



**DISEÑO DE SOLUCIONES
CONSTRUCTIVAS PARA CUBRIR
BOLERAS DE BOLO PALMA:
ANÁLISIS COMPARATIVO APLICADO AL
CASO DE LA MARGA Y SU ADAPTABILIDAD
A OTRAS INSTALACIONES DEPORTIVAS**

Trabajo realizado por:

Daniel Bustamante Arce

Dirigido:

María Antonia Pérez Hernando

Titulación:

**Máster Universitario en
Ingeniería de Caminos, Canales y
Puertos**

Santander, septiembre de 2025

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Índice

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	7
1.1. INTRODUCCIÓN.....	7
1.2. ANTECEDENTES E HISTORIA DEL ARTE.....	7
1.3. OBJETIVOS	8
1.4. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	8
1.5. NORMATIVA Y REGLAMENTOS DE APLICACIÓN.....	9
1.5.1. <i>Normas aplicadas.....</i>	9
1.5.2. <i>Hipótesis de Cálculo Consideradas</i>	10
1.5.2.1. <i>Capacidad Portante.....</i>	10
1.5.2.1.1. <i>Verificación de la estabilidad:.....</i>	10
1.5.2.1.2. <i>Verificación de resistencia del material</i>	11
1.5.2.1.3. <i>Combinación de acciones</i>	11
1.5.2.2. <i>Aptitud al Servicio.....</i>	12
1.5.2.2.1. <i>Combinación de acciones</i>	12
1.5.2.2.2. <i>Flechas</i>	12
1.5.2.2.3. <i>Desplazamientos horizontales.....</i>	13
1.5.2.3. <i>Seguridad al Vuelco</i>	13
1.5.2.4. <i>Agotamiento del Terreno.....</i>	14
1.5.2.5. <i>Coeficientes de Mayoración de Acciones.....</i>	14
1.5.3. <i>Materiales.....</i>	15

1.5.3.1. <i>Acero estructural</i>	15
1.5.3.2. <i>Hormigón</i>	16
1.5.3.3. <i>Hormigón de limpieza</i>	18
1.5.3.4. <i>Madera estructural</i>	19
CAPÍTULO 2: ALTERNATIVAS, ANÁLISIS COMPARATIVO Y JUSTIFICACIÓN	20
2.1. INTRODUCCIÓN	20
2.2. PROGRAMA DE CÁLCULO Y DISEÑO	21
2.3. ACCIONES SOBRE LA ESTRUCTURA Y SU COMBINACIÓN	22
2.3.1. <i>Acciones permanentes</i>	23
2.3.1.1. <i>Peso de la estructura</i>	23
2.3.2. <i>Acciones variables</i>	23
2.3.2.1. <i>Sobrecarga de uso</i>	23
2.3.2.2. <i>Sobrecarga de viento</i>	24
2.3.2.3. <i>Sobrecargas de nieve</i>	26
2.3.2.4. <i>Acciones térmicas</i>	28
2.3.3. <i>Acciones accidentales</i>	29
2.3.3.1. <i>Sismo</i>	29
2.3.3.2. <i>Incendio</i>	30
2.4. ALTERNATIVA I. ESTRUCTURA METÁLICA	31
2.5. ALTERNATIVA II. ESTRUCTURA COMBINADA DE HORMIGÓN PREFABRICADO Y DE METAL	33
2.6. ALTERNATIVA III. ESTRUCTURA DE MADERA	35

2.7. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS SOLUCIONES ESTUDIADAS	36
2.7.1. <i>Introducción</i>	36
2.7.2. <i>Análisis comparativo de los materiales</i>	36
2.7.3. <i>Valoración económica</i>	39
2.7.3.1. <i>Alternativa I</i>	40
2.7.3.2. <i>Alternativa II</i>	41
2.7.3.3. <i>Alternativa III</i>	42
2.8. JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA	43
CAPÍTULO 3: APLICACIÓN AL CASO DE LA MARGA.....	44
3.1. ANTECEDENTES Y SITUACIÓN ACTUAL	44
3.2. LOCALIZACIÓN	45
3.3. ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO.....	46
3.4. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	48
3.5. DIMENSIONAMIENTO Y CÁLCULO ESTRUCTURAL	48
3.5.1. <i>Cálculos de cargas</i>	48
3.5.1.1. <i>Cargas permanentes (G)</i>	49
3.5.1.2. <i>Cargas variables (Q)</i>	50
3.5.1.3. <i>Cargas accidentales (A)</i>	53
3.5.2. <i>Combinación de acciones</i>	54
3.5.2.1. <i>Combinaciones ELU</i>	55
3.5.2.2. <i>Combinaciones ELS</i>	56
3.5.2.3. <i>Inserción de combinaciones</i>	56

3.5.2.4. <i>Resultados de deformación</i>	57
3.5.2.5. <i>Resultados de desplazamientos horizontales</i>	58
CAPÍTULO 4: ADAPTABILIDAD A OTRAS INSTALACIONES DEPORTIVAS	59
4.1. INTRODUCCIÓN	59
4.2. CRITERIOS DE ADAPTABILIDAD	60
4.3. APLICACIONES A OTROS DEPORTES	60
4.3.1. <i>Deportes colectivos en pista</i>	61
4.3.2. <i>Deportes de raqueta y disciplinas individuales</i>	61
4.3.3. <i>Eventos polideportivos, escolares y recreativos</i>	62
4.4. VENTAJAS Y LIMITACIONES DE LA POLIVALENCIA	62
4.5. CONCLUSIÓN	63
CAPÍTULO 5: RELACIÓN DEL PROYECTO CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS)	64
CAPÍTULO 6: BIBLIOGRAFÍA	65
CAPÍTULO 7: ANEXOS	68
7.1. ANEXO I: RESUMEN GENERAL DE COSTES DE LA ALTERNATIVA I	68
7.2. ANEXO II: RESUMEN GENERAL DE COSTES DE LA ALTERNATIVA II	69
7.3. ANEXO III: RESUMEN GENERAL DE COSTES DE LA ALTERNATIVA III	70
7.4. ANEXO IV: CÁLCULO PRESIÓN DE VIENTO MARQUESINA A DOS AGUAS	71

RESUMEN

Este trabajo de fin de máster se enfoca en el diseño de soluciones constructivas para la cobertura de boleras de bolo palma junto a un análisis detallado aplicado al caso específico de la Bolera de La Marga en Santander. El objetivo principal es evaluar la viabilidad de diferentes alternativas constructivas considerando aspectos técnicos, económicos y de adaptabilidad a otras instalaciones deportivas.

Se presentan tres alternativas constructivas: una **estructura metálica** que ofrece rapidez en la construcción y resistencia, pero puede tener limitaciones en términos de costos y estética. **Una combinación de hormigón prefabricado y metal** que proporciona una solución robusta y duradera permitiendo una mayor versatilidad en el diseño y la posibilidad de incorporar equipamientos deportivos diversos y una **estructura de madera** que destaca por su sostenibilidad y estética, aunque puede presentar desafíos en mantenimiento y durabilidad a largo plazo.

El análisis comparativo incluye un estudio geológico y geotécnico del sitio, así como un dimensionamiento y cálculo estructural de cada alternativa. Se evalúan las ventajas y limitaciones de cada opción considerando factores como la polivalencia de la instalación, la compatibilidad con equipamientos deportivos y las condiciones ambientales.

La conclusión del estudio indica que la **alternativa combinada de hormigón y metal** es la más adecuada, no solo por su rentabilidad y eficiencia en costos, sino también por su capacidad de adaptarse a diversas disciplinas deportivas. Se proponen recomendaciones para la implementación efectiva de esta solución, destacando su potencial para mejorar la infraestructura deportiva en la región y fomentar la práctica de actividades recreativas y competitivas.

Palabras clave: bolera, cubierta estructural, bolo palma, autoportante, hormigón, metal, madera, análisis comparativo, soluciones constructivas, infraestructura deportiva.

ABSTRACT

This master's thesis focuses on the design of constructive solutions for the roofing of bolo palma bowling alleys, with a detailed analysis applied to the specific case of the Bolera de La Marga in Santander. The primary objective is to assess the feasibility of different construction alternatives, taking into account technical, economic, and adaptability factors for application in other sports facilities.

Three constructive alternatives are presented: **a steel structure**, which ensures rapid assembly and structural resistance, though it may present limitations in terms of cost and aesthetics; **a hybrid solution combining precast concrete and steel**, offering robustness, durability, and greater versatility in design, as well as the possibility of integrating diverse sports equipment; and **a timber structure**, which stands out for its sustainability and visual appeal, albeit with potential challenges regarding maintenance and long-term durability.

The comparative analysis includes a geological and geotechnical study of the site, together with the structural design and calculation for each alternative. The advantages and limitations of each option are evaluated with respect to factors such as multifunctionality of the facility, compatibility with sports equipment, and environmental conditions.

The study concludes that the **combined concrete-and-steel alternative** is the most suitable, not only due to its cost-effectiveness and economic efficiency but also because of its adaptability to various sporting disciplines. Recommendations are provided for the effective implementation of this solution, highlighting its potential to enhance the region's sports infrastructure and to promote both recreational and competitive activities.

Keywords: bowling alley, roof structure, “*bolo palma*”, self-supporting, concrete, steel, timber, comparative analysis, constructive solutions, sports infrastructure.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, el desarrollo e innovación de las infraestructuras deportivas cubiertas han ganado protagonismo en entornos urbanos y rurales. La incorporación de estrategias de diseño permite un uso continuo de las instalaciones al aire libre, independientemente de las condiciones meteorológicas contribuyendo a mejorar la durabilidad de los espacios, la seguridad de los usuarios y la sostenibilidad de las infraestructuras cubiertas.

El diseño de cubiertas deportivas plantea una serie de retos técnicos y funcionales que dependen de la tipología estructural aplicada. Esta elección requiere la necesidad de buscar un equilibrio entre diversos factores: condiciones climáticas locales, criterios técnicos, cargas estructurales, plazos de ejecución, costes de ejecución y de mantenimiento, durabilidad de materiales y adaptación al entorno. Además, es imprescindible incorporar soluciones constructivas sostenibles y eficientes conforme con las actuales directrices europeas en materia de eficiencia energética y economía circular.

1.2. ANTECEDENTES E HISTORIA DEL ARTE

Este trabajo está centrado principalmente en las boleras de bolo palma que forman parte del patrimonio cultural, deportivo y social de la Comunidad Autónoma de Cantabria. Esta disciplina ha sido tradicionalmente un deporte de práctica estacional, es decir, siempre ha estado condicionado por las características climatológicas de la región como lluvias abundantes y cambios climáticos repentinos.

Desde sus orígenes, la bolera ha sido un espacio de tierra compactada integrada en la vida social y cultural de los pueblos cántabros. Ante esta necesidad ha surgido un interés creciente por parte de los ayuntamientos, clubes deportivos y federaciones en cubrir las boleras con el fin de garantizar la continuidad de los entrenamientos, el desarrollo de las competiciones, así como proteger las instalaciones deportivas a lo largo del año mejorando las condiciones de juego. Sin embargo, no existe una solución única ya que cada bolera presenta particularidades en cuanto a ubicación, dimensiones, entorno y uso haciendo necesaria una evaluación técnica específica para cada caso.

Ante el creciente interés por preservar y profesionalizar el bolo palma, se han desarrollado proyectos más elaborados de cubrición, incorporando materiales contemporáneos, diseños más eficientes y soluciones estructurales adaptadas a las dimensiones y especificidades del juego. Algunas boleras ya cuentan con cubiertas completas, mientras que otras adoptan cubiertas parciales.

1.3. OBJETIVOS

El objetivo principal que persigue este Trabajo Fin de Máster es diseñar y evaluar comparativamente distintas soluciones constructivas para la cobertura de boleras de bolo palma, aplicando el análisis al caso real de la Bolera de La Marga, ubicada en el término municipal de Santander, y valorando su adaptabilidad a otras instalaciones deportivas al aire libre.

Para alcanzar estos objetivos principales se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Identificar los requisitos funcionales y normativos para la cobertura de boleras de bolo palma y otras instalaciones deportivas al aire libre.
- Diseñar varias alternativas constructivas viables que permitan cubrir una bolera manteniendo su funcionalidad y condiciones de juego.
- Realizar un análisis comparativo técnico, económico y constructivo de las soluciones propuestas.
- Aplicar las alternativas al caso real de la Bolera de La Marga evaluando su viabilidad en ese entorno urbano y deportivo.
- Estudiar la posibilidad de adaptar la solución más adecuada a otras instalaciones deportivas similares al aire libre (pistas de pádel, tenis, baloncesto, etc.).
- Proponer recomendaciones para la implantación real de la solución seleccionada considerando criterios técnicos, sociales y económicos.
- Realizar una estimación económica de los costes de ejecución y mantenimiento de la cubierta.

1.4. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

La elección de este tema para mi proyecto de Trabajo Fin de Máster se debe a la creciente necesidad en el ámbito de la ingeniería aplicada a infraestructuras deportivas cubiertas.

Las boleras, como instalaciones deportivas tradicionales con un fuerte arraigo cultural en Cantabria presentan un interés especial desde el punto de vista ingenieril. Su diseño y conservación plantean retos técnicos específicos, ya que requieren soluciones que integren criterios estructurales modernos sin perder su identidad histórica ni afectar negativamente el entorno.

El estudio comparativo de diferentes tipologías de cubiertas permite identificar ventajas y limitaciones en términos de coste, durabilidad, complejidad constructiva, impacto ambiental y comportamiento frente a las cargas climáticas y de uso.

Este estudio contribuye a cubrir un vacío en la teoría y en la práctica profesional respecto a la adaptación estructural de instalaciones deportivas tradicionales a las necesidades actuales, aportando soluciones innovadoras y viables que responden a los retos del contexto regional y a las demandas sociales contemporáneas.

1.5. NORMATIVA Y REGLAMENTOS DE APLICACIÓN

En este apartado se presentan las normativas y reglamentos técnicos que serán aplicados en el desarrollo y diseño de las tres alternativas de cubiertas destinadas a instalaciones deportivas.

Se abordarán normativas que regulen aspectos relacionados con la seguridad estructural, las acciones sobre las construcciones, el uso de materiales, etc. Además, se tendrán en cuenta reglamentos específicos aplicables destinadas al uso deportivo asegurando que el diseño de las cubiertas responda a los requerimientos técnicos, ambientales y de seguridad exigidos.

1.5.1. Normas aplicadas

Para el desarrollo estructural de las tres alternativas de cubierta, metálica, hormigón y madera, se han considerado las siguientes normativas y disposiciones legales vigentes necesarias para su correcto dimensionamiento, diseño y ejecución:

- Instrucción de Acero Estructural (EAE), aprobado por el Real Decreto 751/2011, del 27 de mayo.
- Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08), aprobado por el Real Decreto 1247/2008, del 18 de Julio.

- Código Técnico de la Edificación (CTE), aprobado por el Real Decreto 314/2006, del 17 de marzo. Y posterior modificación aprobada en el Real Decreto 1371/2007 de 19 de octubre, el Real Decreto 1675/2008 de 17 de octubre, y el Real Decreto 173/2012 de 19 de febrero. Cabe destacar el Documentos Básico de Seguridad Estructural (DB SE) y de Seguridad en Caso de Incendio (DB SI).
- Normas de Construcción Sismorresistente: Parte general y edificación (NCSE-02), aprobado por el Real Decreto 997/2002, del 27 de septiembre.
- Eurocódigo 1: Acciones en estructuras (UNE-EN 1991-1-1), aprobada por CEN el 30 de noviembre del 2001.
- Eurocódigo 5: Proyecto de estructuras de madera (UNE-EN 1995-1-1: 2006/A1), aprobada por CEN el 10 de abril del 2008.

1.5.2. Hipótesis de Cálculo Consideradas

Este apartado se ha desarrollado conforme a lo establecido en el apartado 4, “*Verificaciones basadas en coeficientes parciales*”, del Documento Básico DB-SE Seguridad Estructural del Código Técnico de la Edificación (CTE).

1.5.2.1. Capacidad Portante

Este apartado se ha desarrollado conforme a lo establecido en el apartado 4.2 del “*CTE DB-SE Seguridad Estructural*” del Código Técnico de la Edificación (CTE), a partir del cual se derivan los siguientes parámetros:

1.5.2.1.1. Verificación de la estabilidad:

Se considera que hay suficiente estabilidad del conjunto del edificio o de una parte independiente del mismo, si para todas las situaciones de dimensionado pertinentes se cumple la siguiente condición:

$$E_{d,dst} \leq E_{d,stab}$$

Siendo:

- $E_{d,dst}$: valor de cálculo del efecto de las acciones desestabilizadoras.
- $E_{d,stab}$: valor de cálculo de las acciones estabilizadoras.

1.5.2.1.2. Verificación de resistencia del material

Se considera que hay suficiente resistencia de la estructura portante, de un elemento estructural, sección punto o de una unión entre elementos, si para todas las situaciones de dimensionado pertinentes se cumple la siguiente condición:

$$E_d \leq R_d$$

Siendo:

- E_d : valor de cálculo del efecto de las acciones.
- R_d : valor de cálculo de la resistencia correspondiente.

1.5.2.1.3. Combinación de acciones

Se presentan las siguientes situaciones:

- **Situaciones persistentes o transitorias:** el valor de cálculo se determina mediante las combinaciones de acciones a partir de la siguiente expresión:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} * G_{k,j} + \gamma_p * P + \gamma_{Q,1} * Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} * \psi_{0,i} * Q_{k,i}$$

- **Situaciones extraordinarias:** la combinación de carga se determina mediante la expresión:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} * G_{k,j} + \gamma_p * P + A_d + \gamma_{Q,1} * \psi_{1,1} * Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} * \psi_{2,i} * Q_{k,i}$$

- **Situaciones accidentales sísmicas:** todas las acciones variables concomitantes se tendrán en cuenta con su valor casi permanente según la expresión:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_d + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} * Q_{k,i}$$

Para aplicar las distintas combinaciones de acciones será necesario disponer de los coeficientes correspondientes que se desarrollan en el apartado “1.5.2.5 Coeficientes de Mayoración de Acciones”.

1.5.2.2. Aptitud al Servicio

Este apartado se ha desarrollado conforme a lo establecido en el apartado 4.3 del “CTE DB-SE Seguridad Estructural” del Código Técnico de la Edificación (CTE), a partir del cual se derivan los siguientes parámetros:

1.5.2.2.1. Combinación de acciones

En función de cada situación de dimensionado y del criterio aplicado, los efectos de las acciones se evaluarán a partir de la combinación correspondiente de acciones e influencias simultáneas de acuerdo con los criterios que se detallan a continuación:

- **Combinación de acciones característica:** los efectos derivados de acciones de corta duración que pueden producir consecuencias irreversibles se determinan mediante combinaciones de acciones, según la siguiente expresión:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} * Q_{k,i}$$

- **Combinación de acciones frecuente:** para esta combinación se emplea la siguiente expresión:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \psi_{1,1} * Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} * Q_{k,i}$$

- **Combinación de acciones casi permanente:** para esta combinación se emplea la siguiente expresión:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} * Q_{k,i}$$

1.5.2.2.2. Flechas

De acuerdo con lo establecido en el apartado 4.3.3.1 del “CTE DB-SE Seguridad Estructural”, para cualquier combinación de acciones característica considerando sólo las deformaciones que se producen después de la puesta en obra que conforman nuestra estructura, la flecha relativa deberá ser inferior a 1/300.

Cuando se considere la apariencia de la obra, se admite que la estructura horizontal de la cubierta es suficientemente rígida sí, para cualquiera de sus piezas, ante cualquier combinación de acciones casi permanente, la flecha relativa es inferior a 1/300.

1.5.2.2.3. Desplazamientos horizontales

Este apartado se ha desarrollado conforme a lo establecido en el apartado 4.3.3.1 del “CTE DB-SE Seguridad Estructural” del Código Técnico de la Edificación (CTE), se acepta que la estructura global tiene suficiente rigidez latera, si ante cualquier combinación de acciones característica el desplome es de:

- Desplome total: 1/500 de la altura del edificio.
- Desplome total: 1/250 de la altura de la planta.

1.5.2.3. Seguridad al Vuelco

Para la comprobación del Estado Límite Último (ELU) de equilibrio en zapatas debe recurrirse al CTE DBSE, el cual, para situaciones permanentes o transitorias, establece que la combinación de acciones aplicable sea la siguiente:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \dots + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

En la **Figura 1** se muestran los coeficientes de seguridad de las acciones (γ_F) a utilizar en la expresión de combinación considerándolos siempre iguales a la unidad.

Situación de dimensionado	Tipo	Materiales		Acciones	
		γ_R	γ_M	γ_E	γ_F
Persistente o transitoria	Hundimiento	3,0 ⁽¹⁾	1,0	1,0	1,0
	Deslizamiento	1,5 ⁽²⁾	1,0	1,0	1,0
	Vuelco ⁽²⁾				
	Acciones estabilizadoras	1,0	1,0	0,9 ⁽³⁾	1,0
	Acciones desestabilizadoras	1,0	1,0	1,8	1,0
	Estabilidad global	1,0	1,8	1,0	1,0
	Capacidad estructural	- ⁽⁴⁾	- ⁽⁴⁾	1,6 ⁽⁵⁾	1,0
	Pilotes				
	Arrancamiento	3,5	1,0	1,0	1,0
	Rotura horizontal	3,5	1,0	1,0	1,0

Figura 1: Coeficientes de seguridad parciales para el cálculo de cimentaciones. **Fuente:** CTE DB SE-C.

1.5.2.4. Agotamiento del Terreno

Para la comprobación de la carga unitaria sobre el terreno deben verificarse todas las combinaciones correspondientes a situaciones persistentes o transitorias aplicando los coeficientes parciales de seguridad de las acciones establecidas en el CTE DB-SE C siendo siempre iguales a la unidad.

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \dots + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

1.5.2.5. Coeficientes de Mayoración de Acciones

En comparación con los coeficientes mencionados, los coeficientes de mayoración de acciones dependen además del material utilizado. Atendiendo a este criterio se detallan los coeficientes correspondientes.

- Los posibles materiales a utilizar son los siguientes: **acero laminado, conformado, fábrica y madera.**

En relación con los coeficientes γ_c que afectan en las estructuras, se consideran los establecidos en la tabla 4.1 del capítulo 4 del “CTE DB-SE Seguridad Estructural” del Código Técnico de la (CTE).

- **Coeficientes parciales de seguridad (γ_c) para las acciones.**

Tipo de verificación ⁽¹⁾	Tipo de acción	Situación persistente o transitoria	
		desfavorable	favorable
Resistencia	Permanente		
	Peso propio, peso del terreno	1,35	0,80
	Empuje del terreno	1,35	0,70
	Presión del agua	1,20	0,90
	Variable	1,50	0
Estabilidad		desestabilizadora	estabilizadora
	Permanente		
	Peso propio, peso del terreno	1,10	0,90
	Empuje del terreno	1,35	0,80
	Presión del agua	1,05	0,95
	Variable	1,50	0

Figura 2: Coeficientes parciales de seguridad. Fuente: DB-Seguridad Estructural.

- **Coefficientes de simultaneidad (γ).**

	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Sobrecarga superficial de uso (Categorías según DB-SE-AE)			
• Zonas residenciales (Categoría A)	0,7	0,5	0,3
• Zonas administrativas (Categoría B)	0,7	0,5	0,3
• Zonas destinadas al público (Categoría C)	0,7	0,7	0,6
• Zonas comerciales (Categoría D)	0,7	0,7	0,6
• Zonas de tráfico y de aparcamiento de vehículos ligeros con un peso total inferior a 30 kN (Categoría E)	0,7	0,7	0,6
• Cubiertas transitables (Categoría F)		(1)	
• Cubiertas accesibles únicamente para mantenimiento (Categoría G)	0	0	0
Nieve			
• para altitudes > 1000 m	0,7	0,5	0,2
• para altitudes \leq 1000 m	0,5	0,2	0
Viento	0,6	0,5	0
Temperatura	0,6	0,5	0
Acciones variables del terreno	0,7	0,7	0,7

Figura 3: Coeficientes de simultaneidad. Fuente: DB-Seguridad estructural.

1.5.3. Materiales

1.5.3.1. Acero estructural

El acero a utilizar para los perfiles laminados en caliente será **S355JR** que tiene una resistencia característica de 355 N/mm² y una resistencia de cálculo tras aplicarle el coeficiente de seguridad γ_M , según lo establecido en el capítulo 2.3.3 “CTE DB SE-A” del Código Técnico de la (CTE).

$$f_{cd} = (f_{ck} / \gamma_M) = (355 / 1,05) = 338,1 \text{ N/mm}^2$$

Si se requiere utilizar perfiles conformados en frío, el acero a utilizar será **S235JR** con una resistencia característica de 235 N/mm² y una resistencia de cálculo tras aplicar el coeficiente de seguridad de:

$$f_{cd} = (f_{ck} / \gamma_M) = (235 / 1,05) = 223,8 \text{ N/mm}^2$$

- En ambos casos el **módulo de elasticidad** del acero es:

$$E = 210000 \text{ N/mm}^2$$

1.5.3.2. Hormigón

Para las cimentaciones se empleará hormigón armado que consiste en hormigón fabricado en planta y colocado “*in situ*” directamente sobre el terreno. Por tanto, deberá ser compatible con las acciones químicas a las que estará expuesto, esto se consigue teniendo en cuenta las condiciones ambientales del entorno donde se llevará a cabo la construcción.

Para el municipio de Santander donde se encuentra la estructura, se adopta un ambiente IIa y clase específica de exposición H, puesto que la precipitación media anual es de 1100 mm, la humedad relativa media en invierno es superior a 75% y las temperaturas raramente bajan de 0°C. Para estos ambientes la **Norma EHE-08** exige una resistencia mínima para el hormigón de 25 N/mm² empleando HA-25.

No obstante, con el fin de asegurar una mayor durabilidad y mantener la coherencia con otras zonas geológicas de la autonomía de Cantabria se ha decidido emplear un hormigón tipo HA-30 con una resistencia mínima de 30 N/mm² adoptando un ambiente IIb y clase específica de exposición H.

Parámetro de dosificación	Tipo de hormigón	Clase de exposición												
		I	IIa	IIb	IIIa	IIIb	IIIc	IV	Qa	Qb	Qc	H	F	E
Resistencia mínima (N/mm ²)	Masa	20	—	—	—	—	—	—	30	30	35	30	30	30
	Armado	25	25	30	30	30	35	30	30	30	35	30	30	30
	Pretensado	25	25	30	30	35	35	35	30	35	35	30	30	30

Figura 4: Resistencia mínima según el ambiente. Fuente: Norma EHE-08.

Al ser un hormigón destinado a la edificación se requiere de una consistencia blanda. En el caso específico de cimentaciones el tamaño máximo del árido puede alcanzar el valor de 40 mm, sin embargo, para garantizar una adecuada trabajabilidad se empleará un tamaño máximo de 30 mm siendo la designación del hormigón la siguiente:

HA-30/B/30/IIb+H

La resistencia de cálculo del hormigón en una situación persistente o transitoria aplicando el coeficiente parcial de seguridad γ_c será:

$$f_{cd} = (f_{ck} / \gamma_c) = (30 / 1,5) = 20 \text{ N/mm}^2$$

Para el hormigón seleccionado y el uso al que se va a destinar es necesario determinar los recubrimientos mínimos del hormigón en cada una de las direcciones de la cimentación.

Conforme a lo establecido en el apartado 37.2.4 de la “Norma EHE-08” se denomina recubrimiento del hormigón a la distancia mínima entre la superficie exterior de la armadura y la superficie del hormigón más cercana fijando dicho valor en:

$$r_{\text{nom}} = r_{\text{min}} (A, t_g, C, f_{ck}) + \Delta r$$

Atendiendo a las tablas 37.2.4.1.a y c de la “Norma EHE-08” se establecen los recubrimientos mínimos (r_{min}) en función de las siguientes variables:

- **A:** ambiente.
- **t_g :** vida útil del proyecto.
- **C:** tipo de cemento.
- **f_{ck} :** resistencia del hormigón.

Por lo tanto, para una clase de exposición IIb, resistencia característica de 30 N/mm² y una vida útil de la estructura de 50 años el recubrimiento mínimo propuesto es de 25 mm.

Clase de exposición	Tipo de cemento	Resistencia característica del hormigón [N/mm ²]	Vida útil de proyecto (t_g , años)	
			50	100
I	Cualquiera	$f_{ck} \geq 25$	15	25
II a	CEM I	$25 \leq f_{ck} < 40$	15	25
		$f_{ck} \geq 40$	10	20
	Otros tipos de cementos o en el caso de empleo de adiciones al hormigón	$25 \leq f_{ck} < 40$	20	30
		$f_{ck} \geq 40$	15	25
II b	CEM I	$25 \leq f_{ck} < 40$	20	30
		$f_{ck} \geq 40$	15	25
	Otros tipos de cementos o en el caso de empleo de adiciones al hormigón	$25 \leq f_{ck} < 40$	25	35
		$f_{ck} \geq 40$	20	30

Figura 5: Recubrimientos mínimos para las clases de exposición I y II. Fuente: Norma EHE-08.

Por otro lado, atendiendo a la tabla 37.2.4.1c de la “Norma EHE-08” para una clase específica de exposición H y una vida útil de 50 años el recubrimiento mínimo propuesto es de 20 mm.

Clase de exposición	Tipo de cemento	Resistencia característica del hormigón [N/mm ²]	Vida útil de proyecto (t _g), (años)	
			50	100
H	CEM III	25 ≤ f _{ck} < 40	25	50
		f _{ck} ≥ 40	15	25
	Otros tipos de cemento	25 ≤ f _{ck} < 40	20	35
		f _{ck} ≥ 40	10	20

Figura 6: Recubrimiento mínimo para clase específica de exposición H. Fuente: Norma EHE-08.

Entre los dos recubrimientos analizados se selecciona el más restrictivo, en este caso corresponde al de mayor valor: 25 mm. A este dato se le debe añadir el margen de recubrimiento (Δ_r) establecido por la “Norma EHE-08”, fijando en 10 mm cuando no se aplica un nivel de control intenso. Por ende, el recubrimiento nominal inferior a considerar será de:

$$r_{\text{inf,nom}} = r_{\text{min}} + \Delta r = 25 + 10 = 35 \text{ mm.}$$

En los laterales de las zapatas el recubrimiento mínimo a considerar será superior. En el apartado 37.2.4 de la “Norma EHE-08” se establece que en piezas hormigonadas contra el terreno el recubrimiento mínimo será de 70 mm salvo que se haya preparado el terreno y dispuesto un hormigón de limpieza.

$$r_{\text{lat,nom}} = r_{\text{min}} (A, t_g, C, f_{ck}) + \Delta r = 70 + 10 = 80 \text{ mm.}$$

1.5.3.3. Hormigón de limpieza

En todas las cimentaciones es obligatorio disponer una solera de asiento conforme a lo indicado en el apartado 4.5.1.2 del “CTE DB SE-C”, el espesor mínimo de la solera de asiento será de 10 cm.

El hormigón a utilizar en la solera se le conoce como **hormigón de limpieza (HL)**. Es un tipo de hormigón cuyo fin es evitar la desecación del hormigón estructural durante su vertido, así como una posible contaminación de éste durante las primeras horas de su hormigonado.

La identificación de este tipo de hormigón se basa específicamente en el contenido mínimo exigido de cemento, quedando único tipo de hormigón apto para este uso tipificado conforme a lo establecido en el “Anejo 18 de la EHE-08”.

HL-150/B/20

De acuerdo con lo especificado en la identificación, la dosificación mínima de cemento será de 150 kg/m^3 , con una consistencia blanda y un tamaño máximo de árido recomendado inferior a 30 mm, lo que favorece la trabajabilidad del hormigón.

1.5.3.4. *Madera estructural*

La madera estructural es la utilizada para fines portantes debido a que es un tipo de madera apenas procesada, sin tratamiento de encolado y sin ensambles de unión dentada. Este tipo de madera se obtiene aserrando el tronco longitudinal y posteriormente cepillándolo. En función de las dimensiones que se quieran obtener se disponen diferentes piezas: tablones, tablas, listones, madera escuadrada y madera de gran escuadría.

Al seleccionar la tipología a emplear es fundamental considerar ciertas particularidades como la presencia de nudos, gemas, desviaciones de la fibra, etc., ya que las grandes dimensiones de las piezas utilizadas en la construcción suelen implicar esta serie de irregularidades.

Considerando inicialmente la estructura interna de la madera como un conjunto de fibras longitudinales cohesionadas, se puede inferir que su resistencia varía significativamente según la dirección de la carga aplicada. Por ello, la madera muestra un buen comportamiento frente a esfuerzos paralelos a la dirección de las fibras (solicitaciones normales). En cambio, su resistencia disminuye notablemente ante esfuerzos perpendiculares a las fibras, así como frente a solicitaciones de tipo cortante.

Existen dos tipos de madera laminada encolada: la madera laminada encolada homogénea y la madera laminada encolada combinada.

- **Homogénea:** láminas compuestas de madera aserrada de igual clase resistente en toda su sección.
- **Combinada:** alternan láminas de mayor clase resistente en las caras exteriores y de menor clase en el interior.
 - Las láminas externas deben comprender un mínimo de dos láminas y/o localizadas en un sexto del canto.

Para nuestra estructura se ha elegido una madera laminada encolada homogénea, y dentro de éstas, la clase GL32h (C40) cuyas propiedades se detallan en la **Figura 7**.

Tabla E.1 Madera aserrada. Especies de coníferas y chopo. Valores de las propiedades asociadas a cada Clase Resistente

Propiedades		Clase resistente											
		C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50
Resistencia (característica) en N/mm²													
- Flexión	$f_{m,k}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50
- Tracción paralela	$f_{t,0,k}$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30
- Tracción perpendicular.	$f_{t,90,k}$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
- Compresión paralela	$f_{c,0,k}$	16	17	18	19	20	22	22	23	25	26	27	29
- Compresión perpendicular	$f_{c,90,k}$	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2
- Cortante	$f_{v,k}$	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Rigidez, en kN/mm²													
- Módulo de elasticidad paralelo medio	$E_{0,medio}$	7	8	9	9,5	10	11	11,5	12	13	14	15	16
- Módulo de elasticidad paralelo 5 ^o -percentil	$E_{0,k}$	4,7	5,4	6,0	6,4	6,7	7,4	7,7	8,0	8,7	9,4	10,0	10,7
- Módulo de elasticidad perpendicular medio	$E_{90,medio}$	0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37	0,38	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53
- Módulo transversal medio	G_{medio}	0,44	0,50	0,56	0,59	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88	0,94	1,00
Densidad, en kg/m³													
- Densidad característica	ρ_k	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460
- Densidad media	ρ_{medio}	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550

Figura 7: Valores de propiedades asociadas a las clases resistente. Fuente: CTE DB-SE Madera.

CAPÍTULO 2: ALTERNATIVAS, ANÁLISIS COMPARATIVO Y JUSTIFICACIÓN

2.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se abordarán las distintas alternativas estructurales propuestas para cubrir instalaciones deportivas al aire libre, concretamente una bolera de bolo palma. Para ello, se han adoptado unas dimensiones estándar correspondientes a una bolera genérica con el objetivo de establecer un marco de referencia común para todas las alternativas permitiendo una comparación objetiva entre las distintas propuestas estructurales.

A continuación, se presenta un esquema de la estructura de una bolera estándar (Figura 8) y una tabla (Tabla 1) con los estándares dimensionales:

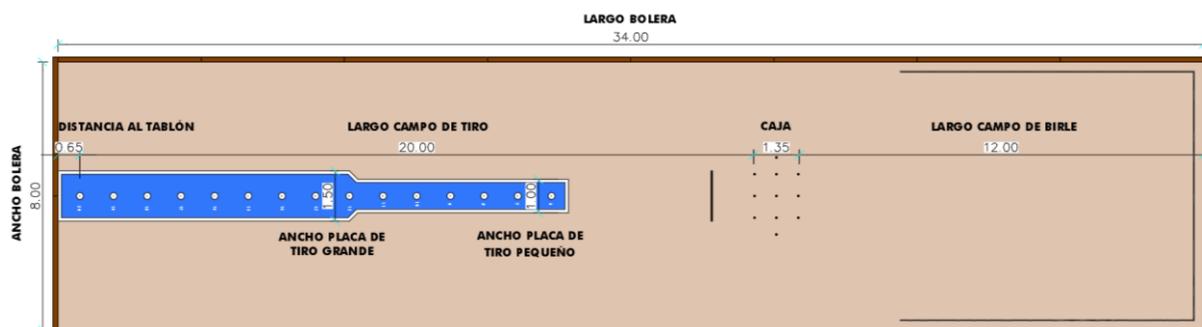


Figura 8: Esquema dimensional de una bolera estándar de bolo palma. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1: Dimensiones estándar de una bolera de bolo palma. **Fuente:** Elaboración propia.

ELEMENTO	DIMENSIÓN (m)
Ancho bolera	8,00
Largo bolera	34,00
Largo campo de tiro	20,65
Largo campo de birle	12,00
Largo y ancho de la caja	1,35
Ancho placa de tiro grande	1,50
Ancho placa de tiro pequeño	1,00
Distancia del último tiro a tablón del fondo	0,65
Distancia entre tiros	1,00

A partir de la información recabada se plantearán tres soluciones diferentes **según el material y sistema constructivo utilizado**: estructura metálica, estructura de hormigón prefabricado o estructura en madera laminada.

Cada alternativa será evaluada en función de criterios estructurales, económicos, de sostenibilidad y viabilidad constructiva con el fin de seleccionar la solución más adecuada.

2.2. PROGRAMA DE CÁLCULO Y DISEÑO

Para el cálculo y dimensionado de la cubierta se ha empleado el software SAP2000 v23, una herramienta de referencia a nivel internacional en el ámbito de la ingeniería estructural. Este programa integra un amplio abanico de normativas internacionales, incluidas las europeas (Eurocódigos), y permite el análisis, diseño y verificación de estructuras de acero, hormigón armado, madera y sistemas mixtos, sometidos a acciones gravitatorias, de viento, nieve y, en caso de ser necesario, sísmicas.

Con el fin de mantener una metodología clara y coherente, en este capítulo se seguirá una estructura similar a la que ofrece el flujo de trabajo estándar en SAP2000, incorporando las explicaciones y aclaraciones necesarias para comprender tanto el modelado como la interpretación de resultados.

SAP2000 ofrece un entorno de modelado integral para distintos tipos de análisis estructurales. Para el desarrollo de este proyecto se ha trabajado utilizando elementos tipo *Frame* para los pórticos (pilares y vigas) y elementos tipo *Shell* para la cubierta autoportante.

SAP2000 se empleó para el predimensionamiento de la nave, definiendo los pórticos principales, su separación y la geometría general de la estructura. Una vez completado este esquema inicial, se introdujeron las propiedades de los materiales, las secciones rectangulares y perfiles normalizados a través del módulo Frame Section Designer y la base de datos integrada de perfiles metálicos. Posteriormente se definió las cargas mediante el gestor de Load Patterns, y la creación de las combinaciones de cálculo conforme al Eurocódigo a través de Load Combinations permitiendo obtener una representación tridimensional precisa de la estructura con su longitud, anchura y altura definidas, así como una visualización gráfica de los esfuerzos y deformadas.

Se ha realizado un análisis detallado del procedimiento adecuado a realizar por el programa para comprender en profundidad los criterios aplicados por el software en el dimensionamiento de los perfiles de madera.

2.3. ACCIONES SOBRE LA ESTRUCTURA Y SU COMBINACIÓN

La evaluación de las acciones que actúan sobre la estructura de la cubierta se ha llevado a cabo conforme a las normativas indicadas en el apartado correspondiente de este proyecto.

De acuerdo con lo establecido en el “*DB SE-AE Acciones en la Edificación*”, las acciones y fuerzas que inciden sobre un pórtico interior se clasifican en 3 categorías: acciones permanentes, acciones variables y acciones accidentales.

La consideración particular de cada una de ellas se expone en los subapartados siguientes conforme a lo dispuesto en los apartados 2,3 y 4 del “*DB SE-AE*”.

Algunos valores como los correspondientes al peso propio de la estructura no se conocen con exactitud en una fase inicial. Por ello, se adoptan valores estimativos de predimensionado que serán verificados al finalizar el cálculo para comprobar la validez de las suposiciones aplicadas.

Los cálculos presentados en este apartado deben entenderse como estimaciones preliminares, que posteriormente serán contrastadas con los resultados obtenidos mediante el software SAP 2000, donde se incluirán todos los elementos que conforman la geometría de la nave y sus respectivos pesos. No obstante, el desarrollo manual de estos cálculos resulta especialmente útil para obtener órdenes de magnitud orientativas y facilitar tomar futuras conclusiones.

2.3.1. Acciones permanentes

Dentro de esta categoría se incluyen todas acciones cuya variación en el tiempo es despreciable o bien evoluciona de forma monótona hasta alcanzar un valor límite. Los valores que se mencionarán a continuación son valores característicos, los cuales deberán ser posteriormente amplificados mediante los coeficientes de mayoración correspondientes.

2.3.1.1. Peso de la estructura

En este apartado se recogen todos los elementos estructurales que serán objeto de cálculo, por lo que sus dimensiones no se pueden conocer antes de realizar el cálculo. Los elementos estructurales contemplados son: pilares, jácenas, correas, vigas, sistemas de contraviento, vigas perimetrales y arriostramientos.

Se adoptará un valor característico de predimensionado igual a la luz del pórtico dividido entre 100 expresado en kN/m², es decir:

$$G_{K,PP} = (10 / 100) = 0,10 \text{ kN/m.}$$

Una vez finalizado el cálculo de todos los elementos estructurales se procederá a verificar la validez del valor utilizado.

2.3.2. Acciones variables

Son las acciones cuya variación en el tiempo no es monótona ni despreciable en relación con su valor medio. Dentro de esta categoría se incluyen las sobrecargas de uso que se han considerado como una acción uniformemente distribuida sobre toda la superficie de la cubierta.

2.3.2.1. Sobrecarga de uso

La sobrecarga de uso es el peso de todo lo que puede gravitar sobre el edificio por razón de su uso.

Para el cálculo de los esfuerzos en los elementos estructurales se ha considerado la aplicación de una carga distribuida uniforme, adoptando los valores característicos establecidos en la tabla 3.1 del "DB SE-AE".

La cubierta proyectada tendrá una inclinación menor de 20° y será accesible únicamente para tareas de mantenimiento. Según lo establecido en el “CTE”, esta situación encuadra en la categoría de uso G1, correspondiente a cubiertas accesibles solo para mantenimiento, la cual no se considera concomitante con el resto de las acciones variables.

- Para este caso, el valor característico de la sobrecarga de uso es de 1 kN/m².

Categoría de uso		Subcategorías de uso		Carga uniforme [kN/m ²]	Carga concentrada [kN]
A	Zonas residenciales	A1	Viviendas y zonas de habitaciones en, hospitales y hoteles	2	2
		A2	Trasteros	3	2
B	Zonas administrativas			2	2
C	Zonas de acceso al público (con la excepción de las superficies pertenecientes a las categorías A, B, y D)	C1	Zonas con mesas y sillas	3	4
		C2	Zonas con asientos fijos	4	4
		C3	Zonas sin obstáculos que impidan el libre movimiento de las personas como vestíbulos de edificios públicos, administrativos, hoteles; salas de exposición en museos; etc.	5	4
		C4	Zonas destinadas a gimnasio u actividades físicas	5	7
		C5	Zonas de aglomeración (salas de conciertos, estadios, etc)	5	4
D	Zonas comerciales	D1	Locales comerciales	5	4
		D2	Supermercados, hipermercados o grandes superficies	5	7
E	Zonas de tráfico y de aparcamiento para vehículos ligeros (peso total < 30 kN)			2	20 ⁽¹⁾
F	Cubiertas transitables accesibles sólo privadamente ⁽²⁾			1	2
G	Cubiertas accesibles únicamente para conservación ⁽³⁾	G1 ⁽⁷⁾	Cubiertas con inclinación inferior a 20°	1 ⁽⁴⁾⁽⁶⁾	2
			Cubiertas ligeras sobre correas (sin forjado) ⁽⁵⁾	0,4 ⁽⁴⁾	1
		G2	Cubiertas con inclinación superior a 40°	0	2

Figura 9: Valores característicos de las sobrecargas de uso. Fuente: CTE DB SE-AE.

Aplicando las acciones sobre los pórticos de la estructura:

$$q_{K,P \text{ int}} = Q_{Ksp} = 1 \cdot sp$$

$$q_{K,P \text{ int}} = Q_{Ksp}/2 = 1 \cdot sp/2$$

2.3.2.2. Sobrecarga de viento

La acción del viento sobre la estructura se ha evaluado de acuerdo con lo establecido en el “CTE DB SE-AE”, en su apartado 3.3.2.2, que determinan los criterios para calcular la presión o succión generada por el viento sobre elementos estructurales.

1. **Velocidad básica del viento (V_b):** se ha determinado según la zona eólica en la que se encuentra el emplazamiento de la estructura.

- Según la **Figura 10** para la ubicación de Cantabria se adopta un valor de 29 m/s debido a que se encuentra en la zona C.



Figura 10: Valor básico de la velocidad del viento (V_b) en la península ibérica. Fuente: CTE DB SE-AE

2. Presión básica (q_b): se calcula mediante la siguiente expresión:

$$q_b = 0,5 \cdot \delta_{\text{aire}} \cdot V_b^2 = 0,5 \cdot 1,25 \cdot 29^2 = 526,625 \text{ N/m}^2 = 0,527 \text{ kN/m}^2$$

3. Coeficiente de exposición (C_e): según la **Figura 11** la categoría a la que pertenece el terreno de Cantabria es la categoría III. Considerando una altura media de la cubierta de 10,5 m (z) se obtiene un valor aproximado de 1,8.

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

Figura 11: Valores del coeficiente de exposición (C_e). Fuente: CTE DB SE-AE.

4. Presión dinámica a altura z (q_e): se calcula mediante la siguiente expresión:

$$q_e = q_b \cdot C_e = 0,527 \cdot 1,8 = 0,95 \text{ kN/m}^2$$

5. **Coefficientes de forma (c_p):** se han considerado diferentes casos de carga en función de la dirección del viento y la inclinación de la cubierta. Según la estructura que se vaya a aplicar se dan diferentes configuraciones:

- **Marquesinas a dos aguas:** en este caso se estudia una configuración que combina succión y presión.
- **Cubierta a dos aguas:** en este caso se estudian 6 configuraciones distintas que combinan succión y presión.
 - **Viento 1:** dirección 0° con máxima presión sobre la fachada larga.
 - **Viento 2:** dirección 0° con máxima succión sobre la fachada larga.
 - **Viento 3:** dirección 90° con máxima succión sobre la fachada corta.
 - **Viento 4:** dirección 180° con máxima presión sobre la fachada larga.
 - **Viento 5:** dirección 180° con máxima succión sobre la fachada larga.
 - **Viento 6:** dirección 270° con máxima succión sobre la fachada corta.

Estas hipótesis permiten cubrir los posibles efectos de presión y succión que puede ejercer el viento en función de su orientación, asegurando así un análisis estructural completo frente a esta acción variable.

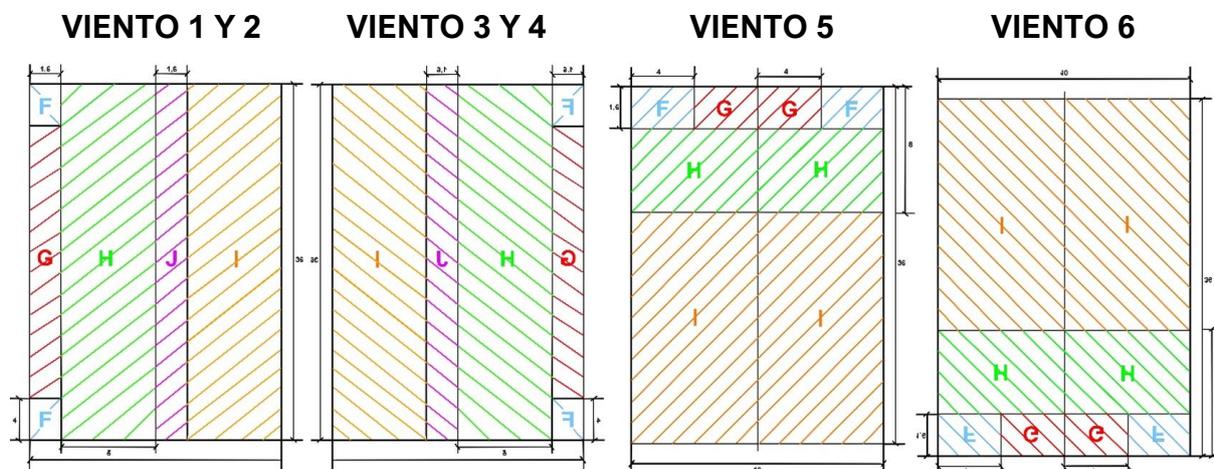


Figura 12: Distribución de las cargas del viento. Fuente: Elaboración propia.

2.3.2.3. Sobrecargas de nieve

El cálculo de la acción de la nieve sobre el edificio se lleva a cabo conforme a lo establecido en capítulo 5 “Cargas de nieve sobre cubiertas” del anejo “AN/UNE-EN 1991-1-4” del “Eurocódigo 1”.

Para determinar la carga de nieve (s) se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$s = \mu_i C_e C_t S_k$$

Donde:

- μ_i : coeficiente de forma de la cubierta. Al tener la cubierta una inclinación menor de 30°, el coeficiente de forma será 0,8 (observar **Figura 13**).

Ángulo de inclinación de la cubierta α	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
μ_1	0,8	$0,8(60 - \alpha)/30$	0,0
μ_2	$0,8 + 0,8 \alpha/30$	1,6	–

Figura 13: Coeficientes de forma de la carga de nieve. **Fuente:** UNE-EN 1991-1-3 Eurocódigo 1.

- S_k : es el valor característico de la cara de nieve a nivel del terreno. La estructura se encuentra en la región de Cantabria a una altitud media de 200 m.
- C_e : coeficiente de exposición será 0,8 (observar **Figura 14**).

Topografía	C_e
Expuesta al viento ^a	0,8
Normal ^b	1,0
Protegida ^c	1,2

^a *Topografía expuesta al viento:* áreas llanas, sin obstáculos, expuestas en todos sus frentes o poco protegidas por el terreno, por construcciones más altas o por árboles.

^b *Topografía normal:* áreas en las que no es previsible redistribución de la nieve debido al terreno, a otras construcciones o a árboles.

^c *Topografía protegida:* áreas en las que la obra en cuestión es considerablemente más baja que el terreno circundante o que está rodeada de árboles altos y/o construcciones más altas.

Figura 14: Valores recomendados de C_e para diferentes topografías. **Fuente:** UNE-EN 1991-1-3 Eurocódigo 1.

- C_t : coeficiente térmico será 1.

El valor de S_k se ha determinado mediante la aplicación de la siguiente fórmula:

$$s_k = (0,190Z - 0,095) \left[1 + \left(\frac{A}{524} \right)^2 \right] = 0,8 \text{ kN/m}^2$$

Una vez determinado el valor de carga de nieve característica (S_k), junto con el resto de los coeficientes considerados, se obtiene el valor de la carga de nieve de cálculo siendo el siguiente:

$$s = \mu_i C_e C_t s_k = 0,5 \text{ kN/m}^2$$

Para el caso de la sobrecarga de nieve se han contemplado tres opciones distintas de carga:

- **Nieve 1:** distribución en el lado izquierdo de la cubierta.
- **Nieve 2:** distribución en el lado derecho de la cubierta.
- **Nieve 3:** distribución a ambos lados de la cubierta.

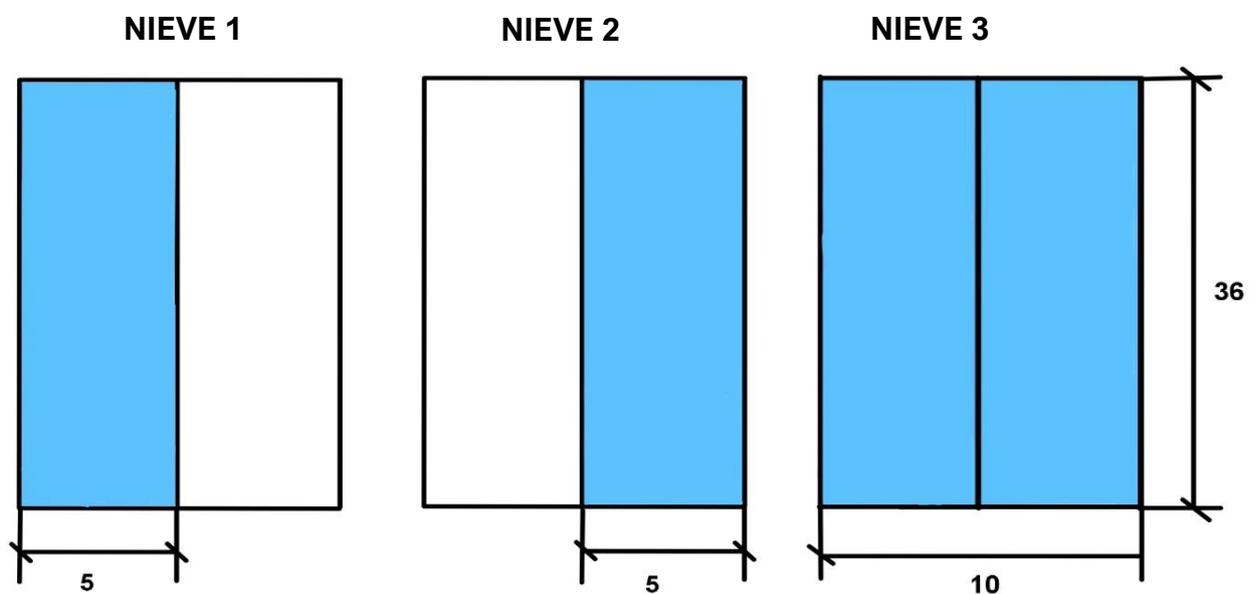


Figura 15: Distribución de las cargas de nieve. Fuente: Elaboración propia.

2.3.2.4. Acciones térmicas

En este apartado se aborda lo establecido en el artículo 3.4.1.3 del “CTE DB SE-A”:

- Los edificios y sus elementos están sometidos a deformaciones y cambios geométricos debidos a las variaciones de la temperatura exterior.
 - La magnitud de las mismas depende de las condiciones climáticas del lugar, la orientación y de la exposición del edificio, las características de los materiales constructivos y de los acabados o revestimientos y del régimen de calefacción y ventilación interior, así como del aislante térmico.

- Las variaciones de la temperatura en el edificio conducen a deformaciones de todos los elementos constructivos, en particular, los estructurales, que en los casos en los que estén impedidas, producen tensiones en los elementos afectados.
- La disposición de juntas de dilatación puede contribuir a disminuir los efectos de las variaciones de temperatura.
 - En edificios habituales con elementos estructurales de hormigón o acero, pueden no considerarse las acciones térmicas cuando se dispongan juntas de dilatación de forma que no existan elementos continuos de más de 40m de longitud.
 - Para otro tipo de edificios, los DB incluyen la distancia máxima entre juntas de dilatación en función de las características del material utilizado.

En el caso del edificio que se está calculando no se contempla la presencia de elementos continuos con una longitud superior a 40 metros ni la disposición de juntas de dilatación. Por tanto, no será necesario considerar las acciones térmicas en el dimensionado estructural.

2.3.3. Acciones accidentales

2.3.3.1. Sismo

La evaluación de las acciones sísmicas se ha realizado conforme a lo establecido en la “*Norma de Construcción Sismorresistente: Parte General y Edificación (NCSE-02)*”. Esta norma en su artículo 1.2, apartado 2º, establece una clasificación de las construcciones en función de su uso según el siguiente criterio:

- **Importancia normal:** son aquellas que su destrucción por terremoto puede ocasionar víctimas, interrumpir un servicio para la colectividad o producir grandes pérdidas económicas, sin que en ningún caso se trate de un servicio imprescindible ni que su destrucción pueda dar lugar a efectos catastróficos.
- **Importancia especial:** son aquellas que su destrucción por terremoto pueda interrumpir un servicio imprescindible o de producir efectos catastróficos.

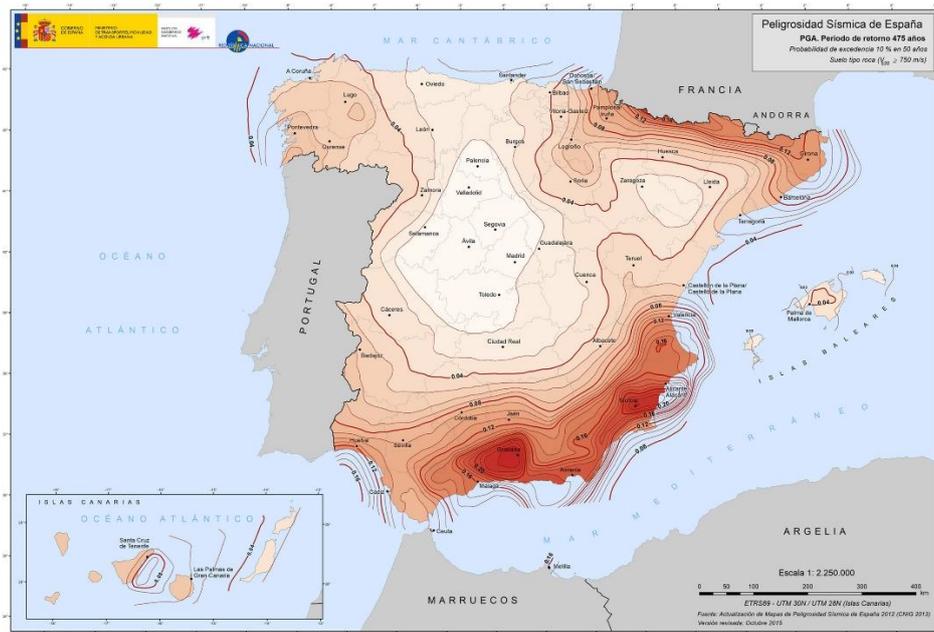


Figura 16: Mapa de peligrosidad sísmica de España 2015. **Fuente:** Instituto Geográfico Nacional – Gobierno de España.

De acuerdo con la normativa descrita y con las condiciones sísmicas en la zona del proyecto, se concluye que no será necesario considerar acciones sísmicas de ningún tipo para el diseño y construcción de la estructura.

2.3.3.2. Incendio

Según el Código Técnico de la Edificación, la resistencia al fuego es el periodo de tiempo durante el cual una estructura, expuesta a un incendio, mantiene su capacidad para desempeñar su función estructural. Este parámetro sirve para medir el nivel de seguridad de la estructura frente al incendio.

La clasificación de los materiales en función de su resistencia al fuego se establece en la norma UNE-EN 13501 – 1:2002, la cual distingue 5 categorías principales:

- **M0:** no combustible.
- **M1:** combustible pero no inflamable.
- **M2:** combustible y difícilmente inflamable.
- **M3:** combustible y medianamente inflamable.
- **M4:** combustible y fácilmente inflamable.

La categoría asignada a un material dependerá tanto de su naturaleza como de los tratamientos específicos a los que haya sido sometido.

2.4. ALTERNATIVA I. ESTRUCTURA METÁLICA

La estructura objeto de cálculo de esta alternativa es una cubierta autoportante curvado que ocupará un área de 38 x 12 m. La altura máxima de los pórticos será de 9,25 m y cada pórtico tendrá una luz de 11 m.

Esta estructura metálica se compone de una serie de 7 pórticos alineados generando un total de 6 huecos con una separación de 6 m entre ellos. Cada pórtico consta de dos pilares, uno de 9,25 m de altura y otro de 8,85 m. Sobre estos pilares se apoya la cubierta autoportante curva cuya longitud es de 12,15 m.

La separación entre pórticos suele fijarse por criterios económicos en un rango comprendido entre 5 – 6 metros. Si bien en algunos casos la distancia entre el primer y el segundo pórtico (S1) puede diferir del resto ($S1 < S$), en este proyecto se ha optado por mantener dimensiones uniformes, con el fin de garantizar un mejor equilibrio y homogeneidad estructural.

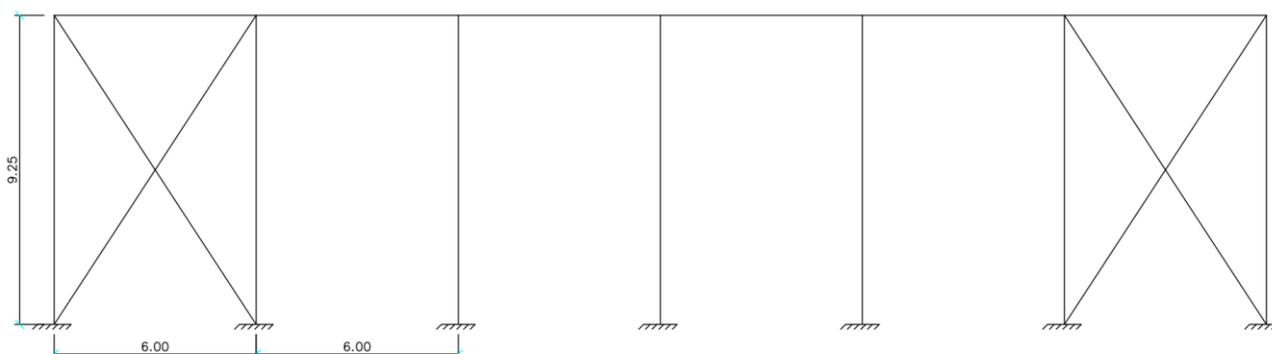


Figura 17: Croquis de los pórticos. **Fuente:** Elaboración propia.

Para la tipología estructural de la cubierta se ha optado por el empleo de pórticos rígidos biarticulados. Esta solución contempla nudos rígidos tanto en la unión viga – pilar como en la unión central.

Ambas bases permiten el giro en el plano de la fachada corta de la estructura. Se trata de pórticos intraslacionales, ya que se han dispuesto elementos que arriostran la estructura. Por lo tanto, se utilizan perfiles HEB 300 contruidos con acero S355.

Se ha optado por diseñar la base de los pilares hastiales como articulada evitando la transmisión de momentos a la zapata. Esta condición de apoyo conlleva a un ahorro considerable de hormigón.

La cubierta consta con unas planchas metálicas (BC90) de 0,7 mm de espesor con un peso propio de 8,48 kg/m². A esta carga se le añade 0,10 kN/m² para considerar el peso de la tornillería y otros accesorios de montaje.

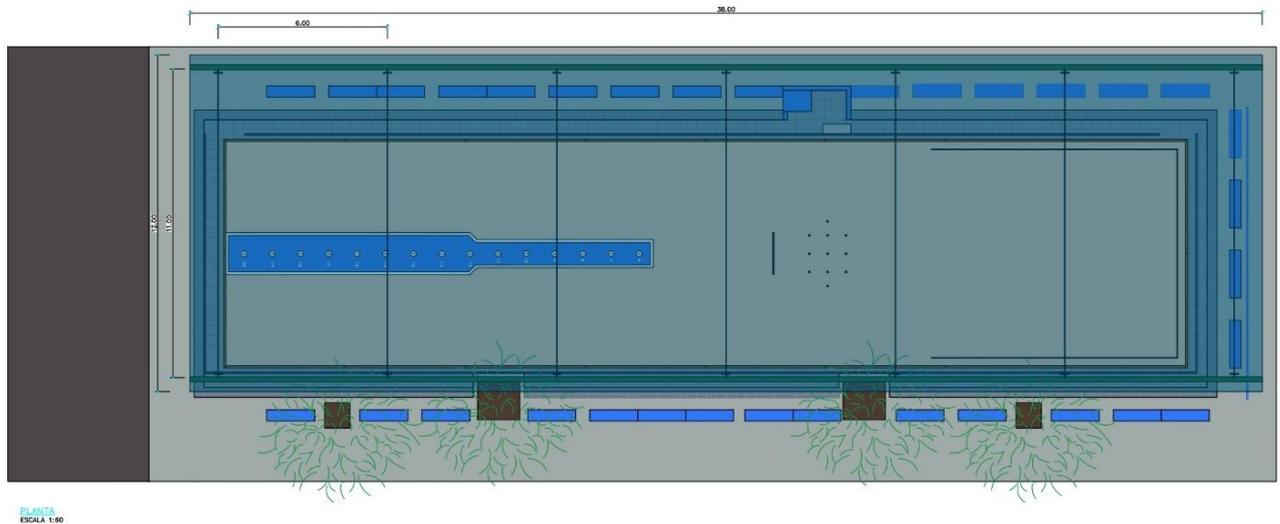


Figura 18: Vista 2D de la planta de la cubierta metálica. Fuente: Elaboración propia en AutoCAD.

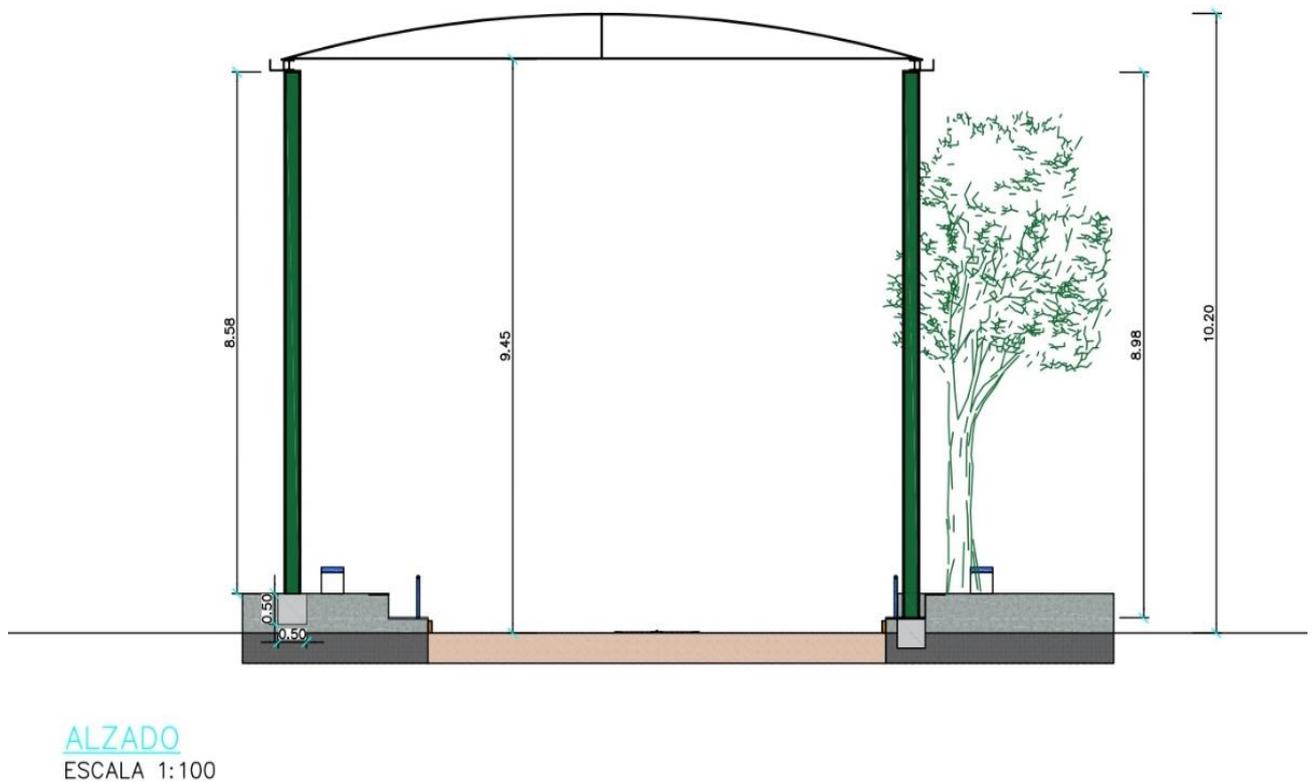


Figura 19: Vista 2D del alzado de la cubierta metálica. Fuente: Elaboración propia en AutoCAD.

2.5. ALTERNATIVA II. ESTRUCTURA COMBINADA DE HORMIGÓN PREFABRICADO Y DE METAL

La estructura analizada en este apartado corresponde a una versión adaptada de la Alternativa I, incorporando una modificación fundamental: los pilares se ejecutarán en hormigón prefabricado, dado que este material presenta un comportamiento más eficiente frente a los esfuerzos de compresión.

Se descarta la opción de proyectar una cubierta íntegramente en hormigón prefabricado, ya que, considerando las condiciones específicas de la zona a cubrir la solución más adecuada es una combinación de pilares de hormigón prefabricado y una cubierta metálica, lo que permite optimizar tanto el rendimiento estructural como la economía de la construcción.

Al igual que en la alternativa anterior el área que ocupará la cubierta autoportante curvado será de 38 x 12 m junto a una altura máxima de pórticos de 9,25 m con una luz de 11 m cada uno de ellos.

Consta de 7 pórticos alineados generando un total de 6 huecos con una separación de 6 m entre ellos.

Cada pórtico consta de dos pilares, uno de 9,25 m de altura y otro de 8,85 m. Sobre estos pilares se apoya la cubierta autoportante curva cuya longitud es de 12,15 m.

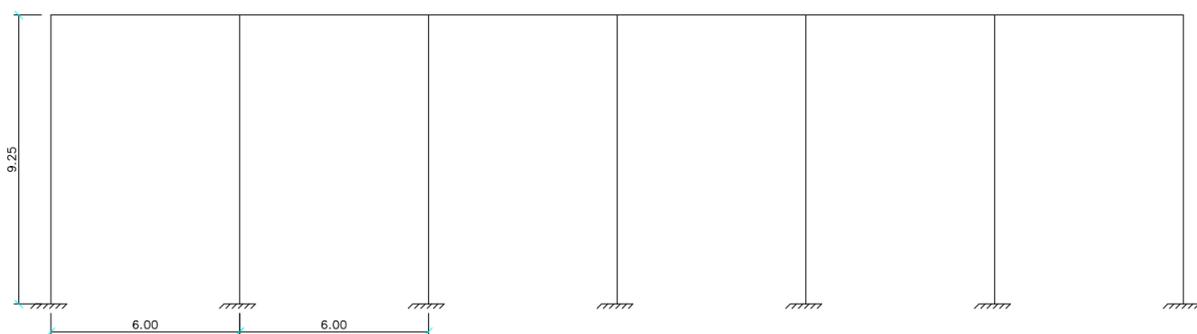


Figura 20: Croquis de los pórticos. **Fuente:** Elaboración propia

Esta cubierta consta de las mismas planchas metálicas BC90 de 0,7 mm de espesor con un peso propio de 8,48 kg/m². A esta carga se le añade 0,10 kN/m² para considerar el peso de la tornillería y otros accesorios de montaje.

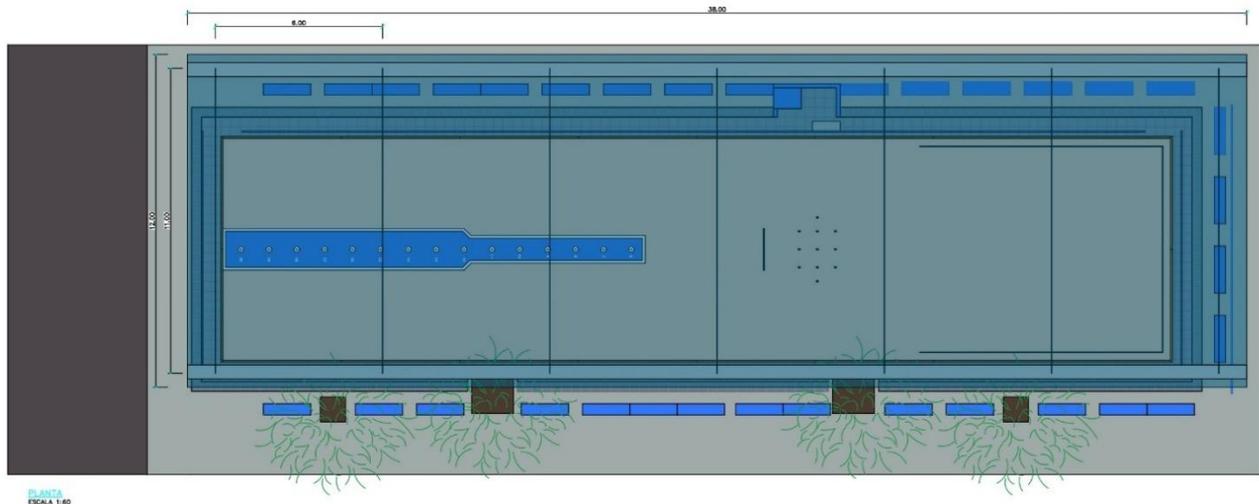


Figura 21: Vista 2D de la planta de la cubierta combinada de hormigón prefabricado y de metal. **Fuente:** Elaboración propia en AutoCAD.

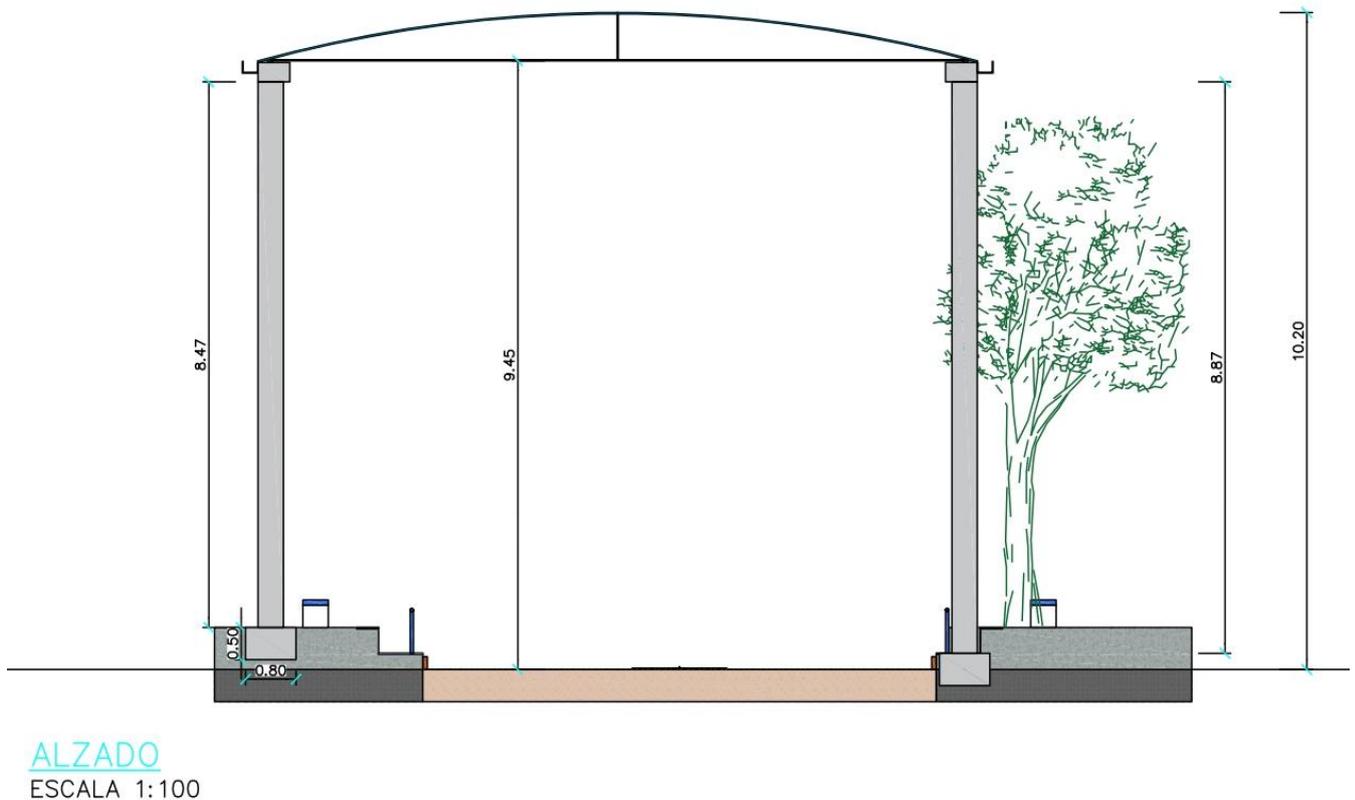


Figura 22: Vista 2D del alzado de la cubierta combinada de hormigón prefabricado y de metal. **Fuente:** Elaboración propia en AutoCAD.

2.6. ALTERNATIVA III. ESTRUCTURA DE MADERA

La estructura de esta alternativa es una cubierta a dos aguas que ocupará un área de 38 x 12 m. Consta de 7 pórticos generando un total de 6 huecos con una separación de 6 m.

Los pórticos están constituidos por dos pilares de alturas diferentes, uno de 9,25 m y otro de 8,85 m, sobre los que se disponen vigas inclinadas con una pendiente de 12°, de acuerdo con lo establecido en el “Eurocódigo 5”. Sobre estos pilares se apoya la cubierta a dos aguas cuya longitud es de 12,15 m.

Se ha decidido optar por un pórtico triangular triarticulado de madera, dado que este modelo se ajusta bien al comportamiento del material y evita la dificultad de ejecutar empotramientos perfectos en madera.

Las correas se disponen de 8 por vano distribuidas en 4 por cada faldón de la cubierta con una separación de 1,80 m entre ellas. Están formadas por vigas de sección cuadrada de 0,18 m. La unión entre el dintel y las diferentes correas será rígida mediante una unión atornillada especificada por el fabricante.

Para la cubierta se emplean placas translúcidas planas de policarbonato con un espesor de 4 mm. Para los pilares se han adoptado unas dimensiones de 0,58x0,26 m y en total se emplean 14 pilares, dos por pórtico.

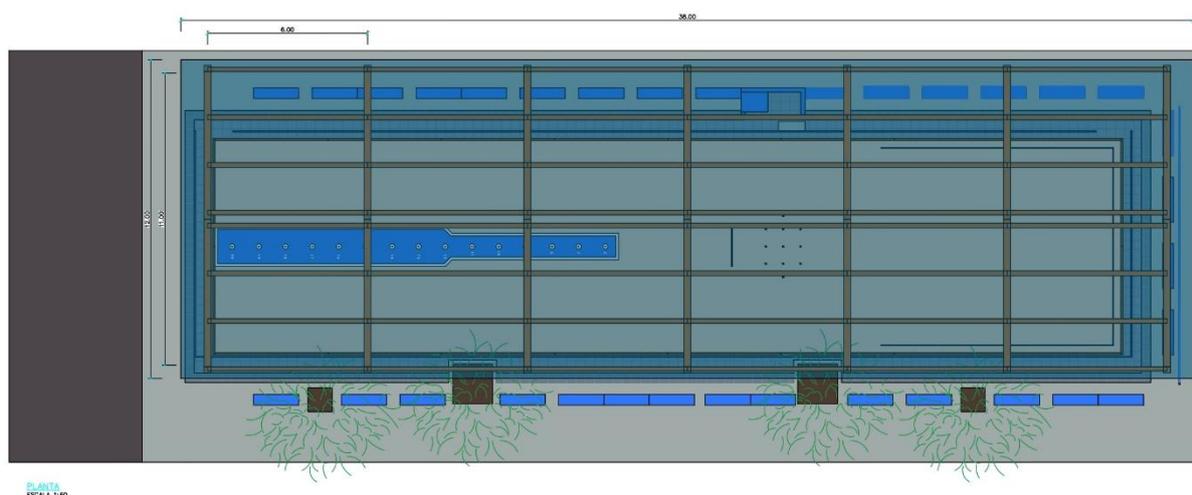
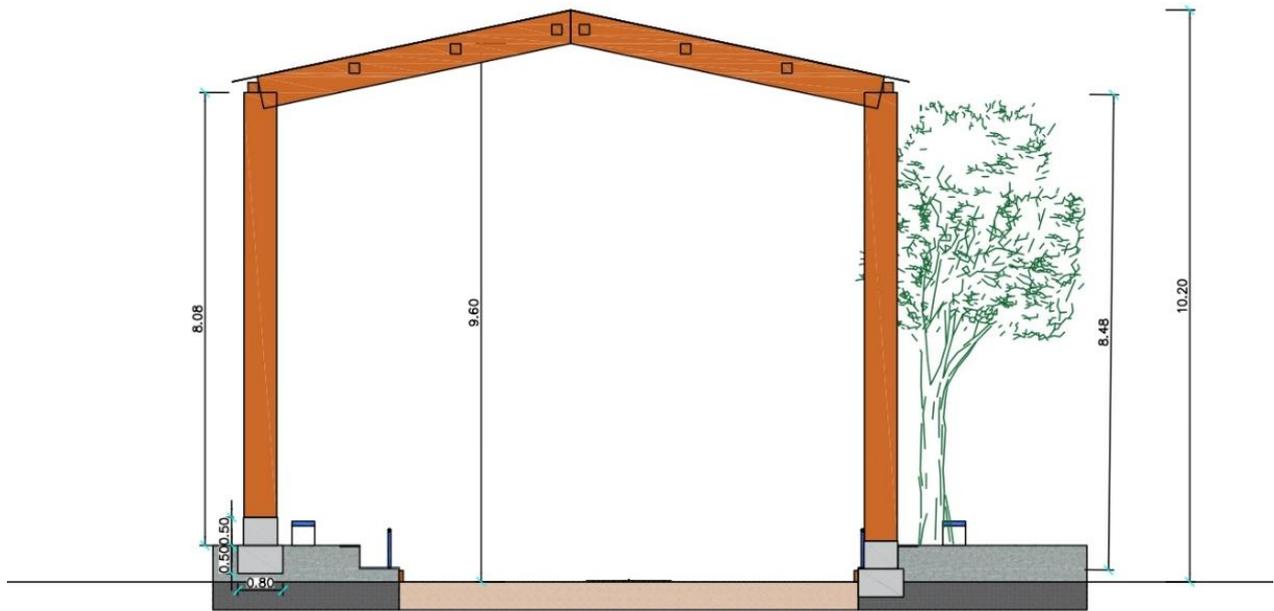


Figura 23: Vista 2D de la planta de la cubierta de madera. **Fuente:** Elaboración propia en AutoCAD.



ALZADO
ESCALA 1:100

Figura 24: Vista 2D del alzado de la cubierta de madera. Fuente: Elaboración propia en AutoCAD.

2.7. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS SOLUCIONES ESTUDIADAS

2.7.1. Introducción

En este apartado se realizará una comparativa de distintos aspectos de la estructura, con el objetivo de determinar cuál de las alternativas presentadas resulta más adecuada para la ejecución de la cubierta, considerando como criterio principal el material.

2.7.2. Análisis comparativo de los materiales

Los tres materiales más empleados en la construcción son la madera, el acero y el hormigón.

A continuación, se analizan las diferencias entre estructuras realizadas con cada uno de ellos, comparando sus propiedades y prestaciones de acuerdo con los valores establecidos en el mercado CE.

- **Madera:** material diseñado para trabajar en dirección de la fibra, ofreciendo sus mejores prestaciones en esfuerzos de flexión gracias a su buena relación resistencia – peso.

- **Hormigón:** material diseñado para trabajar frente a esfuerzos de compresión donde alcanza su mayor eficacia estructural.
- **Acero:** material que destaca por sus elevadas resistencias mecánicas a la tracción y a la compresión. Sin embargo, en trabajos de compresión puede presentar problemas de pandeo debido a su elevada esbeltez.

A partir de los distintos materiales utilizados para la construcción de las estructuras, se ha elaborado la **tabla 2** a modo de síntesis asignado a cada aspecto analizado una puntuación numérica de 1 a 10.

A cada aspecto se aplica un factor de ponderación según la relevancia de dicho aspecto en la estructura objeto de estudio.

Tabla 2: Evaluación de las características de los materiales. **Fuente:** Elaboración propia.

CARACTERÍSTICAS	ACERO	MADERA	HORMIGÓN
RESISTENCIA (15%)	10	9	10
DURABILIDAD (15%)	8	4	10
SOSTENIBILIDAD (20%)	6	9	6
IMPACTO VISUAL (10%)	5	8	3
COMPORTAMIENTO FRENTE AL FUEGO (15%)	5	6	8
TRANSPORTE Y MONTAJE (5%)	8	6	4
NORMATIVA (10%)	10	10	10
PRECIO (10%)	5	7	8
VALORACION	7,05	7,45	7,70

La **figura 25** es la representación gráfica de la tabla anterior, en la cual podemos observar que ninguno de los tres materiales ofrece una solución totalmente equilibrada para la cubierta:

- La madera presenta buenos valores en sostenibilidad e impacto visual pero su durabilidad se ve muy comprometida en entornos costeros y húmedos.
- El hormigón es más ventajoso para esfuerzos de compresión como lo pilares pero no es óptimo para esfuerzos de flexión.
- El acero destaca por su elevada resistencia y su facilidad de transporte y montaje además de ser muy eficiente en flexión adaptándose perfectamente a las cubiertas curvas.

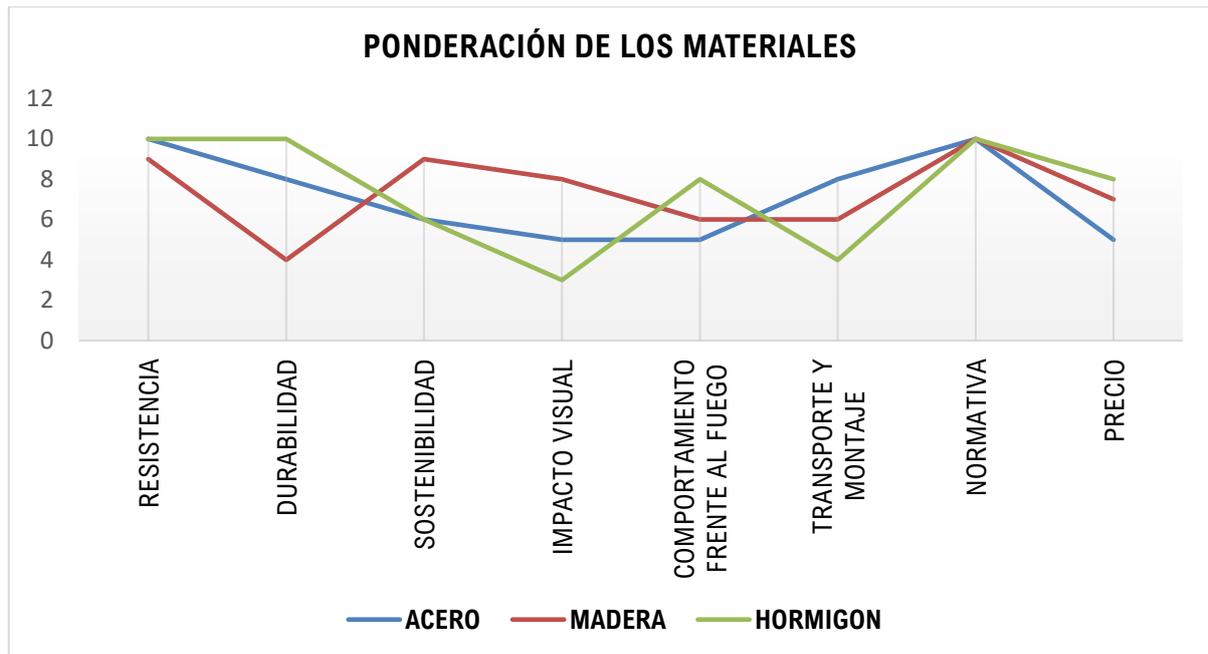


Figura 25: Evaluación de las características de los materiales. Fuente: Elaboración propia.

La siguiente tabla tiene un propósito orientativo para unos materiales en concreto. Los precios mostrados se proporcionan como referencia considerando posibles variaciones en disponibilidad, acabados, propiedades, etc.

Tabla 3: Características de los materiales. Fuente: Elaboración propia.

CARACTERÍSTICAS	ACERO S355	MADERA C24	HORMIGÓN PREFABRICADO
FLEXIÓN (N/mm ²)	355	24	-
TRACCIÓN 0° (N/mm ²)	355	14	2,0
TRACCIÓN 90° (N/mm ²)	355	0,5	-
COMPRESIÓN 0° (N/mm ²)	355	21	30
COMPRESIÓN 90° (N/mm ²)	355	2,5	-
CORTANTE (N/mm ²)	210	2,5	2,0
MÓDULO DE ELASTICIDAD MEDIO (N/mm ²)	210000	11000	32000
DENSIDAD (kg/m ³)	7850	420	2400
PRECIO (€/m ³)	8500	300 - 400	300 - 500

Nota: se considera 0° cuando el esfuerzo actúa en la misma dirección de la fibra de la madera, mientras que 90° corresponde al caso en que el esfuerzo se aplica de forma perpendicular a la fibra.

El Código Técnico de la Edificación establece un coeficiente de minoración de la resistencia para cada material. Dicho coeficiente es de 1,05 para el acero, 1,25 para la madera y 1,50 para el hormigón.

Otra variable determinante en la elección del sistema constructivo son las emisiones de CO₂ equivalente asociadas a la producción de materiales, así como el carbono almacenado en cada uno de ellos. Según datos de la EPA (Environmental Protection Agency, 2016), la madera presenta ventajas medioambientales al almacenar carbono durante su crecimiento y requerir menos emisiones en su transformación, lo que se traduce en valores netos incluso negativos.

Tabla 4: Emisiones y almacenamiento de CO₂ según material. **Fuente:** Elaboración propia.

MATERIAL	EMISIONES NETAS (kg CO ₂ / t)	ALMACENADO (kg CO ₂ / t)
MADERA	33	490
HORMIGÓN	265	0
ACERO	694	0

Sin embargo, estas ventajas se ven limitadas por su menor durabilidad, resistencia y comportamiento estructural, lo que implica mayores necesidades de mantenimiento y, en muchos casos, refuerzos adicionales con otros materiales. En cambio, el acero y el hormigón, aunque con emisiones iniciales superiores, permiten soluciones más robustas, duraderas y adaptadas a grandes luces y alturas, reduciendo significativamente la huella ambiental a lo largo de la vida útil de la estructura.

Por ello, la alternativa más equilibrada no es la madera por sí sola, sino una combinación optimizada de pilares de hormigón prefabricado y cubiertas metálicas, que ofrece un mejor compromiso entre resistencia, durabilidad, sostenibilidad y emisiones a lo largo del ciclo de vida.

2.7.3. Valoración económica

A partir de las tres alternativas planteadas se han evaluado todos los elementos estructurales considerando tanto los costes directos como los costes indirectos asociados.

En cada caso se han incorporado también los elementos auxiliares necesarios, con el fin de obtener una estimación completa y realista del presupuesto final.

2.7.3.1. Alternativa I

A continuación, se presenta un resumen general de los costes, junto con la suma total estimada para la ejecución de esta alternativa.

Tabla 5: Resumen general de los costes de la Alternativa I (Metálica). Fuente: Elaboración propia.

	MEDICIÓN	COSTE	SUBTOTAL	
EXCAVACIONES	3 m ³	30 €/m ³	79 €	0%
ENCOFRADO	14 m ²	30 €/m ²	420 €	1%
HORMIGÓN DE LIMPIEZA HM-20	0 m ³	110 €/m ³	39 €	0%
HORMIGÓN HA	2 m ³	140 €/m ³	245 €	1%
ACERO DE ARMAR	210 kg	1,5 €/kg	315 €	1%
ACERO ESTRUCTURAL	18012 kg	1,2 €/kg	21614 €	46%
CHAPA CUBIERTA	462 m ²	45 €/m ²	20777 €	45%
ACCESORIOS	-	-	2673 €	6%
REPOSICIÓN URBANIZACIÓN	4 m ²	100 €/m ²	385 €	1%
TOTAL			46546,01 €	

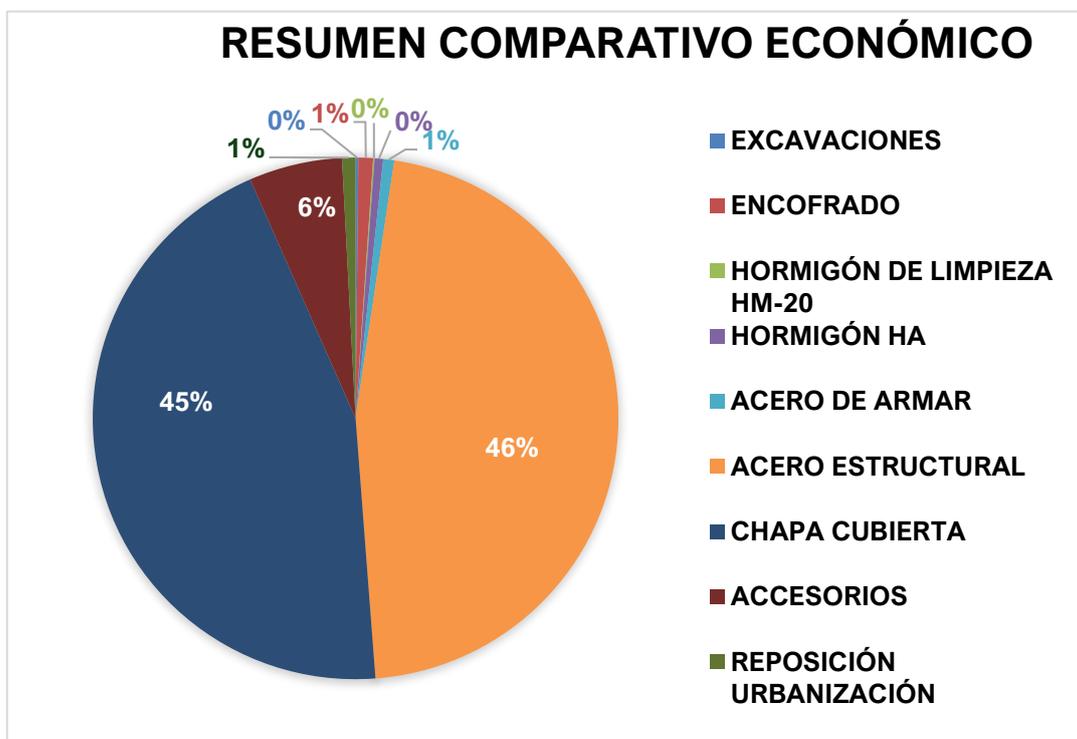


Figura 26: Distribución de los costes de la Alternativa I (Metálica). Fuente: Elaboración propia.

Para consultar los cálculos detallados, puede acudir al Anexo I.

2.7.3.2. Alternativa II

En este apartado se expone una síntesis de los costes asociados a la presente alternativa, incluyendo su importe total aproximado.

Tabla 6: Resumen general de los costes de la Alternativa II (Mixta). Fuente: Elaboración propia.

	MEDICIÓN	COSTE	SUBTOTAL	
EXCAVACIONES	7 m ³	30 €/m ³	202 €	1%
ENCOFRADO	22 m ²	30 €/m ²	672 €	2%
HORMIGÓN DE LIMPIEZA HM-20	1 m ³	110 €/m ³	99 €	0%
HORMIGÓN HA	4 m ³	140 €/m ³	627 €	2%
ACERO DE ARMAR	538 kg	1,5 €/kg	806 €	2%
HORMIGÓN PREFABRICADO	30 m ³	400 €/m ³	12063 €	31%
CHAPA CUBIERTA	462 m ²	45 €/m ²	20777 €	53%
ACCESORIOS	-	-	2673 €	7%
REPOSICIÓN URBANIZACIÓN	10 m ²	100 €/m ²	986 €	3%
TOTAL			38903,58 €	

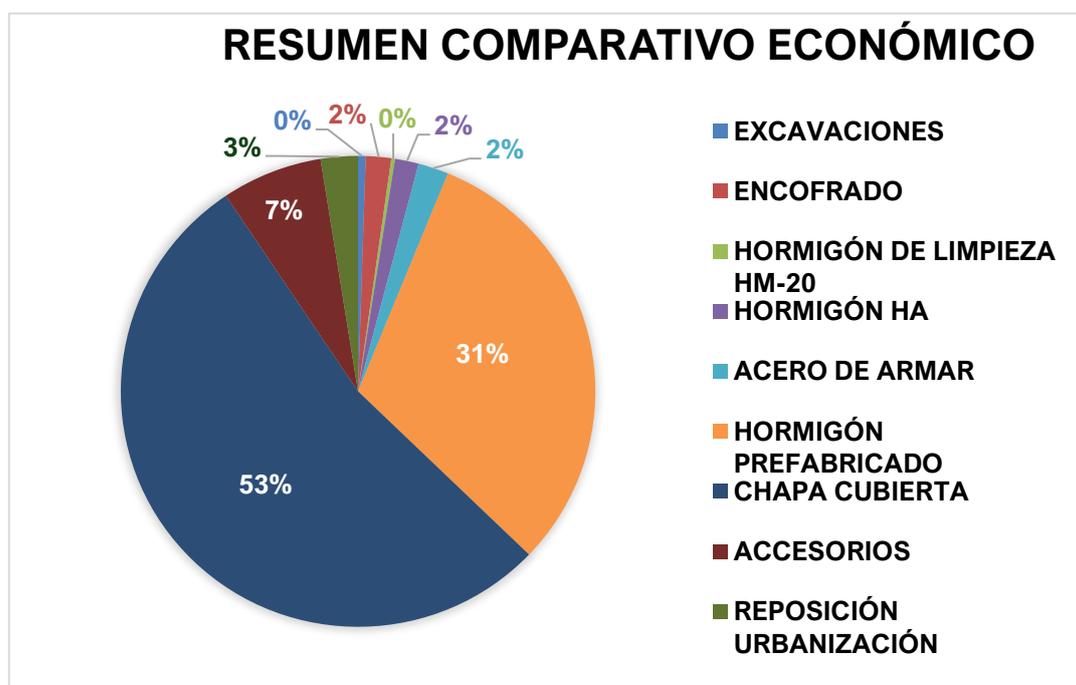


Figura 27: Distribución de los costes de la Alternativa II (Mixta). Fuente: Elaboración propia.

Los cálculos pormenorizados pueden consultarse en el Anexo II.

2.7.3.3. Alternativa III

Para la última alternativa se presenta a continuación un cuadro resumen con los costes estimados y el total aproximado requerido para su ejecución.

Tabla 7: Resumen general de los costes de la Alternativa III (Madera). **Fuente:** Elaboración propia.

	MEDICIÓN	COSTE	SUBTOTAL	
EXCAVACIONES	7 m ³	30 €/m ³	202 €	0%
ENCOFRADO	39 m ²	30 €/m ²	1176 €	3%
HORMIGÓN DE LIMPIEZA HM-20	1 m ³	110 €/m ³	99 €	0%
HORMIGÓN HA	7 m ³	140 €/m ³	980 €	2%
ACERO DE ARMAR	840 kg	1,5 €/kg	1260 €	3%
MADERA LAMINADA	483 m	50 €/m	24131 €	57%
CHAPA CUBIERTA	462 m ²	25 €/m ²	11685 €	28%
ACCESORIOS	-	-	1826 €	4%
REPOSICIÓN URBANIZACIÓN	10 m ²	100 €/m ²	986 €	2%
TOTAL			42343,76 €	

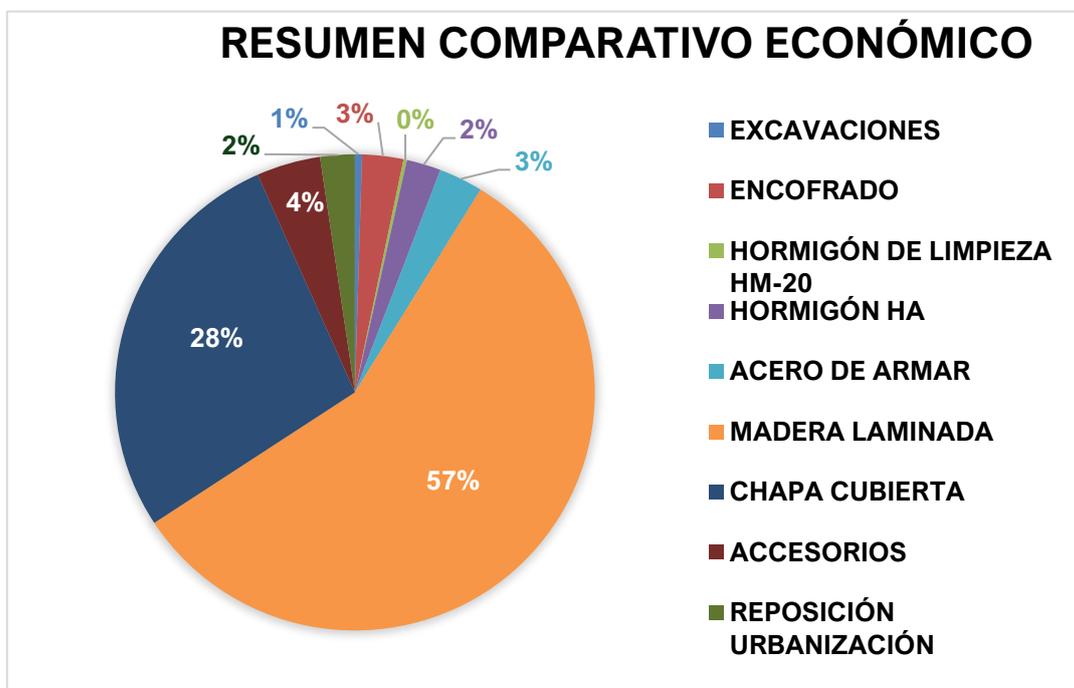


Figura 28: Distribución de los costes de la Alternativa III (Madera). **Fuente:** Elaboración propia.

Los cálculos específicos y detallados se encuentran desarrollados en el Anexo III.

2.8. JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

Tras el análisis comparativo de los materiales se concluye que ninguno de ellos por sí solo ofrece una solución equilibrada para la cubierta de las boleras debido a que cada una presenta ventajas destacables como limitaciones que condicionan su idoneidad. Ante estas limitaciones la solución mixta de pilares de hormigón y cubierta metálica se presenta como la alternativa más equilibrada y ventajosa debido a que:

- Optimiza el comportamiento estructural debido a que el hormigón resiste los esfuerzos de compresión en los pilares y la cubierta de acero resiste altamente a la tracción y flexibilidad.
- Aumenta la durabilidad y robustez de la estructura adaptándose mejor a las condiciones de un entorno costero donde se presenta una agresividad ambiental.
- Ofrece una relación coste – beneficio más favorable al reducir la necesidad de sobredimensionamientos o refuerzos adicionales que serían necesarios si se utilizara un único material.
- Disminuye el impacto ambiental global en comparación con el uso exclusivo de acero, gracias a que parte de la estructura se resuelve con hormigón, lo que permite un mejor equilibrio en emisiones a lo largo del ciclo de vida.

Tras el análisis económico de las distintas opciones de cubierta se concluye que la alternativa II (mixta de hormigón en pilares y zapatas combinada con cubierta autoportante metálica) es la más rentable, con un coste de 38.903,58 €, frente a 46.546,01 € de la alternativa I (metálica) y 42.343,76 € de la alternativa III (madera).

Esta configuración aprovecha la resistencia y estabilidad del hormigón para la estructura vertical junto con la ligereza y rapidez de montaje de la cubierta metálica ofreciendo un equilibrio óptimo entre coste, durabilidad y eficiencia constructiva sin comprometer la funcionalidad de la instalación.

Tras evaluar toda la información disponible se ha determinado que la alternativa más adecuada es la II, una solución mixta de acero y hormigón. Esta opción proporciona una estructura más eficiente, económica y duradera, especialmente adaptada al entorno costero de la zona estudiada, y mejora la valoración global en comparación con el uso de cualquiera de los materiales de forma individual.

Tabla 8: Dimensiones exactas de la Bolera de La Marga. Fuente: Elaboración propia.

ELEMENTO	DIMENSIÓN (m)
Ancho bolera	8,00
Largo bolera	34,00
Largo campo de tiro	20,65
Largo campo de birle	12,00
Largo y ancho de la caja	1,35
Ancho placa de tiro grande	1,50
Ancho placa de tiro pequeño	1,00
Distancia del último tiro a tablón del fondo	0,65
Distancia entre tiros	1,00
Ancho mínimo a cubrir	10,24
Ancho máximo a cubrir	11,09
Largo mínimo a cubrir	36,24
Largo máximo a cubrir	37,34

3.2. LOCALIZACIÓN

La bolera de La Marga se sitúa dentro del parque de La Marga, en el barrio de Castilla – Hermida al sur de Santander. El acceso principal es a través de la Calle Castilla, una vía urbana de un único sentido que conecta con vías principales de la ciudad facilitando la llegada de vehículos de servicio y transporte de materiales.

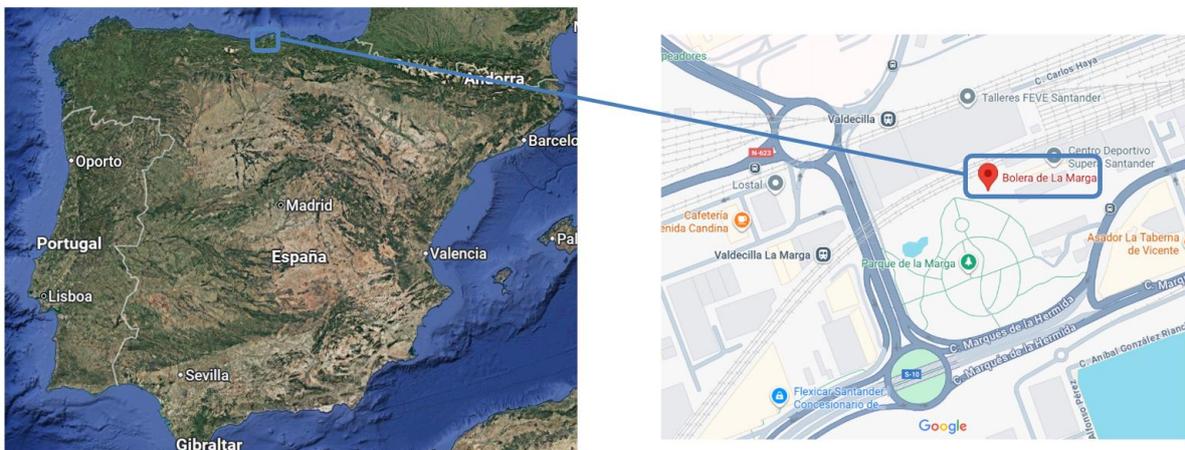


Figura 30: Localización y emplazamiento de la Bolera de La Marga. Fuente: Google Maps.

La cercanía a la red viaria principal y la existencia de áreas de estacionamiento en las instalaciones garantizan unas condiciones logísticas favorables para la ejecución de la obra de cubrición sin interferir de forma significativa en el funcionamiento del entorno deportivo.

En la siguiente figura se muestra la disposición y ocupación de la parcela, además de las estructuras colindantes:



Figura 31: Vista satélite 2D y 3D de la parcela de la Bolera de La Marga. Fuente: Google Earth.

El tamaño total de la parcela es de 1141 m², la superficie construida es de 399 m² y la zona que cubriremos es la que está sombreada en blanco que tiene un tamaño de 456 m², de 38 x 12 m.

Tomando como referencia la disposición de la Bolera de La Marga representada en la figura 17, se presentan a continuación las coordenadas correspondientes a sus cuatro esquinas:

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Esquina superior izquierda: <ul style="list-style-type: none"> - Latitud: 43°27'12"N. - Longitud: 3°49'35"W. • Esquina superior derecha: <ul style="list-style-type: none"> - Latitud: 43°27'12"N. - Longitud: 3°49'35"W. | <ul style="list-style-type: none"> • Esquina inferior izquierda: <ul style="list-style-type: none"> - Latitud: 43°27'12"N. - Longitud: 3°49'34"W. • Esquina inferior derecha: <ul style="list-style-type: none"> - Latitud: 43°27'12"N. - Longitud: 3°49'34"W. |
|--|--|

3.3. ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO

La topografía de la parcela de la Bolera de La Marga es uniforme en su totalidad como podemos observar en la figura 32, por lo que no será necesario realizar labores de desbroce. No obstante, resulta necesario demoler el hormigón existente en el perímetro de la bolera, así

como ejecutar la excavación del terreno en las zonas destinadas a las zapatas de apoyo de los pilares de la cubierta.



Figura 32: Vista aérea de la parcela de la Bolera de La Marga. **Fuente:** Sede electrónica del catastro.

El sustrato destinado a la cimentación de la estructura es un terreno ganado al mar, rellenos y áreas remodeladas por el hombre.



Figura 33: Extracto del Mapa Geológico de España, Hoja 35-1 Santander, (original a escala 1:25.000) con la situación de la zona estudiada. **Fuente:** Instituto geológico y minero de España.

De acuerdo con la normativa descrita y lo mencionado en el apartado 3.3.3.1 se concluye que no será necesario considerar acciones sísmicas de ningún tipo para el diseño y construcción de la estructura.

3.4. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El alcance de este proyecto es dotar a la Bolera de La Marga de un servicio del que no dispone actualmente: su cubrición. Considerando la coyuntura económica actual, se plantea un diseño optimizado que minimice los costes sin dejar de cumplir en todo momento las condiciones establecidas por la normativa recogida en el capítulo 1.

En el capítulo 2 se presentan tres alternativas constructivas para la cubrición de la Bolera de La Marga diferenciadas por el tipo de estructura empleada: metálica, de hormigón prefabricado y de madera. Tras realizar un análisis comparativo entre ellas, se determinará cuál resulta más adecuada para la instalación.

En todo proceso de construcción es esencial mantener siempre presente la zona de trabajo. A pesar de que la mayor parte del trabajo a realizar son los cálculos y los análisis técnicos, el trabajo de campo aporta una información imprescindible para un ingeniero. En la **figura 31** se aprecia con mayor detalle el tipo de terreno sobre el que se va a trabajar permitiendo comprender mejor las condiciones reales del emplazamiento.

3.5. DIMENSIONAMIENTO Y CÁLCULO ESTRUCTURAL

En este apartado se desarrolla el dimensionamiento y cálculo estructural de la Alternativa II seleccionada como la solución más adecuada para la cubrición de la Bolera de La Marga.

El análisis se realiza utilizando los datos reales aplicando los criterios de diseño estructural que consideran las cargas permanentes, variables y ambientales pertinentes. Este procedimiento permite verificar la seguridad, estabilidad y funcionalidad de la estructura, así como su viabilidad técnica dentro del contexto específico del proyecto.

3.5.1. Cálculos de cargas

Se han estimado las cargas que actuarán sobre la estructura de la cubierta de la Alternativa II, siguiendo los criterios del Documento Básico de Seguridad Estructural - Acciones en la edificación (DB SE-AE), que clasifica las acciones según su variación temporal:

- **Acciones permanentes (G):** cargas que actúan de manera constante sobre la edificación, como el peso propio de los elementos constructivos o los empujes del terreno. Pueden incluir también acciones reológicas o de pretensado, cuya variación es despreciable o progresiva hasta un valor límite.
- **Acciones variables (Q):** cargas que pueden presentarse de manera intermitente, como las derivadas del uso de la instalación o las condiciones climáticas.
- **Acciones accidentales (A):** cargas de baja probabilidad de ocurrencia, pero gran importancia, como sismos, incendios, impactos o explosiones.

Este análisis permite definir con precisión las solicitaciones a las que estará sometida la cubierta sirviendo de base para el posterior dimensionamiento estructural.

3.5.1.1. Cargas permanentes (G)

Las cargas permanentes que se han tenido en cuenta son:

- **Peso propio (Dead):** se considera únicamente el peso de los elementos estructurales. No es necesario incluirlo manualmente en la estimación de acciones, ya que programas de cálculo estructural como SAP2000 lo asignan automáticamente al definir los materiales y secciones correspondientes. No se requiere la introducción de cargas adicionales.
- **Carga Muerta Permanente (CMP):** corresponde al peso de los elementos permanentes no estructurales, como la cubierta, la tornillería y otros accesorios de montaje. Estos valores pueden obtenerse tanto del Anejo C del DB SE-AE como de catálogos comerciales.

En el caso de la Bolera de La Marga, la cubierta corresponde a una cubierta Blocotelha autoportante en arco de geometría trapezoidal tipo BC 90, con un espesor de 0,70 mm.

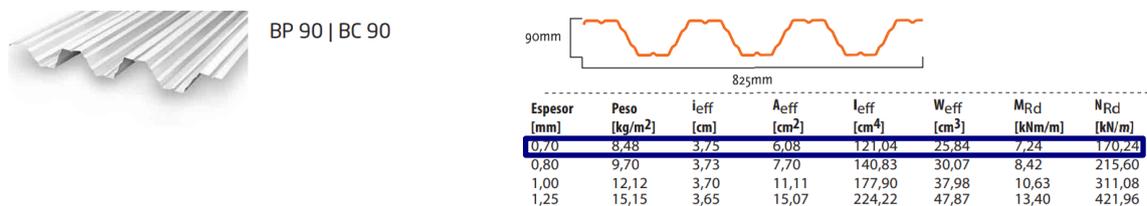


Figura 34: Perfil BC90 aplicado a la cubierta autoportante. Fuente: Prontuario Blocotelha.

$$q_{\text{cubierta}} = 0,0848 \text{ kN/m}^2.$$

$$q_{\text{tornillería}} = 0,10 \text{ kN/m}^2.$$

3.5.1.2. Cargas variables (Q)

Las cargas variables que se han tenido en cuenta son la sobrecarga de uso (SCU) y la sobrecarga de viento (SCV).

- **Sobrecarga de uso (SCU):** es el peso de todo lo que puede gravitar sobre el edificio por razón de su uso.
 - El valor de la sobrecarga de uso se determina a partir de la figura 9 del DB SE-AE.

Dado que la cubierta de la bolera presenta una inclinación inferior a 20°, se enmarca en la subcategoría de uso G1 por lo que se aplica una carga de 1 kN/m².

- **Sobrecarga de viento (SCV):** la acción del viento se considera, en términos generales, como una fuerza perpendicular a la superficie en cada punto expuesto, equivalente a una presión estática siendo en este caso de 0,527 kN/m².

El coeficiente de exposición (**C_e**) para alturas sobre el terreno, z, no mayores de 200 m, se determina con la expresión:

$$C_e = F * (F + 7k) = 0,22 * (0,75 + 7 * 0,22) = 1,68.$$

$$F = k - \ln(\max(zZ)/L) = 0,22 * (\ln(9,55 / 0,3)) = 0,75.$$

Siendo k, L, Z parámetros característicos de cada tipo de entorno según la **figura 35**. Se considera un **grado de aspereza IV** puesto que la construcción se encuentra en el interior de un parque de Santander.

- La altura de referencia del edificio es de 9,55 metros respecto a la rasante.

Grado de aspereza del entorno	Parámetro		
	k	L (m)	Z (m)
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	0,156	0,003	1,0
II Terreno rural llano sin obstáculos ni arbolado de importancia	0,17	0,01	1,0
III Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas	0,19	0,05	2,0
IV Zona urbana en general, industrial o forestal	0,22	0,3	5,0
V Centro de negocios de grandes ciudades, con profusión de edificios en altura	0,24	1,0	10,0

Figura 35: Coeficientes para tipo de entorno. Fuente: DBSE-AE.

El valor del **coeficiente eólico o de presión, c_p** , se obtiene de diferentes formas según si la construcción son edificios de pisos o naves y construcciones diáfanas. En este estudio nos encontramos con un espacio diáfano bajo la cubierta.

La bolera cubierta se considera una construcción diáfana con dimensiones de 12,00 x 38,00 metros, tratándose como una marquesina a dos aguas con una pendiente de cubierta de 7,5°.

Para determinar los coeficientes de presión exterior (C_{pe}), se ha recurrido al Anejo D del DB SE-AE, específicamente a la **figura 36**, que corresponde a cubiertas planas. Los valores de estos coeficientes se diferencian por zonas según la geometría rectangular del edificio.

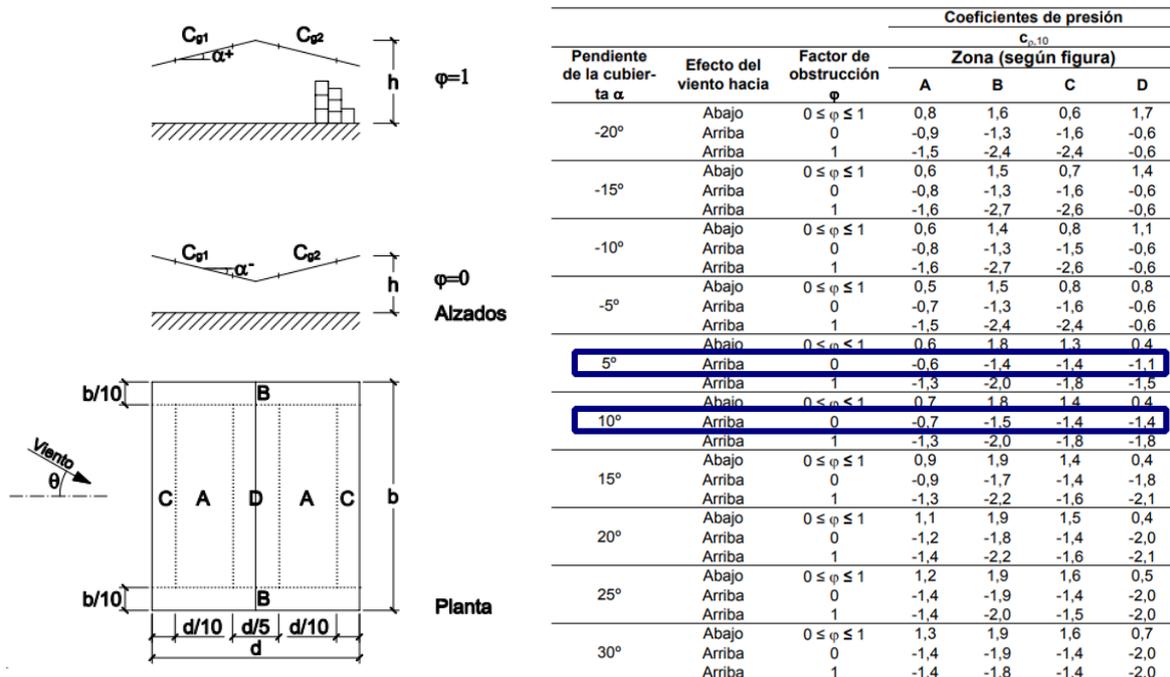


Figura 36: Valores de C_{pe} para marquesinas a dos aguas y su esquema representativo. **Fuente:** DB SE-AE.

Para el ángulo de la cubierta (7,5°) se interpola entre el caso de ángulo 5° y el caso de ángulo 10°, se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 9: Valores de α interpolados para el ángulo de la cubierta (7,5°). **Fuente:** Elaboración propia.

α	A	B	C	D
7,5°	-0,65	-1,45	-1,40	-1,25

La fórmula a aplicar es: $C_e = q_b * C_e * C_{pe}$

- **ZONA A** → $q_e = 0,527 \cdot 1,68 \cdot -0,65 = - 0,574 \text{ kN/m}^2$
- **ZONA B** → $q_e = 0,527 \cdot 1,68 \cdot -1,45 = - 1,280 \text{ kN/m}^2$
- **ZONA C** → $q_e = 0,527 \cdot 1,68 \cdot -1,40 = -1,236 \text{ kN/m}^2$
- **ZONA D** → $q_e = 0,527 \cdot 1,68 \cdot -1,25 = -1,105 \text{ kN/m}^2$

Para determinar el coeficiente de presión exterior, c_{pe} , a aplicar en el modelo de SAP2000 se realiza una media ponderada, esto es el resultado de la superficie relativa de cada zona.

$$c_{pe, \text{ promedio}} = -414.221 / 456 = - 0,91$$

$$q_e = 0,527 \cdot 1,68 \cdot - 0,91 = - 0,801 \text{ kN/m}^2$$

Para consultar los cálculos detallados véase el Anexo IV.

- **Sobrecarga de nieve (SCN):** de acuerdo con el apartado 3.5.1 del DB SE-AE, relativo a la determinación de la carga de nieve, el valor de la carga de nieve por unidad de superficie en proyección horizontal (q_n) puede adoptarse como:

$$q_p = \mu * S_k$$

Según el apartado 3.5.2 del DB SE-AE, relativo a la carga de nieve sobre un terreno horizontal, el valor de la sobrecarga de nieve (S_k) para capitales de provincia y ciudades autónomas puede obtenerse de **figura 37**.

- En el caso del edificio de estudio, ubicado en Santander, se adopta $S_k = 0,3 \text{ kN/m}^2$.

Capital	Altitud m	S_k kN/m ²	Capital	Altitud m	S_k kN/m ²	Capital	Altitud m	S_k kN/m ²
Albacete	690	0,6	Guadalajara	680	0,6	Pontevedra	0	0,3
Alicante / Alacant	0	0,2	Huelva	0	0,2	Salamanca	780	0,5
Almería	0	0,2	Huesca	470	0,7	SanSebas-	0	0,3
Ávila	1.130	1,0	Jaén	570	0,4	tián/Donostia	0	0,3
Badajoz	180	0,2	León	820	0,4	Santander	1.000	0,3
Barcelona	0	0,4	Lérida / Lleida	150	1,2	Segovia	10	0,7
Bilbao / Bilbo	0	0,4	Logroño	380	0,5	Sevilla	1.090	0,2
Burgos	860	0,3	Lugo	470	0,6	Soria	0	0,9
Cáceres	440	0,6	Madrid	660	0,7	Tarragona	0	0,4
Cádiz	0	0,4	Málaga	0	0,6	Tenerife	950	0,2
Cádiz	0	0,2	Murcia	40	0,2	Teruel	550	0,9
Castellón	0	0,2	Murcia	40	0,2	Toledo	0	0,5
Ciudad Real	640	0,2	Orense / Ourense	130	0,2	Toledo	0	0,5
Córdoba	100	0,6	Oviedo	230	0,4	Valencia/València	690	0,2
Coruña / A Coruña	0	0,2	Palencia	740	0,5	Valladolid	520	0,4
Cuenca	1.010	0,3	Palma de Mallorca	0	0,4	Vitoria / Gasteiz	650	0,7
Gerona / Girona	70	1,0	Palmas, Las	0	0,2	Zamora	210	0,4
Granada	690	0,4	Pamplona/Iruña	450	0,2	Zaragoza	0	0,5
		0,5			0,7	Ceuta y Melilla		0,2

Figura 37: Sobrecarga de nieve en capitales de provincia y ciudades autónomas. Fuente: DB SE-AE.

Para determinar el coeficiente de forma de cada uno de ellos se aplican las siguientes reglas:

- En un faldón limitado inferiormente por cornisas o limatesas, y sin obstáculos que impidan el deslizamiento de la nieve, el coeficiente de forma se toma igual a 1 para cubiertas con una inclinación menor o igual a 30°.

Dado que la cubierta de la bolera es curva y no transitable, se adopta $\mu = 1$. Por lo tanto, la carga de nieve por unidad de superficie en proyección horizontal se calcula como:

$$q_p = \mu * S_k = 0,3 * 1 = 0,3 \text{ kN/m}^2$$

3.5.1.3. Cargas accidentales (A)

La carga accidental que se ha tenido en cuenta el sismo (SIS).

De acuerdo con la norma sismorresistente NC SE-02, su aplicación no es obligatoria en edificaciones de importancia normal o especial cuando la aceleración sísmica básica (a_b) sea inferior a 0,04 g, siendo g la aceleración de la gravedad. Dado que Cantabria, la comunidad autónoma donde se ubica el edificio objeto de estudio, presenta una aceleración sísmica $a_b < 0,04g$, se considera que la zona se encuentra fuera de riesgo sísmico.

A continuación, se presenta la **tabla 10** que resume las cargas que se aplicarán sobre el modelo.

Tabla 10: Resumen de las cargas que se aplican sobre la cubierta autoportante. **Fuente:** Elaboración propia.

CARGAS PERMANENTES (G)		CARGAS VARIABLES (Q)			
CARGAS MUERTAS PERMANENTES		SOBRECARGA DE USO		SOBRECARGA DE NIEVE	
Cubierta bolera	0,0848 kN/m ²	Cubierta bolera	1,00 kN/m ²	Cubiertas planas	0,30 kN/m ²
Cubierta tornillería y accesorios de montaje	0,10 kN/m ²	SOBRECARGA DE VIENTO			
		Cubierta pista deportiva	- 0,801 kN/m ²		

3.5.2. Combinación de acciones

Las combinaciones se componen de hipótesis de carga y de coeficientes de ponderación.

Se distinguen dos tipos de combinaciones de acciones: para estados límite últimos (ELU) y para estados límite de servicio (ELS). Los ELU corresponden a situaciones en las que, si se sobrepasan, la estructura puede colapsar, representando un riesgo extremo.

Por su parte, los ELS son aquellos que, al ser rebasados, provocan pérdida de funcionalidad o deterioro de la estructura; estos daños son reparables y no comprometen la integridad estructural inmediata.

En los cálculos se consideran también los coeficientes de simultaneidad ψ , que permiten reducir las cargas aplicadas al tener en cuenta la baja probabilidad de que los valores máximos de varias acciones ocurran simultáneamente:

- Ψ_0 : valor de combinación: considera la baja probabilidad de que dos acciones máximas actúen al mismo tiempo.
- Ψ_1 : valor frecuente: corresponde a la magnitud de la acción que puede ser sobrepasada durante períodos cortos de tiempo.
- Ψ_2 : valor cuasi permanente: representa la fracción de la carga que se considera constante o prácticamente permanente en la estructura.

Tipo de verificación ⁽¹⁾	Tipo de acción	Situación persistente o transitoria	
		desfavorable	favorable
Resistencia	Permanente		
	Peso propio, peso del terreno	1,35	0,80
	Empuje del terreno	1,35	0,70
	Presión del agua	1,20	0,90
	Variable	1,50	0
Estabilidad		desestabilizadora	estabilizadora
	Permanente		
	Peso propio, peso del terreno	1,10	0,90
	Empuje del terreno	1,35	0,80
	Presión del agua	1,05	0,95
	Variable	1,50	0

⁽¹⁾ Los coeficientes correspondientes a la verificación de la resistencia del terreno se establecen en el DB-SE-C

Figura 38: Coeficientes parciales de seguridad (γ) para las acciones. Fuente: DB-SE-C.

	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Sobrecarga superficial de uso (Categorías según DB-SE-AE)			
• Zonas residenciales (Categoría A)	0,7	0,5	0,3
• Zonas administrativas (Categoría B)	0,7	0,5	0,3
• Zonas destinadas al público (Categoría C)	0,7	0,7	0,6
• Zonas comerciales (Categoría D)	0,7	0,7	0,6
• Zonas de tráfico y de aparcamiento de vehículos ligeros con un peso total inferior a 30 kN (Categoría E)	0,7	0,7	0,6
• Cubiertas transitables (Categoría F)		(1)	
• Cubiertas accesibles únicamente para mantenimiento (Categoría G)	0	0	0
Nieve			
• para altitudes > 1000 m	0,7	0,5	0,2
• para altitudes ≤ 1000 m	0,5	0,2	0
Viento	0,6	0,5	0
Temperatura	0,6	0,5	0
Acciones variables del terreno	0,7	0,7	0,7

(1) En las cubiertas transitables, se adoptarán los valores correspondientes al uso desde el que se accede.

Figura 39: Coeficientes de simultaneidad (Ψ). Fuente: DB-SE-C.

3.5.2.1. Combinaciones ELU

$$\begin{aligned}
 \text{ELU p} &= 1.35 \times G \\
 \text{ELU u} &= 1.35 \times G + 1.5 \times \text{SCU} \\
 \text{ELU n} &= 1.35 \times G + 1.5 \times \text{SCN} \\
 \text{ELU vx+} &= 1.35 \times G + 1.5 \times \text{SCVx} \\
 \text{ELU vx-} &= 1.35 \times G - 1.5 \times \text{SCVx} \\
 \text{ELU vy+} &= 1.35 \times G + 1.5 \times \text{SCVy} \\
 \text{ELU vy-} &= 1.35 \times G - 1.5 \times \text{SCVy} \\
 \text{ELU unvx+} &= 1.35 \times G + 1.5 \times \text{SCU} + 1.5 \times 0.5 \times \text{SCN} + 1.5 \times 0.6 \times \text{SCVx} \\
 \text{ELU unvx-} &= 1.35 \times G + 1.5 \times \text{SCU} + 1.5 \times 0.5 \times \text{SCN} - 1.5 \times 0.6 \times \text{SCVx} \\
 \text{ELU unvy+} &= 1.35 \times G + 1.5 \times \text{SCU} + 1.5 \times 0.5 \times \text{SCN} + 1.5 \times 0.6 \times \text{SCVy} \\
 \text{ELU unvy-} &= 1.35 \times G + 1.5 \times \text{SCU} + 1.5 \times 0.5 \times \text{SCN} - 1.5 \times 0.6 \times \text{SCVy} \\
 \text{ELU nuvx+} &= 1.35 \times G + 1.5 \times \text{SCN} + 1.5 \times 0 \times \text{SCU} + 1.5 \times 0.6 \times \text{SCVx} \\
 \text{ELU nuvx-} &= 1.35 \times G + 1.5 \times \text{SCN} + 1.5 \times 0 \times \text{SCU} - 1.5 \times 0.6 \times \text{SCVx} \\
 \text{ELU nuvy+} &= 1.35 \times G + 1.5 \times \text{SCN} + 1.5 \times 0 \times \text{SCU} + 1.5 \times 0.6 \times \text{SCVy} \\
 \text{ELU nuvy-} &= 1.35 \times G + 1.5 \times \text{SCN} + 1.5 \times 0 \times \text{SCU} - 1.5 \times 0.6 \times \text{SCVy}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ELU } vx+un &= 1.35 \times G + 1.5 \times SCVx + 1.5 \times 0 \times SCU + 1.5 \times 0.5 \times SCN \\ \text{ELU } vx-un &= 1.35 \times G - 1.5 \times SCVx + 1.5 \times 0 \times SCU + 1.5 \times 0.5 \times SCN \\ \text{ELU } vy+un &= 1.35 \times G + 1.5 \times SCVy + 1.5 \times 0 \times SCU + 1.5 \times 0.5 \times SCN \\ \text{ELU } vy-un &= 1.35 \times G - 1.5 \times SCVy + 1.5 \times 0 \times SCU + 1.5 \times 0.5 \times SCN \end{aligned}$$

3.5.2.2. Combinaciones ELS

$$\begin{aligned} \text{ELS } u &= 1 \times G + 1 \times SCU \\ \text{ELS } vx+ &= 1 \times G + 1 \times SCVx \\ \text{ELS } vx- &= 1 \times G - 1 \times SCVx \\ \text{ELS } vy+ &= 1 \times G + 1 \times SCVy \\ \text{ELS } vy- &= 1 \times G - 1 \times SCVy \\ \text{ELS } n &= 1 \times G + 1 \times SCN \end{aligned}$$

3.5.2.3. Inserción de combinaciones

Se establecen las distintas hipótesis de carga:

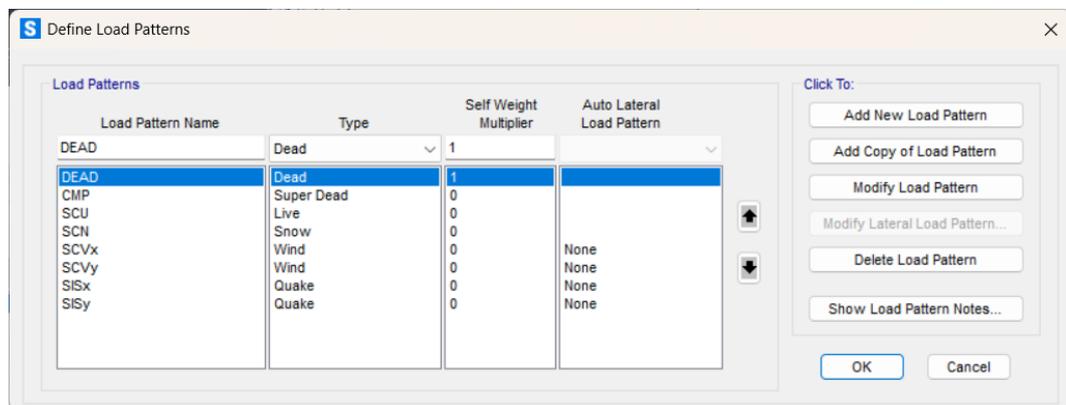


Figura 40: Definición de cargas. Fuente: SAP 2000.

Con el fin de definir a continuación las **combinaciones de acciones** para el cálculo lineal de la estructura:

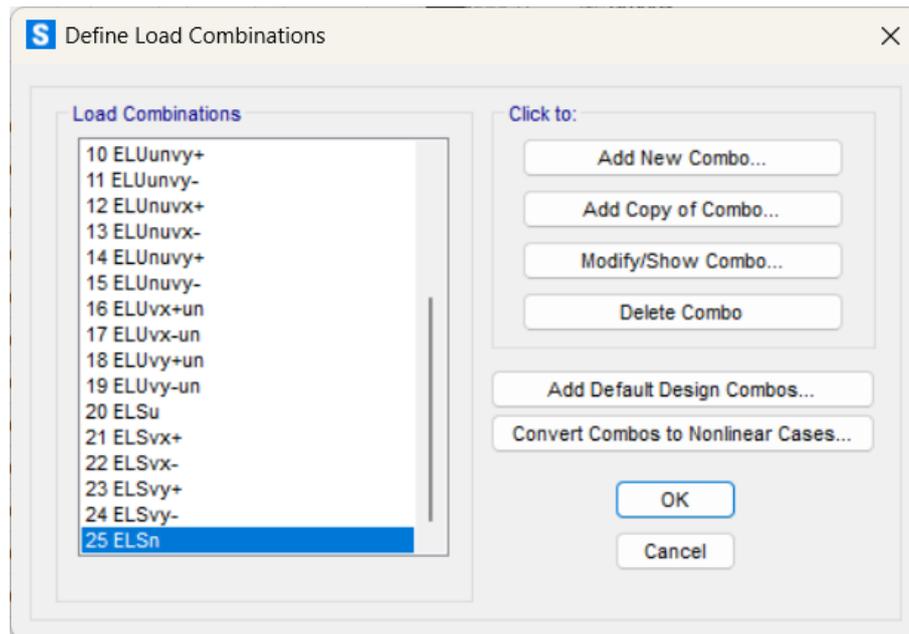


Figura 41: Combinación de cargas. Fuente: SAP 2000.

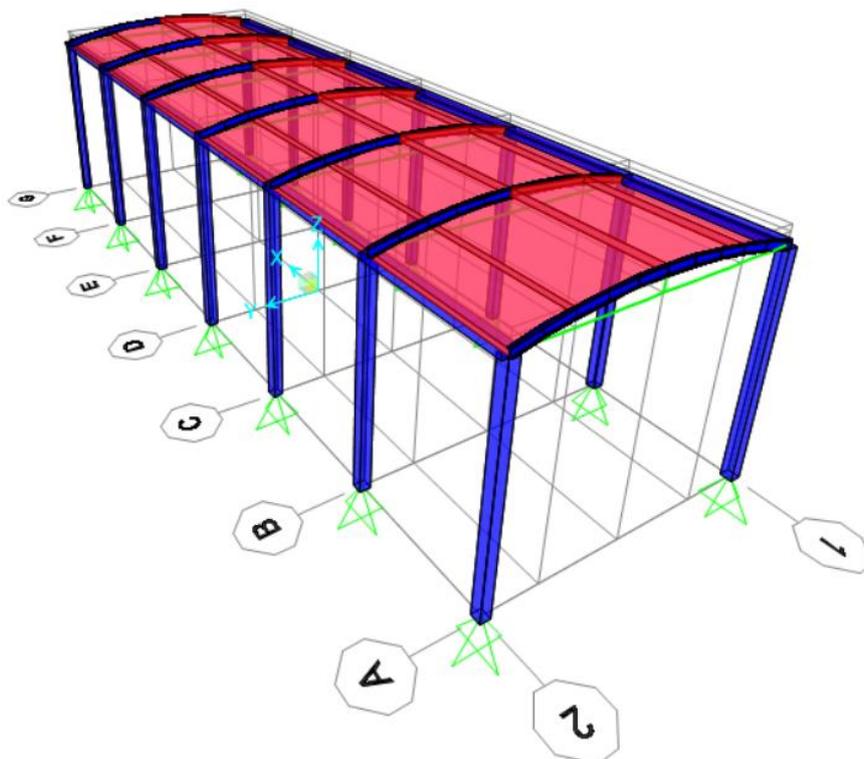


Figura 42: Modelo 3D de la cubierta. Fuente: SAP 2000.

3.5.2.4. Resultados de deformación

De acuerdo con el Documento Básico de Seguridad Estructural, se considera que la estructura horizontal de un piso o cubierta posee rigidez suficiente si, en cualquiera de sus elementos, la flecha relativa no supera $1/300$ de la luz.

$$F = \frac{L}{300} = \frac{12}{300} = 0,04 \text{ m} > 0,0082 \text{ m}$$

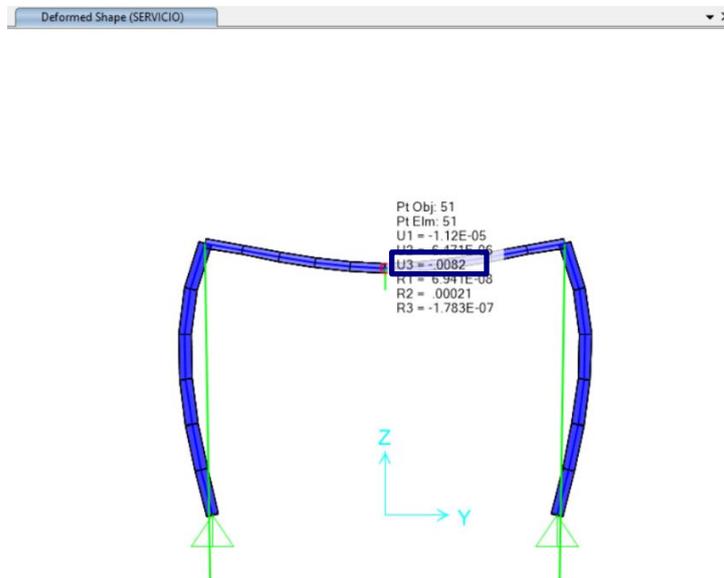


Figura 43: Deformación del modelo. Fuente: SAP 2000.

3.5.2.5. Resultados de desplazamientos horizontales

De acuerdo con el Documento Básico de Seguridad Estructural, se considera que la estructura global posee rigidez lateral suficiente si, bajo cualquier combinación característica de acciones, el desplazamiento lateral no supera 1/500 de la altura total del edificio.

$$F = \frac{L}{500} = \frac{9,55}{500} = 0,0191 \text{ m} < 0,0771 \text{ m}$$

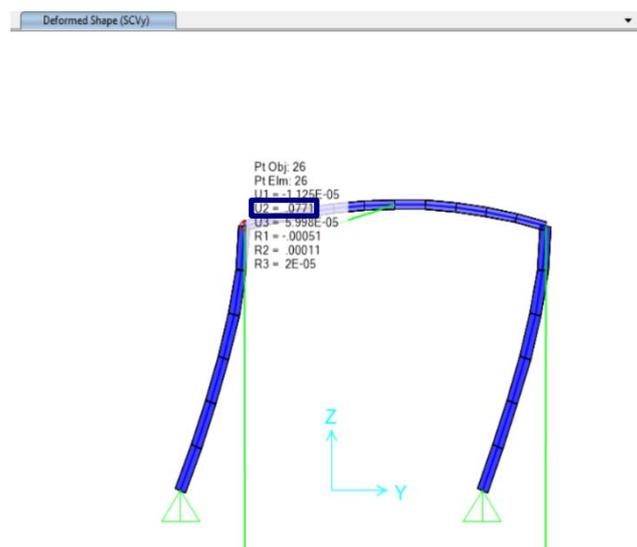


Figura 44: Desplazamientos horizontales del modelo. Fuente: SAP 2000.

En el análisis realizado se obtuvo un desplazamiento máximo de 0,771 m para una altura total de 9,55 m, lo que excede ampliamente el límite establecido por la normativa vigente (CTE DB-SE), que fija una deriva máxima global de $H/500$ (0,0191 m).

No obstante, este resultado no refleja la rigidez real de la estructura, ya que el modelo empleado no considera dos elementos fundamentales:

- La cubierta curva autoportante, cuya geometría permite que las cargas se transmitan principalmente mediante esfuerzos internos a lo largo de su superficie, incrementando significativamente la rigidez global.
- El tirante que conecta los pilares laterales, que actúa como arriostramiento y limita el desplazamiento lateral.

La omisión de estos elementos en el modelo provoca una sobreestimación del desplazamiento, por lo que el valor obtenido debe interpretarse como conservador y no representativo del comportamiento real de la estructura. Una modelización más detallada, incorporando tanto la cubierta como el tirante, permitiría estimar desplazamientos laterales más ajustados a la realidad y, previsiblemente, dentro de los límites establecidos por la normativa.

CAPÍTULO 4: ADAPTABILIDAD A OTRAS INSTALACIONES DEPORTIVAS

4.1. INTRODUCCIÓN

Este último capítulo tiene como objetivo poner de manifiesto la capacidad de adaptación mostrando como la alternativa de cubierta seleccionada puede encajar en diferentes deportes y modalidades.

La alternativa II fue la elegida compuesta por una combinación de hormigón y acero. Su configuración espacial y estructural ofrece una gran versatilidad lo que permite su aplicación en diversas disciplinas deportivas.

Esta versatilidad se convierte en un aspecto clave, especialmente en un entorno donde la optimización de recursos y la multifuncionalidad de las infraestructuras adquieren cada vez mayor relevancia.

4.2. CRITERIOS DE ADAPTABILIDAD

Para evaluar la adaptabilidad de la alternativa II en otros ámbitos deportivos es necesario establecer una serie de criterios que permitan valorar de forma objetiva su capacidad de adaptación:

- **Dimensiones y escalabilidad:** el espacio disponible debe ajustarse a las dimensiones mínimas requeridas por las normativas de cada disciplina deportiva.
 - La posibilidad de modificar la distribución interna o ampliar la superficie cubierta constituye un elemento clave para garantizar la adaptabilidad.
- **Flexibilidad estructural:** la configuración de la cubierta y la disposición de los pórticos permiten generar un espacio diáfano, libre de obstáculos, que favorece la práctica de diferentes deportes.
 - La ausencia de elementos intermedios que limiten la superficie útil incrementa la polivalencia de la instalación.
- **Compatibilidad con equipamientos:** la instalación debe poder incorporar de manera sencilla equipamiento deportivo diverso (porterías, canastas, redes, marcadores, etc.), así como sistemas de iluminación y pavimentos específicos según la disciplina.
- **Condiciones ambientales y posibilidad de cerramiento:** el hecho de que la instalación pueda funcionar como espacio parcialmente abierto o transformarse en un recinto cerrado mediante cierres perimetrales aumenta notablemente su versatilidad, permitiendo su uso en diferentes estaciones del año y bajo distintas condiciones climáticas.
- **Cumplimiento normativo:** la adaptabilidad también se mide en función del grado en que las dimensiones y características de la instalación pueden cumplir con los reglamentos técnicos establecidos por las federaciones deportivas, garantizando así que los eventos puedan celebrarse de manera oficial.

4.3. APLICACIONES A OTROS DEPORTES

La alternativa II diseñada para cubrir la bolera de La Marga presenta unas características que facilitan su extrapolación a múltiples disciplinas deportivas.

La combinación de espacio diáfano, altura suficiente y posibilidad de adaptación funcional permite considerar su empleo en diferentes modalidades, tanto de carácter colectivo como individual.

4.3.1. Deportes colectivos en pista

Las dimensiones y el diseño libre de obstáculos en el área central permiten albergar deportes como balonmano, fútbol sala, baloncesto o voleibol. Todos ellos requieren superficies rectangulares de proporciones similares y pueden adaptarse sin modificaciones estructurales, limitándose la adecuación a la señalización del terreno de juego y la instalación de los equipamientos específicos (porterías, canastas, postes de red).

A continuación, se muestra en la **tabla 11** la comparación entre los requerimientos dimensionales entre las diferentes disciplinas deportivas y si son compatibles con las dimensiones de la alternativa.

Tabla 11: Comparación de dimensiones reglamentarias de deportes colectivos con la alternativa II.

Fuente: Elaboración propia.

PARÁMETRO	REQUERIMIENTOS	ALTERNATIVA II	CUMPLE
FÚTBOL SALA	25 – 42 x 16 – 25 m	38 x 12 m	No
BALONMANO	40 x 20 m	38 x 12 m	No
BALONCESTO	28 x 15 m	38 x 12 m	No
VOLEIBOL	18 x 9 m	38 x 12 m	Sí

4.3.2. Deportes de raqueta y disciplinas individuales

La superficie cubierta también resulta compatible con deportes como bádminton, tenis de mesa o gimnasia, donde las dimensiones exigidas son inferiores a las disponibles. En estos casos, la instalación ofrece margen suficiente para la práctica simultánea de varias modalidades, mejorando la eficiencia de uso del espacio.

En la **tabla 12** se muestra que la alternativa II resulta adecuada para la práctica de deportes individuales o de raqueta permitiendo la disposición simultánea de varias pistas.

Tabla 12: Compatibilidad dimensional de deportes de raqueta e individuales con la alternativa II. *Fuente:*

Elaboración propia.

PARÁMETRO	REQUERIMIENTOS	ALTERNATIVA II	CUMPLE
TENIS DE MESA	14 x 7 m	38 x 12 m	Sí, varias simultáneas
BÁDMINTON	13,4 x 6,1 m	38 x 12 m	Sí, 2 – 3 en paralelo
GIMNASIA RÍTMICA	13 x 13 m	38 x 12 m	Sí con una ligera adaptación en el ancho

4.3.3. Eventos polideportivos, escolares y recreativos

Más allá de disciplinas específicas la cubierta puede funcionar como pabellón polivalente destinado a actividades escolares, entrenamientos multidisciplinares o torneos locales. La posibilidad de incorporar cierres laterales incrementa aún más esta versatilidad, garantizando su utilización en diferentes condiciones climáticas y estaciones del año.

La **tabla 13** indica que la alternativa II puede emplearse como un espacio polivalente para actividades escolares, recreativas o eventos multidisciplinares.

Tabla 13: Adaptabilidad de la alternativa II a usos polideportivos, escolares y recreativos. **Fuente:** *Elaboración propia.*

PARÁMETRO	REQUERIMIENTOS	ALTERNATIVA II	CUMPLE
ACTIVIDADES ESCOLARES	20 x 10 m	38 x 12 m	Sí
TORNEOS LOCALES	30 x 15 m	38 x 12 m	Sí, pero ajustado en el ancho
EVENTOS MULTIDISCIPLINARES	Flexible	38 x 12 m	Sí

A pesar de que ciertas dimensiones no cumplen con los estándares de deportes colectivos de gran superficie, la flexibilidad de la cubierta y la posibilidad de reconfigurar el espacio permiten un uso eficiente para una gran variedad de actividades.

Este análisis refuerza la idea de que la alternativa seleccionada constituye una solución adaptable y estratégica en contextos deportivos diversos.

4.4. VENTAJAS Y LIMITACIONES DE LA POLIVALENCIA

La alternativa II ofrece un alto potencial de adaptabilidad a diferentes deportes y usos recreativos constituyendo uno de sus principales valores añadidos. Entre las ventajas más destacables se incluyen:

- **Optimización de recursos:** un mismo espacio puede destinarse a múltiples disciplinas, aumentando la eficiencia en el uso de la infraestructura.
- **Flexibilidad funcional:** el diseño diáfano y la altura libre permiten la práctica de deportes colectivos, individuales y actividades polideportivas simultáneamente.
- **Rentabilidad y sostenibilidad:** la posibilidad de múltiples usos maximiza la utilidad del espacio y reduce la necesidad de construir instalaciones adicionales, contribuyendo a una gestión más sostenible de los recursos.

- **Adaptabilidad climática:** la opción de incorporar cierres perimetrales convierte la instalación en un espacio apto tanto para uso exterior como interior, aumentando su funcionalidad durante todo el año.

No obstante, es importante reconocer ciertas limitaciones y consideraciones:

- **Restricciones dimensionales:** aunque la instalación es adecuada para la mayoría de los deportes de pequeña y mediana escala, las disciplinas que requieren superficies más amplias (como balonmano, baloncesto o fútbol sala oficial) no podrían celebrarse con dimensiones reglamentarias completas.
- **Equipamiento específico:** algunos deportes pueden requerir la instalación temporal de equipamiento adicional (porterías, canastas, redes) o señalización específica, lo que implica cierta logística y costes operativos.
- **Consideraciones estructurales y de seguridad:** la instalación debe garantizar que cualquier adaptación mantenga los estándares de seguridad y resistencia estructural frente a cargas dinámicas, viento y condiciones ambientales propias de la región costera.

4.5. CONCLUSIÓN

El análisis de la adaptabilidad de la alternativa II demuestra que su diseño mixto de hormigón y acero junto con la cubierta autoportante curva satisface las necesidades del proyecto original y ofrece un elevado potencial de polivalencia.

La instalación puede acoger con eficacia una amplia variedad de deportes individuales y colectivos, así como actividades polideportivas, escolares y recreativas, gracias a su espacio diáfano, altura libre y posibilidad de reconfiguración.

Esta flexibilidad combinada con la resistencia estructural frente a condiciones ambientales costeras, consolida la alternativa como una infraestructura versátil, sostenible y estratégica, capaz de maximizar la eficiencia del espacio y los recursos disponibles.

En definitiva, la alternativa II no solo constituye la solución más adecuada para el caso inicial, sino que, gracias a su carácter adaptable se configura como un modelo replicable y versátil capaz de aportar un valor añadido significativo a la planificación y gestión de instalaciones deportivas en distintos contextos.

CAPÍTULO 5: RELACIÓN DEL PROYECTO CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS)

Este proyecto tiene una relación directa con varios objetivos de desarrollo sostenible (ODS) de la Agenda 2030 debido a que integra criterios de sostenibilidad ambiental, eficiencia en el uso de recursos y promoción de la actividad física como elementos social y cultural.

A continuación, se detallan los criterios presentes y la relación específica con cada uno de los ODS implicados:

- **ODS 3 – Salud y bienestar:** la mejora de las instalaciones deportivas fomenta la práctica habitual de la actividad física contribuyendo a estilos de vida más saludables y accesibles durante todo el año independientemente de las condiciones climáticas.
- **ODS 9 – Industria, innovación e infraestructura:** el análisis y diseño de las diferentes alternativas de cubiertas incorpora innovación en el uso de materiales (madera, acero, hormigón prefabricado) y soluciones estructurales adaptadas al caso presentado aportando infraestructuras resilientes y sostenibles.
- **ODS 11 – Ciudades y comunidades sostenibles:** la incorporación de boleras cubiertas en ámbitos urbanos y rurales contribuye a revitalizar y actualizar los espacios deportivos comunitarios promoviendo a su vez la cohesión social y conservación del patrimonio cultural asociado al bolo palma.
- **ODS 12 – Producción y consumo responsables:** la comparación de materiales incluye el análisis de emisiones de CO₂, durabilidad y ciclo de vida permitiendo seleccionar soluciones más sostenibles y con menor huella ambiental favoreciendo un uso eficiente de los recursos.
- **ODS 13 – Acción por el clima:** la elección de alternativas constructivas resilientes y adaptadas a condiciones ambientales locales como lluvias, viento o corrosión costera refuerza la capacidad de adaptación de las infraestructuras deportivas frente a las exigencias del entorno climático.

CAPÍTULO 6: BIBLIOGRAFÍA

- Código Técnico de la Edificación. (s.f.). Documento Básico de Seguridad de Utilización y Accesibilidad (DB-SUA): Documento Complementario [PDF]. Recuperado de <https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/SUA/DccSUA.pdf>
- Ministerio de Fomento (España). (2008). Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08) [PDF]. Recuperado de https://www.transportes.gob.es/recursos_mfom/1820100.pdf
- UNE. (2011, diciembre 14). Eurocódigo 1: Acciones en estructuras. Parte 4: Silos y depósitos [Norma UNE-EN 1991-4:2011]. AENOR. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/759668807/pdf-une-en-199142011-eurocodigo-1-parte-4-silos-y-depositos-compress>
- Ministerio de Transportes y Movilidad (España). (s.f.). Instrucción de Acero Estructural [PDF]. Recuperado de https://www.transportes.gob.es/recursos_mfom/1903100.pdf
- Ministerio de Vivienda (España). (2006). Documento Básico SE-AE: Acciones en la Edificación (Código Técnico de la Edificación) [PDF]. Recuperado de <https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/SE/DBSE-AE.pdf>
- Instituto Geográfico Nacional. (s.f.). Mapas de sismicidad y peligrosidad. Recuperado de <https://www.ign.es/web/mapas-sismicidad>
- SteelPro Group. (s.f.). S355 | Acero estructural de alta resistencia. Recuperado de <https://steelprogroup.com/es/high-strength-structural-steel/s355/>
- Infomadera. (s.f.). MADERA ASERRADA - Valores característicos. Recuperado de https://infomadera.net/uploads/productos/informacion_general_26_aserradaEst.pdf
- Copeland, M. T. (2022, 4 de febrero). Guía del hormigón prefabricado: Ventajas e información técnica. Recuperado de <https://mtcopeland.com/es/blog/what-is-precast-concrete/>
- Maderea. (2017, 30 de marzo). Diferencias entre estructuras de madera, acero y hormigón. Recuperado de <https://www.maderea.es/diferencias-entre-estructuras-de-madera-acero-y-hormigon/>
- Google Earth. (2025). Google Earth (Versión 9.0) [Software de mapas y visualización geoespacial]. Google. <https://www.google.com/earth/>
- Google. (2025). Google Maps [Servicio de mapas en línea]. Google. <https://www.google.com/maps/>
- Dirección General del Catastro. (s.f.). Mapa urbano de Santander. Recuperado de <https://www1.sedecatastro.gob.es/Cartografia/mapa.aspx?pest=urbana&from=OVCBu>

[squeda&ZV=NO&ZR=NO&anyozv=&tematicos=&anyotem=&RCCompleta=&via=&tip
oVia=&numero=&kilometro=&bloque=&escalera=&planta=&puerta=&DescProv=CAN
TABRIA&prov=39&muni=900&DescMuni=SANTANDER&TipUR=U&codvia=&comVia
=&tc=U&del=39&mun=900](https://www.csd.gob.es/sites/default/files/media/files/2018-10/sp_salasypabellones.pdf)

- Consejo Superior de Deportes. (2018). Normas de Proyecto: Salas y Pabellones. Recuperado de https://www.csd.gob.es/sites/default/files/media/files/2018-10/sp_salasypabellones.pdf
- Universidad Continental. (2024). Norma técnica sobre espacios deportivos en infraestructuras educativas. Recuperado de <https://blogposgrado.ucontinental.edu.pe/infraestructura-educativa-norma-tecnica-espacios-deportivos>
- Real Federación Española de Tenis de Mesa. (2021). Reglamento técnico de juego. Recuperado de https://www.rfetm.es/documents/descargas/Reglamento_Tecnico_de_Juego_21-22.pdf
- Federación Internacional de Voleibol. (2025). Reglas oficiales de voleibol 2025-2028. Recuperado de https://www.fivb.com/wp-content/uploads/2025/01/FIVB-Volleyball_Rules2025_2028-SP-v02.pdf
- Consejo Superior de Deportes. (2013). Baloncesto. Recuperado de https://www.csd.gob.es/sites/default/files/media/files/2018-10/blc_baloncesto_2015.pdf
- Consejo Superior de Deportes. (2013). Balonmano. Recuperado de https://www.csd.gob.es/sites/default/files/media/files/2018-10/blm_balonmano.pdf
- Consejo Superior de Deportes. (2013). Fútbol sala. Recuperado de https://www.csd.gob.es/sites/default/files/media/files/2018-10/fts_futbol_sala.pdf
- Blocotelha. (2025). Autoportante Brochure PT-ES V1.0. Recuperado de <https://www.blocotelha.com/files/uploads/2025/05/Autoportante-Brochure-PT-ES-V1.0.pdf>
- Federación Cántabra de Bolos. (2023). Reglamento de juego de Bolo Palma 2022. Recuperado de <https://maderadeser.com/content/uploads/2023/bolo-palma-reglamento-de-juego-2022.pdf>
- Ayuntamiento de Laredo. (2024). Acta de la sesión ordinaria celebrada por la Junta de Gobierno Local con fecha 27 de marzo de 2024. Recuperado de <https://transparencialaredo.com/wp-content/uploads/2024/04/2024-03-27-JGL-ORD.pdf>

- Instituto Geológico y Minero de España (IGME). (2025). Mapa geomorfológico de la hoja 35-1 de GeoCantabria 25. Recuperado de https://info.igme.es/cartografiadigital/datos/GeoCantabria25/pdfs/GM_35_1.pdf

CAPÍTULO 7: ANEXOS

7.1. ANEXO I: RESUMEN GENERAL DE COSTES DE LA ALTERNATIVA I

ESTIMACIÓN DE MEDICIONES: BOLERA CUBIERTA LA MARGA (ALTERNATIVA I)

EXCAVACIONES		N	Canto (m)	Sobreexcavación (m)	e tierra sobre zapata (m)	B (m)	L (m)	Volumen (m3)	
Zapatas aisladas		14	0.5	0.25	0	0.5	0.5	3	TOTAL 3 m3
ENCOFRADO		N	Altura (m)	Perímetro (m)				Superficie (m2)	
Zapatas aisladas		14	0.5	2				14	TOTAL 14 m2
HORMIGÓN DE LIMPIEZA HM-20		N	Canto (m)	B (m)	L (m)			Volumen (m3)	
Zapatas aisladas		14	0.1	0.5	0.5			0	TOTAL 0 m3
HORMIGÓN HA		N	Altura (m)	B (m)	L (m)			Volumen (m3)	
Zapatas aisladas		14	0.5	0.5	0.5			2	TOTAL 2 m3
ACERO DE ARMAR		Hormigón (m3)		Pe (kg/m3)				Peso (kg)	
Zapatas		1.8		120				210	TOTAL 210 kg
ACERO ESTRUCTURAL		N	Longitud (m)	Pe (kg/m)				Peso (kg)	
Pilares cortos HEB 300		8	8.57	117				8022	
Pilares largos HEB 300		6	8.98	117				6304	
Vigas HEB 180		12	6	51.2				3686	TOTAL 18012 kg
ACCESORIOS		N	€/ud	F				€	
Varillas, tensor, tuercas, orejetas...		7	180	10%				1386	
Canalón PVC		12	80	10%				1056	
Caballetes		14	15	10%				231	TOTAL 2673 €
CHAPA CUBIERTA		B (m)	L (m)					Superficie (m2)	
Cubierta (suministro + montaje)		38	12.15					462	TOTAL 462 m2
REPOSICIÓN URBANIZACIÓN		N	B (m)	L (m)	F			Superficie (m2)	
Zapatas aisladas		14	0.5	0.5	10%			4	TOTAL 4 m2

7.2. ANEXO II: RESUMEN GENERAL DE COSTES DE LA ALTERNATIVA II

ESTIMACIÓN DE MEDICIONES: BOLERA CUBIERTA LA MARGA (ALTERNATIVA II)

EXCAVACIONES		N	Canto (m)	Sobreexcavación (m)	e tierra sobre zapata (m)	B (m)	L (m)	Volumen (m3)	
Zapatas aisladas		14	0.5	0.25	0	0.8	0.8	7	TOTAL 7 m3
ENCOFRADO		N	Altura (m)	Perímetro (m)				Superficie (m2)	
Zapatas aisladas		14	0.5	3.2				22	TOTAL 22 m2
HORMIGÓN DE LIMPIEZA HM-20		N	Canto (m)	B (m)	L (m)			Volumen (m3)	
Zapatas aisladas		14	0.1	0.8	0.8			1	TOTAL 1 m3
HORMIGÓN HA		N	Altura (m)	B (m)	L (m)			Volumen (m3)	
Zapatas aisladas		14	0.5	0.8	0.8			4	TOTAL 4 m3
ACERO DE ARMAR		Hormigón (m3)		Pe (kg/m3)				Peso (kg)	
Zapatas		4.5		120				538	TOTAL 538 kg
HORMIGÓN PREFABRICADO		N	Altura (m)	B (m)	L (m)			Volumen (m3)	
Pilares cortos (suministro + montaje)		8	8.47	0.4	0.4			11	
Pilares largos (suministro + montaje)		6	8.87	0.4	0.4			9	
Vigas (suministro + montaje)		12	0.3	0.5	6			11	TOTAL 30 m3
ACCESORIOS		N	€/ud	F				€	
Varillas, tensor, tuercas, orejetas...		7	180	10%				1386	
Canalón PVC		12	80	10%				1056	
Caballetes		14	15	10%				231	TOTAL 2673 €
CHAPA CUBIERTA		B (m)	L (m)					Superficie (m2)	
Cubierta (suministro + montaje)		38	12.15					462	TOTAL 462 m2
REPOSICIÓN URBANIZACIÓN		N	B (m)	L (m)	F			Superficie (m2)	
Zapatas aisladas		14	0.8	0.8	10%			10	TOTAL 10 m2

7.3. ANEXO III: RESUMEN GENERAL DE COSTES DE LA ALTERNATIVA III

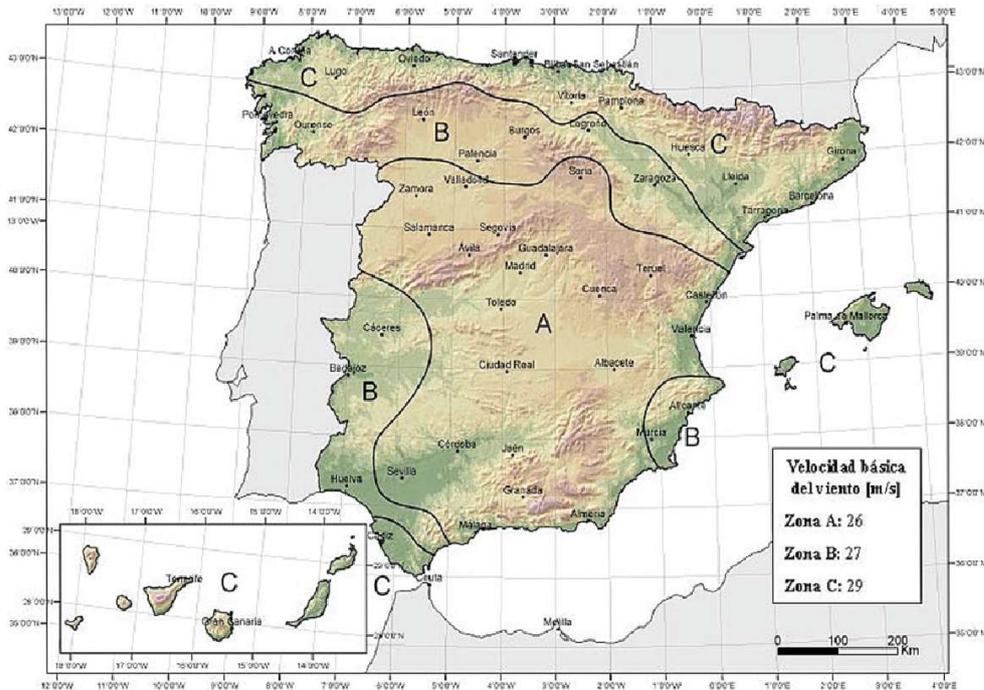
ESTIMACIÓN DE MEDICIONES: BOLERA CUBIERTA LA MARGA (ALTERNATIVA III)

EXCAVACIONES		N	Canto (m)	Sobreexcavación (m)	e tierra sobre zapata (m)	B (m)	L (m)	Volumen (m3)	
Zapatatas aisladas		14	0.5	0.25	0	0.8	0.8	7	TOTAL 7 m3
ENCOFRADO		N	Altura (m)	Perímetro (m)					Superficie (m2)
Zapatatas aisladas		14	0.5	3.2					22
Bases pilares		14	0.5	2.4					17
									TOTAL 39 m2
HORMIGÓN DE LIMPIEZA HM-20		N	Canto (m)	B (m)	L (m)				Volumen (m3)
Zapatatas aisladas		14	0.1	0.8	0.8				1
									TOTAL 1 m3
HORMIGÓN HA		N	Altura (m)	B (m)	L (m)				Volumen (m3)
Zapatatas aisladas		14	0.5	0.8	0.8				4
Bases pilares		14	0.5	0.6	0.6				3
									TOTAL 7 m3
ACERO DE ARMAR		Hormigón (m3)	Pe (kg/m3)						Peso (kg)
Zapatatas		4.5	120						538
Bases		2.5	120						302
									TOTAL 840 kg
MADERA LAMINADA		N	Altura (m)					Longitud (m)	
Pilares cortos (0.58 x 0.26 m)		8	7.58					61	
Pilares largos (0.58 x 0.26 m)		6	7.98					48	
Jáccenas (0.58 x 0.26 m)		14	6.15					86	
Correas (0.18 x 0.18 m)		48	6					288	
									TOTAL 483 m
ACCESORIOS		N	€/ud	F					€
Tornillería		7	100	10%					770
Canalón PVC		12	80	10%					1056
									TOTAL 1826 €
CHAPA CUBIERTA		B (m)	L (m)						Superficie (m2)
Placa policarbonato		38	12.3						467
									TOTAL 467 m2
REPOSICIÓN URBANIZACIÓN		N	B (m)	L (m)	F				Superficie (m2)
Zapatatas aisladas		14	0.8	0.8	10%				10
									TOTAL 10 m2

7.4. ANEXO IV: CÁLCULO PRESIÓN DE VIENTO MARQUESINA A DOS AGUAS.

VELOCIDAD Y PRESIÓN DEL VIENTO

Altura de cálculo z 9,55 m
 Presión básica q_b 0,53 kN/m²
 Velocidad básica del viento v_b 29,0 m/s



RUGOSIDAD DEL TERRENO

Categoría del terreno		k_r	Z_0 (m)	Z_{min} (m)
I	Borde del mar o de un lago, con una superficie de	0,16	0,003	1
II	Terreno rural llano sin obstáculos ni arbolado de	0,17	0,01	1
III	Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos	0,19	0,05	2
IV	Zona urbana en general, industrial o forestal	0,22	0,3	5
V	Centro de negocios de grandes ciudades, con	0,23	1	10

Categoría del terreno **IV**
 Factor de rugosidad cr 0,75
 Longitud de la ruosidad z_0 0,3 m
 Faactor del terreno k_r 0,22
 Altura de Cálculo z 9,55 m

OROGRAFÍA DEL TERRENO

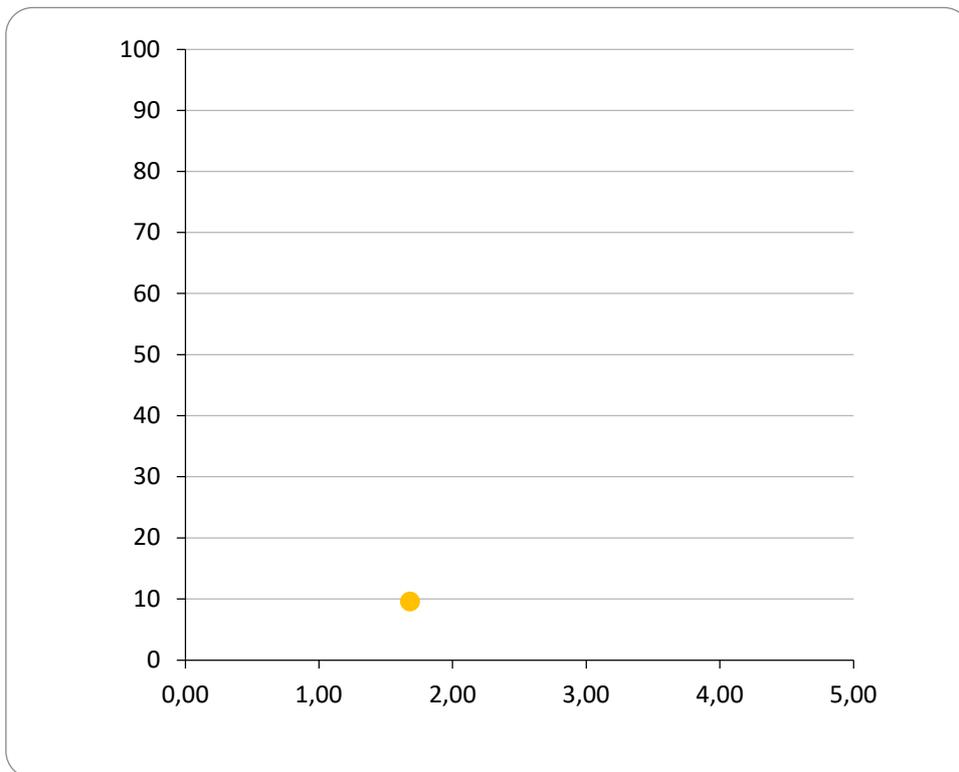
Coeficiente topográfico co 1 (ver A.3)

TURBULENCIAS

Factor de turbulencia k1 1
Intensidad de turbulencia lv 0,29

PRESIÓN CORRESPONDIENTE A LA VELOCIDAD DE PICO

Velocidad media del viento vm 21,62 m/s
Coeficiente de exposición ce 1,68



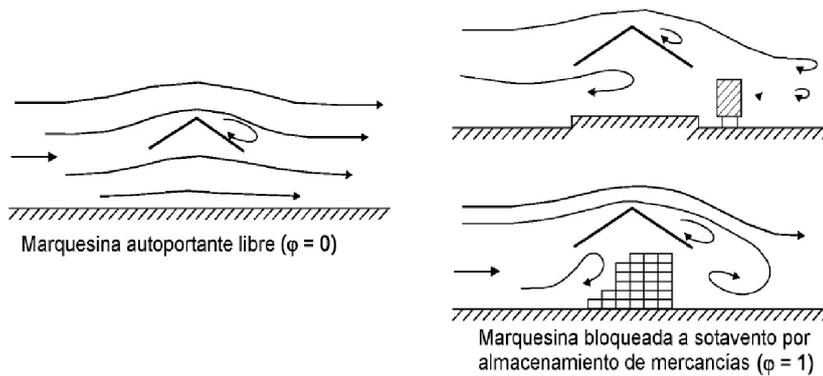
Presión de pico qp 0,88 kN/m²

MARQUESINAS A DOS AGUAS

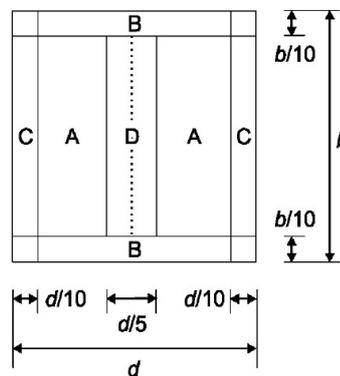
DIMENSIONES

Longitud	b	38	m
Anchura	d	12	m
Altura bloqueada	hb	0	m
Elevación	ze	9,55	m
ϕ interpolación		-	-

PRESIONES



Plano de referencia



Ángulo de la cubierta α	Bloqueo ϕ	Coeficiente global de fuerza c_f	Coeficiente de presión neta $c_{p,net}$			
			Zona A	Zona B	Zona C	Zona D
7,523	Valor máximo para cualquier ϕ	0,4	0,7	1,8	1,4	0,4
	Valor mínimo para $\phi = 0$	-0,7	-0,7	-1,5	-1,4	-1,3
	Valor mínimo para $\phi = \text{interpol.}$	-	-	-	-	-
	Valor mínimo para $\phi = 1$	-1,3	-1,3	-2,0	-1,8	-1,7

NOTA: los valores + indican una acción neta en sentido descendente
los valores - indican una acción neta en sentido ascendente

Presión de pico q_p 0,88 kN/m²

Ángulo de la cubierta α	Bloqueo ϕ	P. global de viento (kN/m ²)	Presión neta (kN/m ²)			
			Zona A	Zona B	Zona C	Zona D
7,523	Valor máximo para cualquier ϕ	0,31	0,57	1,59	1,19	0,35
	Valor mínimo para $\phi = 0$	-0,57	-0,57	-1,28	-1,24	-1,10
	Valor mínimo para $\phi = \text{interpol.}$	-	-	-	-	-
	Valor mínimo para $\phi = 1$	-1,15	-1,15	-1,77	-1,59	-1,46

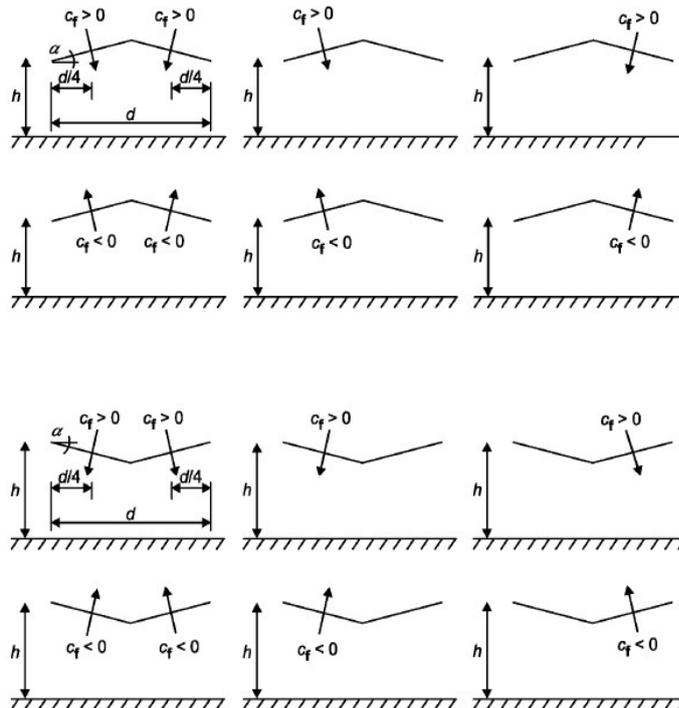
NOTA: los valores + indican una acción neta en sentido descendente
los valores - indican una acción neta en sentido ascendente

	Total	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D
Áreas (m ²)	456	218,88	91,2	72,96	72,96

Ángulo de la cubierta α	Bloqueo ϕ	F. global de viento (kN)	Fuerza neta (kN)			
			Zona A	Zona B	Zona C	Zona D
7,523	Valor máximo para cualquier ϕ	141,07	125,67	144,91	86,97	25,76
	Valor mínimo para $\phi = 0$	-261,82	-125,67	-116,77	-90,16	-80,59
	Valor mínimo para $\phi = \text{interpol.}$	-	-	-	-	-
	Valor mínimo para $\phi = 1$	-523,27	-251,17	-161,01	-115,92	-106,35

NOTA: los valores + indican una acción neta en sentido descendente
los valores - indican una acción neta en sentido ascendente

El coeficiente global de fuerza representa la fuerza resultante sobre la estructura. El coeficiente de presión neta representa la presión máxima local para todas las direcciones del viento. Ésta se debería emplear para el cálculo de los elementos de cubierta y fijaciones.



ANÁLISIS COMPARATIVO APLICADO AL CASO DE LA MARGA Y SU ADAPTABILIDAD A OTRAS INSTALACIONES DEPORTIVAS

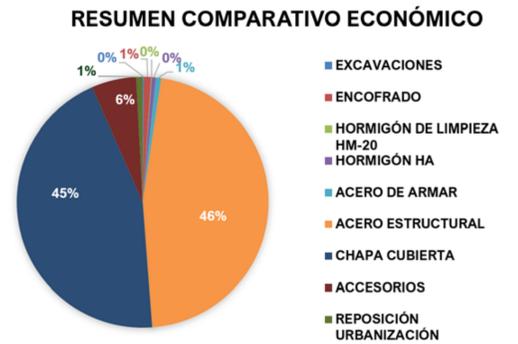
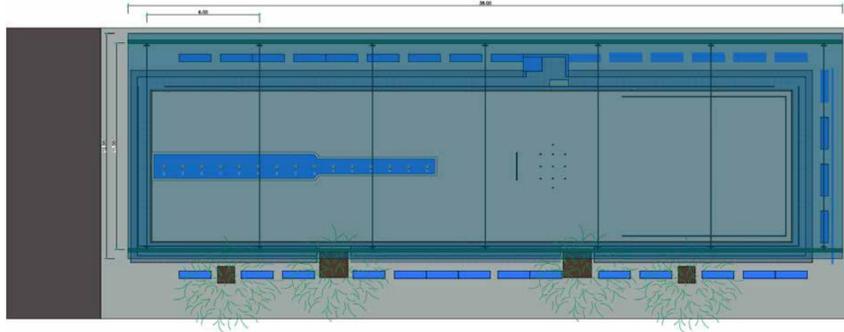
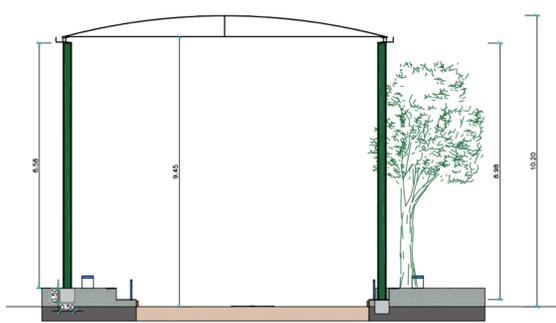
OBJETIVO

El objetivo principal es evaluar la viabilidad de diferentes alternativas constructivas considerando aspectos técnicos, económicos y de adaptabilidad a otras instalaciones deportivas.

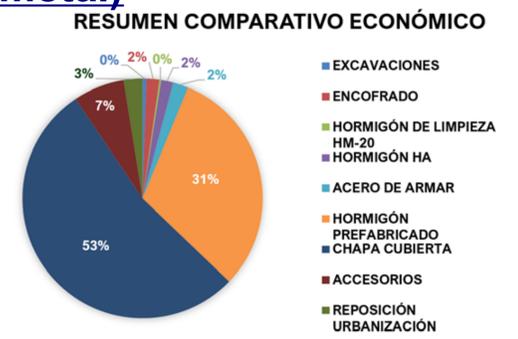
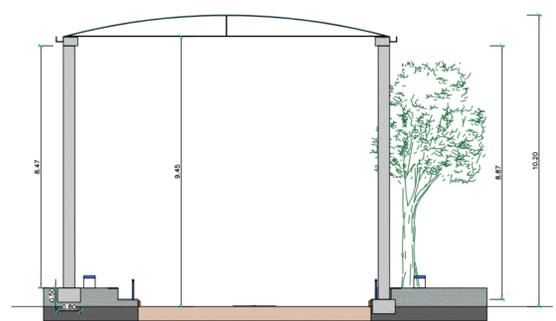
ALTERNATIVAS, ANÁLISIS COMPARATIVO Y JUSTIFICACIÓN

Se presentan tres alternativas constructivas: una estructura metálica, una combinación de hormigón prefabricado y metal y una estructura de madera.

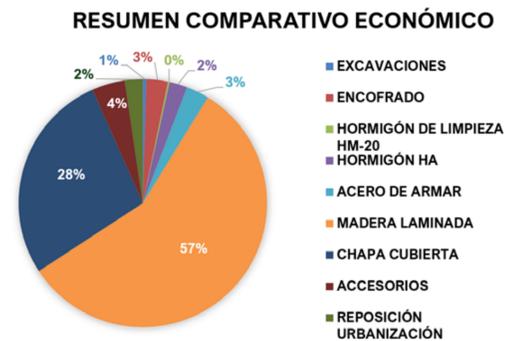
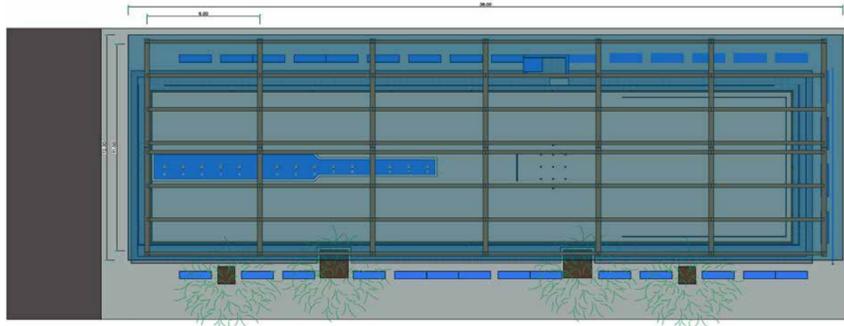
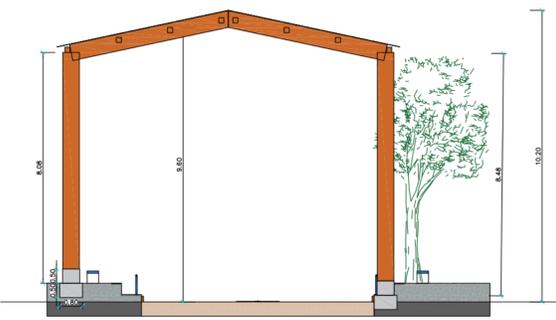
ALTERNATIVA I (Estructura metálica)



ALTERNATIVA II (Estructura combinada de hormigón prefabricado y de metal)



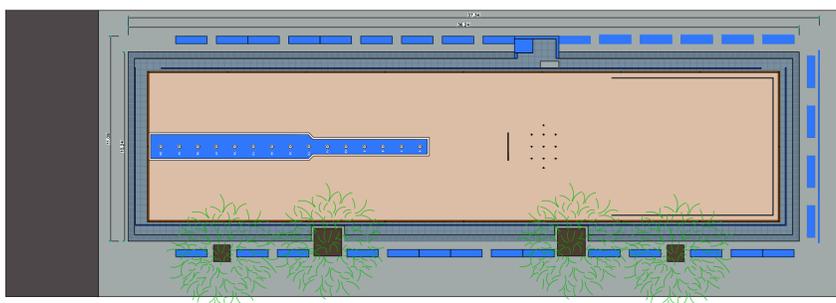
ALTERNATIVA III (Estructura de madera)



Se ha determinado que la alternativa más adecuada es la II. Esta opción proporciona una estructura más eficiente, económica y duradera, especialmente adaptada al entorno costero de la zona estudiada, y mejora la valoración global en comparación con el uso de cualquiera de los materiales de forma individual.

APLICACIÓN AL CASO DE LA MARGA

La bolera de La Marga se sitúa dentro del parque de La Marga, en el barrio de Castilla – Hermida.



Se aplicó la alternativa II validada mediante estudio geotécnico, cálculo de cargas y verificaciones normativas, demostrando su viabilidad técnica, seguridad y funcionalidad deportiva.

ADAPTABILIDAD A OTRAS ACTIVIDADES

- | | |
|-----------------|------------------------------|
| ✗ Fútbol sala | ✓ Bádminton |
| ✗ Balonmano | ✓ Gimnasia Rítmica |
| ✗ Baloncesto | ✓ Actividades escolares |
| ✓ Voleibol | ✓ Torneos locales |
| ✓ Tenis de mesa | ✓ Eventos multidisciplinares |

ODS RELACIONADAS

