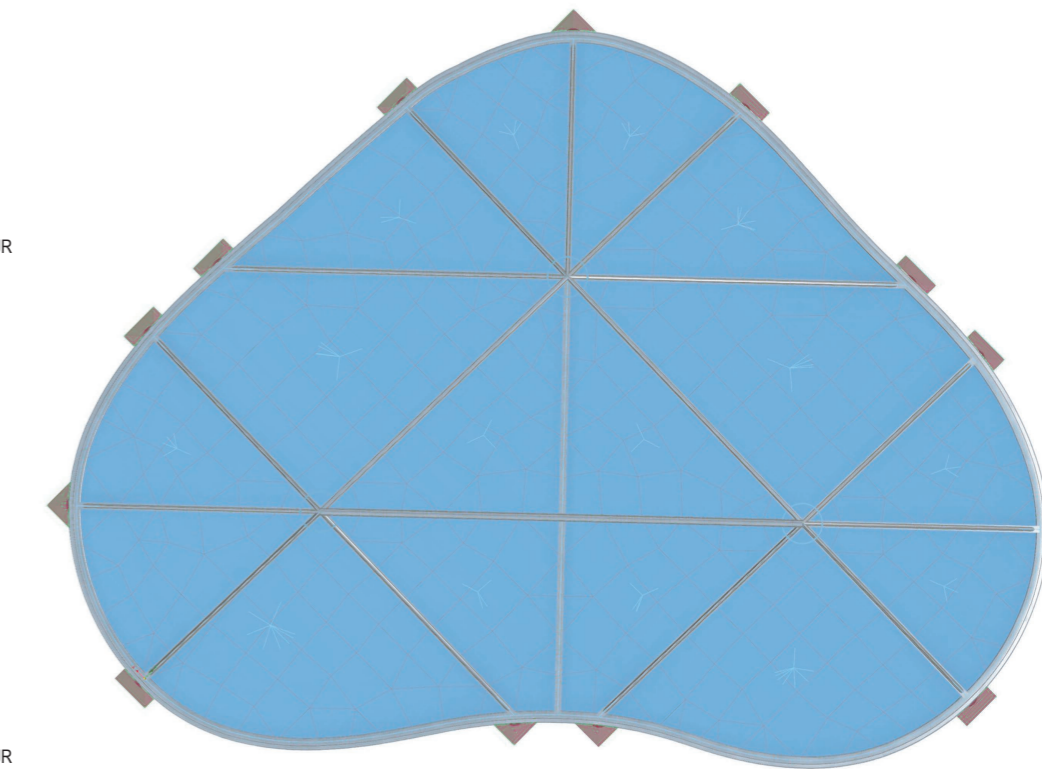
(mm)

Tirantes

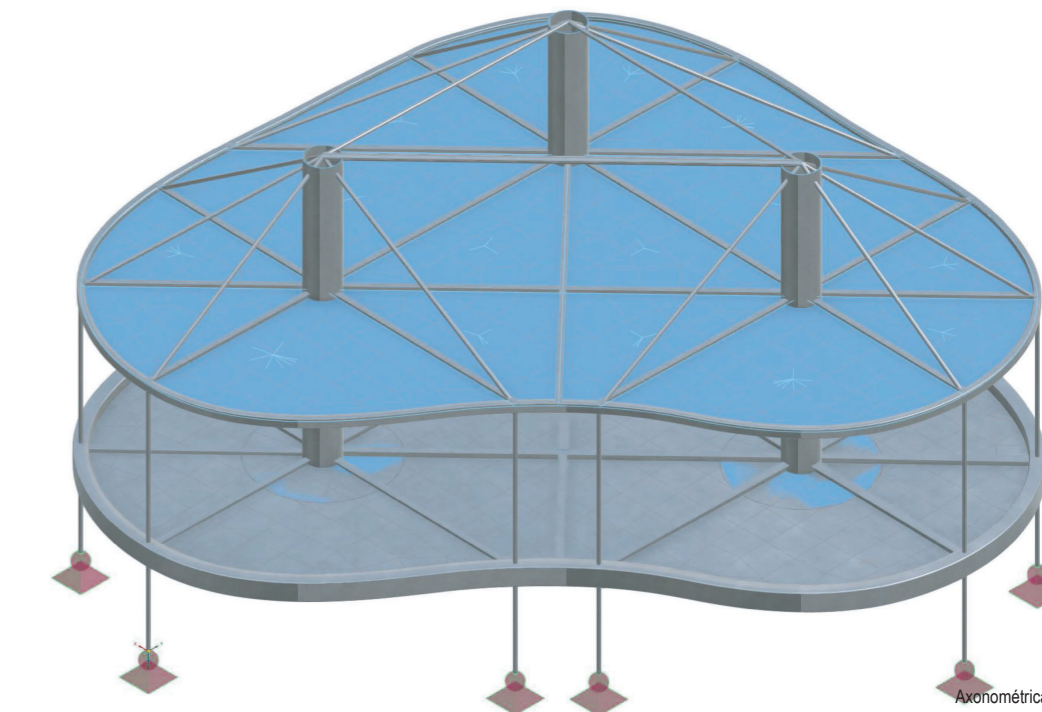
Redondo 50/H
/S235JR



(mm)



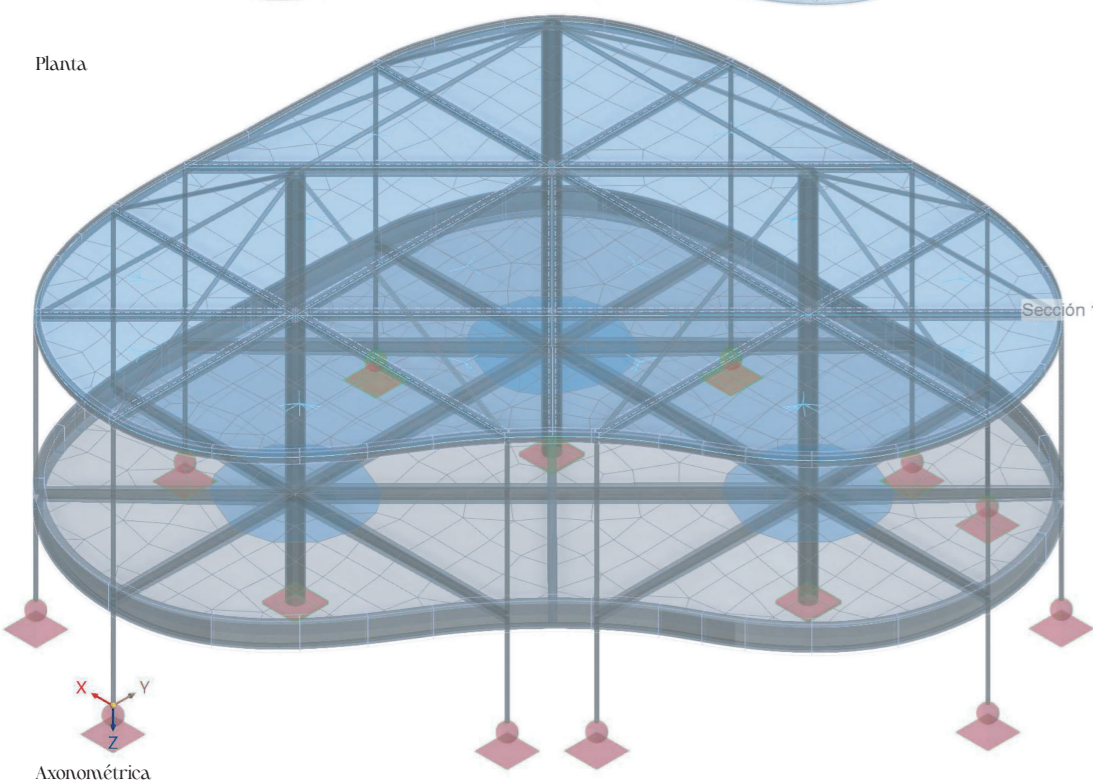
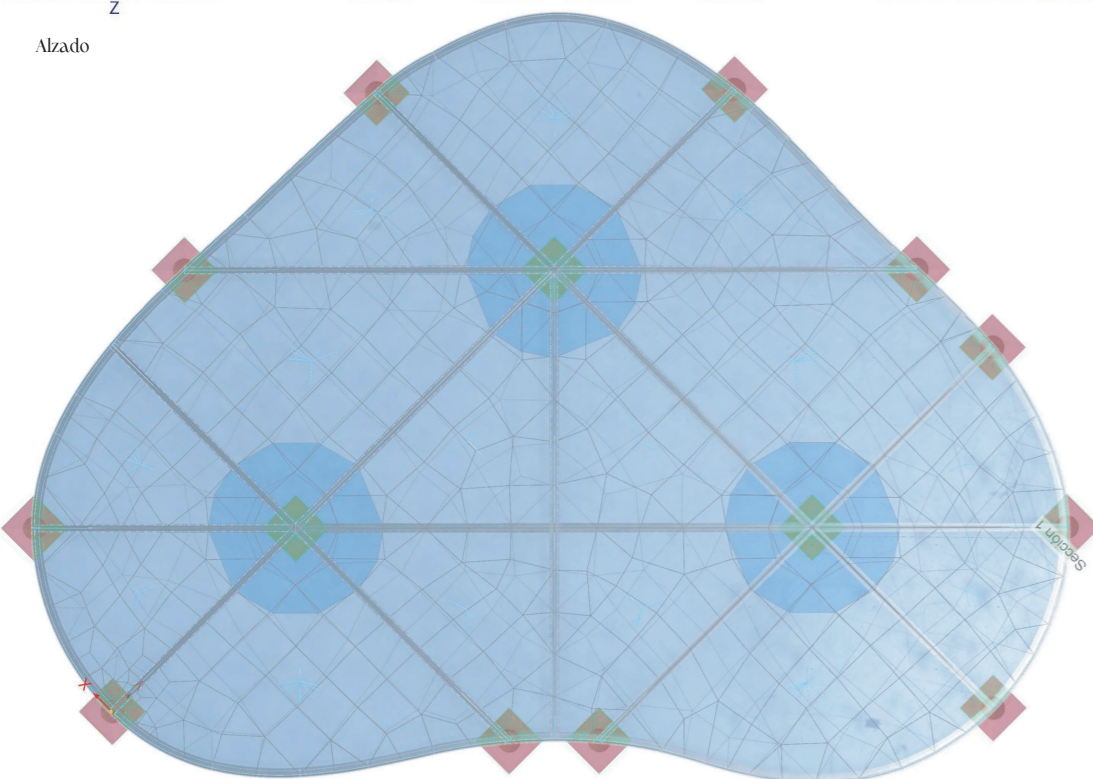
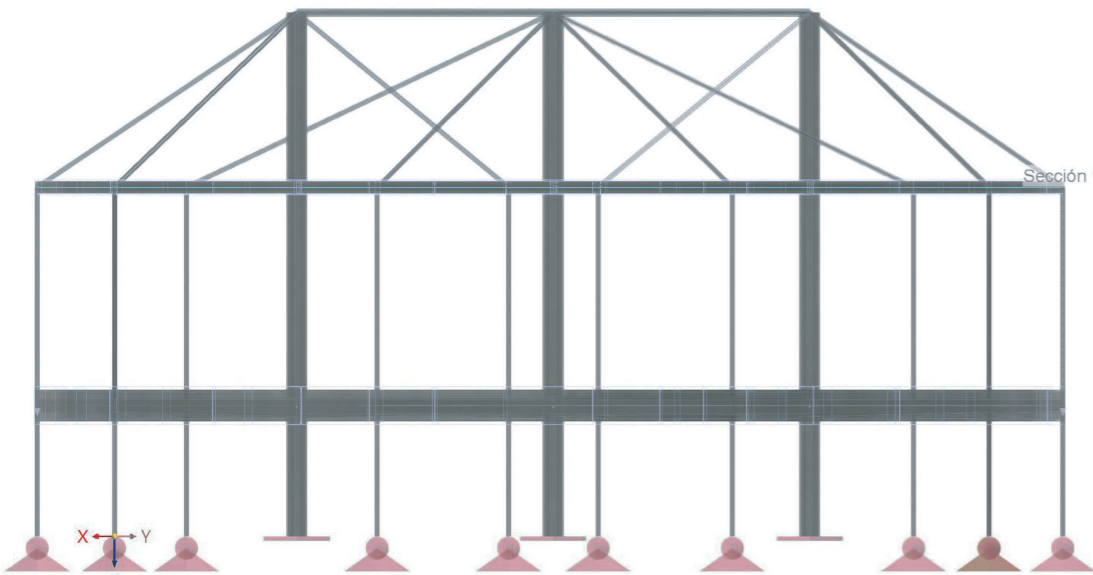
Planta



Axonométrica

EL JARDÍN RESILIENTE

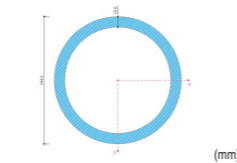
· · Ecologías experimentales frente a un clima en mutación · ·



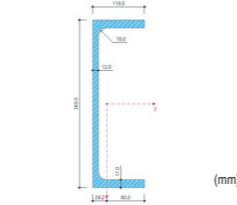
Tras haber comprobado el primer modelo estructural, se realiza el último dimensionado, ajustando secciones. Reduciendo o ampliando o incluso modificando la sección de los distintos elementos.

Se especifican en la siguiente columna:

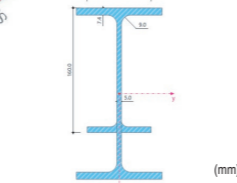
Mástiles CHS 244.5x20 /S235JR



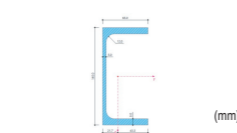
Viga perimetral inferior UPE 360 /S235JR



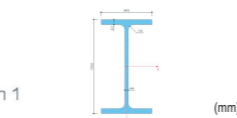
Rigidizadores inferiores IPE 220 /S235JR
IPE 160 /S235JR



Viga perimetral superior UPE 140 /S235JR



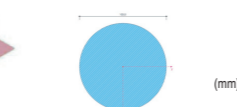
Rigidizadores superior IPE 120 /S235JR



Tirantes Redondo 50/H /S235JR



Tirantes_tipo 02 Redondo 100/H /S235JR



6. Modelado y Análisis en RFEM6_Dimensionado

6.1 Definición del modelo estructural

A continuación se especifica la justificación de la actualización de cada elemento.

01. Mástiles

El esquema estructural admite reducir la sección sin producir ninguna deformación en el resto de elementos, al estar previamente sobredimensionada. Esto ayuda también a conseguir la imagen buscada, de estructura ligera elevada. Se mantiene el tipo de perfil, CHS, disminuyendo un sección de 508x16 a una sección 244.5x20. (medidas en mm).

0.2. Viga perimetral inferior

En este caso se modifica el tipo de perfil metálico por una decisión constructiva. En un primer lugar se optó por un perfil RHS 300x200x14.2 (mm), pero este no permitía un buen encuentro con los montantes de la fachada de policarbonato-el forjado de chapa colaborante-rigidizador, por lo que se escogió un UPE 360. Esta nueva sección, aparte de resolver el encuentro constructivo con el resto de elementos, no varía la estabilidad, se asume el sobredimensionamiento.

0.3. Rigidizadores inferiores

Estos elementos actúan como elemento rigidizador de la viga perimetral y como soporte del forjado de chapa colaborante que a su vez recibe un agran carga de los maceteros. Al estar en voladizo las barras que dan al perímetro se opta desde por una sección variable (IPE 200 / IPE 160), en cuanto a las tres barras interiores se definen con sección continua (IPE 200), con esta elección se determinaban deformaciones en z de 11.7 mm. Para etermiaLa luz de ese elemento son 6m y la

0.4. Viga perimetral superior

En este caso se modifica el tipo de perfil metálico por una decisión constructiva. En un primer lugar se optó por un perfil RHS 150x100x12.5 (mm), pero este no permitía un buen encuentro con los montantes de la fachada de policarbonato, por lo que se escogió un UPE 360. Esta nueva sección, aparte de resolver el encuentro constructivo con el resto de elementos, no varía la estabilidad, se asume el sobredimensionamiento. Queriendo lograr una sensación de lijereza en este plano.

0.5. Rigidizadores superiores

Estos elementos actúan como elemento rigidizador de la viga perimetral y como soporte de la envolvente de de polarbonato en cubierta. Al estar previsto que no soporte ninguna sobre carga de uso, unicamente la de mantenimiento, se disponen perfiles de menos tamaño, para evitar el sobredimensionado en este elemento. Queriendo lograr una sensación de lijereza en este plano.

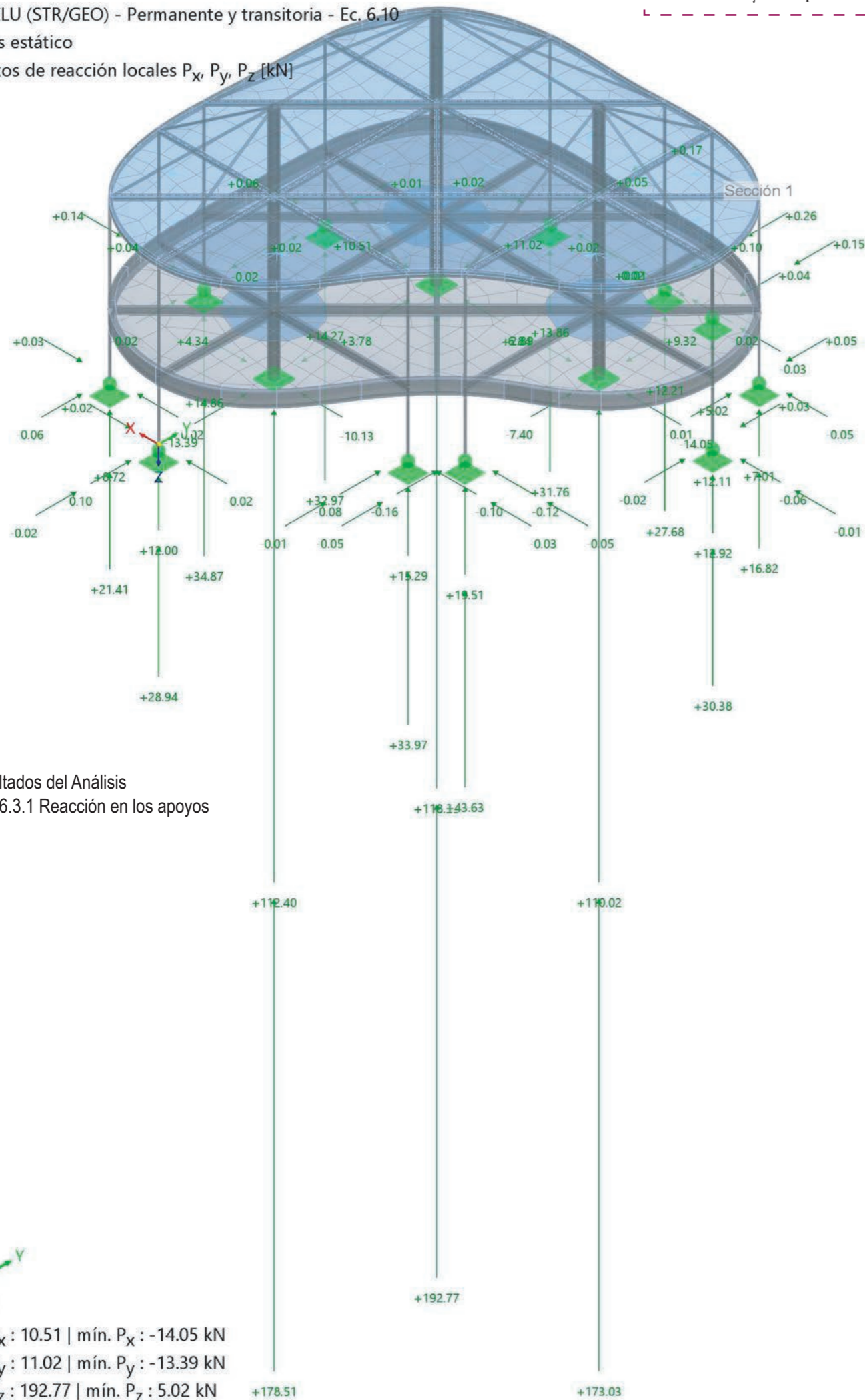
0.6. Tirantes

Por último estos elementos se mantienen, ya que la deformación esta dentro de los valores permitidos. Solo se modifica un tirante siperioir, que se aumenta la sección por que deofrmacin superaba lo buscado.

SP1 - ELU (STR/GEO) - Permanente y transitoria - Ec. 6.10

Análisis estático

Esfuerzos de reacción locales P_x , P_y , P_z [kN]

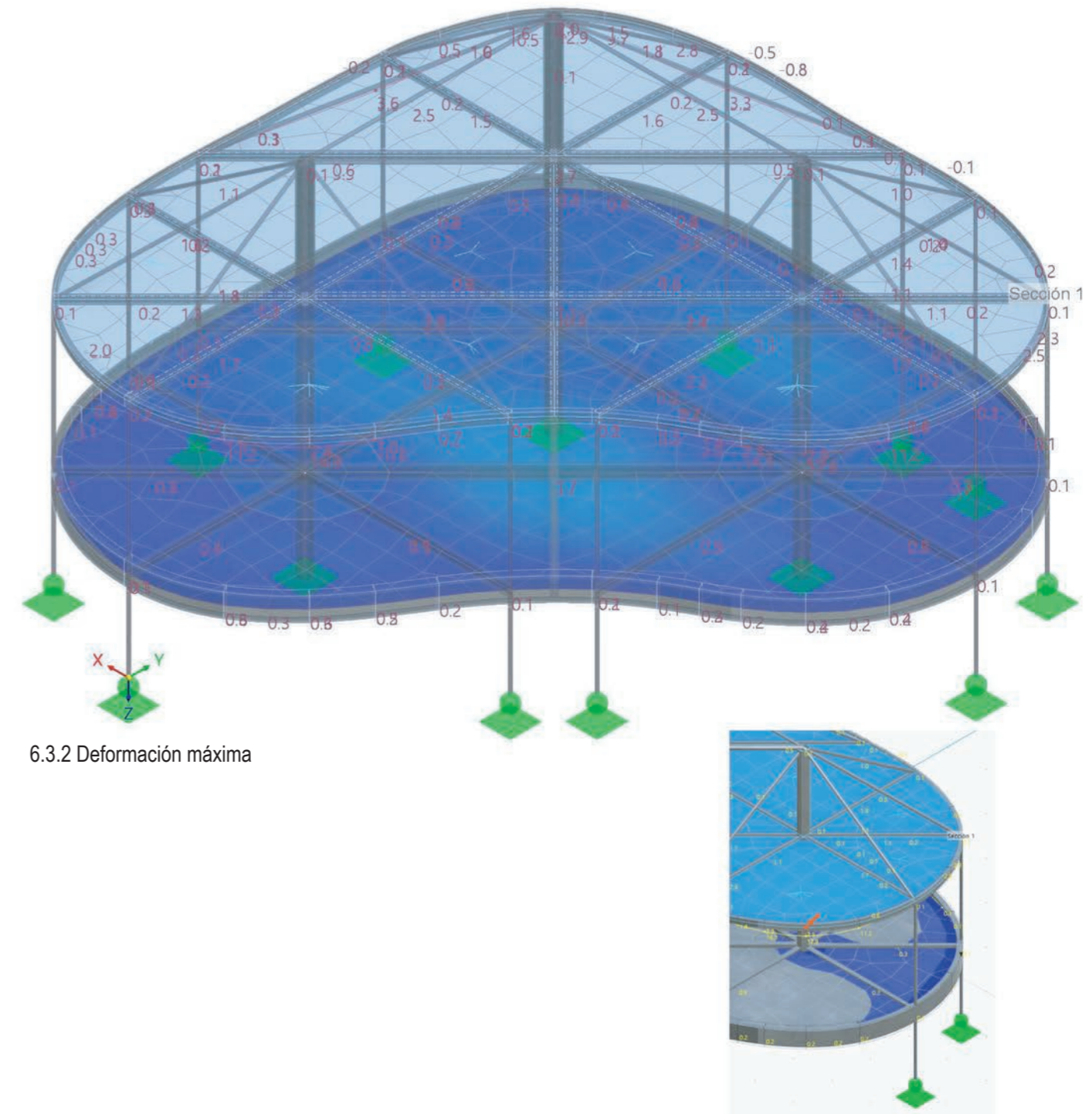


6.3 Resultados del Análisis
6.3.1 Reacción en los apoyos

SP1 - ELU (STR/GEO) - Permanente y transitoria - Ec. 6.10

Análisis estático

Desplazamientos u_z [mm]



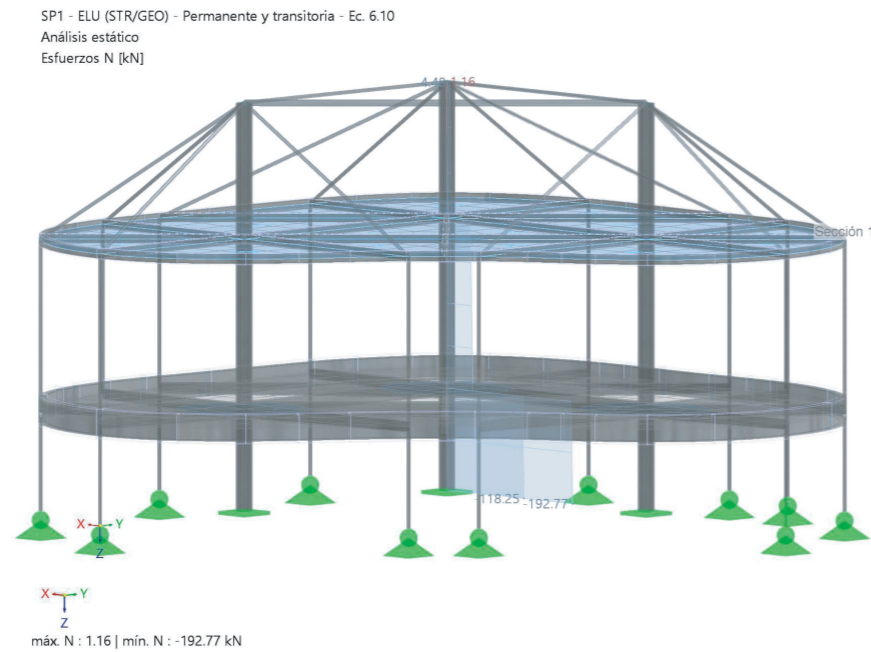
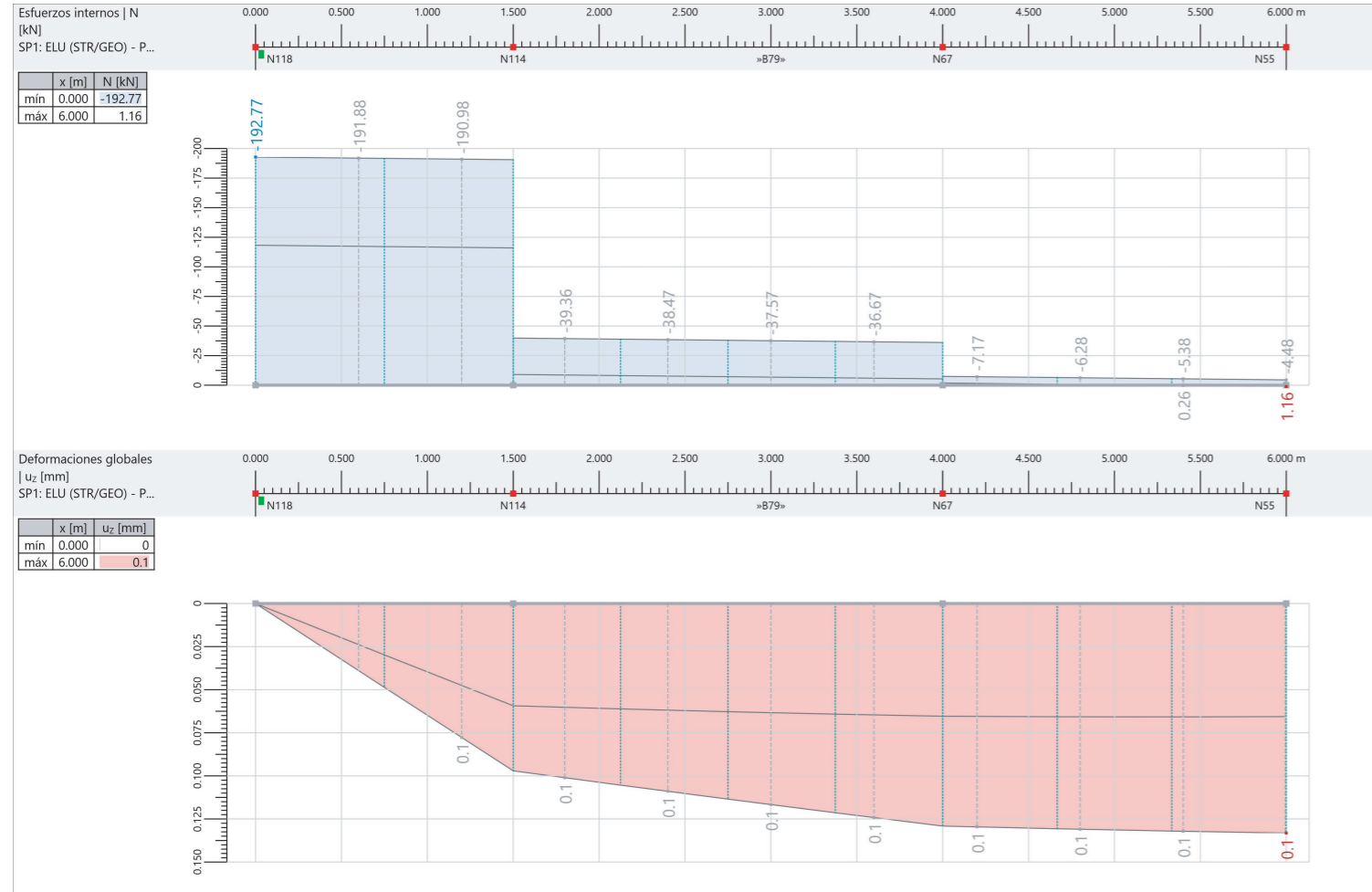
Descripción	Valor	Unidad	Notas
Deformaciones máximas			
Máximo desplazamiento en dirección X	-7,0	mm	Barra núm. 59, x: 1.276 m CO11
Máximo desplazamiento en dirección Y	7,5	mm	Barra núm. 51, x: 0.390 m CO10
Máximo desplazamiento en dirección Z	17,9	mm	Barra núm. 44, x: 0.994 m CO18
Máximo desplazamiento vectorial	18,3	mm	Barra núm. 44, x: 0.994 m CO18
Máximo giro respecto al eje X	-45,0	mrads	Barra núm. 47, x: 0.518 m CO18
Máximo giro respecto al eje Y	38,3	mrads	Barra núm. 47, x: 0.259 m CO18
Máximo giro respecto al eje Z	-4,3	mrads	Barra núm. 60, x: 1.360 m CO11

6.3.3 Tabla de esfuerzos máximos por barra

Componente	Barra núm.	Valor extremo
N (Axial)	79	-192.77 kN
Vy (Corte Y)	78	-13.39 kN
Vz (Corte Z)	75	-29.78 kN
MT (Torsión)	78	0.50 kNm
My (Momento Y)	75	-26.97 kNm
Mz (Momento Z)	78	-12.62 kNm

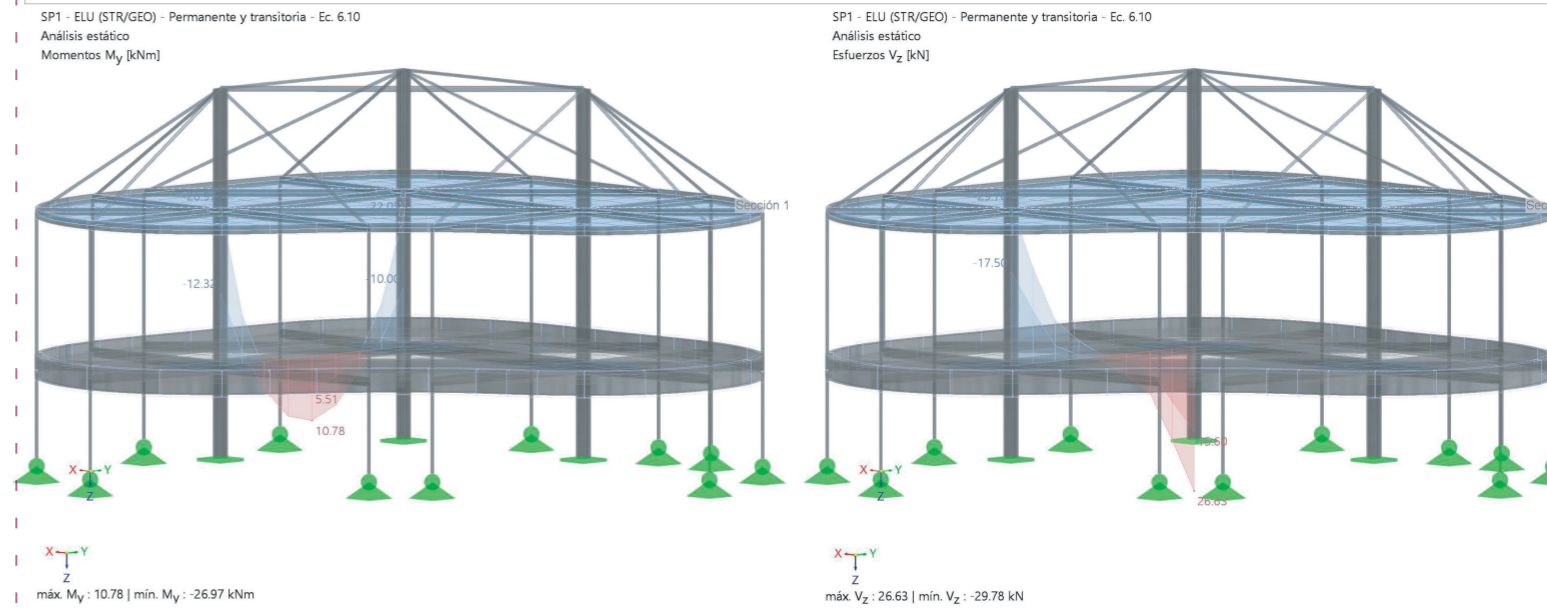
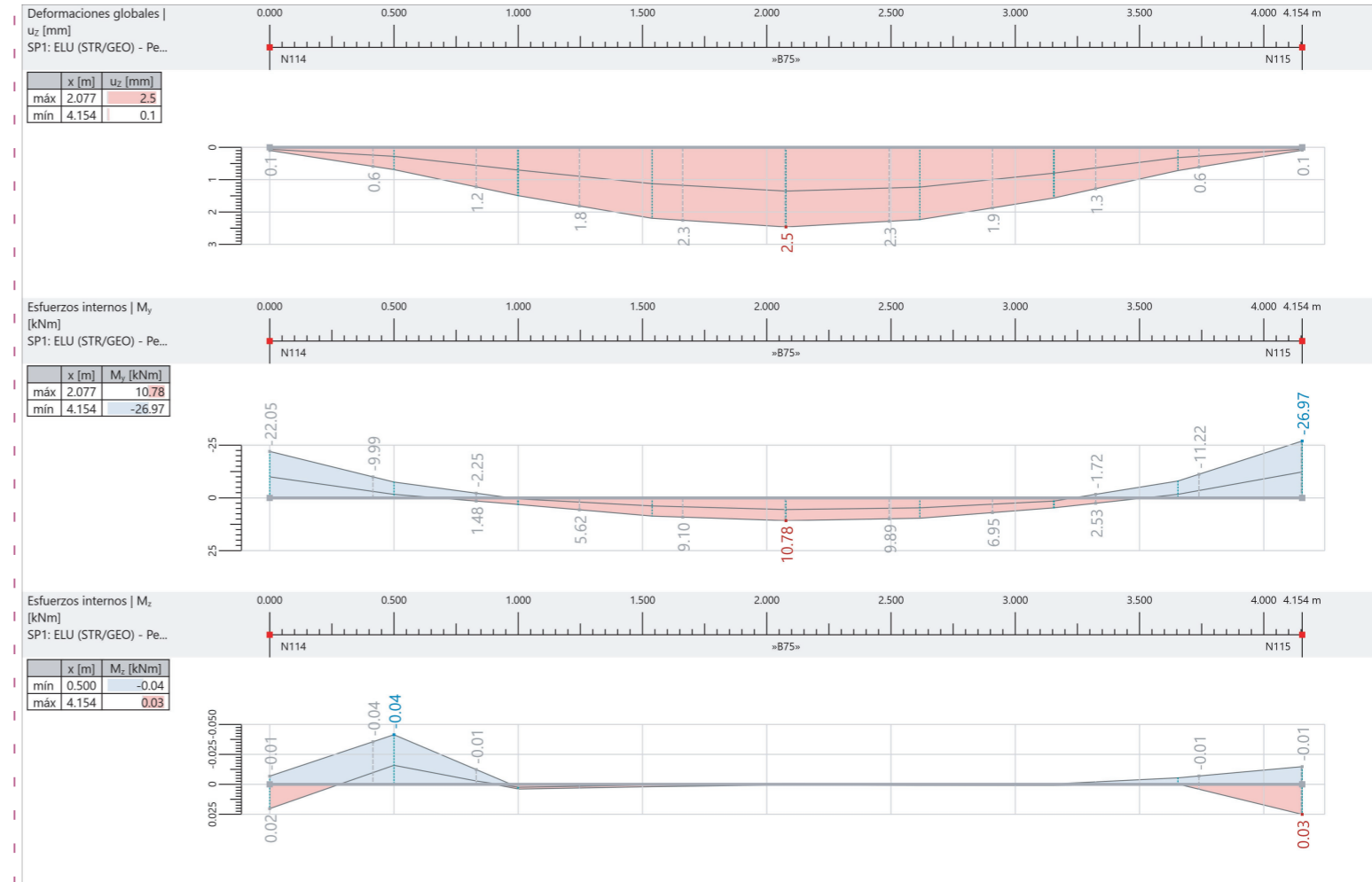
6.3.4 Esfuerzo axial máximo

Barra 79

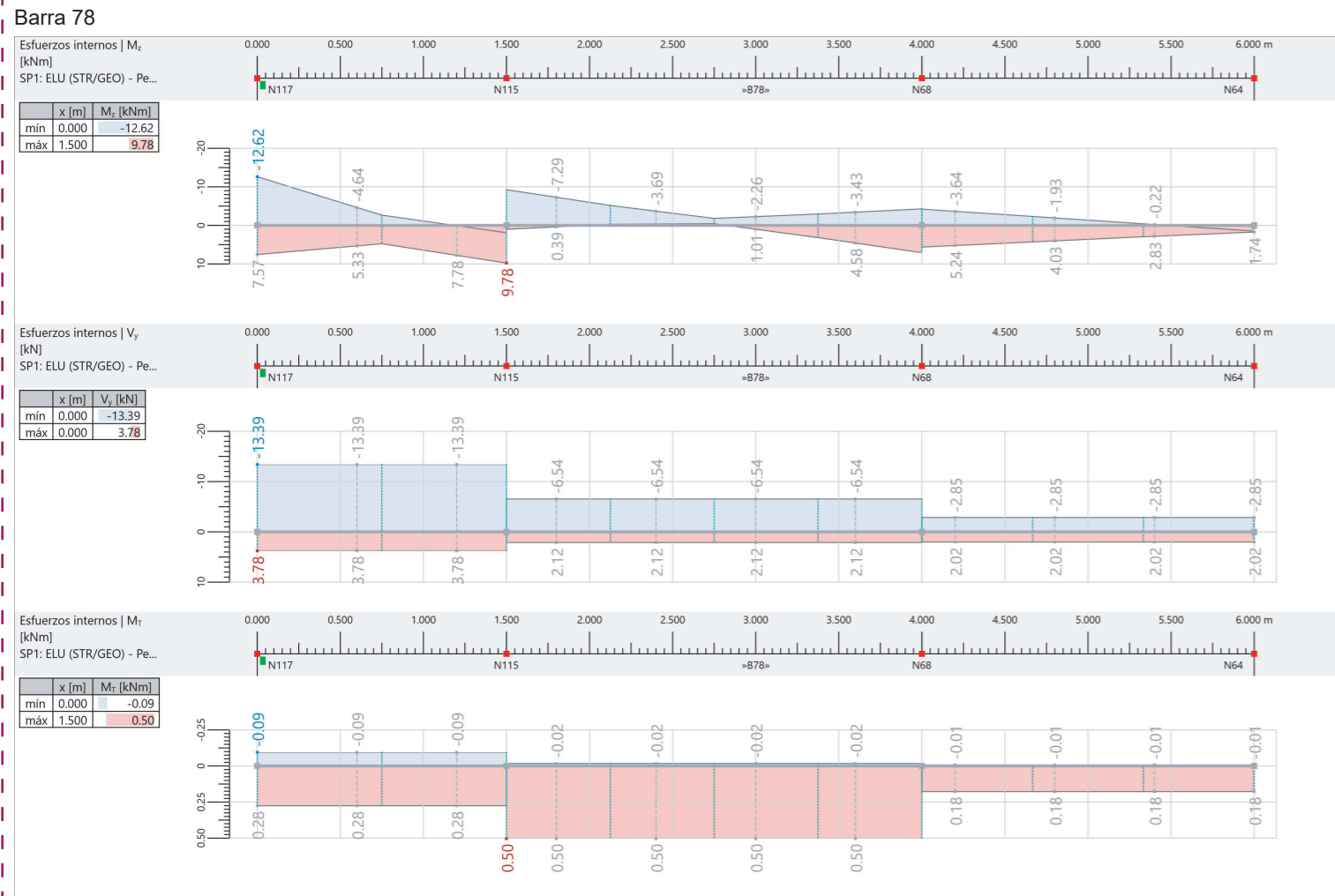


6.3.5 Diagrama de momentos Y y corte en Z máximos en barra

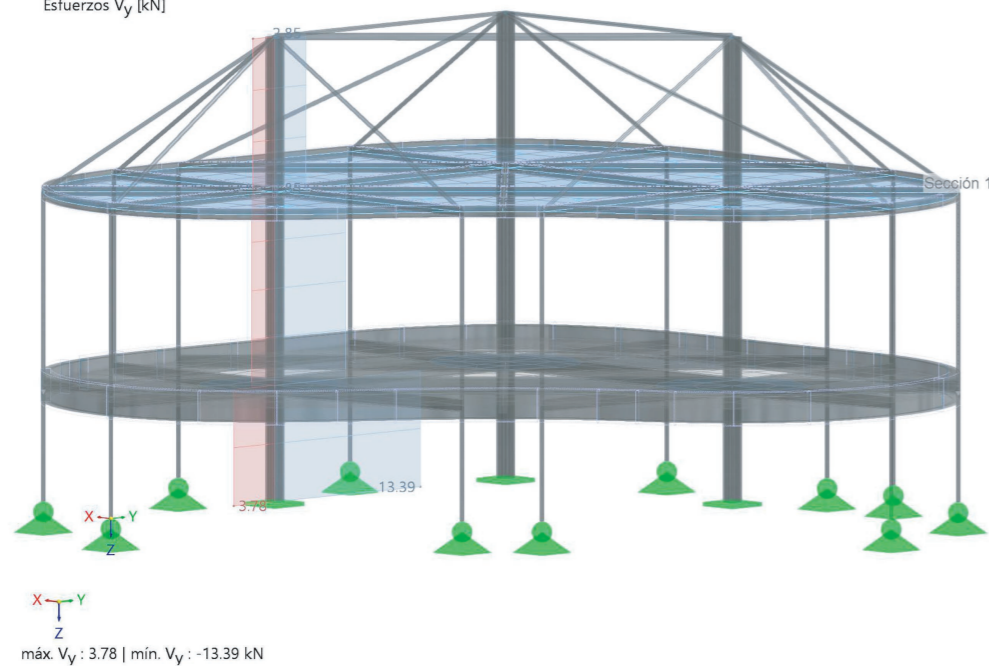
Barra 75



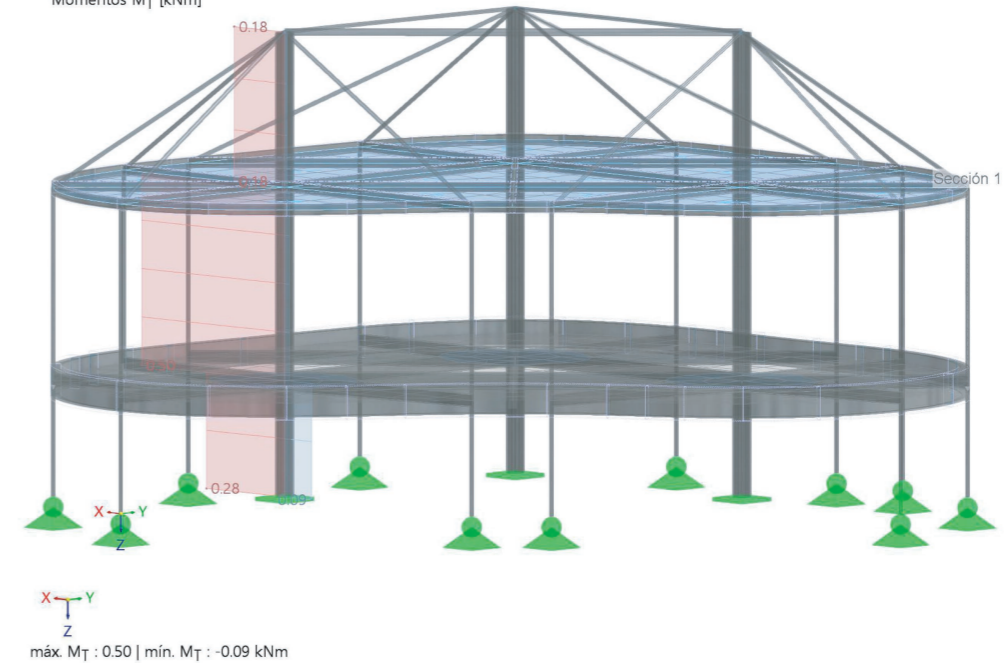
6.3.6 Diagrama de momentos Z y corte en Y máximos en barra



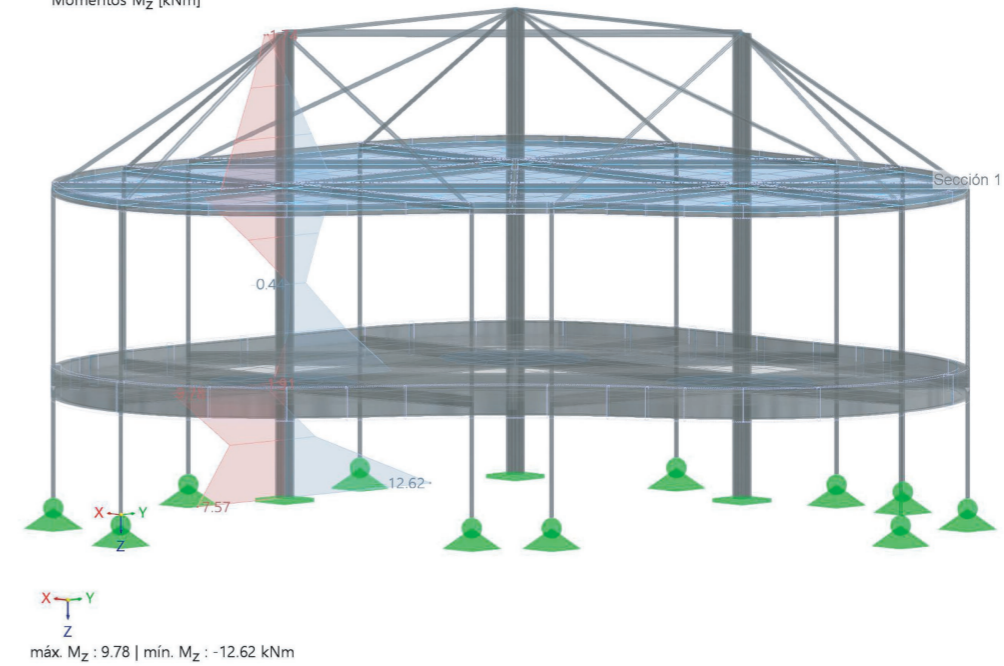
SP1 - ELU (STR/GEO) - Permanente y transitoria - Ec. 6.10
Análisis estático
Esfuerzos V_y [kN]



SP1 - ELU (STR/GEO) - Permanente y transitoria - Ec. 6.10
Análisis estático
Momentos M_T [kNm]



SP1 - ELU (STR/GEO) - Permanente y transitoria - Ec. 6.10
Análisis estático
Momentos M_z [kNm]



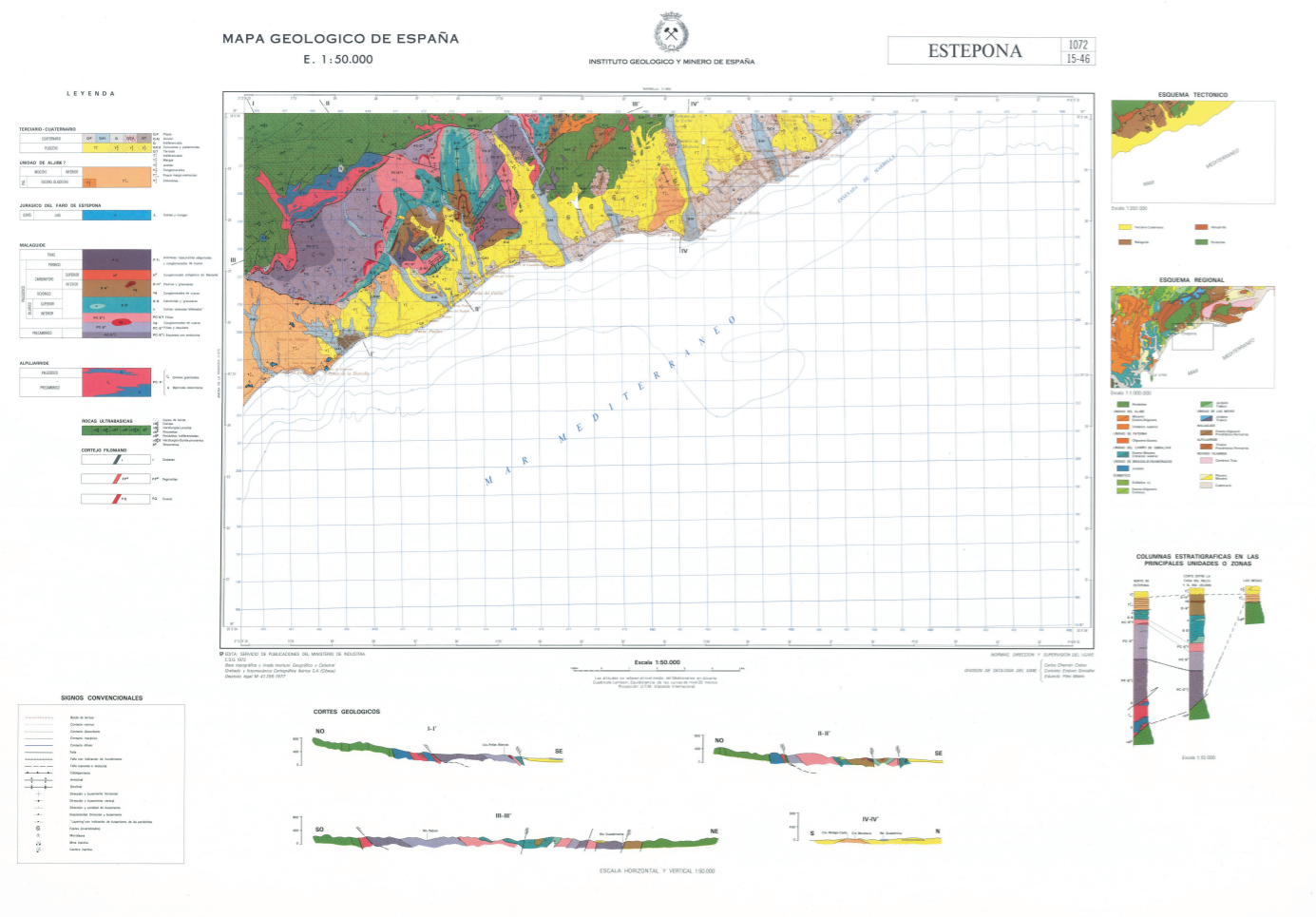
7. Cálculo cimentación

7.1 Datos geotécnicos y parámetros del terreno

El presente proyecto se desarrolla en el término municipal de Estepona (Málaga), en una zona cuya caracterización geotécnica ha sido estudiada mediante el análisis del Mapa Geológico de España (MAGNA 1:50.000, hoja 1072 - Estepona), elaborado por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME). Esta información ha permitido definir las condiciones del terreno y orientar el diseño estructural de la cimentación.

La disposición litológica del área se caracteriza por materiales de origen fundamentalmente aluvial y detrítico en zonas costeras, con presencia de formaciones miocenas, flysch y materiales metamórficos en zonas interiores, tal como se observa en la lámina cartográfica consultada. Estas unidades presentan una variabilidad importante en cuanto a su capacidad portante y comportamiento mecánico, lo cual ha sido considerado en la selección del tipo de cimentación más adecuado para el proyecto.

Con base en la carga estructural estimada y las características geotécnicas locales, se ha optado por una cimentación profunda mediante encepado de hormigón armado sobre tres pilotes, diseñada para garantizar una adecuada transmisión de cargas al terreno, así como estabilidad estructural frente a posibles asentamientos diferenciales.



7.2 Tipología de la cimentación

Dadas las características del terreno y la magnitud de las cargas transmitidas por la estructura, se ha optado por una cimentación profunda mediante un encepado de hormigón armado apoyado sobre tres pilotes circulares, dispuestos en triángulo equilátero.

Este tipo de solución se ha elegido por los siguientes motivos:

Existencia de estratos portantes a profundidad considerable

Requerimiento de control de asentamientos diferenciales

Condiciones geotécnicas heterogéneas en la zona

DIMENSIONADO ENCEPADO

- ENCEPADO;
 - N° de pilotes : 3
 - Disposición : triángulo
 - Separación entre pilotes : 1,35 m [$S_{cm} = 3 \cdot D$]
 - Encepado - enterrado
- PILOTES;
 - Diámetro : 0,45 m
- CARGA TRANSMITIDA;
 - Carga axial máxima : 192,67 kN
(carga vertical sobre encepado)
- TERRENO;
 - Capacidad portante admisible : 615,82 kN/m²
- MATERIALES;
 - Hormigón : $f_c = 25 \text{ MPa}$
 - Acero : B500S, $f_y = 500 \text{ MPa}$
- NORMATIVA;
 - CTE DB - SE - C

* Dimensionado planta encepado

[10 cm de recubrimiento desde el borde del pilote.]
 - Dimensión mínima : $1,35 \text{ m} + 2 \cdot 0,25 + 2 \cdot 0,10 \text{ m} \approx 2,00 \text{ m}$

* Altura

Encepado rígido - Canto rígido : $h \geq \text{MAX} (d ; \frac{v}{4} ; 40 \text{ cm})$
 $h \geq 0,5 \text{ m}$
 Se opta por $h = 0,8 \text{ m}$

* JUSTIFICACIÓN Y COMPROBACIÓN

7.3.1 Tope estructural

La carga sigue siendo de 192.67 kN y se sigue distribuyendo en 3 pilotes → cada uno recibe $\approx 64.22 \text{ kN}$.

Área de apoyo por pilote :

$$A = \pi \times (0,45^2) / 4 \approx 0,159 \text{ m}^2$$

$$\sigma = 64,22 / 0,159 \approx 404 \text{ kN/m}^2 \text{ --- OK frente a } f_c \text{ y capacidad portante del terreno.}$$

7.3.2 Refuerzo

Área total del encepado ahora = $2,00 \times 2,00 = 4,00 \text{ m}^2$

Cuantía mínima de acero $\approx 0,15\%$ --- $0,0015 \times 4,00 \times 1000 = 6,00 \text{ cm}^2$ por cara

Refuerzo recomendado :

$$\text{Ø}16 _15 \text{ cm} = 13,4 \text{ cm}^2/\text{m}$$

7.3.3 Anclaje del acero de los pilotes

Los pilotes deben transmitir sus esfuerzos al encepado a través de barras de espera, que necesitan una longitud de anclaje suficiente para desarrollar su adherencia.

- Longitud de anclaje (estimada para acero B500S en hormigón $f_c = 25 \text{ MPa}$):
 Según EHE/CTE:

Longitud básica de anclaje, $l_b \approx 25 \text{ Ø}$

Para barras Ø 16: $l_b \approx 25 \times 16 = 400 \text{ mm}$

7.3.4 Rigidez estructural

El encepado debe ser suficientemente rígido para:

Distribuir uniformemente las cargas a los pilotes

Evitar flexión excesiva entre pilotes

Recomendación general en CTE/EHE: *La altura del encepado debería ser al menos igual al diámetro del pilote o al 80% de la distancia entre ejes dividido por 3-4, según el número y disposición.*

Con 3 pilotes en triángulo:

Separación entre ejes: 1,35 m

Altura mínima sugerida: $h_{\text{mín}} \approx \frac{1,35}{3} \approx 0,45 \text{ m}$

3.4 Pilotes

Ecologías experimentales frente a un clima en mutación

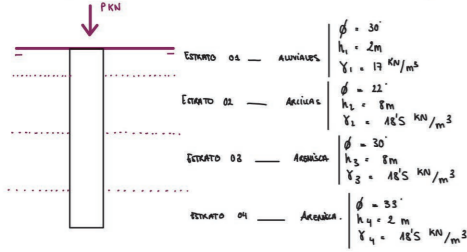
CEMENTACIONES PROFUNDAS

$\phi = 450 \text{ mm}$; $r = 225 \text{ mm}$
 $A_p = \frac{\pi \cdot \phi^2}{4} = 0,16 \text{ m}^2$

- Pilotes (pilote aislado)

Axíl sobre un pilote: $P [kN] \leq \text{MÍNIMO} (Q_{\text{topo}} ; R_{\text{cd}})$

b) Carga Admisible (Resistencia del terreno lateral (fuste) + Resistencia por punta)



1º Sustrato -> Granular -> Lazo Plano

$$R_{f1} = \sigma'_v \cdot K_f \cdot \int_0^L \frac{1}{1 + 0,9 \cdot \frac{z}{d}} \cdot t_f \cdot \phi \leq 120 \text{ kPa} = 17 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot t_f \cdot 30 = 7,8 \text{ kPa}$$

$$R_{pk1} = 22,04 \text{ kN}$$

2º Sustrato -> Coherivo -> Lazo Plano

$$R_{f2} = \sigma'_v \cdot K_f \cdot \int_0^L \frac{1}{1 + 0,9 \cdot \frac{z}{d}} \cdot t_f \cdot \phi \leq 120 \text{ kPa} = 108 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot t_f \cdot 30 = 34,99 \text{ kPa}$$

$$R_{pk2} = 395,69 \text{ kN}$$

$$R_p = \int_0^L \sigma'_v \cdot \gamma'_1 \cdot h_1 + \gamma'_2 \cdot h_2 + \gamma'_3 \cdot h_3 + \gamma'_4 \cdot h_4 = 17 \cdot 2 + 18,5 \cdot 8 + 18,5 \cdot 8 = 108 \text{ kPa}$$

$$R_{pk3} = 172,71 \text{ kN}$$

3º Sustrato -> Granular -> Lazo Plano

$$R_{f3} = \sigma'_v \cdot K_f \cdot \int_0^L \frac{1}{1 + 0,9 \cdot \frac{z}{d}} \cdot t_f \cdot \phi \leq 120 \text{ kPa} = 256 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot t_f \cdot 30 = 117,4 \text{ kPa}$$

$$R_{pk4} = 1806,5 \text{ kN}$$

4º Sustrato -> Granular -> Lazo Plano

$$R_{f4} = \sigma'_v \cdot K_f \cdot \int_0^L \frac{1}{1 + 0,9 \cdot \frac{z}{d}} \cdot t_f \cdot \phi \leq 120 \text{ kPa} = 348,5 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot t_f \cdot 30 = 159,81 \text{ kPa}$$

$$R_{pk5} = 1327,1 \text{ kN}$$

$$R_p = \int_0^L \sigma'_v \cdot \gamma'_1 \cdot h_1 + \gamma'_2 \cdot h_2 + \gamma'_3 \cdot h_3 + \gamma'_4 \cdot h_4 = 3 \cdot 367 \cdot 18,2 = 198,22 \text{ kPa} < 20 \text{ MPa}$$

$$R_{pk6} = 1986,5 \text{ kN}$$

Carga de hundimiento

$R_{ck} = R_{pk} + R_{pk}$

$$R_{ck} = 22,04 + 395,69 + 172,71 + 1806,5 = 5896,94 \text{ kN}$$

$$R_{cd} = \frac{R_{ck}}{\gamma_R} = Q_{adm} = 3954,16 \text{ kN}$$

$$Q_{adm} = 3954,16 \text{ kN}$$

$$Q_{\text{topo}} = 1192,82 \text{ kN}$$

$$N_{i,max} = 192,67 \text{ kN}$$

a) TOPE ESTRUCTURAL = Carga nominal (Resistencia del material del pilote)

$$Q_{\text{topo}} [kN] = \sigma_c \cdot A_p = 0,3 \cdot 25.000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \cdot \frac{\pi \cdot (0,45)^2}{4} \text{ (m}^2\text{)} = 1192,82 \text{ kN}$$

* SEGUNDA PROPUESTA DE COTA DE CIMENTACIÓN

b) Carga Admisible (Resistencia del terreno lateral (fuste) + Resistencia por punta)



1º Sustrato -> Granular -> Lazo Plano

$$R_{f1} = \sigma'_v \cdot K_f \cdot \int_0^L \frac{1}{1 + 0,9 \cdot \frac{z}{d}} \cdot t_f \cdot \phi \leq 120 \text{ kPa} = 17 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot t_f \cdot 30 = 7,8 \text{ kPa}$$

$$R_{pk1} = 22,04 \text{ kN}$$

2º Sustrato -> Coherivo -> Lazo Plano

$$R_{f2} = \sigma'_v \cdot K_f \cdot \int_0^L \frac{1}{1 + 0,9 \cdot \frac{z}{d}} \cdot t_f \cdot \phi \leq 120 \text{ kPa} = 108 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot t_f \cdot 30 = 34,99 \text{ kPa}$$

$$R_{pk2} = 395,69 \text{ kN}$$

$$R_p = \int_0^L \sigma'_v \cdot \gamma'_1 \cdot h_1 + \gamma'_2 \cdot h_2 + \gamma'_3 \cdot h_3 = 17 \cdot 2 + 18,5 \cdot 8 + 18,5 \cdot 0,5 = 169,83 \text{ kPa}$$

$$R_{pk3} = 55,02 \text{ kN}$$

3º Sustrato -> Granular -> Lazo Plano

$$R_{f3} = \sigma'_v \cdot K_f \cdot \int_0^L \frac{1}{1 + 0,9 \cdot \frac{z}{d}} \cdot t_f \cdot \phi \leq 120 \text{ kPa} = 256 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot t_f \cdot 30 = 117,4 \text{ kPa}$$

$$R_{pk4} = 1327,1 \text{ kN}$$

$$R_p = \int_0^L \sigma'_v \cdot \gamma'_1 \cdot h_1 + \gamma'_2 \cdot h_2 + \gamma'_3 \cdot h_3 = 3 \cdot 237,5 \cdot 18,2 = 6908,22 \text{ kPa} < 20 \text{ MPa}$$

$$R_{pk5} = 1986,5 \text{ kN}$$

Carga de hundimiento

$R_{ck} = R_{pk} + R_{pk}$

$$R_{ck} = 22,04 + 395,69 + 55,02 = 472,75 \text{ kN}$$

$$R_{cd} = \frac{R_{ck}}{\gamma_R} = Q_{adm} = 323,82 \text{ kN}$$

$Q_{adm} = 323,82 \text{ kN}$

$N_i \leq R_{cd}$

$N_{i,max} = 192,67 \text{ kN}$

=> Se propone 3 pilotes x escudo por estabilidad

* Carga admisible muy descompensada respecto al eje
 Sobredimensionado. -> Se propone 3 pilotes x escudo por estabilidad
 * Se disminuye la cota de cimentación

Definición de nudos

La estructura contempla distintos tipos de uniones según los elementos que se conectan y las funciones estructurales que desempeñan. A continuación, se describen las principales uniones:

Unión del mástil de acero galvanizado con el encepado de cimentación (pilotes):

Se resuelve mediante un empotramiento, asegurando la transmisión de momentos flectores y esfuerzos axiales desde el mástil hacia la cimentación.

Uniones entre vigas perimetrales:

Se realiza mediante soldaduras a tope y/o de filete, dependiendo de la configuración de las secciones, asegurando la transmisión eficiente de esfuerzos y rigidez en el plano estructural.

Uniones entre rigidizadores y vigas:

Se emplean soldaduras de filete, proporcionando la unión necesaria para el trabajo conjunto de los rigidizadores con las vigas y contribuyendo al control de pandeo y deformaciones locales.

Uniones entre rigidizadores y el anillo de los mástiles:

Se utilizan tanto soldaduras de filete como atornillamiento complementario, para facilitar el montaje y mejorar la resistencia. Se sugiere el uso de tornillos M16 de alta resistencia (calidad 8.8), garantizando una unión segura sin comprometer la rapidez de montaje en obra.

Uniones de los tirantes con vigas y mástiles:

Se ejecutan mediante atornillamiento, permitiendo cierta flexibilidad en el montaje y desmontaje, además de facilitar ajustes durante la instalación. Se emplean tornillos de alta resistencia, dimensionados según las cargas de diseño.

Articulación en la unión de los tirantes con su cimentación:

Se establece una unión articulada, permitiendo el libre giro del tirante en la base y evitando la transmisión de momentos al punto de anclaje. Esta solución reduce esfuerzos secundarios y facilita la acomodación de deformaciones.

ANÁLISIS COSTE DE CICLO DE VIDA

El presente trabajo tiene como objetivo realizar un LCCA comparativo entre dos soluciones de fachada: la propuesta adoptada en el proyecto arquitectónico desarrollado y una alternativa viable más tradicional. Este análisis permitirá determinar cuál de las opciones resulta más eficiente desde el punto de vista económico a lo largo de su vida útil. Es esencial considerar todos los costes del ciclo de vida del edificio: desde la elección de materiales, mantenimiento, hasta la demolición o desmontaje. Este enfoque asegura una evaluación integral de la sostenibilidad económica y ambiental del proyecto.

Sistema elegido

La fachada ventilada seleccionada se compone de los siguientes elementos (de exterior a interior):

- Revestimiento: Paneles de GRC (Glass Reinforced Concrete), acabado arquitectónico.
- Subestructura: Perfiles metálicos de acero galvanizado (montantes y travesaños).
- Tablero portante: Chapa de acero galvanizado de 2 mm de espesor.
- Aislamiento: Lana de roca Rockwool Ventirock Duo, 100 mm.
- Acabado interior: Panel DEBO W&D-02.

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Este sistema ofrece alta durabilidad, resistencia a la intemperie y excelente comportamiento térmico y acústico.

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

- La fachada ventilada seleccionada responde a criterios de sostenibilidad económica por las siguientes razones:
 - Minimización de costes de mantenimiento a lo largo de 50 años.
 - Ahorros energéticos derivados de una excelente transmitancia térmica (U = 0,24 W/m²K).
 - Larga vida útil de materiales como GRC, acero galvanizado y lana de roca.
 - Uso de materiales reciclables y resistentes al deterioro ambiental.
 - Mejora del confort interior, lo que se traduce en mayor valor de mercado del inmueble.

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Sistema a comparar

Como alternativa se analiza una fachada ventilada con revestimiento exterior de madera tropical, subestructura de madera laminada tratada y aislamiento térmico de poliuretano proyectado. Esta opción presenta menor coste inicial pero mayores necesidades de mantenimiento y menor sostenibili- dad ambiental.

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

COSTES Y BENEFICIOS LIGADOS AL CICLO DE VIDA DEL SISTEMA

Costes de Mantenimiento y Sustituciones

Se estima una revisión y mantenimiento menor cada 5 años (limpieza, fijaciones), con un coste de 30 €/m² acumulado a lo largo de 50 años. Dado que el GRC y el aislamiento no requieren sustitución durante su vida útil, no se contemplan costes de reemplazo.

Subenciones o Bonificaciones

La solución podría beneficiarse de ayudas públicas a la rehabilitación energética o construcción sostenible. Se estima una subvención posible de 50 €/m² por eficiencia energética (según programas IDAE y fondos NextGen).

Costes finales; desmontaje y Gestión de Residuos

Se incluyen costes de desmontaje mecánico y separación selectiva de residuos:

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

- Desmontaje e izado: 20 €/m²
- Tratamiento de residuos (GRC, acero, lana roca): 35 €/m²

Total fase final: 55 €/m²

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

TASA DE DESCUENTO

La tasa de descuento es un factor esencial en el análisis de coste del ciclo de vida (LCCA), ya que permite ajustar los costes y beneficios futuros al valor presente, reflejando el valor del dinero en el tiempo. En este análisis, se ha considerado una tasa de descuento estándar del 3% anual, lo cual es común para proyectos de edificación.

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y lana de roca

Fachada ventilada con GRC y

Proceso General de Gestión de un Proyecto de Construcción

Cronograma Simplificado de Proyecto de Construcción
(Estructurado por fases con actividades clave)

/01/

PRE-PRODUCCIÓN / PLANIFICACIÓN

1.1 Contrataciones

- 1.1.1. *Proyectista*
- 1.1.2. *Dirección facultativa (DO, DFO)*
- 1.1.3. *Constructor*
- 1.1.4. *Coordinador de seguridad y salud*

2-3 semanas

1.2 Estudios previos

- 1.2.1. *Localización y entorno*
- 1.2.2. *Documentación existente*

2 semanas

1.3 Desarrollo del Proyecto

- 1.3.1. *Anteproyecto*
- 1.3.2. *Proyecto Básico*
- 1.3.3. *Proyecto de Ejecución*
- 1.3.4. *Presupuesto*

4-6 semanas

1.4 Trámites y Licencias

- 1.4.1. *Licencia de obra*
- 1.4.2. *Acometidas, derribos*
- 1.4.3. *Plan de Seguridad y Seguro*
- 1.4.4. *Permisos servicios (agua, luz, gas)*

4-6 semanas

/02/

CONSTRUCCIÓN / EJECUCIÓN

2.1 Preparación del Terreno

- 2.1.1. *Desbroce, limpieza*
- 2.1.2. *Movimiento de tierras*

2-3 semanas

2.2 Cimentación y Estructura

- 2.2.1. *Cimentación*
- 2.2.2. *Pilares y forjados*
- 2.2.3. *Cerchas, módulos estructurales*

5-7 semanas

2.3 Envolvente

- 2.3.1. *Fachadas*
- 2.3.2. *Cubiertas*
- 2.3.3. *Cerramientos verticales*

3-4 semanas

2.4 Particiones y Acabados

- 2.4.1. *Tabiquerías*
- 2.4.2. *Pavimentos*
- 2.4.3. *Techos*

3-5 semanas

2.5 Instalaciones

- 2.5.1. *Eléctrica*
- 2.5.2. *Climatización*
- 2.5.3. *Fontanería y Saneamiento*
- 2.5.4. *Protección contra incendios*

4-6 semanas

2.6 Urbanización y Mobiliario

2-3 semanas

/03/

CONTROL Y SEGUIMIENTO

3.1 Control de Órdenes e Incidencias

Permanente

3.2 Certificaciones parciales

Mensual

3.3 Control de calidad de ejecución

Permanente

3.4 Control de productos e instalaciones

Permanente

/04/

CIERRE DE OBRA

4.1 Limpieza final y revisiones

1-2 semanas

4.2 Certificación final de obra

1 semana

4.3 Documentación "As-Built"

1-2 semanas

4.4 Entrega de manuales y libro del edificio

1 día

4.5 Acta de recepción

1 día

