



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ETS INGENIEROS DE CAMINOS,  
CANALES Y PUERTOS

# TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

---

DISEÑO DE UNA CUBIERTA SINGULAR PARA UN PABELLÓN  
POLIDEPORTIVO EN EL BARRIO DEL CABAÑAL-CAÑAMELAR  
EN LA CIUDAD DE VALÈNCIA

---

*Presentado por*

Cerdà Castejón, Rubén

---

*Para la obtención del*

Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos

*Curso: 2021/2022*

*Fecha: Abril 2022*

*Tutor: Ignacio Javier Payá Zaforteza*



## ÍNDICE

Documento nº1. MEMORIA

ANEJOS DE LA MEMORIA

Anejo nº1. DESCRIPCIÓN Y OBJETIVOS DEL TFM

Anejo nº2. ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO

Anejo nº3. CÁLCULO ESTRUCTURAL

Anejo nº4. RELACIÓN DEL TFM CON LOS ODS

Documento nº2. PLANOS



## ÍNDICE DE PLANOS

01.01. Plano de situación

01.02. Plano de emplazamiento

02.01. Distribución en alzado y planta

02.02. Replanteo cubierta por coordenadas

03.01. Vista 3D de cubierta y estructura

04.01. Descomposición de elementos

05.01. Plano de cargas (CM) - Vigas y cabeza de pilares

05.02. Plano de cargas (SC) - Vigas y cabeza de pilares

05.03. Plano de cargas (N) - Vigas y cabeza de pilares

05.04. Plano de cimentación (Cargas)

06.01. Vigas de cimentación: Descripción geométrica y armado

06.02. Encepados y pilotes: Descripción geométrica y armado

06.03. Pilares (P1-P6-P7-P12): Descripción geométrica y armado

06.04. Pilares (P2-P3-P4-P5-P8-P9-P10-P11): Descripción geométrica y armado

06.05. Armado de vigas

07.01. Detalles constructivos

07.02. Encofrado móvil

07.03. Proceso constructivo (I)

07.04. Proceso constructivo (II)

07.05. Proceso constructivo (III)



Documento nº 1.  
MEMORIA



## Contenido

1.	Introducción .....	1
1.1.	Objeto.....	1
1.2.	Situación y emplazamiento .....	1
2.	Estudio geotécnico .....	2
3.	Descripción del edificio .....	3
3.1.	Descripción en planta.....	4
3.2.	Descripción geométrica.....	4
3.3.	Distribución en alzado.....	5
4.	Materiales .....	5
4.1.	Tipo de ambiente .....	5
4.1.1.	Hormigón.....	5
4.1.2.	Recubrimientos .....	6
4.1.3.	Acero .....	6
4.2.	Materiales a utilizar.....	7
4.2.1.	Elementos estructurales de hormigón.....	7
4.2.2.	Elementos estructurales de acero.....	7
4.2.3.	Ceramica Armada.....	7
5.	Acciones para el calculo .....	8
5.1.	Acciones permanentes .....	8
5.1.1.	Peso Propio.....	8
5.1.2.	Cargas muertas.....	8
5.2.	Acciones variables .....	8
5.2.1.	Sobrecarga de uso .....	8
5.2.2.	Viento .....	8
5.2.3.	Nieve.....	8
6.	Descripción de los elementos de la estructura .....	8
6.1.	Pilotes.....	8
6.2.	Vigas de cimentación .....	9
6.3.	Pilares .....	9
6.4.	Vigas .....	9
6.5.	Cables .....	10
7.	Descripción de la cubierta.....	10
8.	Análisis estructural con Cype y SAP2000 .....	10
9.	Relación del TFM con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030 .....	11

## 1. Introducción

### 1.1. Objeto

El objeto de este Trabajo Final de Máster es el diseño conceptual y el cálculo de una cubierta singular para un pabellón polideportivo situado en el barrio del Cabañal-Cañamelar en el municipio de Valencia.

La cubierta está inspirada por los diseños del ingeniero uruguayo Eladio Dieste y se compone principalmente de ladrillo visto autoportante. La singularidad procede de los materiales y procedimientos constructivos empleados y de la forma (con curvatura gaussiana) del elemento principal de la cubierta.

### 1.2. Situación y emplazamiento

El edificio que se va a diseñar se encuentra en el municipio de Valencia, más concretamente en el barrio del Cabañal-Cañamelar a escasos metros de la playa de la Malvarrosa. La parcela está situada en una manzana que está limitada por las siguientes calles, Carrer del Doctor LLuch, Carrer dels Pescadors y Carrer del Bloc dels Portuaris. La parcela tiene una superficie aproximada de 6300 m<sup>2</sup>. No obstante la zona de la parcela ocupada por la cubierta es de aproximadamente 3200 m<sup>2</sup>.

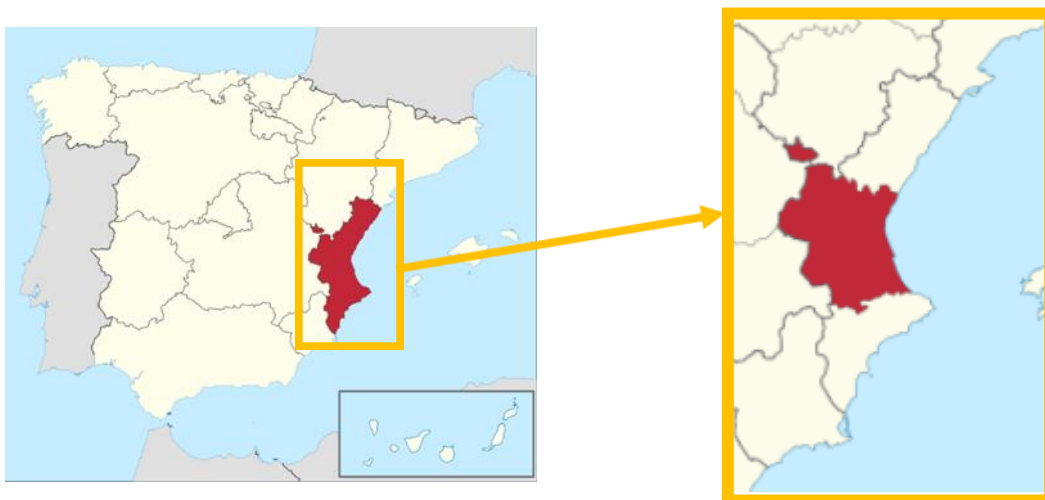


Figura1. Comunidad Valenciana en España. Fuente: Wikipedia

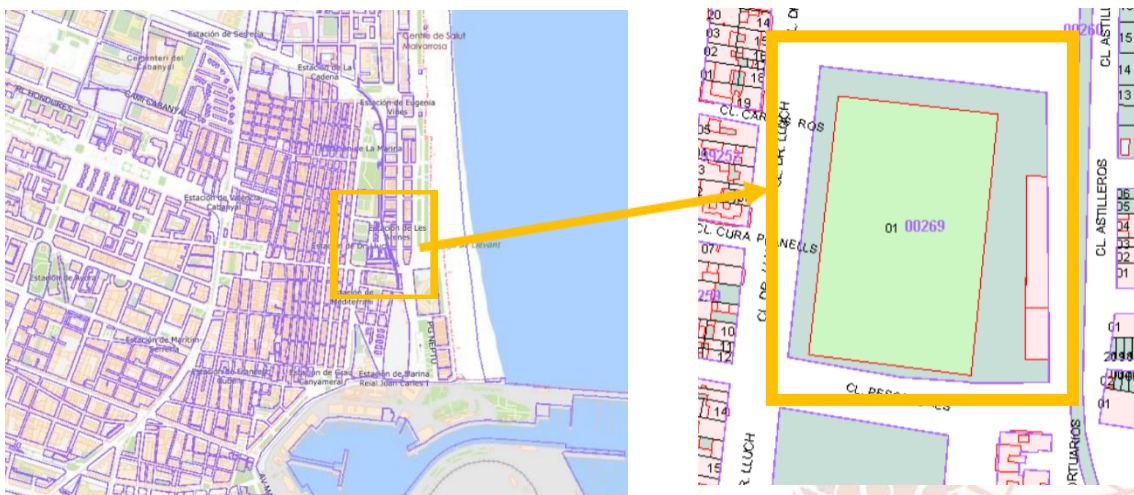


Figura 2. Parcelas catastrales del municipio de Valencia Fuente: Catastro



## 2. Estudio geotécnico

Todos los aspectos que se van a tener en cuenta en este estudio geotécnico pertenecen a la parcela en la que se emplaza la estructura ya que se ha tenido acceso a un estudio que se realizó para un proyecto previo que no se llevó a cabo en esa parcela realizado por SEG Ingeniería y se van a asumir esas condiciones geotécnicas, así como también vamos a tener en cuenta en este apartado toda la información relevante que nos ofrezca el IGME, como se va a ver a continuación.

El estudio que se va a emplear es el informe geotécnico realizado por SEG Ingeniería en 2018 para el centro deportivo abierto "Maritim".

Del estudio se extrae las siguientes el siguiente perfil de terreno:

Nivel 0 – Rellenos

Nivel 1- Arenas

Nivel 2 – Gravas arenosas

Nivel 3 – Arcillas

A raíz de los ensayos realizados la cimentación que se pretende llevar a cabo son pilotes "in situ" así como prefabricados, estos últimos por facilidad constructiva evitan posibles problemas de la perforación al abrigo de entubación recuperable.

Para pilotes ejecutados "in situ" se pueden emplear pilotes CPI-4 con entubación recuperable con diámetros comerciales  $\varnothing$ 650-800-850.

En el caso de pilotes prefabricados los pilotes comerciales de sección cuadrada resultan:

*Tabla 1. Secciones cuadradas de pilotes prefabricadas*

Sección	Área (cm <sup>2</sup> )	Tope estructural (t)
200x200	413,1	62,0
235x235	566,7	85,0
270x270	746,6	112,0
300x300	919,6	137,9
350x350	1251,4	187,7
400x400	1632,1	244,8

En nuestro caso de estudio se va a emplear pilotes ejecutados "in situ" CPI-4 con entubación recuperable con encepado cuadrado de 1.6m de lado y diámetro de 800mm.

Para el diseño final de los pilotes hemos seguido el criterio del CTE-C en su tabla 5.1, el tope estructural para un pilote perforado depende de su ejecución y la naturaleza del terreno de apoyo.

**Tabla 2. Valores recomendados para el tope estructural de los pilotes (Tabla 5.1. CTE)**

Procedimiento	Tipo de pilote	Valores de $\sigma$ (Mpa)	
		Suelo firme	Roca
Hincados	Hormigón pretensado o postesado	0,30 ( $f_{ck} - 0,9 f_p$ )	
	Hormigón armado	0,30 $f_{ck}$	
	Metálicos	0,30 $f_{yk}$	
	Madera	5	
Perforados <sup>(1)</sup>	Entubados	5	6
	Lodos	4	5
	En seco	4	5
	Barrenados sin control de parámetros	3,5	-
	Barrenados con control de parámetros	4	-

<sup>(1)</sup> Con un control adecuado de la integridad, los pilotes perforados podrán ser utilizados con topes estructurales un 25% mayores.

En cualquier caso, la carga de hundimiento del pilote por condiciones de hundimiento no puede superar el tope estructural del pilotaje.

### 3. Descripción del edificio

El objeto de la estructura planteada es cubrir una superficie aproximada de  $44 \times 32 = 1408 \text{ m}^2$ , sin apoyos intermedios, de manera que el espacio cubierto pueda albergar pistas deportivas.

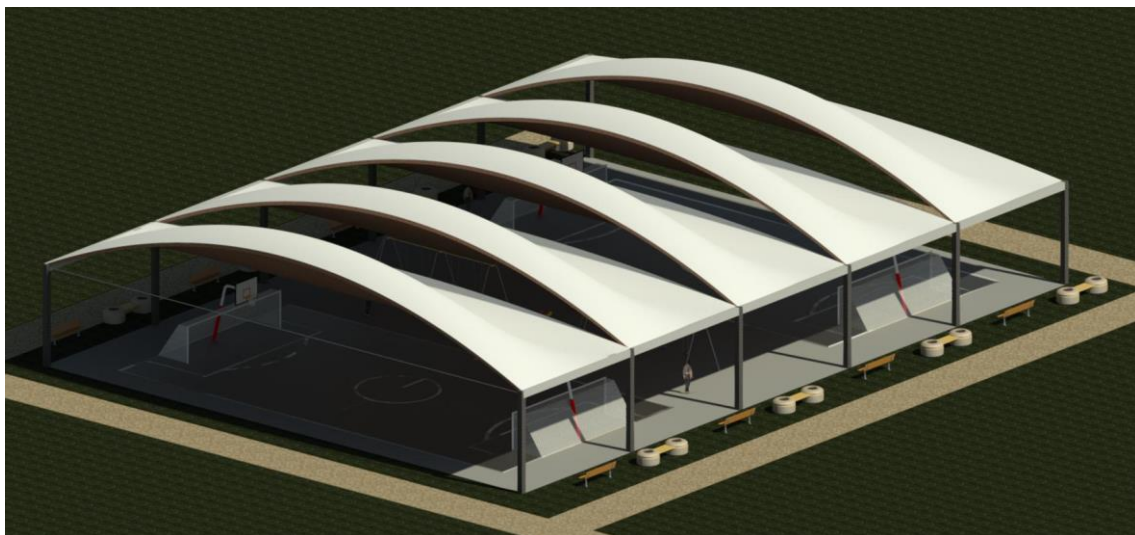


Figura 3. Propuesta de bóveda gausa en 3D Fuente: Elaboración propia

Inicialmente se prevé una instalación abierta lateralmente, es decir, sin fachadas. Solo interrumpida por los pilares laterales con una altura de 5.6 m.



### 3.1. Descripción en planta

La cubierta que se propone pretende abarcar una superficie  $1408 \text{ m}^2$  en forma rectangular de  $44 \times 32$  metros.

Para salvar los 44 metros transversales de esta superficie se proponen 6 pilares en cada lado que servirán de apoyo a las vigas intermedias de 8.8 metros de luz, que serán las encargadas de trasladar la carga de la cubierta a los pilares.

Por tanto, la cubierta propuesta constará de 12 pilares que servirán de apoyo para vigas intermedias con una luz de 8.8 metros.

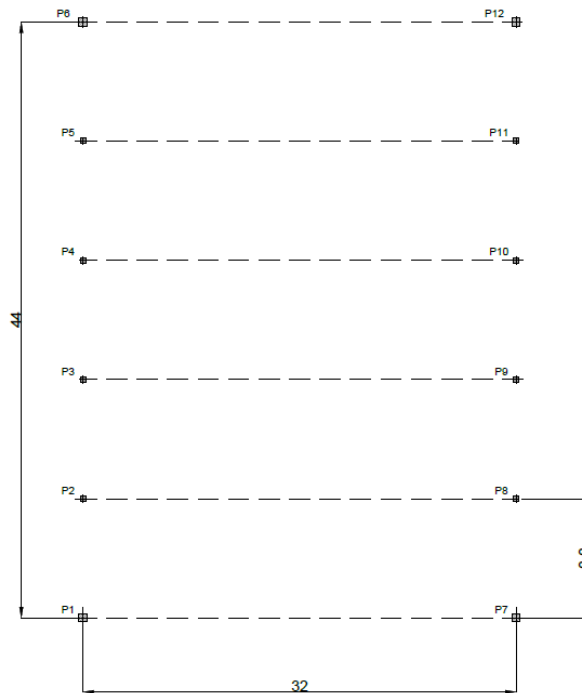


Figura 4. Distribución en planta

### 3.2. Descripción geométrica

Aplicando el método de cálculo descrito en distintas publicaciones escritas por Eladio Dieste, junto con el estudio de su obra, se ha establecido la geometría de bóveda gausa que se pretende utilizar para la realización de esta cubierta objeto del presente Trabajo de Final de Máster.

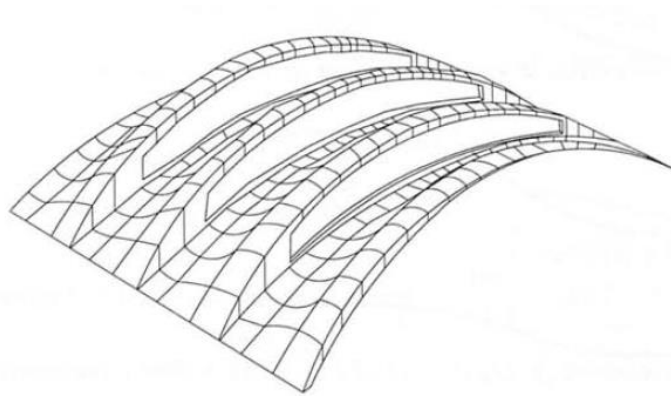


Figura 5 Representación 3D de bóveda gausa Fuente: Métodos de Cálculo (Eladio Dieste)

### 3.3. Distribución en alzado

A continuación, podemos se puede visualizar la catenaria inicial y la final de la sección que posteriormente se va a trasladar 4 veces más para conformar la cubierta propuesta.

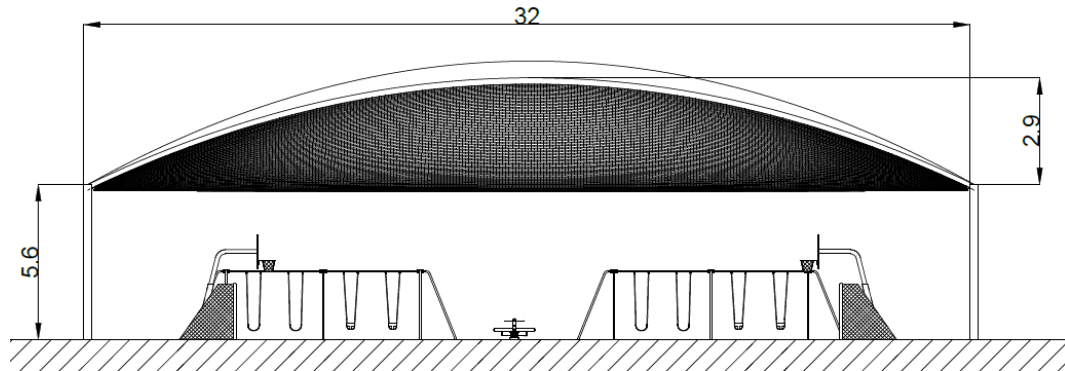


Figura 6. Sección Frontal inicial bóveda propuesta Fuente: Elaboración propia

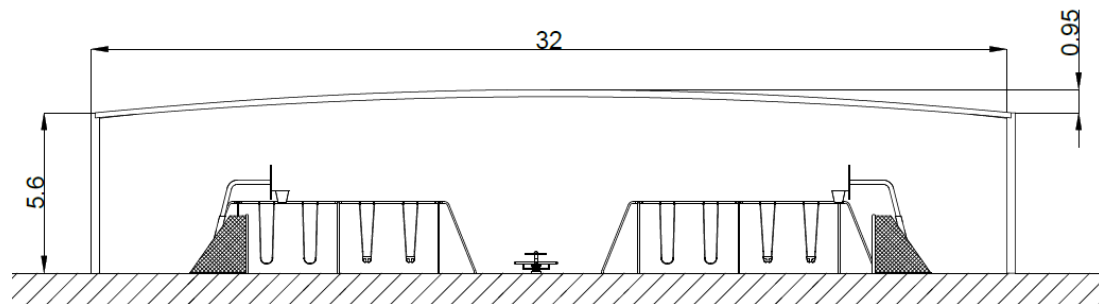


Figura 7. Sección Frontal final bóveda propuesta Fuente: Elaboración propia

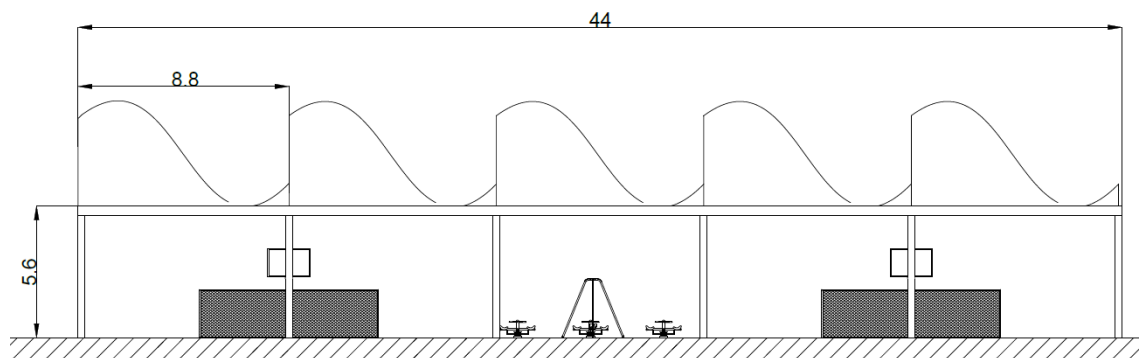


Figura 8. Sección Transversal bóveda propuesta Fuente: Elaboración propia

## 4. Materiales

### 4.1. Tipo de ambiente

#### 4.1.1. Hormigón

Según el punto "27.1 Clases de exposición de los elementos de hormigón" del título 2, capítulo 7 y artículo 27 del Código estructural, el tipo de ambiente al que está sometido cada elemento estructural de hormigón es de corrosión inducida por cloruros de origen marino.

En el caso de los elementos estructurales exteriores, al estar sometidos a los aerosoles marinos, ubicados en la costa o cerca



de la costa, adoptamos un ambiente de exposición de **XS1**.

En el caso de los elementos de cimentación que están permanentemente sumergidos adoptamos un ambiente de exposición **XS2**.

#### 4.1.2. Recubrimientos

Los recubrimientos que se van a disponer vienen definidos por el punto “43.4.1 Recubrimiento nominal” del Código Estructural.

En este caso el recubrimiento mínimo para todos los elementos será de 30mm en el caso de los elementos exteriores y 35mm en el caso de los elementos de cimentación según la “Tabla 44.2.1.1.b Recubrimiento mínimo (mm),  $c_{min}$ , para las clases de exposición relacionadas con la corrosión por cloruros”. Por tanto, el recubrimiento nominal será:

$$XS1 \quad r_{nom} = r_{min} + Dr \rightarrow r_{nom} = 30 + 5 = 35 \text{ mm}$$

$$XS2 \quad r_{nom} = r_{min} + Dr \rightarrow r_{nom} = 35 + 5 = 40 \text{ mm}$$

#### 4.1.3. Acero

Según el “Artículo 80. Criterios específicos para las estructuras de acero” del Código Estructural, se adopta una clase de exposición tipo C5 relativa a la corrosión atmosférica de elementos exteriores situados en áreas costeras con elevada salinidad

**Tabla 3. Clases de exposición relativas a la corrosividad atmosférica del acero estructural (Tabla 80.1.a. CE)**

Designación	Clase de exposición (corrosividad)	Pérdida de masa por unidad de superficie/pérdida de espesor (tras el primer año de exposición)				Ejemplos de ambientes típicos en un clima templado	
		Acero de bajo contenido en carbono		Cinc		Exterior	Interior
		Pérdida de masa g/m <sup>2</sup>	Pérdida de espesor μm	Pérdida de masa g/m <sup>2</sup>	Pérdida de espesor μm		
C2	baja	> 10 y hasta 200	> 1,3 y hasta 25	> 0,7 y hasta 5	> 0,1 y hasta 0,7	Atmósferas con bajos niveles de contaminación. Áreas rurales en su mayor parte.	Edificios sin calefacción donde pueden ocurrir condensaciones, por ejemplo: almacenes, polideportivos.
C3	media	> 200 y hasta 400	> 25 y hasta 50	> 5 y hasta 15	> 0,7 y hasta 2,1	Atmósferas urbanas e industriales, con moderada contaminación de dióxido de azufre. Áreas costeras con baja salinidad.	Naves de fabricación con elevada humedad y con algo de contaminación del aire, por ejemplo: plantas de procesado de alimentos, lavanderías, plantas cerviceras, plantas lácteas. Interior de puentes-cajón.
C4	alta	> 400 y hasta 650	> 50 y hasta 80	> 15 y hasta 30	> 2,1 y hasta 4,2	Áreas industriales y áreas costeras con moderada salinidad.	Plantas químicas, piscinas, barcos costeros y astilleros.
C5	muy alta	> 650 y hasta 1.500	> 80 y hasta 200	> 30 y hasta 60	> 4,2 y hasta 8,4	Áreas industriales con elevada humedad y con atmósfera agresiva y áreas costeras con elevada salinidad.	Edificios o áreas con condensaciones casi permanentes, y con contaminación elevada.
CX	extrema	> 1.500 y hasta 5.500	> 200 y hasta 700	> 60 y hasta 180	> 8,4 y hasta 25	Áreas de ultramar con elevada salinidad y áreas industriales con humedad extrema y atmósfera agresiva y atmósferas subtropical y tropical.	Áreas industriales con humedad extrema y atmósfera agresiva.

De acuerdo con la siguiente tabla correspondiente a la Tabla 91.1. “Determinación de la clase de ejecución” del Código Estructural, se obtiene para el acero estructural una Clase de Ejecución 4.

Tabla 4. Determinación de la clase de ejecución (Tabla 91.1 CE)

Nivel de riesgo		CC1		CC2		CC3	
Categoría de uso		SC1	SC2	SC1	SC2	SC1	SC2
Categoría de ejecución	PC1	1	2	2	3	3	3
	PC2	2	2	2	3	3	4

## 4.2. Materiales a utilizar

### 4.2.1. Elementos estructurales de hormigón

Todos los elementos de hormigón exteriores de la estructura propuesta se van a realizar con hormigón HA-30/B/20/XS1 y los elementos de cimentación se pretenden realizar con hormigón HA-30/B/20/XS2

### 4.2.2. Elementos estructurales de acero

Para los elementos estructurales de acero utilizados como armaduras activas se va pretende utilizar acero conformado de S275-JR.

Para las barras de las armaduras pasivas se empleará acero B500SD.

El otro elemento estructural en el cual se va a utilizar acero son los cables tensores cada 8.8m salvando una luz de 3.2m

Para estos elementos usaremos acero de pretensar con carga de rotura  $f_{pu} = 160 \text{ kp/mm}^2 = 1.570 \text{ MPa}$ . Con  $E = 200.000 \text{ MPa}$  y módulo de elasticidad aparente  $E_{ap} = 85.000 \text{ MPa}$  (considerando la sección nominal). Se tomará como coeficiente parcial de seguridad del acero de pretensar  $\gamma_p = 1,15$ .

También se va a limitar la tensión de cálculo en los cables al 55% de la carga de rotura de cálculo para obtener un coeficiente de seguridad global a rotura superior a 3,0.

### 4.2.3. Ceramica Armada

Para establecer las propiedades mecánicas del ladrillo armado descrito que pretendemos utilizar, adoptamos los datos obtenidos y expuesto en el artículo "The double-curvature masonry vaults of Eladio Dieste" escrito por Remo Pedreschi y Dimitris Theodossopoulos.

Estos valores son los siguientes:

Tabla 5. Propiedades Cerámica Armada

Ceramica Armada	
Peso propio	16 KN/m <sup>3</sup>
Módulo de elasticidad	$E = 7000 \text{ N/mm}^2$
Momento de Inercia en apoyo	$I_{\text{apoyo}} = 0,00104 \text{ m}^4$
Momento de Inercia en corona	$I_{\text{corona}} = 0,0706 \text{ m}^4$
u	68
$\chi$	78
Carga critica de pandeo	$q_{cr} = 45,44 \text{ KN/m}$



Para la armadura activa utilizaremos los siguientes elementos estructurales:

- Barras corrugadas o lisas de acero
- Perfiles cuadrados torsionados y estirados en frío
- Alambres envainados

## 5. Acciones para el cálculo

### 5.1. Acciones permanentes

#### 5.1.1. Peso Propio

- Peso propio acero: 78,50 kN/m<sup>3</sup>
- Peso propio hormigón: 30,00 kN/m<sup>3</sup>.

#### 5.1.2. Cargas muertas

- Peso propio ladrillo armado: 16 kN/m<sup>3</sup>

### 5.2. Acciones variables

#### 5.2.1. Sobrecarga de uso

- Carga uniforme de 0,4 KN/m<sup>2</sup>

#### 5.2.2. Viento

Para el cálculo de las acciones producidas por el viento se tienen en cuenta los siguientes datos:

- Zona eólica: Zona eólica A que su velocidad básica del viento es de 26 m/s.
- Grado de aspereza 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.
- Cubierta de marquesinas a dos aguas

El cálculo detallado de dichas acciones se encuentra en el “Anejo nº3. Cálculo estructural”.

#### 5.2.3. Nieve

La altitud del emplazamiento es prácticamente 0 ya que está muy próxima a la costa y la Zona Climática del CTE es la 5, por tanto, se considera una sobrecarga de nieve de 0,2 KN/m<sup>2</sup>.

## 6. Descripción de los elementos de la estructura

### 6.1. Pilotes

Para construir los pilotes se va a utilizar un hormigón HA-30/B/20/XS2 y acero B500S para armar. Materiales que ya hemos expuesto en apartados anteriores

A efectos de este documento, se consideran las siguientes resistencias unitarias, tomadas de obras cercanas al emplazamiento de la estructura en estudio:

Fuste: 40 kN/m<sup>2</sup>

Punta: 3 000 kN/m<sup>2</sup>

A las que se aplica un coeficiente reductor de 3.0 para obtener la carga de hundimiento:

$$Q_h = 1100 \text{ kN.}$$

## 6.2. Vigas de cimentación

Para evitar desplazamientos por acciones sísmicas y atar completamente los elementos de cimentación que van a dar soporte a la estructura se diseña la planta de cimentación con un atado perimetral mediante vigas centradoras y de atado. Ambas dos, con unas dimensiones de 40x40cm.

A continuación, podemos ver un esquema en planta del replanteo de los elementos de cimentación.

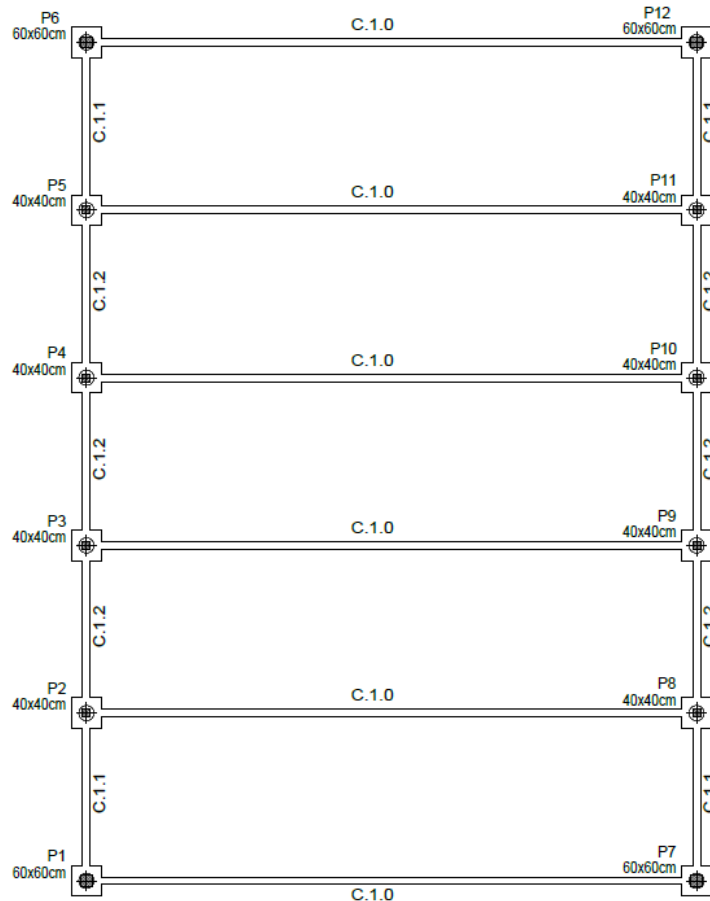


Figura 9. Distribución en planta de los encepados y pilotes. Fuente: Elaboración propia

## 6.3. Pilares

Para la construcción de los pilares se va a utilizar un HA-30/B/20/XS1 y acero B500S para armar.

Las dimensiones de los 22 pilares que forman el soporte de la cubierta serán de forma cuadrada. Los 4 pilares extremos de 60 x 60 cm y los 18 pilares interiores restantes de 40 x 40 cm.

## 6.4. Vigas

En el caso de las vigas la tipología a emplear en el edificio será de viga descolgada rectangular.

Sus dimensiones serán de 40 cm de ancho y 70 cm de canto

## 6.5. Cables

Para los cables pretensores que se dispondrán a lo largo de los 32m de luz que pretende salvar la cubierta, usaremos acero de pretensar con carga de rotura de 180 kp/mm<sup>2</sup> como ya se ha definido anteriormente.

La tipología de cable que se pretende emplear es un cordón flexible de 6 cordones, 19 alambres y 1 alma textil. Siguiendo la nomenclatura apropiada para denominar los cables, utilizaremos un cable 6x19 + 1.

**Tabla 6. Sección resultante de cable tensor**

N <sub>d</sub> (kN)	F <sub>uk,r</sub> , min (kN)	F <sub>uk,r</sub> , min (Mp)	Predimensionamiento
515	897,3	91,5	<b>6Φ18 de 6x19x1</b>

## 7. Descripción de la cubierta

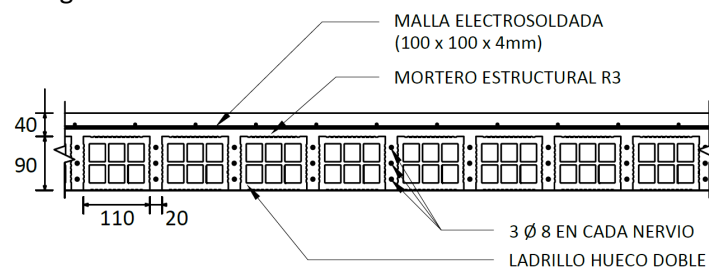
La cubierta se realizará con la geométrica de bóveda gausa con doble curvatura implementada por el Ingeniero Uruguayo Eladio Dieste.

Esta tipología tiene dos características principales:

1. El uso del ladrillo como elemento estructural principal
2. El uso de la forma, para conseguir con menos material la estabilidad portante de la propia estructura

La cubierta propuesta se realizará mediante la técnica constructiva de la cerámica armada que consiste en la colocación de armaduras de acero en la unión de las hileras de ladrillo. Dicha técnica conforma un elemento constructivo que hemos homogeneizado obteniendo los valores mecánicos expuestos anteriormente.

Esta cubierta se realizará mediante una lámina de 13 cm realizada mediante cerámica armada formando una bóveda gausa.



*Figura 9. Corte longitudinal tipo de cubierta. 25x25x10cm - Armado 3Φ8 en cada nervio - Malla electrosoldada 10x10x3cm o 15x15x34cm Fuente: Elaboración propia*

## 8. Análisis estructural con Cype y SAP2000

Todo el proceso de dimensionamiento se ha realizado mediante la ayuda del programa de cálculo Cype.y SAP2000

En el “Anejo nº3. Cálculo estructural” se pueden consultar los siguientes listados extraídos del programa:

- Listado de combinaciones
- Comprobaciones de pilares
- Comprobaciones de vigas
- Esfuerzos en elementos tipo lamina de la cubierta

- Desplazamiento en cubierta
- Esfuerzos en los cables tensores

## 9. Relación del TFM con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030

A continuación, podemos ver una tabla donde se indica el grado de relación del presente Trabajo Final de Máster con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

*Tabla 7. Relación del TFM con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030*

Objetivos de Desarrollo Sostenibles	Alto	Medio	Bajo	No Procede
ODS 1. <b>Fin de la pobreza.</b>			X	
ODS 2. <b>Hambre cero.</b>				X
ODS 3. <b>Salud y bienestar.</b>		X		
ODS 4. <b>Educación de calidad.</b>		X		
ODS 5. <b>Igualdad de género.</b>				X
ODS 6. <b>Agua limpia y saneamiento.</b>				X
ODS 7. <b>Energía asequible y no contaminante.</b>	X			
ODS 8. <b>Trabajo decente y crecimiento económico.</b>	X			
ODS 9. <b>Industria, innovación e infraestructuras.</b>	X			
ODS 10. <b>Reducción de las desigualdades.</b>	X			
ODS 11. <b>Ciudades y comunidades sostenibles.</b>	X			
ODS 12. <b>Producción y consumo responsables.</b>	X			
ODS 13. <b>Acción por el clima.</b>	X			
ODS 14. <b>Vida submarina.</b>				X
ODS 15. <b>Vida de ecosistemas terrestres.</b>			X	
ODS 16. <b>Paz, justicia e instituciones sólidas.</b>		X		
ODS 17. <b>Alianzas para lograr objetivos.</b>		X		

El Autor



Valencia, Febrero 2022