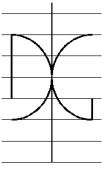




UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Dpto. de Ingeniería de la Construcción y de
Proyectos de Ingeniería Civil

Aplicación del UHPFRC en cubiertas laminares para
gasolineras: Propuesta estructural y constructiva
optimizada frente a soluciones metálicas convencionales

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Ingeniería del Hormigón

AUTOR/A: Amaya Silva, Edison

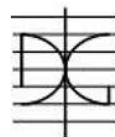
Tutor/a: Alcalá González, Julián

Cotutor/a: Serna Ros, Pedro

CURSO ACADÉMICO: 2024/2025



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



DEPARTAMENTO
DE INGENIERÍA DE
LA CONSTRUCCIÓN
Y DE PROYECTOS DE
INGENIERÍA CIVIL

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA DEL HORMIGÓN

**TRABAJO FIN DE MÁSTER
CURSO ACADÉMICO 2023/2025**

**Aplicación del UHPFRC en cubiertas
laminares de gasolineras: propuesta
estructural y constructiva optimizada
frente a soluciones metálicas
tradicionales**

Autor: Edison Amaya Silva

Tutor: Julián Alcalá González

Cotutor: Pedro Serna Ros

Valencia, septiembre de 2025

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE LA
CONSTRUCCIÓN Y PROYECTOS DE INGENIERÍA CIVIL
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA**



Dedicatorias

A mi esposa:

Lina María Moreno Trujillo

Quien ha sido la luz que transformó mi vida y por guiarme para convertirme en el hombre que soy hoy. Tu amor y tu paciencia han sido mi refugio y mi fuerza en cada paso de este camino.

A mi hijo:

Juan Francisco Amaya Moreno

Eres la luz que ilumina mi camino. Nada de esto habría sido posible sin tu compañía, tu amor incondicional y tu sonrisa que todo lo puede. Gracias por enseñarme el verdadero significado de la lucha y la perseverancia. Eres mi mayor motivación.

A mis padres:

Graciela del Carmen Silva

Gilberto Amaya Olarte

Este trabajo es también una deuda pendiente con ustedes. Los amo profundamente; son mi mayor orgullo y la base sobre la que he construido mis sueños.

A mis hermanas y hermano:

Yasmid Amaya Silva

Luz Dary Amaya Silva

Leonel Amaya Silva

Quienes siempre han estado pendientes de mí y de mi familia. Su apoyo incondicional ha sido un pilar fundamental en cada paso de este camino.

Agradecimientos

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que hicieron posible la realización de este Trabajo Fin de Máster.

En primer lugar, a mis asesores:

Pedro Serna Ros

Julián Alcalá Gonzalez

Por su guía constante, paciencia y valiosa orientación técnica. Su apoyo y conocimientos fueron esenciales para superar cada desafío del proyecto, y su confianza en mí me motivó a dar siempre lo mejor.

A la directora del máster:

María Carmen Castro Bugallo

Quien desde el primer momento me brindó su apoyo incondicional, tanto en los trámites administrativos como en los aspectos académicos. Su tiempo, dedicación y disposición hicieron que cada paso del proceso fuera mucho más sencillo.

A todos los profesores del máster:

Por transmitir su experiencia y conocimientos, por despertar en mí la pasión por la ingeniería y por motivarme a enfrentar cada reto con curiosidad y determinación.

A mis amigos

Quienes siempre me ofrecieron su apoyo emocional y estuvieron a mi lado en los momentos más difíciles. Su compañía y palabras de aliento hicieron más llevadero este camino.

Resumen

El presente Trabajo Fin de Máster desarrolla una propuesta en estructural y constructiva en UHPFRC para una gasolinera ubicada en la Comunidad Valenciana, ofreciendo una alternativa a la Dirección Facultativa del proyecto al sistema de Estructura metálica convencional. La estructura está compuesta por pórticos en UHPFRC y una cubierta arquitectónica en forma de paraboloides hiperbólicos diseñada en UHPFRC.

El proyecto se centra en la aplicación de las directrices de los Eurocódigos y de la norma francesa NF P18-710, con el propósito de demostrar la viabilidad técnica, estructural y económica de este material en tipologías donde tradicionalmente se emplean soluciones metálicas. Para ello se define el modelo estructural en el software SAP2000, considerando un sistema de losa apoyada en vigas y unidas mediante pernos, modeladas con las condiciones de empotramiento y libertad requeridas para reproducir la deformación real de la cubierta bajo el concepto de curvatura activa. Se incorporan acciones de viento, nieve y sismo de acuerdo con los criterios normativos europeos, verificándose los estados límite últimos y de servicio en las secciones críticas, así como la capacidad resistente del UHPFRC frente a tracciones. La coherencia de los resultados se contrasta mediante el cálculo manual de la fuerza basal sísmica y la suma de cortantes obtenida en el análisis modal espectral, con discrepancias inferiores al uno por ciento.

El estudio evidencia que la cubierta cumple los requisitos de resistencia, estabilidad y fisuración con espesores mínimos y sin necesidad de armadura convencional, siempre que se controle la rigidez de las uniones y se adopten criterios de diseño tipo II para el material. Se plantea un proceso constructivo basado en la prefabricación y montaje en obra mediante juntas húmedas y uniones atornilladas, lo que optimiza plazos y tolerancias geométricas. El análisis económico confirma que la solución en UHPFRC no sólo es viable desde el punto de vista técnico, sino también más competitiva que la alternativa metálica planteada en el proyecto original, aportando adicionalmente mayor durabilidad frente a agentes agresivos y menores necesidades de mantenimiento a lo largo del ciclo de vida. En conclusión, el trabajo valida la idoneidad del UHPFRC en cubiertas singulares de gasolineras, aporta una metodología de modelado y verificación coherente con la normativa vigente y abre líneas de investigación orientadas a la validación experimental de uniones, la optimización geométrica de módulos prefabricados y el análisis aerodinámico específico mediante análisis de túnel de viento.

Abstract

This Master's Thesis presents a structural and constructional proposal using Ultra-High Performance Fiber-Reinforced Concrete (UHPFRC) for a gas station in the Valencian Community, providing an alternative to conventional steel structures. The project features UHPFRC frames supporting a hyperbolic paraboloid roof, designed and executed entirely in UHPFRC.

A detailed structural model was developed in SAP2000, considering slabs supported on beams and connected via anchor bolts, with boundary conditions reproducing the roof's deformation under active curvature principles. Wind, snow, and seismic actions were applied according to European standards, and ultimate and serviceability limit states were verified, including tensile performance of the UHPFRC. Results were validated against manual calculations of seismic base shear and the sum of modal spectral shears, showing discrepancies below 1%.

The study demonstrates that the roof satisfies strength, stability, and cracking requirements with minimal thicknesses and without conventional reinforcement, provided joint stiffness is controlled and Type II design criteria are applied. A construction method based on prefabrication, wet joints, and bolted connections optimizes schedule and geometric tolerances.

Economic assessment confirms that the UHPFRC solution is not only technically viable but also more competitive than the steel alternative, offering superior durability and reduced maintenance over the service life.

This work validates the application of UHPFRC in distinctive gas station roofs, provides a consistent modeling and verification methodology aligned with current regulations, and identifies future research directions, including experimental validation of connections, geometric optimization of prefabricated modules, and aerodynamic assessment through wind tunnel testing.

Resum

El present Treball fi de màster desenrotlla una proposta en estructural i constructiva en UHPFRC per a una gasolinera situada a la Comunitat Valenciana, oferint una alternativa a la Direcció Facultativa del projecte al sistema d'Estructura metàl·lica convencional. L'estructura està composta per pòrtics en UHPFRC i una coberta arquitectònica en forma de paraboloid hiperbòlic dissenyada en UHPFRC.

El projecte se centra en l'aplicació de les directrius dels Eurocódigos i de la norma francesa NF P18-710, amb el propòsit de demostrar la viabilitat tècnica, estructural i econòmica d'este material en tipologies on tradicionalment s'empren solucions metàl·liques. Per a això es defineix el model estructural en el programari SAP2000, considerant un sistema de llosa recolzada en bigues i unides mitjançant perns, modelades amb les condicions d'encast i llibertat requerides per a reproduir la deformació real de la coberta sota el concepte de curvatura activa. S'incorporen accions de vent, neu i sisme d'acord amb els criteris normatius europeus, verificant-se els estats límit últims i de servici en les seccions crítiques, així com la capacitat resistent del UHPFRC enfront de traccions. La coherència dels resultats es contrasta mitjançant el càlcul manual de la força basal sísmica i la suma de tallants obtinguda en l'anàlisi modal espectral, amb discrepàncies inferiors a l'u per cent.

L'estudi evidencia que la coberta complix els requisits de resistència, estabilitat i fissuració amb grossàries mínimes i sense necessitat d'armadura convencional, sempre que es controle la rigidesa de les unions i s'adopten criteris de disseny tipus II per al material. Es planteja un procés constructiu basat en la prefabricació i muntatge en obra mitjançant juntes humides i unions caragolades, la qual cosa optimitza terminis i toleràncies geomètriques. L'anàlisi econòmica confirma que la solució en *UHPFRC no sols és viable des del punt de vista tècnic, sinó també més competitiva que l'alternativa metàl·lica plantejada en el projecte original, aportant addicionalment major durabilitat enfront d'agents agressius i menors necessitats de manteniment al llarg del cicle de vida. En conclusió, el treball valguda la idoneïtat del *UHPFRC en cobertes singulars de gasolineres, aporta una metodologia de modelatge i verificació coherent amb la normativa vigent i obri línies d'investigació orientades a la validació experimental d'unions, l'optimització geomètrica de mòduls prefabricats i l'anàlisi aerodinàmica específica mitjançant anàlisi de túnel de vent.

Tabla de contenido

1.	Introducción	12
1.1.	Antecedentes	15
1.2.	Objetivos	17
1.2.1.	Objetivo general	17
1.2.2.	Objetivos específicos	17
1.3.	Estructura del documento	18
2.	Estado del arte	21
3.	Parámetros del proyecto original	25
4.	Descripción general del Sistema estructural.....	28
4.1.	Geometría de la cubierta	28
4.1.1.	Vigas	29
4.1.2.	Pilares	29
4.2.	Propiedades del UHPFRC	30
4.2.1.	Cálculo del módulo de elasticidad – Eurocódigo 2	30
4.2.2.	Módulo de elasticidad – Modelo de AFGC.....	30
4.2.3.	Acero B500S.....	31
4.2.4.	Fibras metálicas	31
4.3.	Parámetros del proyecto estructural.....	32
4.3.1.	Condiciones ambientales	32
4.3.2.	Vida útil de proyecto.....	32
4.3.3.	Recubrimiento	32
4.3.3.1.	Recubrimiento según UNE-EN 1992-1-1:2013	32
4.3.3.2.	Recubrimiento según NF P18-710.....	32
4.4.	Acciones de cálculo	33
4.4.1.	Cálculo de las acciones de viento	33
4.4.1.1.	Valores básicos	34
4.4.1.2.	Velocidad media del viento $v_m(z)$	34
4.4.1.3.	Presión del viento en cubierta a dos aguas	36
4.4.2.	Acciones generales – Cargas de nieve	37
4.4.3.	Acción sísmica	38
4.6.	Coeficientes parciales	42
4.7.	Modelo estructural y análisis computacional	42
4.8.	Análisis estructural	46
4.8.1.	Revisión de esfuerzos obtenidos.....	46

4.8.2. Esfuerzos en vigas longitudinales y transversales.....	46
4.8.3. Esfuerzos en pilares.....	48
4.8.4. Esfuerzos en cubierta	48
4.9. Esfuerzos seleccionados para dimensionamiento	49
4.10. Cálculo seccional	49
4.10.1. Calculo seccional – Vigas.....	50
4.10.1.1. Justificación del modelo tipo II de cálculo según NF P18-710.....	53
4.10.2. Control de la fisuración.....	53
4.10.3. Control de flechas	55
4.10.4. Armadura transversal – Cálculo a Cortante	56
4.10.5. Calculo seccional – Columnas.....	58
4.10.5.1. Pilar P3 – 30x25cm.....	58
4.10.6. Comprobaciones en ELS – Limitaciones tensionales	61
4.10.7. Control de fisuración.....	62
4.10.7.1. Verificación de flechas	62
4.10.8. Diseño de cubierta	64
5. Proceso constructivo.....	67
5.1. Cimentación	67
5.2. Pilares.....	69
5.3. Vigas transversales.....	72
5.4. Vigas longitudinales	72
5.5. Cubierta	73
5.6. Peso total de la estructura.....	75
6. Viabilidad técnica y económica.	77
7. Ventajas del UHPFRC vrs. Estructura metálica.....	80
7.1. Ventajas Técnicas	80
7.2. Ventajas Constructivas.....	80
7.3. Ventajas de Mantenimiento	80
7.4. Ventajas Económicas.....	81
7.5. Ventajas en Sostenibilidad – Huella de CO ₂	81
7.6. Ventajas en Durabilidad	81
8. Conclusiones	83
8.1. Futuras Líneas de Investigación.....	84

Lista de Figuras

Figura 1 Planta de la Gasolinera – Diseño Estructura Metálica (Unidades en metros)	25
Figura 2 Alzados de la Marquesina - Diseño Estructura Metálica (Unidades en metros) ...	26
Figura 3 Paraboloide hiperbólica - Modelo AutoCAD.....	29
Figura 4. Mapa de isotacas de la velocidad básica fundamental del viento $v_{b,0}$	34
Figura 5. Coeficientes de presión neta $c_{p,net}$	36
Figura 6. <i>Zonas climáticas de invierno</i>	37
Figura 7. Espectro elástico de respuesta UNE-EN-1998 -1:2018	41
Figura 8. Espectro elástico de cálculo UNE-EN-1998 -1:2018	41
Figura 9 Distribución de Vigas en cubierta.....	42
Figura 10 Distribución de Pilares en planta.....	43
Figura 11 Discretización del mallado (0.5x0.05m) de la Cubierta UHPFRC.....	43
Figura 12. Distribución de la Acción Paneles Solares	44
Figura 13. Distribución de la Acción SCU	44
Figura 14. Distribución de las Acciones de Viento Presión y Succión	45
Figura 15. Distribución de la Acción de Nieve (S)	45
Figura 16 <i>Viga V-101 150x300mm</i>	50
Figura 17 Capacidad resistente de la sección	52
Figura 18 <i>Momento máximo resistente</i>	53
Figura 19 Detalle de armado Vigas Longitudinales y Transversales	57
Figura 20 Diseño de armado de Pilares	61
Figura 21 Preparación del foso - Zapata Tipo Calices	68
Figura 22 <i>Colocación del CUBIX</i>	68
Figura 23 Hormigonado exterior de la zapata.....	69
Figura 24 Fraguado y alicatado del hormigón.....	69
Figura 25 Izaje de pilares prefabricados de Hormigón	70
Figura 26 Colocación del pilar	70
Figura 27 <i>Aplomado de Pilares</i>	71
Figura 28 Nivel electrónico LASERLINER DIGILEVEL PLUS 40 081.250A.....	71
Figura 29 Diseño de anclaje Losa - Vigas Transversales.....	74
Figura 30 Diseño de anclaje Losa - Vigas Longitudinales.....	75

Lista de Tablas

Tabla 1. <i>Resumen de Acciones</i>	33
Tabla 2. Coeficientes de presión neta $c_{p,net}$	37
Tabla 3 Base Reactions - SAP2000	40
Tabla 4 Esfuerzos de diseño Viga V-101	47
Tabla 5 Esfuerzos de Diseño V-501	47
Tabla 6 Esfuerzos debidos a la Acción Sísmica / Unión Viga - Pilar - Viga	47
Tabla 7 Esfuerzos en cabeza de pilar H = 5.04m	48
Tabla 8 Esfuerzos en cabeza de pilar H = 0.00m	48
Tabla 9 Esfuerzos máximos positivos y negativos E.L.U.	49
Tabla 10 Parámetros de cálculo seccional	51
Tabla 11 <i>Diseño de armado por carga</i>	54
Tabla 12 Curvaturas diferidas	55
Tabla 13 <i>Pilar P3 - Parámetros</i>	58
Tabla 14 Propiedades geométricas de la Sección	58
Tabla 15 Esfuerzos de diseño Pilar P3	59
Tabla 16 Cálculo seccional – Cabeza de Pilar	59
Tabla 17 Esfuerzos en Comb. Cuasi-permanente	61
Tabla 18. Diagrama de esfuerzos (Momentos + y -) SAP2000	64

Capítulo I. Introducción

1. Introducción

En el marco de su estrategia de crecimiento y expansión territorial, una Empresa consolidada en el sector de estaciones de servicio automatizadas ha proyectado la construcción de una nueva Gasolinera en la Comunidad Valenciana. El proyecto estará ubicado en la Carrer Pouet del Valenciano, 1, Riba-roja de Turia, Valencia.

El modelo de negocio que impulsa la Empresa se caracteriza por su compromiso con la innovación y el vanguardismo tecnológico en todas sus instalaciones. Esta filosofía se traduce en la búsqueda constante de soluciones constructivas que permitan una significativa reducción de costes en la fase de construcción, al tiempo que se prioriza la seguridad integral de sus activos y usuarios. La adopción de tecnologías avanzadas y materiales de última generación son elementos centrales para alcanzar una eficiencia operativa superior y ofrecer un servicio competitivo en el mercado del suministro de carburantes.

La estructura original de la marquesina fue concebida en perfiles de acero estructural, una solución habitual en cubiertas ligeras por su alta resistencia específica. Sin embargo, esta elección conlleva una serie de inconvenientes significativos en términos de costes globales del ciclo de vida, debido tanto al proceso de fabricación como a las operaciones de transporte, montaje y, especialmente, mantenimiento a largo plazo. En entornos exteriores expuestos, el acero requiere sistemas de protección anticorrosiva mediante galvanización o pintura industrial, lo que incrementa notablemente los costes operacionales y reduce la durabilidad si no se aplican mantenimientos programados rigurosos.

Frente esta problemática, el rediseño mediante Hormigón de Ultra-Alto Rendimiento Reforzado con Fibras (UHPFRC)¹. UHPFRC ofrece una alternativa estructural más eficiente y sostenible. Este material, conforme a lo establecido por la norma NF P18-710, presenta una resistencia a compresión superior y una matriz densa de baja porosidad, lo que garantiza una durabilidad sobresaliente incluso en condiciones ambientales agresivas.

Desde el punto de vista estructural, el UHPFRC permite la ejecución de elementos de sección reducida con elevada esbeltez sin comprometer la capacidad portante ni la estabilidad global, debido a su módulo de elasticidad elevado y comportamiento dúctil frente a solicitaciones combinadas. A diferencia del acero, cuya rigidez se concentra en perfiles delgados unidos mediante conexiones atornilladas o soldadas, el UHPFRC facilita la ejecución monolítica de la estructura, minimizando las discontinuidades estructurales y mejorando la respuesta ante cargas horizontales y efectos de segundo orden.

La propuesta estructural responde no solo a criterios de desempeño mecánico, sino también a una optimización integral del diseño, al reducir el número de componentes, facilitar la ejecución en obra y minimizar las intervenciones de mantenimiento.

¹ UHPFRC: Hormigón de ultra alta resistencia reforzado con fibras por sus siglas en ingles

En consecuencia, el UHPFRC se consolida como la solución material superior en términos de eficiencia estructural, durabilidad y sostenibilidad, aportando valor técnico, económico y estético frente a soluciones metálicas tradicionales.

Este trabajo se enfoca en la investigación y el diseño de diferentes alternativas para la marquesina de la estación de servicio utilizando UHPFRC. A través de un análisis comparativo, se busca desarrollar una solución estructural que optimice la esbeltez, permita una reducción significativa en el uso de materiales y mantenga la calidad, estabilidad y durabilidad inherentes del material, como alternativa a la estructura metálica inicialmente propuesta.

El empleo del UHPFRC en el presente Trabajo Final de Máster responde a una motivación de carácter académico e innovador centrada en la incorporación de materiales avanzados dentro del ámbito de la ingeniería del hormigón. El UHPFRC ha cobrado especial relevancia en la última década. El 16 de abril del 2016 se publica la primera versión de la NF P18-710 como un complemento al Eurocódigo 2 para el diseño de estructuras de hormigón: específicamente reglas para el UHPFRC. En el desarrollo del TFM se ha integrado los conceptos normativos (Eurocódigos y NF P18-710) en el análisis estructural mediante elementos finitos, no lineal y el comportamiento post-fisuración a cada uno de los elementos diseñados. Se ofrece una contribución relevante a la investigación aplicada en la ingeniería del hormigón y la posibilidad de desarrollar nuevos productos en el sector constructor, aplicando cada uno de los conceptos académicos a proyectos constructivos.

La concepción de la cubierta en forma de Paraboloide Hiperbólico en UHPFRC se basa en la manipulación de la geometría para conseguir una mayor eficiencia estructural del elemento. El diseño de la cubierta no se centra sólo en cómo la forma y el material interactúan para optimizar la resistencia y la ligereza, sino en el proceso constructivo y montaje en obra.

El diseño conceptual inicia a partir de dos vigas rectas y opuestas, inclinadas con el mismo ángulo. Estas vigas definen la inclinación longitudinal de los bordes del paraboloide hiperbólico y actúan a su vez como directrices o generatrices del diseño. Las vigas transversales que unen los puntos de las dos vigas longitudinales opuestas crean una superficie reglada de doble curvatura que confiere una rigidez inherente a la geometría. A diferencia de las láminas planas, que se deforman por flexión bajo carga, esta cubierta reglada distribuye las fuerzas a través de toda su superficie mediante esfuerzos de tracción y compresión, lo que permite espesores menores y seguros para la estructura. El UHPFRC es el material ideal para esta forma, su alta resistencia a la compresión y su resistencia a tracción otorgada por las fibras de acero, permitieron suprimir la armadura de refuerzo en la cubierta, mientras que en las vigas se hizo uso únicamente del refuerzo mínimo por fisuración y optimizando el rendimiento de la estructura.

El UHPFRC ofrece una flexibilidad geométrica superior para crear formas complejas como el paraboloide hiperbólico, siendo más sencillo y económico que las uniones y perfiles metálicos requeridos para formar geometrías similares. Su alta resistencia mecánica permite diseñar elementos con secciones transversales reducidas, lo cual resulta eficiente tanto en el diseño

arquitectónico como en el estructural. La esbeltez de cada elemento facilita la ejecución, reduce el peso propio y minimiza la interferencia con otras instalaciones o elementos. Además, el UHPFRC presenta una excelente capacidad de adaptación a sistemas de prefabricación, permitiendo la industrialización del proceso constructivo, un mejor control de calidad y una significativa reducción de los tiempos de obra. Esta versatilidad lo convierte en un material idóneo para proyectos donde la precisión geométrica, la rapidez de ejecución y la racionalización de medios auxiliares constituyen factores críticos.

Una de las características más destacadas del UHPFRC es su excelente comportamiento frente a los mecanismos de degradación que afectan tradicionalmente a las estructuras de hormigón expuestas al medioambiente. Gracias a su microestructura altamente compacta y a su baja porosidad, el UHPFRC ofrece una notable resistencia a la penetración de agentes agresivos como el agua, los cloruros, el CO₂ y otros contaminantes presentes en entornos urbanos o industriales. Esta propiedad, junto con la presencia de fibras metálicas que limitan la propagación de fisuras, garantiza una vida útil prolongada y una notable reducción de las necesidades de mantenimiento. En el caso de la marquesina, expuesta a condiciones ambientales variables y a la acción de sustancias corrosivas, la durabilidad del UHPFRC constituye una ventaja técnica decisiva. Además, al no requerir recubrimientos protectores ni tratamientos periódicos, se optimiza la gestión a largo plazo de la infraestructura.

El proceso constructivo propuesto para la marquesina de la Gasolinera se basa en la prefabricación de la totalidad de los elementos, optimizando tiempos de ejecución y asegurando altos estándares de calidad. Cada uno de los elementos estructurales principales —pilares, vigas y cubierta— se fabricarán en factoría bajo condiciones controladas. Los pilares tienen diferentes alturas según su posición en la cubierta y tendrán barras de espera en la cabeza que se conectarán posteriormente a las vigas prefabricadas mediante una unión in situ, garantizando continuidad estructural y adecuada transmisión de esfuerzos. Por su parte, la cubierta está conformada por siete láminas rectangulares de 4.00x10.00x0.06 m, prefabricadas según su curvatura, al unirse in situ dan forma a la geometría de la paraboloides. Estas laminas se fijarán a las vigas mediante uniones atornilladas, facilitando tanto el montaje como la posibilidad de desmontaje o sustitución en el futuro. La prefabricación aporta eficiencia, control de calidad y limpieza en obra y minimiza el uso de encofrados y cimbras complejas, por el contrario, el proceso de hormigonado de todos los elementos in situ, que para el caso del UHPFRC representa un proceso técnicamente complejo. En aspectos técnicos favorece la industrialización del proceso constructivo, alineándose con las tendencias actuales de sostenibilidad y precisión en la edificación.

1.1. Antecedentes

(Lázaro et al., 2023) diseñaron y construyeron un prototipo innovador de puente peatonal de 5,4 m de luz, basado en el concepto de *Curvatura Activa*. El puente está construido con un tablero pretensado ultradelgado de UHPFRC de 6 cm de espesor y 1,2 m de ancho, apoyado en una viga central de rigidización o desviador central de UHPFRC de 55 cm de canto, complementado por un sistema de cables de acero inoxidable en tensión ubicados en la parte inferior.

El procedimiento de fabricación incorporó un proceso clave y fue la inducción controlada de curvatura permanente en el tablero antes de su instalación, lo cual aprovecha la ductilidad y resistencia a tracción del material para alcanzar una configuración eficiente y elevada rigidez específica (rigidez/peso) en servicio. Se realizaron pruebas de carga y control geométrico tras la instalación para validar el comportamiento estructural. También se desarrolló un modelo de elementos finitos 3D que permitió determinar el límite admisible de pretensado en secciones curvas y analizar los estados límite antes de la fabricación.

Las conclusiones resaltan que el uso de UHPFRC en una estructura bending-active es viable y novedoso, combinando estética, ligereza, y eficiencia estructural con una alta relación rigidez-peso. Se valida la idoneidad del material y se establece una metodología para dimensionar la curvatura activa sin comprometer la integridad estructural. Este prototipo resulta muy relevante en el desarrollo del proyecto, la estrategia de obtención de curvatura estructural a partir de un elemento plano ultradelgado y la aplicación del UHPFRC como material ofrece una referencia directa en cuanto a optimización de material, estética ligera y rigidez.

El estudio realizado por (Yousef et al., 2023) presenta los resultados de su investigación combinada experimental y numérica sobre *vigas de gran canto* de UHPFRC, con y sin aberturas en el canto (web openings). La investigación incluyó ocho vigas continuas de dos luces, siete con diferentes aberturas y una de referencia sin abertura. Las variables incluyeron altura, ancho y posición de la abertura, además de diferentes ratios de armadura transversal (estribos), con un planteamiento claro de comparar comportamiento frente a una viga sólida equivalente.

Las vigas fueron ensayadas utilizando carga controlada de 20 kN/min. Para lograr una configuración de flexión de cuatro puntos, se emplearon placas de acero en zonas de carga y apoyos. Se instrumentaron las probetas con galgas de deformación en barras longitudinales, estribos y “skin bars”, así como medidores de desplazamiento (precisión de 0,01 mm) y microscopio para seguimiento de grietas (precisión 0,02 mm).

Para el caso de la viga sin abertura la primera fisura de flexión apareció simultáneamente en ambas luces; progresaron fisuras diagonales en zonas cercanas a apoyos y cargadores, conduciendo a una falla por pandeo en las bielas de compresión, seguido de aplastamiento puro del UHPFRC óptimo del material.

En las vigas con abertura las fisuras iniciaron en las esquinas de la abertura, siendo más cortas. El fallo fue más frágil, con desarrollo rápido de grietas diagonales a través del dintel de compresión que conecta el soporte y la carga. Las aberturas redujeron significativamente la resistencia última: es decir, a aberturas equivalentes al 20 % de altura se observaron reducciones del 31.6 % al 43.0 % frente a la viga de referencia, y aberturas del 40 % redujeron aún más la capacidad a 57.0–68.4 %.

El modelo numérico tridimensional predictivo, basado en elementos finitos, reprodujo con buena precisión los valores de carga última y etapas de fisuración observadas experimentalmente, lo que proporciona un respaldo confiable para el análisis de diseño preliminar. La presencia de aberturas en las vigas de gran canto de UHPFRC afecta de forma crítica su resistencia, especialmente en zonas de cortante. Para mejorar el comportamiento estructural, la ubicación, tamaño de la abertura y armadura transversal son determinantes. El modelo EF desarrollado demuestra ser una herramienta eficaz para anticipar la capacidad portante y el comportamiento de fisuración.

Este estudio es significativo para el proyecto, pues involucra el uso de los Elementos Finitos como metodología predictiva y asertiva en el comportamiento real de una estructura, afianza la metodología establecida y orienta el desarrollo del proyecto.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Utilizando UHPFRC e integrando criterios normativos, eficiencia constructiva, durabilidad y sostenibilidad, diseñar una marquesina para una gasolinera con geometría de paraboloide hiperbólica

1.2.2. Objetivos específicos

- Establecer las propiedades mecánicas del UHPFRC empleado en el proyecto, incluyendo resistencia a compresión, módulo de elasticidad, resistencia a tracción post-fisuración y comportamiento tipo II, con el fin de definir los parámetros fundamentales para el cálculo estructural.
- Desarrollar un modelo estructural no lineal por elementos finitos de un módulo de la marquesina, con su geometría definida, para analizar su comportamiento y capacidad resistente última bajo las combinaciones de carga de diseño.
- Definir e implementar todas las combinaciones de carga en estado límite último (ELU) y estado límite de servicio (ELS), incluyendo cargas permanentes, sobrecarga de uso, viento (presión y succión), sismo (cuando proceda) y otras acciones, siguiendo las disposiciones del Eurocódigos, y teniendo en cuenta las particularidades del UHPFRC.
- Determinar las dimensiones óptimas de la cubierta y sus apoyos, así como el armado mínimo requerido para resistir los esfuerzos máximos obtenidos del análisis, utilizando criterios de comportamiento tipo II y considerando tanto el efecto de las fibras como la necesidad de garantizar el control de fisuración, la resistencia a flexión y a esfuerzo axial.
- Establecer un proceso constructivo sistemático para la marquesina estableciendo parámetros fundamentales de uniones entre elementos, transferencia de esfuerzos y estabilidad de la estructura.
- Presentar un presupuesto general del proyecto, en el que se determinen las principales etapas del proyecto; construcción y montaje y compararlo con el presupuesto presentado por la Dirección Facultativa del proyecto inicial.

1.3. Estructura del documento

El presente documento está compuesto por ocho capítulos, los cuales se desarrollan ampliamente y hacen parte de la estructura del proyecto técnico, en cada uno se detalla la información requerida para soportar la propuesta estructural y constructiva del proyecto. Los capítulos se diferencian según su contenido y secuencia técnica.

1. Introducción.
2. Estado del Arte.
3. Parámetros del proyecto inicial.
4. Diseño estructural
5. Proceso constructivo y montaje.
6. Análisis de costos y comparativo.
7. Ventajas UHPFRC / Estructura metálica.
8. Conclusiones y futuras líneas de investigación.

El capítulo I está compuesto por tres subcapítulos: se expone la introducción del estudio, se revisan los antecedentes pertinentes y se establecen los objetivos generales y específicos. Este segmento inicial define el contexto académico, justifica el proyecto y orienta la estructura del trabajo, actuando como base sólida para el desarrollo de los capítulos subsiguientes.

El capítulo II Estado del arte se analizan investigaciones previas sobre UHPFRC, describiendo casos de aplicación en estructuras avanzadas, losas de puentes y proyectos industriales innovadores. Se comparan metodologías, resultados y estadísticas, con proyectos similares basados en UHPFRC, identificando tendencias emergentes.

El capítulo III Parámetros del proyecto inicial se describen las condiciones del proyecto original: estructura metálica, ubicación geográfica, características arquitectónicas, limitaciones técnicas y localización de surtidores, así como los requerimientos específicos del cliente. Este apartado define el punto de partida del diseño y establece las pautas fundamentales para las fases posteriores.

El capítulo IV Diseño estructural utilizando la NF P18-710 y el UNE-EN 1992-1-1:2018 se dimensionan los elementos principales de la marquesina (cubierta, vigas, pilares), definiendo las acciones de diseño y empleando SAP2000 para el cálculo de esfuerzos. Se realiza el cálculo seccional y se determina el armado necesario para estados límite de servicio (ELS) y última (ELU).

El capítulo V detalla el proceso constructivo y montaje, enfatiza la prefabricación de todos los elementos de la marquesina de vigas, pilares y paneles de cubierta. Se explica el ensamblaje in situ y se justifica la partición de la cubierta en siete (7) módulos para optimizar y facilitar transporte, instalación y control de calidad durante el montaje.

El capítulo VI describe el análisis de costos de la fabricación y montaje de la marquesina en UHPFRC y un comparativo frente al presupuesto general presentado por la Dirección facultativa del proyecto en Estructura metálica diseñado inicialmente por el cliente.

El capítulo VII examina comparativamente las ventajas técnicas, constructivas y económicas del hormigón de ultra alta resistencia y ductilidad (UHPFRC) frente a la estructura metálica convencional, evaluando su rendimiento mecánico, durabilidad, eficiencia de ejecución, reducción de costes y sostenibilidad. Además, se analizan implicaciones de diseño y mantenimiento a largo plazo.

El capítulo VIII, último de este trabajo, presenta las conclusiones del proyecto ofreciendo un resumen sistemático de los análisis efectuados detallados y de los resultados obtenidos. Asimismo, se exponen las posibles líneas futuras de investigación generadas a partir de los hallazgos, con el propósito de profundizar en aspectos específicos, científicos y tecnológicos.

Capítulo II. Estado del arte

2. Estado del arte

Para (Saleme Gidrão, Augusto Krah, & Carrazedo, 2021) quienes evaluaron el comportamiento y la resistencia última de elementos estructurales fabricados con (UHPFRC), sometidos a esfuerzos de flexión y cortante. Las principales variables de la investigación incluyeron; la fracción volumétrica de fibras de acero, la relación luz de cortante a profundidad (a/d), y la resistencia a compresión de la matriz de UHPFRC. Se observó que la incorporación del 2% en volumen de fibras de acero fue el factor más influyente, incrementando significativamente las resistencias a cortante y a flexión, y promoviendo una transición del modo de fallo por cortante diagonal frágil a un modo de fallo dúctil por flexión. Esta mejora en el comportamiento dúctil es crucial para la seguridad estructural, ya que permite una redistribución de esfuerzos y proporciona una advertencia visible antes del colapso total.

La capacidad de resistencia a cortante de las vigas de UHPFRC se vio significativamente afectada por la resistencia a tracción de la matriz de alta resistencia y la contribución de las fibras de acero. Los autores caracterizaron el UHPFRC con relaciones agua-cemento (inferior a 0.25), resultando en resistencias a compresión superiores a 100 MPa. La inclusión de fibras de acero cortas y rectas fue fundamental para mejorar la resistencia a tracción y compresión. El estudio contrastó los resultados experimentales con las directrices de diseño de flexión y cortante para UHPFRC de normativas Francesa FN P18-710 y Coreana "Design Guidelines for K-UHPC, KCI-M-12-003" del Korea Concrete Institute, contribuyendo al entendimiento del desempeño estructural de este material avanzado.

El análisis de los resultados reveló la relación estrecha entre el modo de fallo de las vigas en función de la relación luz de cortante a profundidad y la inclusión de refuerzo de fibra y estribos. Las probetas con una relación a/d elevada (6.6) y fibras de acero exhibieron un fallo por flexión caracterizado por el aplastamiento del hormigón en la zona de compresión, demostrando una notable capacidad de deformación post-pico. En las vigas con una relación a/d de 3.4, la presencia del 2% de fibras de acero indujo una transición clara de un fallo por cortante diagonal a un comportamiento dominado por la flexión, evidenciado por la ausencia de fallos frágiles por cortante en las probetas con fibras. Por el contrario, las probetas sin fibras o con una matriz de menor resistencia mostraron una propagación pronunciada de grietas diagonales. Para relaciones a/d bajas (2.0), el fallo por cortante diagonal fue el modo predominante, aunque la inclusión de fibras de acero atenuó la severidad de este fallo. En síntesis, la adición de fibras de acero y estribos mejoró significativamente la resistencia última y la capacidad de deformación de las vigas, favoreciendo modos de fallo más dúctiles.

(Bae, Lee, Choi, Jung, & Choi, 2021) desarrollaron una propuesta metodológica para el dimensionamiento a flexión de elementos prefabricados de hormigón reforzado con fibras de ultra alto rendimiento (UHPFRC), incorporando explícitamente la resistencia a tracción residual del material. Basado en los postulados de Fehling et al. (2014), el enfoque introduce un modelo simplificado para la distribución de esfuerzos en secciones rectangulares e I, considerando la

respuesta del hormigón en tracción mediante bloques parabólicos o rectangulares, junto con el aporte del acero convencional o de pretensado. El procedimiento se estructura en torno al equilibrio de fuerzas internas (compresión del hormigón, tracción del acero y del UHPFRC post-fisuración) y la compatibilidad de deformaciones, permitiendo calcular la posición de la fibra neutra y el momento resistente último de la sección.

Se ha utilizado un doble método: por un lado, mediante simulaciones numéricas no lineales con el modelo de Plasticidad por Daño del Hormigón (Concrete Damage Plasticity, CDP) implementado en ABAQUS, y por otro, mediante la comparación con resultados experimentales de vigas protendidas tipo PCI-AASHTO ensayadas bajo flexión en cuatro puntos, reportadas por Graybeal (2008). Además, el trabajo desarrolla un análisis paramétrico con vigas I de diferentes alturas y tasas de refuerzo para verificar la robustez de la metodología en diversas configuraciones. Se consideran diferentes leyes constitutivas para el hormigón, tanto en compresión como en tracción, utilizando curvas simplificadas y calibradas en base a ensayos de tracción directa. Los valores experimentales de resistencia a tracción se contrastan con los obtenidos en simulaciones para evaluar el margen de error y la fidelidad del modelo analítico.

Los resultados demuestran que el modelo propuesto logra predecir con buena precisión el momento último de rotura, con errores inferiores al 5% respecto a ensayos experimentales y simulaciones no lineales. Se destaca la versatilidad del enfoque para el diseño preliminar de vigas prefabricadas de UHPFRC, especialmente en condiciones dominadas por flexión. No obstante, desde una perspectiva crítica, el modelo analítico simplificado presenta algunas limitaciones: no diferencia entre los dominios de deformación típicos de hormigón estructural (como sí lo hace la NF P18-710), y no distingue entre los diferentes tipos de comportamiento tensional de UHPFRC (tipo I, II y III), fundamentales para evaluar la ductilidad estructural y la evolución de fisuración. Asimismo, el uso de bloques de esfuerzos idealizados puede ser adecuado para predicción global, pero no necesariamente refleja los mecanismos locales de daño, fisuración o redistribución de esfuerzos, lo cual es relevante en zonas de discontinuidad o ante acciones combinadas (por ejemplo, flexión-compresión-cortante). En síntesis, el artículo ofrece una contribución útil y práctica para el diseño estructural con UHPFRC, pero su implementación debe acompañarse de criterios adicionales de verificación normativa y análisis no lineal cuando se requiera garantizar comportamiento dúctil o evaluar fenómenos post-elásticos.

(Irreño Palomo, Frappa, Carlos de Almeida, Mouta Trautwein, & Pauletta, 2024) proponen una metodología combinada, analítica y numérica, para estimar la capacidad resistente de uniones viga–pilar reforzadas con UHPFRC. La investigación introduce un modelo de flexión que permite calcular el momento último de la viga considerando la contribución activa del recubrimiento de UHPFRC bajo solicitaciones cíclicas, además de un modelo de corte que incorpora el efecto de confinamiento del núcleo de hormigón armado. Ambos enfoques se validan mediante simulaciones tridimensionales con el software ATENA, implementando modelos de interfaz concretos y una ley constitutiva específica para la interacción entre el hormigón base y el

recubrimiento. Los resultados experimentales y numéricos muestran una concordancia significativa en términos de capacidad última, rigidez inicial y disipación de energía, lo que refuerza la viabilidad estructural del sistema reforzado.

El principal aporte del artículo radica en la detallada interacción entre el hormigón existente y el UHPFRC, que hasta ahora se había abordado en la literatura con simplificaciones excesivas. El modelo de flexión considera una distribución continua de tensiones en la zona comprimida del recubrimiento, así como un modo de fallo dominado por aplastamiento del UHPFRC, en lugar de la típica rotura por tracción o fallo mixto. Esta aproximación mejora la precisión en la estimación del momento resistente y refleja adecuadamente el comportamiento no lineal y posfisuración del UHPFRC, incluyendo su capacidad post-elástica.

El modelo de corte, por su parte, permite cuantificar la mejora en la resistencia transversal de la junta al considerar no solo el incremento de rigidez, sino también la contribución confinante del revestimiento sobre el hormigón armado. La implementación numérica en ATENA refuerza la solidez de las hipótesis analíticas, especialmente al incorporar mecanismos de adherencia mediante leyes bond-slip y superficies de contacto modeladas con criterio de Mohr-Coulomb. Esta estrategia de validación dual posiciona el modelo como una herramienta eficaz para intervención estructural en zonas críticas, particularmente en estructuras existentes sujetas a acciones sísmicas o cargas cíclicas.

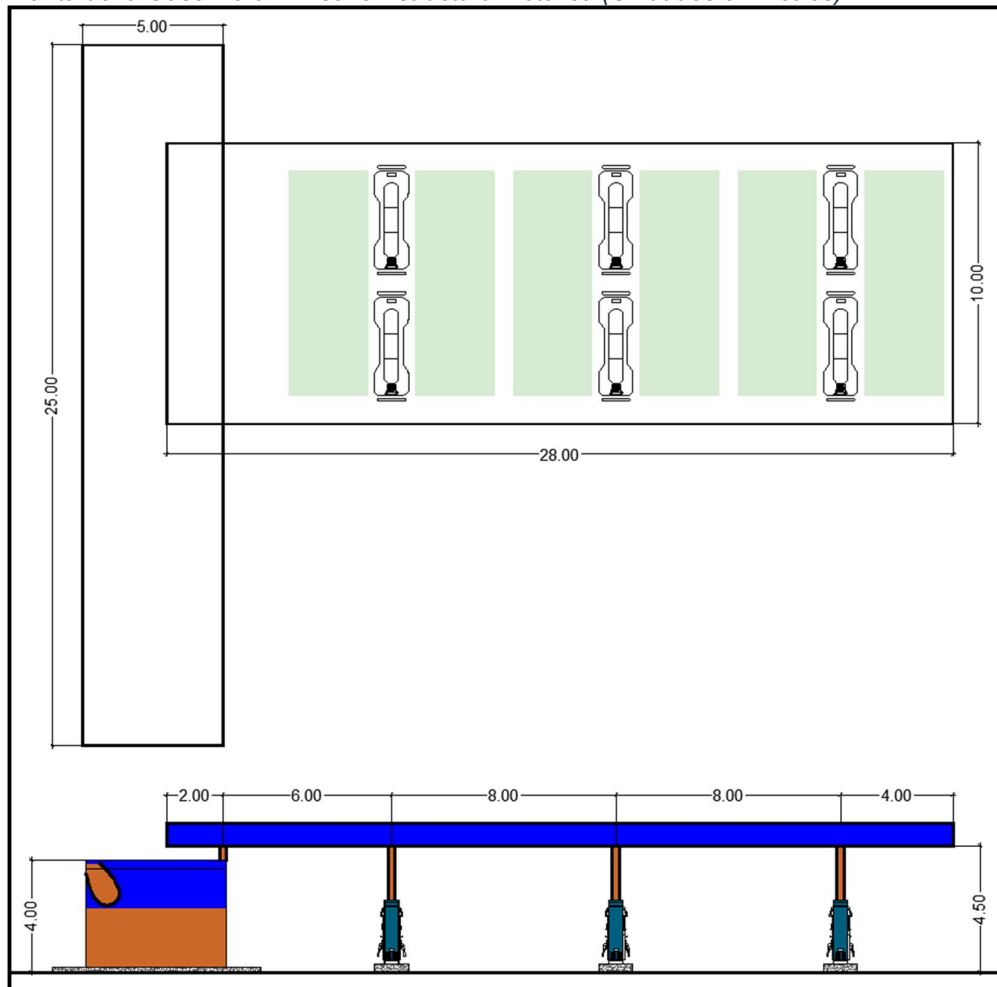
Capítulo III. Parámetros del proyecto inicial

3. Parámetros del proyecto original

La superficie máxima de la gasolinera en planta es de 28,00 m de largo por 10,00 m de ancho, se dispone de tres (3) líneas de surtidores separados entre sí 8,00 m, altura mínima libre del proyecto 4,50 m. Adicionalmente se dispone de una tienda de servicios múltiples, con dimensiones de 25,00 m de ancho por 5,00 m de largo, la cual se encuentra perpendicular a la línea de surtidores como se aprecia en la figura 1.

Figura 1

Planta de la Gasolinera – Diseño Estructura Metálica (Unidades en metros)



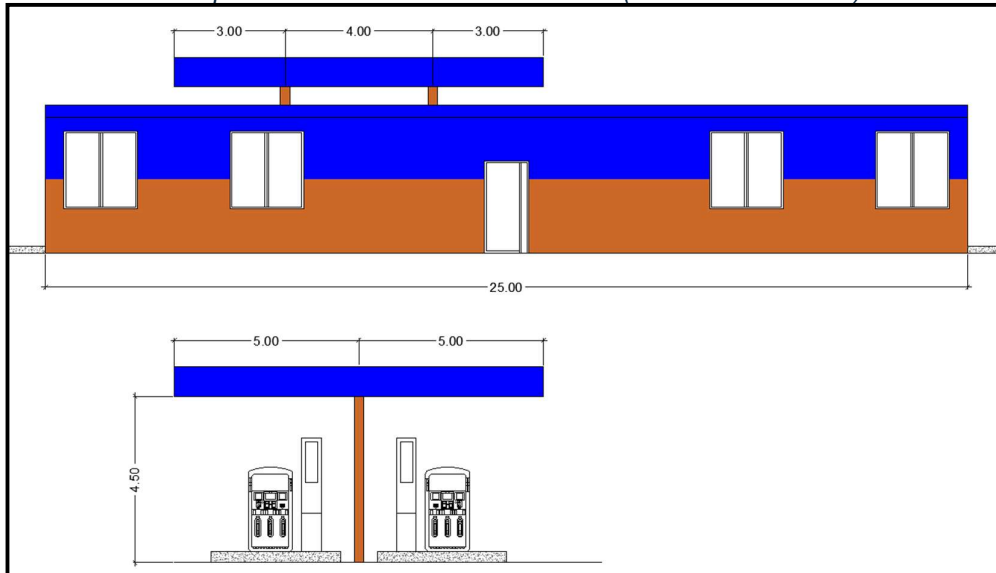
Nota. El Plano representa la planta arquitectónica de la Gasolinera, se definen las medidas y parámetros principales del proyecto.

La estación de servicio cuenta con una zona de abastecimiento conformada por tres islas de surtidores, cada una con dos dispensadores de combustible, permitiendo el suministro simultáneo a varios vehículos. La marquesina cubre completamente el área de suministro, brindando protección ante condiciones climáticas adversas. La tienda de conveniencia está situada perpendicular a la marquesina, proporcionando un acceso fluido a los clientes. El diseño estructural de la marquesina está realizado utilizando perfiles metálicos:

- Pilares centrales: Perfiles HEB 300, proporcionando la base de soporte para la estructura.
- Vigas principales: Perfiles HEA 320, que distribuyen las cargas a lo largo de la marquesina.
- Cerchas metálicas: Compuestas por ángulos de 60x3 mm en los cordones superior e inferior, ofreciendo una solución ligera y eficiente para la cubierta.

Figura 2

Alzados de la Marquesina - Diseño Estructura Metálica (Unidades en metros)



Capítulo IV. Diseño estructural

4. Descripción general del Sistema estructural

El sistema estructural utilizado es el de Pórticos de UHPFRC. Está compuesto fundamentalmente por elementos lineales dispuestos ortogonalmente: pilares y vigas, que se conectan entre sí. La marquesina está configurada mediante un sistema estructural compuesto por ocho pilares verticales (de altura variable) dispuestos en planta rectangular, unidos mediante vigas longitudinales y transversales. Específicamente, se disponen dos vigas longitudinales y cuatro transversales, generando un marco cerrado que contribuye a la estabilidad global del conjunto. La disposición sugiere un sistema reticulado ortogonal en el plano horizontal, con continuidad estructural en ambas.

La principal característica del sistema estructural escogido es su capacidad para resistir cargas gravitatorias mediante la acción combinada de los elementos, mientras que su resistencia lateral está en función de la rigidez del marco formado por las uniones viga-pilar. Esta rigidez se ve favorecida en uniones monolíticas (nudos rígidos), lo que permite que los momentos flectores se distribuyan y se genere una contribución significativa a la estabilidad global.

4.1. Geometría de la cubierta

Con el fin de aprovechar al máximo los beneficios del UHPFRC se ha propuesto una cubierta en forma de paraboloides hiperbólicos, la cual, está creada a partir de dos vigas rectas inclinadas con el mismo ángulo y orientadas en forma invertida. Las vigas longitudinales actúan como directrices y definen los bordes opuestos a la superficie. La doble curvatura generada por el paraboloides hiperbólico permite una mejor distribución de esfuerzos a lo largo de toda la cubierta y transformándolos en tracciones y compresiones. Esto significa que las tensiones de flexión y cortante se reducen significativamente a casi nulas.

La elevada resistencia a compresión ($f_{ck} = 130$ MPa) y su resistencia a tracción ($f_{ctk} = 8,0$ MPa - $f_{cth,res} = 7,5$ MPa) por la incorporación de fibras, permite que la cubierta sea muy delgada y ligera, reduciendo de esta forma el peso propio del elemento y el de toda la estructura en general. Las dimensiones de la cubierta son:

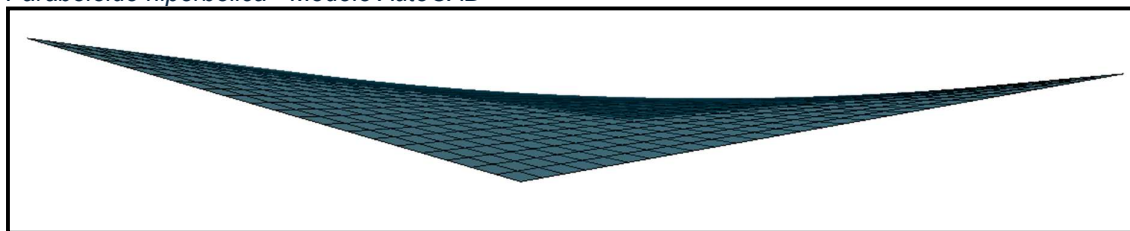
Ancho: 10.00m

Largo: 28.00 m

Espesor: 0.06 m

Esta metodología garantiza que la cubierta de la gasolinera, pese a su aparente complejidad curvada, está compuesta exclusivamente por vigas rectas, lo cual concede ventajas estructurales significativas en términos de simplicidad constructiva y facilidad de fabricación, los cuales son procesos donde la optimización de recursos y la eficiencia de montaje son cruciales.

Figura 3
Paraboloide hiperbólica - Modelo AutoCAD



4.1.1. Vigas

El sistema resistente horizontal de la marquesina está conformado por seis (6) vigas principales de (UHPFRC), distribuidas en dos direcciones ortogonales: dos (2) vigas longitudinales y cuatro (4) vigas transversales, todas con sección rectangular constante de 150x300 mm.

Las vigas longitudinales son de 28 metros de longitud y constituyen los elementos estructurales de mayor longitud. estas vigas trabajan predominantemente a flexión, y su rigidez se ve optimizada por el elevado módulo de elasticidad del UHPFRC y la presencia de fibras metálicas, que contribuyen a retrasar la fisuración y mejorar el comportamiento post-fisuración.

Por su parte, las cuatro vigas transversales, de 10 metros de longitud, comparten la misma sección y están dispuestas ortogonalmente entre las longitudinales. Estas vigas actúan como diafragmas secundarios, redistribuyendo cargas hacia las vigas longitudinales y aportando rigidez transversal al sistema. El uso de UHPFRC permite mantener la sección reducida sin comprometer la capacidad resistente ni la durabilidad.

Todas las vigas presentan una sección homogénea, sin aligeramientos ni variaciones de canto, lo que simplifica su prefabricación, y permite un comportamiento estructural predecible. La utilización de UHPFRC proporciona además alta resistencia mecánica, elevada durabilidad y buen control de fisuración, incluso en secciones delgadas, garantizando el cumplimiento de los requisitos de servicio y seguridad estructural.

4.1.2. Pilares

El pórtico está determinado por ocho (8) pilares de diferente altura, pero con sección uniforme (250 x 300 mm) con $f_{ck} = 130$ MPa, la sección de esbeltez intermedia, ha sido seleccionada teniendo en cuenta los criterios arquitectónicos y parámetros iniciales del proyecto, así como la eficiencia estructural, maximizando la capacidad portante en relación con el volumen de material empleado.

El uso del UHPFRC aporta ventajas significativas frente al hormigón convencional en elementos sometidos a compresión. Su elevado módulo de elasticidad y su compacidad microestructural mejoran la rigidez axial del pilar, reduciendo significativamente las deformaciones bajo cargas de servicio. Además, la presencia de fibras metálicas orientadas aleatoriamente incrementa la tenacidad y retrasa el inicio del daño localizado, especialmente bajo efectos combinados de compresión y flexión.

De acuerdo con la NF P18-710, el comportamiento post-elástico del UHPFRC es estable y dúctil, lo que permite aprovechar al máximo la sección activa antes del colapso.

En relación con las derivas laterales, el uso del UHPFRC confiere una respuesta más favorable frente acciones horizontales (sismo y viento, gracias a la combinación de rigidez inicial elevada y disipación controlada de energía por microfisuración con capacidad post-fisura. Esta propiedad es altamente relevante en eventos sísmicos o solicitaciones de viento lateral, donde el control de desplazamientos relativos y la integridad estructural deben garantizarse. El uso de este material permite rescindir de armado convencional denso, reduciendo el riesgo de congestión en zonas críticas y facilitando el proceso de prefabricación.

4.2. Propiedades del UHPFRC

Para el proyecto se define un UHPFRC de $f_{ck} = 130 \text{ MPa}$. Este hormigón tiene una matriz densa y baja porosidad, lo que otorga una resistencia superior frente a los agentes agresivos del ambiente, como la humedad, agentes químicos y los contaminantes presentes en el aire. La estructura está expuesta de manera constante a variaciones climáticas y a productos derivados del petróleo, el UHPFRC proporciona una mayor vida útil y menores costos de mantenimiento en comparación con hormigones tradicionales.

Según lo analizado por (Morrobel, s. f. 2015) a diferencia de los hormigones convencionales, el UHPFRC presenta una mayor capacidad para resistir esfuerzos de tracción y flexión, lo que lo hace especialmente adecuado para elementos estructurales delgados o sometidos a cargas dinámicas y condiciones severas de servicio. Este comportamiento mejorado se debe en gran parte a su composición optimizada y al uso de fibras, que incrementan su ductilidad y reducen la propagación de fisuras.

Hormigón UHPFRC: f_{ck} , f_{ct} , f_{ctf} , E_{cm} , ϵ_{cu} , densidad, comportamiento tipo II.

4.2.1. Cálculo del módulo de elasticidad – Eurocódigo 2

El (UNE-EN_1992-1-1=2013, s. f., p. 38) determina el cálculo del módulo de elasticidad mediante la ecuación 1.

$$E_c = 22 * \left(\frac{f_{ck} + 8}{10} \right)^{0.3} \quad (1)$$

$$E_c = 22 * \left(\frac{130 + 8}{10} \right)^{0.3} = 48.35 \text{ GPa}$$

4.2.2. Módulo de elasticidad – Modelo de AFGC

$$E_c = 40 * \left(\frac{f_c}{100} \right)^{0.3} \quad (\text{MPa}) \quad (2)$$

$$E_c = 40 \times \left(\frac{130}{100}\right)^{0.3} = 43.28 \text{ GPa} \rightarrow \text{Módulo de proyecto.}$$

4.2.3. Acero B500S

La denominación B500SD en el acero distribuido en España hace referencia a las características específicas del material:

B: Indica que se trata de un acero para Hormigón Armado. La letra "B" es la abreviatura de "barras" en este contexto.

500: Representa el límite elástico mínimo garantizado del acero, expresado en Megapascuales (MPa). Esto significa que el acero podrá soportar una tensión mínima de 500 MPa antes de deformarse de forma permanente.

SD: Indican que el acero es Soldable y tiene características especiales de Ductilidad. La ductilidad es la capacidad que tiene un material para deformarse en el régimen elástico antes de fracturarse, lo que es fundamental para garantizar la seguridad de las estructuras.

4.2.4. Fibras metálicas

Las fibras metálicas utilizadas en la fabricación del UHPFRC son cruciales para obtener un mejor comportamiento mecánico, particularmente, la capacidad de absorción de energía, resistencia a la formación de fisuras, resistencia a tracción, resistencia a tracción residual y ductilidad. Estas fibras, generalmente de acero de alta resistencia, las fibras se distribuyen de forma aleatoria en la mezcla y, debido a esto, actúan como puentes entre fisuras iniciales, consiguiendo así atrasar su desarrollo. El aporte principalmente de las fibras se encuentra en el comportamiento estructural, especialmente cuando el hormigón se encuentra en la rama inelástica, donde hacen posible la redistribución de esfuerzos y un control eficaz del ancho de fisura, lo que resulta determinante en las aplicaciones estructurales que se ven sometidas a condiciones de cargas estáticas y/o dinámicas.

La eficacia de las fibras metálicas en el UHPFRC depende de varios parámetros: como el contenido en fibras, que suele introducirse en un rango promedio entre 1% y 3%, la relación de aspecto que se ofrece (longitud/diámetro), su morfología (rectas, ganchadas o con extremos en gancho) y la matriz de adherencia. Según (Richard & Cheyrezy, 1995), el refuerzo presentado con fibras de acero no solo mejora la resistencia a tracción compuesta, sino que también da como resultado un nuevo comportamiento de la curva tensión-deformación, siendo capaz de alcanzar un elevado comportamiento post-fisuración bajo carga axial o flexión. La sinergia conseguida entre el UHPC y las fibras metálicas convierten al UHPFRC en el mejor material para diferentes aplicaciones estructurales donde las exigencias del proyecto requieren de un material de altas prestaciones (tal como es el caso de puentes, elementos prefabricados, estructuras de protección balística, etc.)

4.3. Parámetros del proyecto estructural

4.3.1. Condiciones ambientales

Según lo establecido en el Eurocódigo 2 – 4.2 Condiciones ambientales y la Tabla 4.1 – Clases de exposición relacionadas con las condiciones ambientales conforme a la Norma *EN 206-1*. Se establece una exposición **XC3 Humedad Moderada**.

4.3.2. Vida útil de proyecto

En el capítulo 2.3 Vida útil de proyecto del UNE-EN 199:2019 y la Tabla 2.1 – Vida útil de proyecto indicativa, se establece que la gasolinera pertenece a la *Categoría 4* y es una estructura permanente de servicio continuo, con una vida útil de **50 años** según la categoría estándar del Eurocódigo.

4.3.3. Recubrimiento

El UNE-EN 1992-1-1:2013 define el recubrimiento como: “la distancia existente entre la superficie exterior de la armadura incluyendo cercos, estribos y refuerzos, y armadura de piel donde sea necesaria) más cercana a la superficie del hormigón y la superficie de hormigón más cercana”.

$$C_{nom} = C_{mín} + \Delta C_{dev} \quad (3)$$

4.3.3.1. Recubrimiento según UNE-EN 1992-1-1:2013

De acuerdo con lo establecido en la Tabla AN/2 (Tabla 4.3N) – Clasificación estructural se establece como clase estructural recomendada S4.

En la Tabla AN/3 (Tabla 4.4N) – Valores de recubrimiento mínimo, $C_{mín,dur}$, requeridos en relación con la durabilidad de las armaduras pasivas

$$C_{mín,dur} \text{ (mm)} = 20 \text{ mm}$$

Tabla AN/4 – Valores de incremento adicional de seguridad del recubrimiento mínimo por motivos de durabilidad $\Delta C_{dur,\gamma}$

$\Delta C_{dur,\gamma} = 0 \text{ mm}$; Aplicamos la formula (3) y reemplazamos los valores.

$$C_{nom} = 20mm + 0mm \rightarrow C_{nom} = 20mm$$

4.3.3.2. Recubrimiento según NF P18-710

La norma NF P18-710, complementaria al Eurocódigo, reconoce que el modelo de durabilidad de UHPFRC permite frecuentemente reducir los recubrimientos debido a su densidad y baja permeabilidad. En exposiciones de clase XC3 y Clase estructural S4, el estándar admite:

$$C_{mín,dur} \text{ (mm)} = 15 \text{ mm}$$

$$\Delta C_{dur,\gamma} = 0 \text{ mm}$$

$$C_{nom} = 15mm + 0mm \rightarrow C_{nom} = 15mm$$

4.4. Acciones de cálculo

Las *Acciones Permanentes y Sobrecarga de Uso* para el proyecto se definen según UNE-EN 1991-1-1:2019, mientras las *Acciones Variables* como Viento, Nieve y Sismo se definen siguiendo los requerimientos de *UNE-EN 1998-1 / Eurocódigo 8: Proyecto de estructuras sismorresistentes*, *UNE-EN 1991-1-3 / Eurocódigo 1-3: Acciones generales Cargas de nieve*, *UNE-EN 1991-1-4 / Eurocódigo 1: Acciones en estructuras Parte 1-4: Acciones generales Acciones de viento*. Se establecen los siguientes parámetros para el cálculo de las acciones:

Peso específico del UHPFRC = **25 kN/m³**

Localización del proyecto: **Riba Roja de Turia / Valencia, España**

Categoría de la cubierta: **Categoría H / $\alpha \leq 20^\circ$**

El peso propio de la estructura se determina mediante el software SAP2000, para elementos con sección geométrica estable el cálculo de cada elemento se evalúa teóricamente usando el valor estimado del UHPFRC multiplicado por su respectivo volumen, ejemplo: Cubierta UHPFRC; Sección: Ancho = 10m / Largo = 28m / Espesor = 0.06m ---- Volumen Cubierta: 16.8m³

Peso Propio de la Cubierta = 16.8m³ * 25kN/m³ = 420kN.

Tabla 1.
Resumen de Acciones

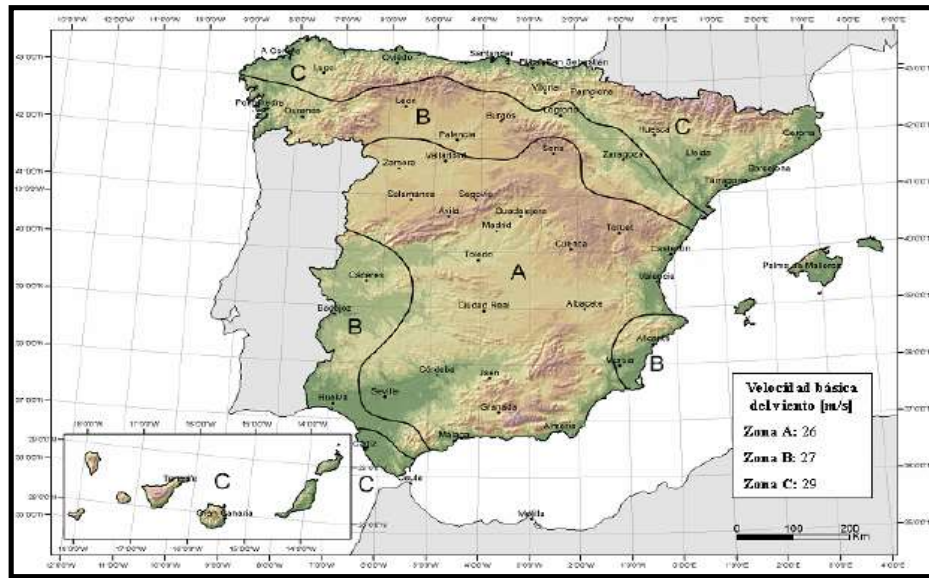
ACCIÓN	TIPO	VALOR
PERMANENTE	PP - Peso propio (Estimado - El PP será asumido por el Software de Diseño SAP2000)	
	Peso Propio de la cubierta UHPC / e = 0,06m	1,50 kN/m ²
	Peso propio Paneles Solares	0,24 kN/m ²
VARIABLE	Sobrecargas de uso en cubiertas / SCU	
	6.3.4 Cubiertas / Tabla 6.9 - Clasificación de las cubiertas en categorías	
	q_k [kN/m ²] =	0,40 kN/m ²
VARIABLE	Nieve	
	Nieve S =	0,19 kN/m ²

4.4.1. Cálculo de las acciones de viento

La comunidad valenciana se encuentra clasificada según el mapa de la velocidad básica del viento como Zona A, para la cual y de acuerdo con la Figura 4., la $v_{b,0} = 26$ m/s

Figura 4.

AN.1 – Mapa de isotacas de la velocidad básica fundamental del viento $v_{b,0}$



4.4.1.1. Valores básicos

$$v_b = c_{dir} \times c_{season} \times v_{b,0} \quad (4)$$

$$v_{b,0} = 26,00 \text{ m/s}$$

$$c_{dir} = 1,00$$

$$c_{season} = 1,00$$

$$v_b = 26,00 \text{ m/s}$$

4.4.1.2. Velocidad media del viento $v_m(z)$

Variación con la altura

$$v_m(z) = c_r(z) \times c_0(z) \times v_b \quad (5)$$

$$c_r(z) = k_r * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad (6)$$

Categoría de terreno III

Áreas con una cobertura de vegetación uniforme o edificaciones o con obstáculos aislados con una separación máxima de 20 veces la altura de los obstáculos (villas, terreno suburbano, bosques permanentes)

$$k_r = 0,196 * \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} \quad (7)$$

Factor	Valor Asignado
c0(z) =	1,00 m
z =	5,50 m
z0 =	0,30 m
zmín =	4,50 m
zmáx =	200 m
z0,II =	0,05 m

$$k_r = 0,22$$

$$c_r(z) = 0,65$$

$$v_m(z) = 16,80 \text{ m/s}$$

Orografía

Se pueden despreciar los efectos de la orografía cuando la pendiente media del terreno situado a barlovento sea inferior a 3°. Se puede considerar una longitud del terreno a barlovento de 10 veces la altura del accidente orográfico aislado.

Turbulencias

$$\sigma_v = k_r * v_b * k_l \quad (8)$$

$$l_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)} = \frac{k_l}{c_0(z) * \ln(z/z_0)} \quad (9)$$

kl =	1,00
kr =	0,22
vb =	26,00

$$\sigma_v = 5,78$$

$$l_v(z) = 0,34$$

Presión correspondiente a la velocidad de pico

$$q_p(z) = [1 + 7 * l_v(z)] * \frac{1}{2} * \rho * v_m^2 \quad (10)$$

$$c_e(z) = \frac{q_p(z)}{q_b} \quad (11)$$

$$q_b = \frac{1}{2} * \rho * v_b^2 \quad (12)$$

Densidad del viento recomendado:

$$\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$$

Reemplazando los valores en las fórmulas (10), (11) y (12) obtenemos los valores correspondientes.

$$q_b = 422,50 \text{ N/m}^2 \quad 0,42 \text{ kN/m}^2$$

$$q_p(z) = 601,17 \text{ N/m}^2 \quad 0,60 \text{ kN/m}^2$$

$$c_e(z) = 1,42$$

4.4.1.3. Presión del viento en cubierta a dos aguas

Considerando que la cubierta de la marquesina tiene forma de paraboloide hiperbólica y está formada a partir de dos vigas inclinada con el mismo ángulo, pero invertido, establecemos el modelo simplificado de Marquesina a dos aguas. En una de las caras laterales de la marquesina se encuentra la tienda, lo cual genera un coeficiente de bloque $\varphi = 1$; lo que representa una marquesina completamente oculta por una edificación cerrada.

$$\text{Ángulo de la cubierta } \alpha = 5^\circ$$

$$\text{Valor de bloqueo } \varphi = 1$$

Datos de entrada:		
d	b	h
28,00 m	10,00 m	7,00 m

Figura 5.
Coeficientes de presión neta $c_{p,net}$

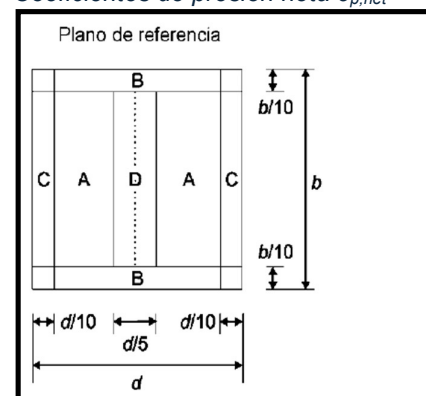


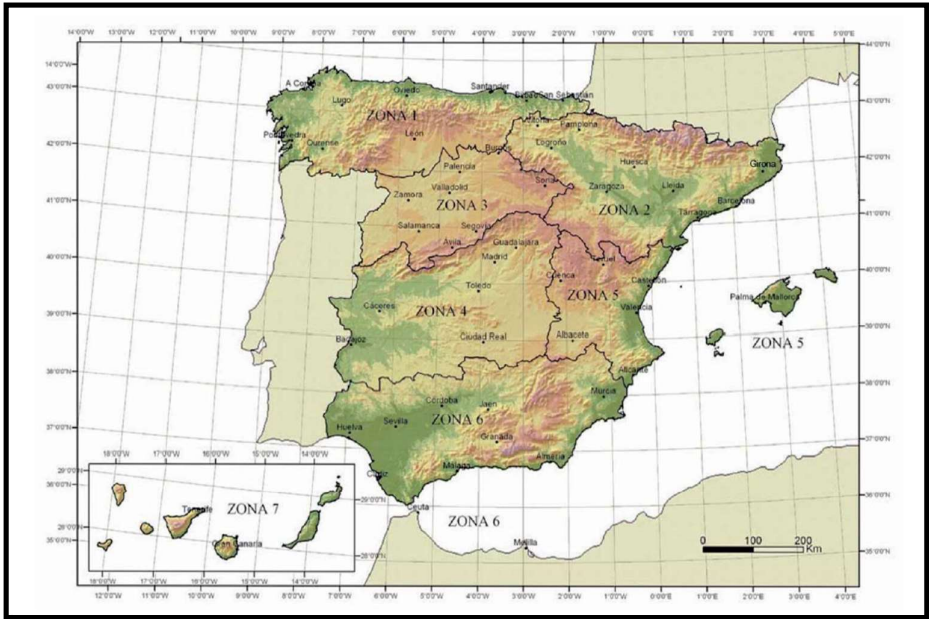
Tabla 2.
Coeficientes de presión neta $c_{p,net}$

	A		B		C		D	
	d/2 - d/5	b - b/5	b/10	d - d/5	d/10	b - b/5	d/5	b - b/5
	8,40 m	8,00 m	1,00 m	22,40 m	2,80 m	8,00 m	5,60 m	8,00 m
	67,20 m²		22,40 m²		22,40 m²		44,80 m²	
Presión (+)	0,36 kN/m²		1,08 kN/m²		0,78 kN/m²		0,24 kN/m²	
Succión (-)	-0,78 kN/m²		-1,20 kN/m²		-1,08 kN/m²		-0,90 kN/m²	

4.4.2. Acciones generales – Cargas de nieve

Si bien, la última nevada registrada en Valencia capital según (Valencia Secreta, 2021) se registró el 11 de enero de 1961 y cubrió la ciudad con una capa de 10 cm. Bajo este parámetro el cálculo de la acción de nieve se registra siguiendo el siguiente procedimiento establecido en UNE-EN 1991-1-3. En la Figura 6 se puede observar la diferente zonificación climática de España, la comunidad Valenciana se encuentra en la Zona 5.

Figura 6.
Zonas climáticas de invierno



$\mu i =$

0,8

(cubierta poco inclinada, sin acumulación)

$Ce =$

0,8

(exposición al viento)

$Ct =$

1

(estructura no calefactada)

$sk =$

0,30 kN/m²

(zona 5, 200 m altitud)

$$s = 0,19 \text{ kN/m}^2$$

4.4.3. Acción sísmica

Si bien es cierto que la aceleración sísmica en parte de la Comunidad Valenciana se clasifica como baja según la zonificación del UNE-EN 1998-1, se ha considerado incorporar la acción sísmica en el diseño de la marquesina, teniendo en cuenta el uso de UHPFRC. Si bien presenta altas prestaciones a compresión y una mejora significativa a tracción, buscamos que no se presenten fallas frágiles bajo sollicitaciones dinámicas y garantizar una adecuada ductilidad estructural. La norma francesa NF P18-710, establece los criterios de dimensionamiento y aplicación del UHPFRC, así pues, recomienda expresamente considerar acciones excepcionales, incluidas las sísmicas, en elementos estructurales cuando el UHPFRC no se combina con armadura (pasiva y/o activa) suficiente para garantizar una ductilidad global. En este sentido, aunque la demanda sísmica es moderada, la consideración de las acciones sísmicas permite verificar que la estructura mantiene un comportamiento estable y seguro, garantizando la continuidad estructural, la integridad frente a fisuración y el cumplimiento del nivel de prestaciones esperado a lo largo del ciclo de vida de la estructura.

Descripción	Valor
Comunidad	Valenciana
Municipio	Riba Roja
<i>C. Latitud</i>	39,47
<i>C. Longitud</i>	-0,55
PGA (TR = 475 Años)	0,10 g
Clases de importancia para los edificios	II
Factor de importancia γ_I	1,00
Clasificación del terreno	C
Aceleración sísmica de referencia agR	0,104 g
Aceleración sísmica de cálculo ag	0,104 g
Vs30	253 m/s
Coeficiente del suelo; S	1,70
Baja sismicidad	No
Espectro de respuesta elástica; Se(T)	0,442
Coeficiente del terreno C	1,71
Coeficiente de contribución K	1,00

$$T_1 = C_t * H^{3/4} \quad (13)$$

$$S_{De}(T) = S_e(T) \left[\frac{T}{2\pi} \right]^2 \quad (14)$$

$$F_b = S_d(T_1) * m * \lambda \quad (15)$$

Parámetro	Valor
Espectro de respuesta elástica $\alpha(T)$	
$T_B(s)$	0,085 s
$T_C(s)$	0,427 s
$T_D(s)$	2,000 s
Amortiguamiento η (5%)	1,000
Périodo fundamental T_1	0,269
Altura de la Estructura H	5,50 m
Tipo de Estructura	Pórticos espaciales de hormigón resistentes a flexión / para pórticos de acero con triangulaciones descentradas
Factor C_t	0,075
Espectro de respuesta elástica, $S_{De}(T)$	0,008
Espectro de cálculo, $S_d(T)$	0,294
Coeficiente de comportamiento q	1,50
Coeficiente inferior del espectro de cálculo β	0,20
Desplazamiento del suelo d_g	37,00 mm
Esfuerzo cortante en la base de la estructura F_b	188,43 kN
Masa total del edificio sobre la cimentación, m	760,78 kN
Coeficiente de corrección, $\lambda =$	1,00
Fuerza sísmica base F_b	223,99 kN
F_{bx}	156,79 kN
F_{by}	67,20 kN
F_{bx}	67,20 kN
F_{by}	156,79 kN

La fuerza basal de cálculo F_b se ha verificado confrontando la resultante horizontal suministrada por el análisis modal/espectral de SAP2000 con la reducción del espectro mediante q . El valor obtenido en SAP2000, se encuentra en la Tabla 3, $F_b = 339,190$ kN, dividido por $q = 1.5$, obtenemos el valor teórico de $F_b = 226,127$ kN; el valor calculado según UNE-EN 1998-1 es $F_b = 223,986$ kN, lo que supone una discrepancia aproximada de 2,141 kN ($\approx 0,96\%$). Esta diferencia se atribuye a redondeos y pequeñas diferencias en la extracción/combinación modal de resultados; se considera aceptable y queda documentada para trazabilidad.

Tabla 3
Base Reactions - SAP2000

TABLE: Base Reactions								
OutputCase Text	CaseType Text	StepType Text	GlobalFX KN	GlobalFY KN	GlobalFZ KN	GlobalMX KN-m	GlobalMY KN-m	GlobalMZ KN-m
SISMO X	LinRespSpec	Max	0,23	0,20	0,00	0,99	1,26	3,46
SISMO Y	LinStatic		-133,61	-311,77	0,00	1333,61	-571,55	-3851,59

$$F_{b,teórico} = \frac{\sqrt{133,61^2 + 311,77^2}}{q}$$

$$F_{b,teórico} = 226,13 \text{ kN}$$

$$Diferencia_{relativa} = \frac{F_{b,teórico} - F_b}{F_b} \times 100$$

$$Diferencia_{Relativa} = \frac{226,13 - 223,99}{223,99} \times 100; \rightarrow \textbf{Diferencia}_{Relativa} = \textbf{0,96\%}$$

Figura 7.
Espectro elástico de respuesta UNE-EN-1998 -1:2018

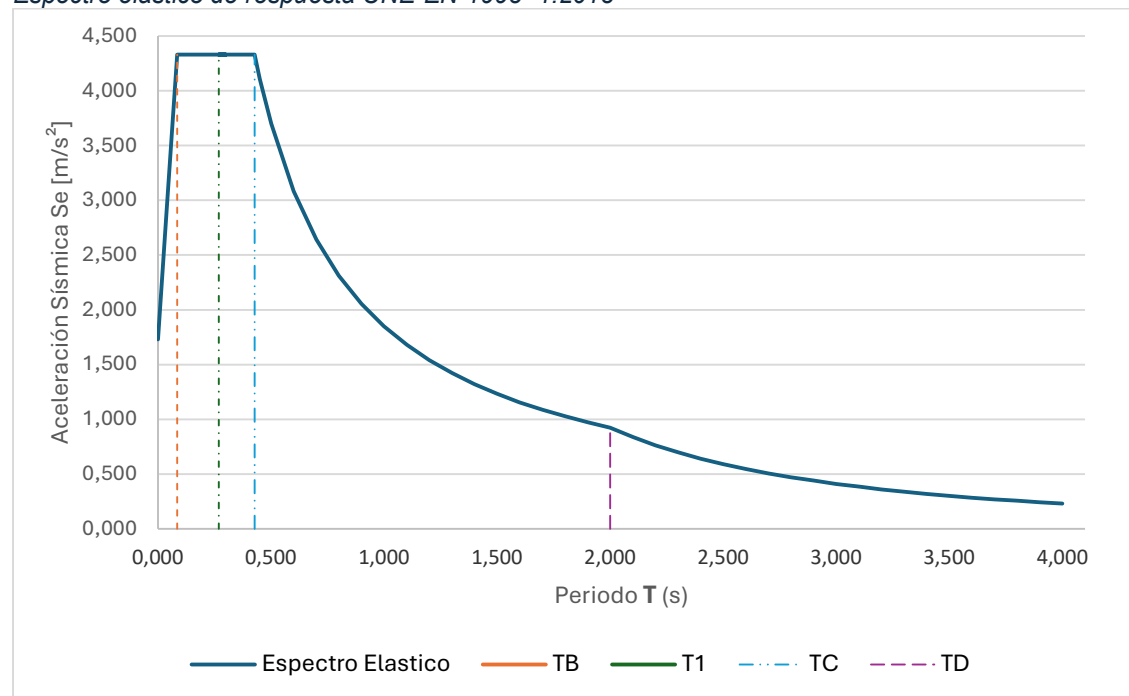
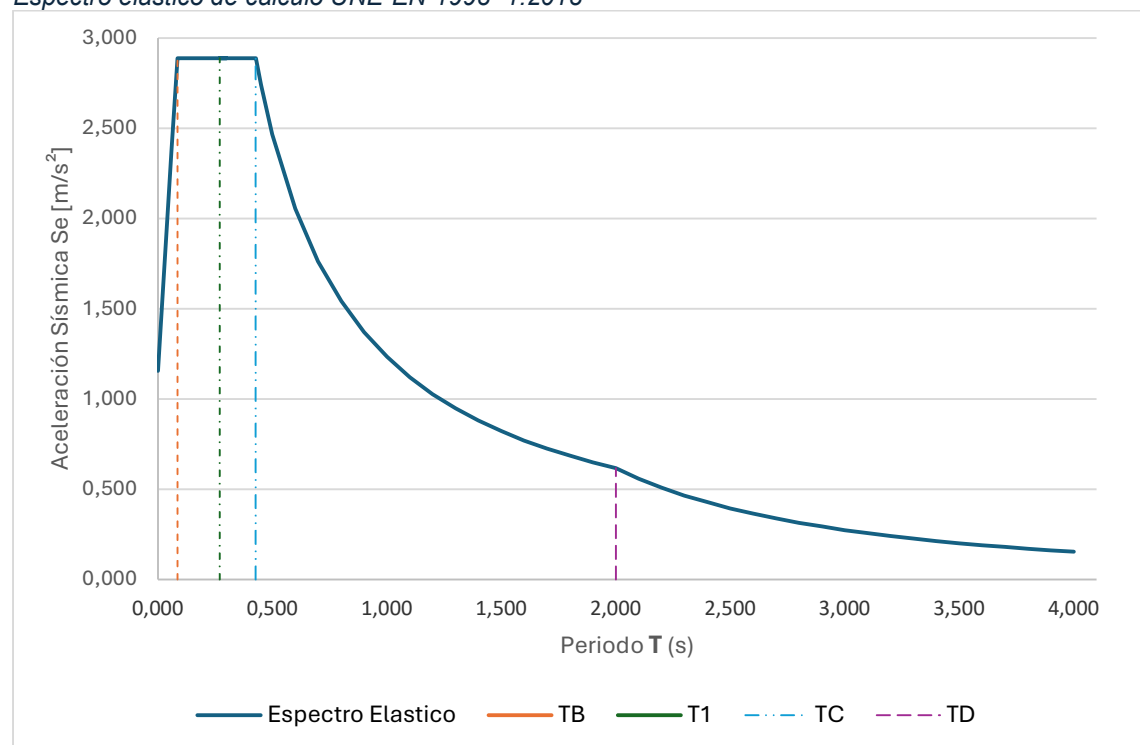


Figura 8.
Espectro elástico de cálculo UNE-EN-1998 -1:2018



4.6. Coeficientes parciales

En el desarrollo del proyecto estructural, se han usado los coeficientes parciales de seguridad tanto para materiales como para acciones, conforme a lo establecido en el **UNE-EN 1990:2019** – Bases de cálculo estructural y el **UNE-EN 1992-1-1** Proyecto de estructuras de hormigón, asegurando los requerimientos para los estados límite último y de servicio. Adicionalmente, dado el uso del UHPFRC, se ha complementado el marco normativo con los coeficientes parciales definidos en la norma **NF P18-710**, la cual establece las disposiciones particulares para este material en cuanto a su resistencia, durabilidad y comportamiento estructural. Esta integración normativa garantiza una metodología de cálculo coherente, robusta y alineada con los estándares europeos más exigentes en términos de seguridad estructural.

4.7. Modelo estructural y análisis computacional

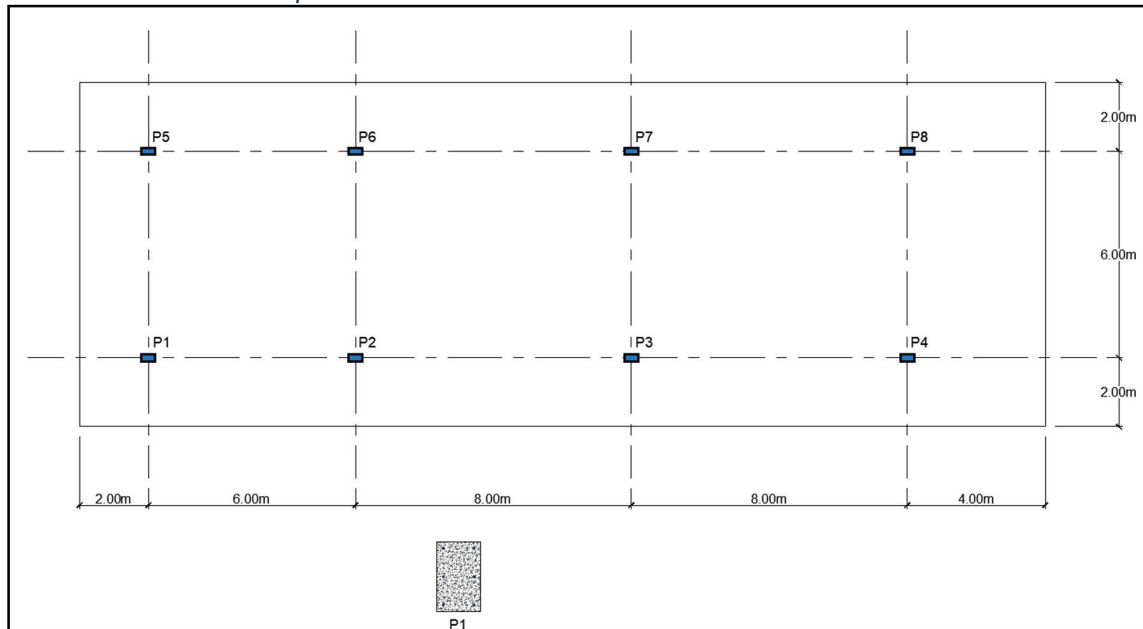
El comportamiento estructural de la marquesina se evaluó mediante un modelo tridimensional en SAP2000, desarrollado con el método de los elementos finitos. La cubierta, de geometría paraboloide hiperbólica y dimensiones de 10,00 × 28,00 m, se resolvió con siete módulos individuales de losa en UHPFRC de 60 mm de espesor, apoyada sobre vigas de 150×300 mm, que transmiten las cargas a pilares macizos de 300×250 mm anclados en cimentaciones prefabricadas tipo cáliz. El sistema se completó con cuatro vigas transversales y dos longitudinales principales, con voladizos de distinta magnitud, y pilares de altura variable entre 4,73 m y 5,26 m, ajustados a la inclinación de la cubierta. La continuidad de los elementos y el empotramiento en la cimentación generan un sistema hiperestático, cuya resolución requiere la consideración de rigideces relativas y compatibilidad de deformaciones. El modelo incluye las acciones permanentes, sobrecargas de uso, viento y sismo (según Eurocódigo 8, pese a la baja peligrosidad sísmica en Valencia), verificándose los criterios de la NF P18-710 para elementos de UHPFRC, lo que asegura una representación fiable del comportamiento global en servicio y en condiciones extremas.

Figura 9

Distribución de Vigas en cubierta

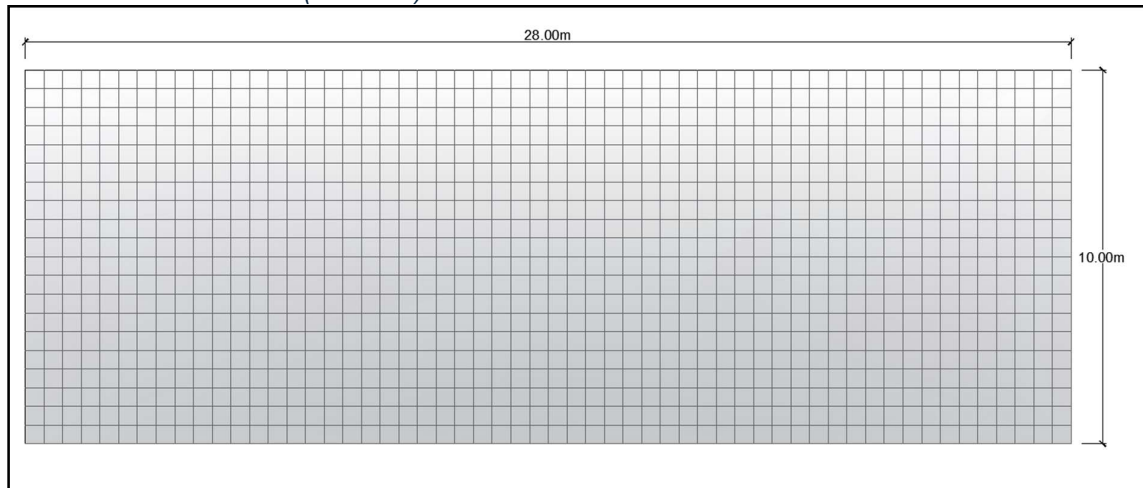


Figura 10
Distribución de Pilares en planta



El modelo estructural considera una estructura hiperestática, con todos los pilares empotrados en su base y con conexiones monolíticas entre vigas, pilares y losa, representando adecuadamente la continuidad estructural del conjunto. Los pilares y vigas se modelaron mediante elementos tipo Frame, capaces de captar flexión, compresión, tracción y cortante, mientras que la losa de cubierta se modeló como un elemento Shell de espesor constante (6 cm), discretizado en una malla regular de elementos de $0,5 \times 0,5$ m, lo cual garantiza una adecuada resolución de los esfuerzos y deformaciones en el plano.

Figura 11
Discretización del mallado (0.5x0.5m) de la Cubierta UHPFRC

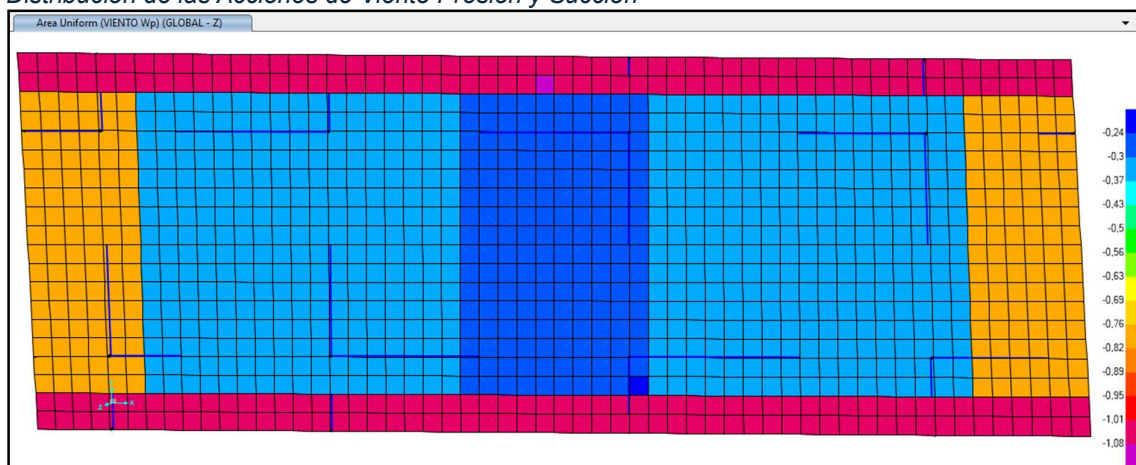


El material utilizado es UHPFRC con resistencia característica a compresión $f_{ck} = 130$ MPa, Módulo de Elasticidad $E_c = 43,25$ GPa, Resistencia Característica a Tracción $f_{ct,k} = 7,5$ MPa y densidad de 25 kN/m³, definido manualmente dentro del software. Las acciones consideradas incluyen el Peso Propio de la Estructura, el Peso de Paneles Solares integrados en cubierta, Sobrecarga de Uso, Viento (Presión y

La asignación de la sobrecarga de uso SCU sobre la totalidad de la cubierta se justifica en base al **UNE-EN 1991-1-1**, que establece los principios para determinar las cargas que deben considerarse en el diseño estructural. la SCU debe aplicarse de manera uniforme en toda la superficie de la cubierta para garantizar que la estructura esté preparada para soportar las cargas máximas previsibles en cualquier

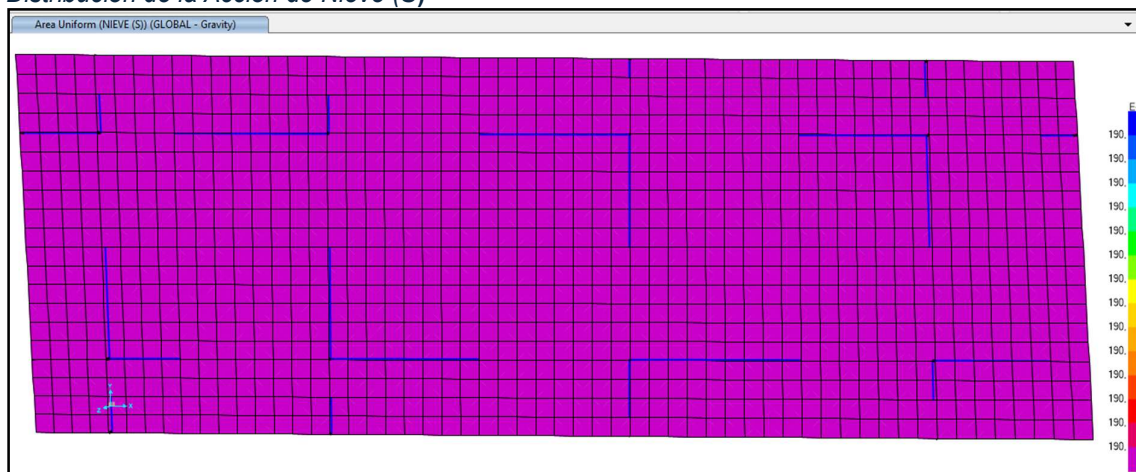
punto, independientemente de su uso específico. Esto incluye no solo el peso de los elementos instalados, como paneles solares, sino también cargas adicionales derivadas de mantenimiento, acumulación de nieve o viento.

Figura 14.
Distribución de las Acciones de Viento Presión y Succión



La asignación de las acciones del viento de succión y presión, se hacen con base en los resultados obtenidos en el Capítulo 4.4.1. Cálculo de las acciones de viento. y los valores obtenidos en la Tabla 2. Coeficientes de presión neta $C_{p,net}$. Las acciones de viento se aplican de forma perpendicular a la superficie de la cubierta y en las zonas determinadas por la Figura 14. Coeficientes de presión neta $C_{p,net}$. Cada color representa el valor correspondiente según la zona asignada (A, B, C o D)

Figura 15.
Distribución de la Acción de Nieve (S)



La carga de nieve se aplica uniformemente sobre toda la cubierta según el **UNE-EN 1991-1-1:2019** para simular las condiciones más desfavorables. Aunque la acumulación real puede ser desigual por la propia configuración de la cubierta, este modelo de diseño va del lado de la seguridad y garantiza que la estructura tenga la capacidad de resistir una distribución homogénea de la carga, cubriendo así cualquier variación o acumulación imprevista, asegurando la seguridad estructural en su totalidad.

4.8. Análisis estructural

Una vez realizado el modelo estructural en el software y definidas tanto las propiedades mecánicas del UHPFRC como las secciones de cada elemento y asignadas las acciones previamente cuantificadas en el apartado 4.4 del presente trabajo. Las acciones son aplicadas sobre la superficie de la cubierta, con el objetivo de evaluar su comportamiento estructural y la distribución de esfuerzos a través del sistema resistente. El análisis busca cuantificar los estados tensionales principales, identificar posibles concentraciones de esfuerzos en zonas de curvatura variable y verificar la efectividad del flujo de cargas hacia las vigas perimetrales, de estas hacia los pilares, y finalmente hacia la cimentación. Asimismo, se espera determinar los desplazamientos globales y locales, asegurando que se mantengan dentro de los límites admisibles definidos por el Eurocódigo, y establecer las solicitaciones internas de cada componente para su posterior verificación en los estados límite últimos y de servicio, de acuerdo con la normativa europea y la NF P18-710.

4.8.1. Revisión de esfuerzos obtenidos

En la revisión de esfuerzos se observa una distribución coherente con el comportamiento estructural previsto de cada elemento. En el caso de las vigas longitudinales y transversales, se analizarán los diagramas de Momento Flector (M_{3-3}) y Esfuerzo Cortante (V_{2-2}), los cuales presentan una forma característica de elementos con voladizos, donde los momentos máximos negativos están en los apoyos y positivos en los vanos centrales. El cortante alcanza sus valores máximos cercanos a los apoyos. En los pilares, se verificará la aparición de momentos flectores a lo largo del eje vertical, asociados a la continuidad de la conexión viga-columna, así como esfuerzos axiales elevados debidos a la transmisión vertical de cargas gravitatorias, también flexión por excentricidades esperadas por la acción sísmica y por la geometría inclinada de la cubierta. En cuanto a la cubierta y principalmente por su geometría de paraboloides hiperbólicas, se prevé una distribución de esfuerzos principal de tipo membranal, donde las tensiones se reparten en dirección de las generatrices de curvatura. En regiones de doble curvatura negativa, es probable la aparición de tracciones en la cara inferior y compresiones en la superior, por lo que se revisarán los esfuerzos principales ($\sigma_{\text{máx}}$, $\sigma_{\text{mín}}$) en ambas caras. La distribución de estos esfuerzos debe ser suave, continua y reflejar el flujo de carga hacia los bordes, donde se produce la transferencia hacia las vigas perimetrales. Cualquier concentración no esperada será evaluada para descartar rigideces locales, errores de mallado o desalineación geométrica.

4.8.2. Esfuerzos en vigas longitudinales y transversales

Los esfuerzos se han obtenido del análisis del modelado de la estructura en el software -SAP2000-, considerando las acciones de proyecto descritas en el numeral 4.4., se han analizado los esfuerzos obtenidos en las seis (6) vigas que integran el entramado de cubierta (dos longitudinales y cuatro transversales), sin embargo, el dimensionamiento será únicamente de una viga longitudinal y una transversal. Esta metodología se justifica por la homogeneidad geométrica resistente del proyecto y la optimización del proceso de prefabricación en UHPFRC, que asegura condiciones de trabajo equivalentes entre elementos de la misma tipología. La selección recae en las vigas sometidas a las máximas solicitaciones, de modo que su verificación resulte representativa y extensible al resto.

Tabla 4
Esfuerzos de diseño Viga V-101

V-101	AXIL DE DISEÑO		MOMENTO DE DISEÑO		CORTANTE DE DISEÑO	
SECCIÓN	N _{dMáx}	N _{dMín}	M _{dMáx}	M _{dMín}	V _{dMáx}	V _{dMín}
0,00 m	-2,44	-0,56	0,64	0,12	-3,04	-0,30
2,00 m	84,30	-59,59	-18,50	-6,49	23,24	16,27
5,00 m	68,35	37,77	14,03	7,42	-15,30	-4,32
8,00 m	-21,64	-174,19	-34,40	2,79	48,90	8,99
12,00 m	155,06	22,03	21,26	4,59	-7,61	-3,05
16,00 m	-15,47	-205,80	-40,08	1,01	42,34	8,33
20,00 m	102,69	24,76	15,25	4,79	-14,61	-5,17
24,00 m	-37,57	-395,19	-73,22	-2,61	54,98	7,03
28,00 m	-4,24	-0,37	1,07	0,06	0,85	0,01

Tabla 5
Esfuerzos de Diseño V-501

V-501	AXIL DE DISEÑO		MOMENTO DE DISEÑO		CORTANTE DE DISEÑO	
SECCIÓN	N _{dMáx}	N _{dMín}	M _{d,Máx}	M _{dMín}	V _{dMáx}	V _{dMín}
0,00 m	-7,94	30,27	4,88	-0,69	-0,34	-7,18
2,00 m	41,20	6,50	-18,54	-2,43	38,21	11,80
5,00 m	144,84	54,45	17,15	5,87	-2,34	-1,45
8,00 m	-4,54	-84,06	-18,36	-4,30	-32,24	-38,26
10,00 m	0,10	-2,64	0,73	-0,02	-0,12	3,80

Tabla 6
Esfuerzos debidos a la Acción Sísmica / Unión Viga - Pilar - Viga

Y = 2,00 m							
Comb. Sísmica	Y	Ψ0	N	V2	V3	M2	M3
DEAD	1,0	1,00	-37,97	-24,06	-1,30	-0,15	-9,41
SISMO X	1,0	1,00	0,15	0,02	0,02	0,01	0,03
SISMO Y	1,0	1,00	195,43	27,95	-7,87	-1,64	42,72
			157,61	3,91	-9,15	-1,79	33,34
Y = 8,00 m							
Comb. Sísmica	Y	Ψ0	N	V2	V3	M2	M3
DEAD	1,0	1,00	-39,85	24,09	0,41	-0,20	-9,58
SISMO X	1,0	1,00	0,16	0,02	0,02	0,01	0,03
SISMO Y	1,0	1,00	-203,79	27,53	10,37	-3,45	-44,05
			-243,48	51,64	10,81	-3,64	-53,59

Los esfuerzos descritos en las Tablas 3 a 5, son los obtenidos en las distintas zonas donde se realizará análisis seccional (voladizos, intersecciones viga-pilar y centros de luz). Si bien es cierto, el procedimiento establecido por el Eurocódigo para el dimensionamiento en Estado Límite Último (E.L.U)

se basa en la obtención de combinaciones de acciones, en el presente caso se opta por una metodología adaptada al comportamiento singular de la cubierta. El análisis se realiza combinando los esfuerzos obtenidos a partir del modelo estructural, y de cada combinación se seleccionan los esfuerzos máximos, construyendo así una envolvente más representativa, pues no siempre el mayor momento coincide con el mayor axil o el mayor cortante. Este criterio, además de cumplir normativamente, permite identificar las solicitaciones más desfavorables en cada sección crítica.

4.8.3. Esfuerzos en pilares

Para el análisis estructural de pilares, se ha seleccionado tres zonas para la obtención y evaluación de los esfuerzos internos: la cabeza, el centro de luz y la base del pilar. Esta selección responde a la necesidad de evaluar las solicitaciones en puntos donde las condiciones de apoyo y de carga pueden variar significativamente. Siguiendo la normativa NF P18-710 y los criterios del Eurocódigo, se han obtenido los esfuerzos de Momento Flector, Cortante y Axil en estas secciones, procediendo posteriormente a su combinación en Estado Límite Último (E.L.U) mediante factores parciales y coeficientes de combinación. Se garantiza que el dimensionamiento de los pilares considere las condiciones reales de carga y soporte, asegurando la seguridad y durabilidad de la estructura.

Tabla 7
Esfuerzos en cabeza de pilar $H = 5.04m$

ACCIÓN	Axil $N_{5,04}$	Cortante $V_{2,04}$	Cortante $V_{3,04}$	Momento $M_{2,04}$	Momento $M_{3,04}$
DEAD	-90,40	1,45	-0,94	3,21	-4,24
PP_SOLAR	-10,50	-0,20	-0,12	0,41	0,57
SCU	-15,58	0,28	-0,21	0,70	-0,82
NIEVE (S)	-7,40	0,13	-0,10	0,33	-0,39
VIENTO W_p	-14,46	12,14	0,05	-0,52	-29,40
VIENTO W_s	36,99	12,03	0,64	-1,72	-28,18
SISMO X	0,03	0,03	0,03	0,07	0,08
SISMO Y	31,77	19,94	35,02	-85,56	-47,84

Tabla 8
Esfuerzos en cabeza de pilar $H = 0.00m$

ACCIÓN	Axil $N_{0,00}$	Cortante $V_{2,00}$	Cortante $V_{3,00}$	Momento $M_{2,00}$	Momento $M_{3,00}$
DEAD	-103,00	1,45	-0,94	-1,52	3,07
PP_SOLAR	-10,50	-0,20	-0,12	-0,19	-0,42
SCU	-15,58	0,28	-0,21	-0,33	0,58
NIEVE (S)	-7,40	0,13	-0,10	-0,16	0,28
VIENTO W_p	-14,46	12,14	0,05	-0,27	31,79
VIENTO W_s	36,99	12,03	0,64	1,49	32,47
SISMO X	0,03	0,03	0,03	0,07	0,09
SISMO Y	31,77	19,94	35,02	91,04	52,72

4.8.4. Esfuerzos en cubierta

Los esfuerzos obtenidos en la cubierta corresponden a las combinaciones requeridas en E.L.U y se resumen en los Momentos máximos positivos (compresiones) y máximos negativos (tracciones). Estos

resultados reflejan la naturaleza de trabajo mixto de la lámina, donde la doble curvatura induce un equilibrio complejo entre esfuerzos de membrana y flexión. La identificación de los valores máximos de momento positivo y negativo constituye la base para las comprobaciones en E.L.U y para la evaluación de las deformaciones admisibles. En la Tabla 8 se resumen los esfuerzos máximos obtenidos.

Tabla 9
Esfuerzos máximos positivos y negativos E.L.U

Comb. ELU	F11 [kN/m]	F22 [kN/m]	F12 [kN/m]	M11[kN.m/m]	M22 [kN.m/m]	M12 [kN.m/m]
Mmáx (+)	-6,70	-6,19	8,53	2,83	1,85	0,08
Mmáx (-)	9,63	-41,36	23,77	-7,42	-1,47	-0,55

4.9. Esfuerzos seleccionados para dimensionamiento

La acción sísmica se calcula en ambas direcciones X e Y; sin embargo, la estructura responde de manera diferente en cada eje debido a la sección rectangular de los pilares (300 mm en X y 250 mm en Y). Esta configuración genera una mayor rigidez en el eje X, reduciendo las deformaciones y sollicitaciones sísmicas en dicha dirección. En contraste, la menor rigidez en el eje Y provoca mayores desplazamientos y esfuerzos sísmicos, lo que se refleja en el modelo estructural y hace que la acción sísmica en Y gobierne el diseño de la marquesina.

Es importante destacar que, debido a la naturaleza probabilística y temporal de las acciones variables, la Sobrecarga de Uso (SCU) como acción variable principal no es concomitante con otras acciones variables principales. Por ello, cuando la SCU actúa como acción principal, las demás cargas variables se incorporan únicamente mediante sus factores de combinación ψ_0 . Esta práctica asegura un diseño más asertivo y evita la combinación simultánea de máximos poco probables.

Con la combinación de esfuerzos obtenidos para las vigas Longitudinales (V-101), Transversales (V-501) y Pilar (P3), se seleccionan los máximos y mínimos Momentos Flectores, Axiles y cortantes de cada sección del elemento. En las tablas 6 y 7.

4.10. Cálculo seccional

Dentro del diseño de elementos fabricados con UHPFRC uno de los principales factores es la resistencia residual a tracción del UHPFRC, la cual es la capacidad que tiene el material para seguir soportando una carga de tracción después que ha fisurado. A diferencia del hormigón convencional, que pierde casi toda su capacidad de carga a tracción una vez fisura, el UHPFRC mantiene una resistencia significativa. (Toutlemonde et al., 2016) establecen un valor representativo para la constante K : factor de orientación de fibras, el cual establece un valor recomendado de $K = 1.25$. También destacan la principal ventaja del UHPFRC como el comportamiento dúctil a tracción, que permite una capacidad portante post-fisuración. Esto es posible gracias al uso sistemático de fibras, que permite reducir o eliminar el refuerzo de acero pasivo. Sin embargo, el estudio realizado por (Maya Duque & Graybeal, 2017) determinan un valor $K = 0.9^2$, este valor se obtuvo para especímenes donde el campo

² $K = 0.9$ Factor de orientación de fibras utilizado para el Cálculo seccional

de esfuerzos a tracción se orientó en la misma dirección que el flujo del hormigón durante el vertido, lo que demuestra un efecto favorable de la orientación de las fibras en la resistencia a tracción.

4.10.1. Calculo seccional – Vigas

A continuación, los cálculos detallados corresponden a la **Viga V-101**. El análisis seccional se ha realizado específicamente en la sección crítica ubicada a $L = 12.00\text{m}$. Para el resto de las secciones de esta viga, así como para los demás elementos estructurales, se presentarán únicamente las tablas con los resultados de los análisis.

$f_{ctr,d}$ = Valor de la resistencia residual a tracción del hormigón

f_{ctk} = Resistencia característica a tracción del Hormigón

$\gamma_{cf} = 1.25$ Coeficiente parcial de seguridad del UHPFRC

$$f_{ctr,d} = \frac{f_{ctk}}{\gamma_{cf}} * K \quad (16)$$

$$A_s = \frac{N_{Ed} - f_{ctr,d} \cdot A_{ct}}{f_{yd}} + \frac{|M_{Ed}|}{z \cdot f_{yd}} \quad (17)$$

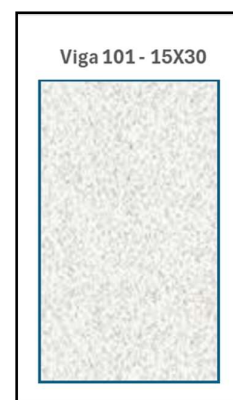
$$h_{ct} = d - x_{Fibra\ Neutra} \quad (18)$$

$$A_{ct} = h_{ct} \times f_{ctr,d} \quad (19)$$

El cálculo de la fibra neutra es un proceso iterativo donde las fuerzas de compresión se equiparán con las fuerzas de tracción y en esa profundidad de la sección se encuentra la fibra neutra.

Deform UHPFRC	0,0045
c fibra neutra	32 mm
Ect =	0,037
Es =	0,032
$\sigma_c =$	86,67
$\sigma_{ct} =$	5,8 MPa
$\sigma_s =$	434,78 MPa
$\sigma'_s =$	-45,38 MPa
As	226 mm ²
A's	157 mm ²
Fc =	336625,12
Fct =	231234,2208
Fs =	98260,86957
Fsc =	-7125,29
Fc + Fsc = Fct + Fs	0,00
c/d (NF P18-710)	0,12

Figura 16
Viga V-101 150x300mm



El valor correspondiente a la relación $x/d \leq 0.45$ es normativo por **NF P18-710**, para garantizar que no se produzcan fallas frágiles en los elementos de UHPFRC. Los valores obtenidos de la profundidad de la fibra neutra y la relación x/d representa que el 12% de la sección está trabajando a compresión, mientras el 88% de la sección trabaja a tracción. La viga está diseñada para que la resistencia residual a tracción del UHPFRC absorba la mayor parte de las fuerzas de tracción y la armadura de acero calculada se utiliza para soportar la tracción restante que el UHPFRC no puede asumir.

Tabla 10
Parámetros de cálculo seccional

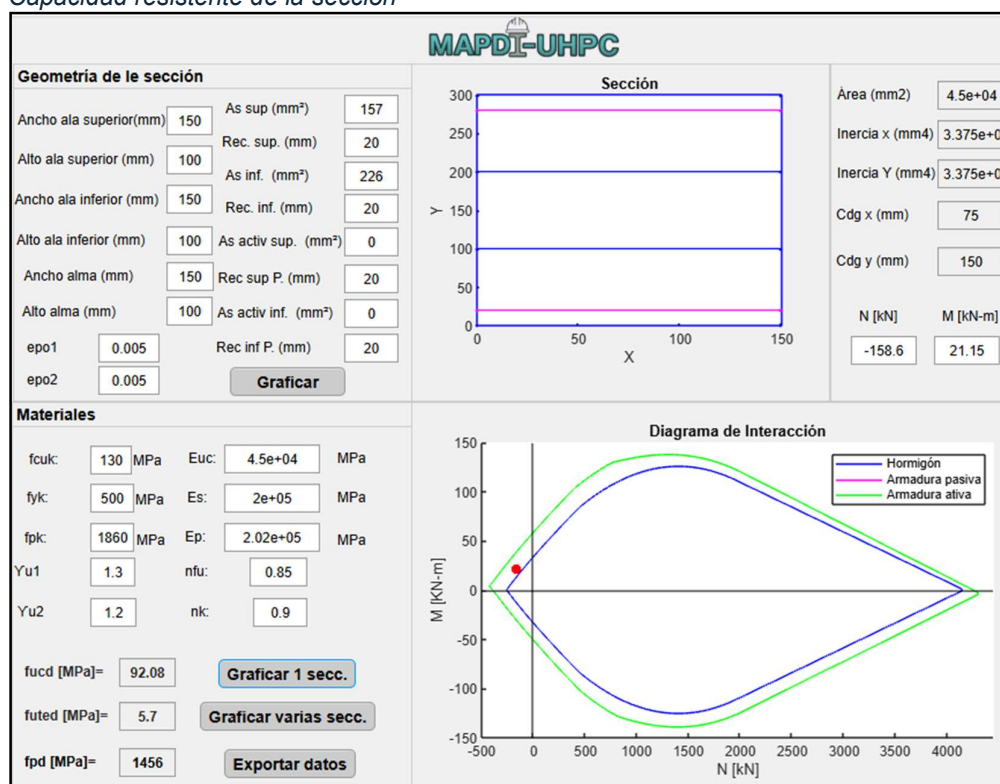
Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
f_{ck}	130 MPa	d	266 mm
$f_{ct,k}$	8.00 MPa	Z (brazo de palanca)	183 mm
γ_c	1.50	f_y	500 MPa
γ_{cf}	1.25	γ_s	1,15
$f_{ctr,d}$	5.76 MPa	f_{yd}	434,78 MPa
b	150mm	A_{ct}	35045 mm ²
h	300mm	h_{ct}	234 mm
$\phi_{Long.}$	12 mm	k	32 mm
$\phi_{Trans.}$	8 mm	F_{Tc}	201859 N
c_{nom}	20 mm	K	0,9
d'	34 mm		

$$M_{Rd} = F_{ct} \cdot (y_{ct} - y_c) + F_s \cdot (y_s - y_c) \quad (20)$$

Fcomp,r =	329,50
yct =	166 mm
ys =	266 mm
yc =	13 mm
MRd =	60,30 kN,m

A continuación, hacemos uso de la Aplicación **MAPDI-UHPC** desarrollada por (López Morales et al., s. f.) con el fin de comprobar que el cálculo seccional realizado cumple con los requerimientos de la SIA 2052:2014-12, NF P18-710 y UNE-EN 1992-1. El MAPDI-UHPC es una herramienta numérica enfocada en la verificación estructural de elementos de UHPFRC. Su objetivo principal es realizar un análisis avanzado para Verificar la capacidad resistente de una sección de hormigón armadura Pasiva y/o Activa para resistir combinaciones de fuerzas. Adicionalmente crear el diagrama de interacción Axil-Momento (N-M) en el Estado Límite Último (ELU). Este diagrama es esencial ya que muestra todas las combinaciones de fuerza axial (N) y momento flector (M) que la sección puede soportar antes de fallar. Además de generar el diagrama, la herramienta permite verificar si una sección en particular es segura para una combinación de cargas de diseño específica (axil y flector).

Figura 17
Capacidad resistente de la sección

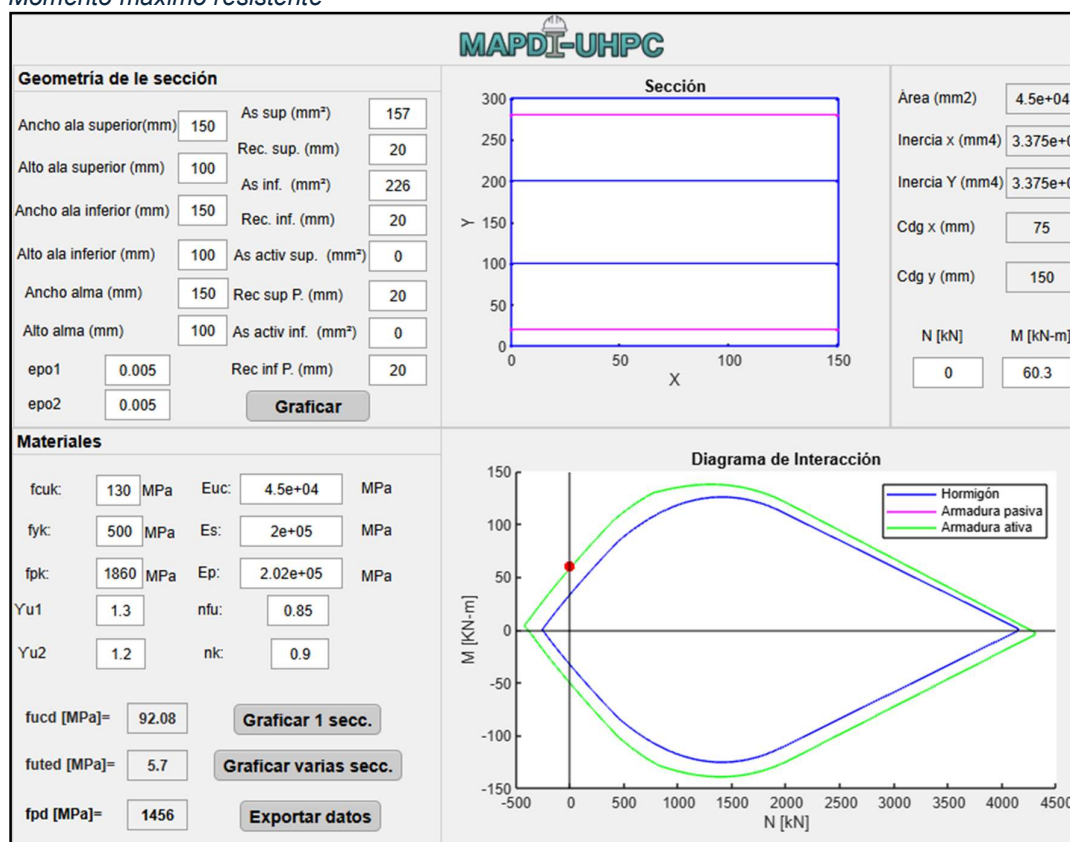


En la Figura 17 se puede observar el análisis que hace el MAPDI-UHPC, el diseño de la Viga V-101, cumple satisfactoriamente la verificación de su capacidad resistente a rotura en el Estado Límite Último (ELU). Esta comprobación se ha hecho en una sección transversal de 150x300mm, sometida a un esfuerzo axial de tracción de 158.6 kN y a un momento flector de 21.15 kNm. La sección, tiene un recubrimiento nominal de 20mm, cumple satisfactoriamente los requisitos de armado, incorporando una armadura mínima de compresión 157 mm² y un refuerzo a tracción de 226 mm².

$$A_{s,min} = 0.26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d \quad (21)$$

En la figura 18 se puede comprobar que el cálculo del Momento máximo resistente calculado en la Tabla 9 coincide, esto muestra que el proceso de diseño es acertado y la estructura está del lado de la seguridad.

Figura 18
Momento máximo resistente



4.10.1.1. Justificación del modelo tipo II de cálculo según NF P18-710.

Dentro del diseño estructural de la Marquesina se considera el modelo de cálculo tipo II, según clasificación de la norma NF P18-710, para tal fin, se considera explícitamente la contribución post-fisuración del UHPFRC, optimizando el dimensionamiento de la armadura pasiva. El uso del modelo tipo II es pertinente en elementos estructurales donde el control de fisuración y la durabilidad son críticos, al reflejar de forma más precisa el comportamiento real frente a cargas variables. La elevada resistencia inicial y los esfuerzos residuales a tracción del UHPFRC permiten garantizar la integridad estructural con menor cuantía de acero, evitando sobredimensionamientos y asegurando una respuesta estructural eficiente y compatible con las condiciones de servicio.

4.10.2. Control de la fisuración

De la Tabla 9 se obtienen los parámetros requeridos para realizar los cálculos siguiendo el UNE-EN 1992-1-1:2013, considerando el ambiente XC3, se permite un $w_{max} = 0,3mm$ la norma permite omitir el cálculo explícito de la fisura si las tensiones en la armadura no superan un valor límite. Sin embargo, dado que el UHPFRC cuenta con un comportamiento a tracción elevado y resistencia residual a tracción, es recomendable realizar el cálculo completo.

$$A_c = 45000mm^2$$

$$f_{ct,eff} = 8,10 \text{ MPa}$$

$$I_c = 3,375 \times 10^8 \text{ mm}^4$$

$$A_{s,min} \cdot \sigma_s = k_c k f_{ct,eff} A_{ct} \quad (22)$$

$$\sigma_{c,t} = \frac{N_d}{A_c} - \frac{M_d \cdot b}{I_c} \quad (23)$$

$\sigma_{c,t} = 15,3 \text{ MPa} \geq 8,0 \text{ MPa}$ La tensión de tracción calculada es superior a la resistencia a tracción del UHPFRC, por tal razón, la sección fisura y es necesario realizar el cálculo de la apertura de fisura.

Usando la fórmula 22 y calculando el valor $k_c = 0.362$ el valor de la armadura mínima por fisuración es:

$$A_{s,min-fis} = 275 \text{ mm}^2$$

Parámetro	Valor
Armadura Inferior ($A_s - A'_s$)	402 mm ²
Fibra Neutra (x)	65,8 mm
Inercia Fisurada (I_{fis})	8,85 x 10 ⁷ mm ⁴
Tensión máxima del Acero f_{yd}	434.78 MPa
Tensión en Acero (σ_s)	401.5 MPa ✓✓
Apertura Calculada (w_k)	0,257 mm ✓✓
Apertura Máxima Admisible (w_{max})	0,30mm

Tabla 11
Diseño de armado por carga

V-101	AXÍL DE DISEÑO		MOMENTO DE DISEÑO		CORTANTE DE DISEÑO		ARMADURA PASIVA	
SECCIÓN	N _{dMáx}	N _{dMín}	M _{dMáx}	M _{dMín}	V _{dMáx}	V _{dMín}	A _s	A' _s
0,00 m	-2437	-564	636798	116463	-3037	-299	402 mm ²	402 mm ²
2,00 m	84297	-59590	-18499095	-6492050	23245	16266	402 mm ²	402 mm ²
5,00 m	68345	37773	14031705	7421000	-15301	-4324	402 mm ²	402 mm ²
8,00 m	-21639	-174193	-34402125	2793300	48897	8991	402 mm ²	402 mm ²
12,00 m	155062	22026	21259770	4590950	-7606	-3052	402 mm ²	402 mm ²
16,00 m	-15474	-205802	-40078890	1009550	42343	8325	402 mm ²	402 mm ²
20,00 m	102687	24763	15246795	4786500	-14615	-5168	402 mm ²	402 mm ²
24,00 m	-37573	-395195	-73216845	-2605700	54980	7031	402 mm ²	402 mm ²
28,00 m	-4237	-370	1073910	60600	854	14	402 mm ²	402 mm ²
V-501	AXÍL DE DISEÑO		MOMENTO DE DISEÑO		CORTANTE DE DISEÑO		ARMADURA PASIVA	

SECCIÓN	N _{dMáx}	N _{dMín}	M _{dMáx}	M _{dMín}	V _{dMáx}	V _{dMín}	A _s	A' _s
0,00 m	-7944	30273	4884750	-694050	-342	-7176	402 mm ²	402 mm ²
2,00 m	41200	6500	-18544395	-2428750	38214	11795	402 mm ²	402 mm ²
5,00 m	144842	54448	17151015	5873900	-2337	-1454	402 mm ²	402 mm ²
8,00 m	-4540	-84065	-18357975	-4298750	-32245	-38262	402 mm ²	402 mm ²
10,00 m	99	-2644	729915	-21800	-119	3795	402 mm ²	402 mm ²

4.10.3. Control de flechas

La principal diferencia que introduce la NF P18-710 para el cálculo de la flecha en vigas, es la definición del Módulo de Elasticidad a largo plazo y el coeficiente de fluencia. La NF P18-710 propone una fórmula directa para el módulo efectivo que ya tiene en cuenta la fluencia, en lugar de calcularlo a partir de un coeficiente ϕ genérico.

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \Phi_{710}} \quad (24)$$

Donde ϕ_{710} es el coeficiente de fluencia específico para UHPFRC que depende de la duración de la carga. Para cargas permanentes, este coeficiente suele ser más bajo que en hormigones convencionales, típicamente alrededor de $\phi=1.4-1.8$. Un coeficiente de fluencia más bajo significa que el hormigón fluye menos. De esta manera el Módulo de Elasticidad a largo plazo es mayor, se obtiene una relación modular (n) menor y una menor curvatura en las secciones y, por lo tanto, una flecha final más pequeña.

$$E_{c,eff} = 17,31 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{E_s}{E_{c,eff}} = 11,55$$

$$\delta_{diff} = \frac{L^2}{96} \cdot (\alpha_A + 10 \cdot \alpha_C + \alpha_B) \quad (25)$$

Tabla 12
Curvaturas diferidas

Ubicación	Momento (M _d)	Axil (N _d)	Armadura Traccionada	Curvatura a Largo Plazo (κ)
Apoyo (x=8,00m)	-37.04 kN.m	-52.09 kN (Comp.)	Superior (A's)	$2.49 \times 10^{-6} \text{ mm}^{-1}$
Centro (x=12,00m)	15.32 kN.m	+115.54 kN (Trac.)	Inferior (As)	$2.11 \times 10^{-6} \text{ mm}^{-1}$
Apoyo (x=16,00m)	-25.90 kN.m	-105.76 kN (Comp.)	Superior (A's)	$1.62 \times 10^{-6} \text{ mm}^{-1}$

$$\delta_{diff} = 16,81 \text{ mm}$$

$$\delta_{inst.} = 6,71 \text{ mm}$$

4.10.4. Armadura transversal – Cálculo a Cortante

El dimensionamiento de la armadura transversal se realiza considerando el cortante máximo de la viga, dado que este esfuerzo condiciona la seguridad y de esta manera se evita que la viga tenga una falla frágil. Diseñar con el valor más desfavorable garantiza que la sección soporte adecuadamente la sollicitación en toda su longitud, evitando mecanismos prematuros de colapso o fisuración en ELS.

Sección Crítica: Apoyo en L = 24.0 m.

Esfuerzo Cortante de Diseño: $V_{Ed}=54.98$ kN.

Geometría de la Sección: 150x300 mm

Canto útil $d = 264$ mm

$f_{yk} = 500$ MPa

$f_{yd} = 43,78$ MPa

$f_{ck} = 130$ MPa

$f_{cd} = 100$ MPa.

$f_{ctf,res} = 5.76$ MPa

Ángulo de Bielas: $\theta=45^\circ$

Resistencia a cortante sin armadura transversal		
$V_{Rd,f}$	142658 N	$V_{Rd,f} = \tau_{Rd,f} \cdot b_w \cdot z$
$\tau_{Rd,f}$	5,18 MPa	
z	183 mm	$\tau_{Rd,f} = k \cdot f_{ct,f}$
b	150 mm	

Contribución del hormigón $V_{Rd,c}$		
γ_c	1,50	$V_{Rd,c} = \frac{0.21}{\gamma_{cf} \cdot \gamma_E} \cdot k \cdot f_{ck}^{0.5} \cdot b \cdot d$
γ_E	1,20	
f_{ck}	130 MPa	
k	1,04	
σ_{cp}	1,87	
A_c	45000	
$V_{Rd,c}$	55370 N	

Contribución de las fibras $V_{Rd,f}$		
A_{fv}	27519 mm ²	
z (brazo de palanca)	183 mm	
θ	45 °	
$\sigma_{Rd,f}$	3,07	
K	1,25	
$V_{Rd,f}$	84538 N	

$$V_{Rd,f} = \frac{A_{fv} \cdot \sigma_{Rd,f}}{\tan \theta}$$

$$V_{Rd} = 217,35 \text{ kN}$$

$$54,98 \text{ kN} \ll 217,35 \text{ kN}$$

Diseño de Armadura mínima EC 9.2.2 / NF P18-710		
$A_{sw,min}$	31 mm ²	
f_{ck}	130 MPa	
b	150 mm	
s	100 mm	
f_{yd}	434,78 MPa	

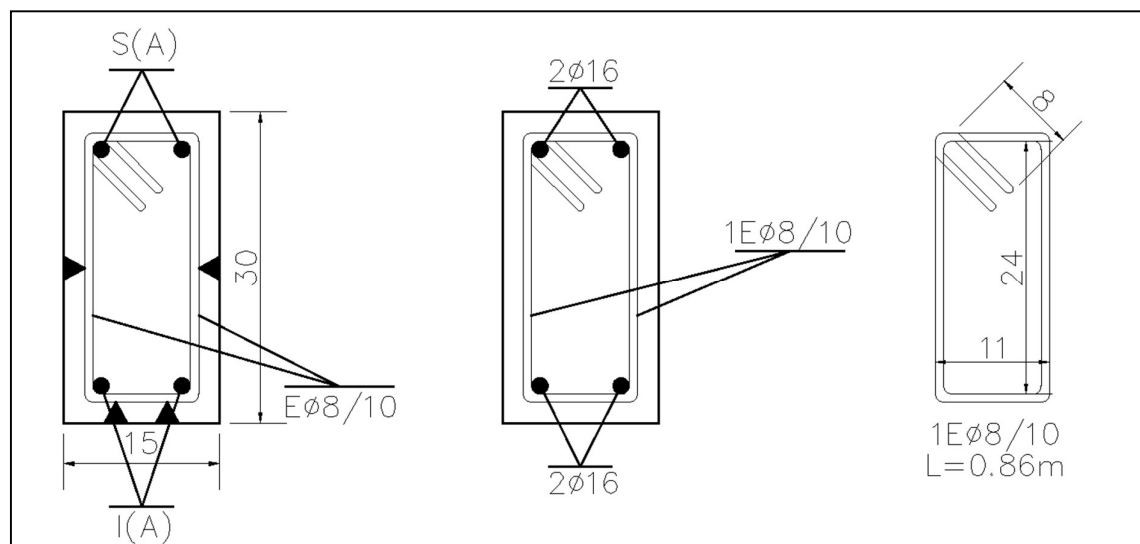
$$A_{sw,min} = 0.08 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot \frac{b \cdot s}{f_{ywd}}$$

$$s_{min} = 100 \text{ mm}$$

$$s_{max} = 200 \text{ mm}$$

$$L_{crit} = 2 \cdot d = 53 \text{ cm} \approx 600 \text{ mm}$$

Figura 19
Detalle de armado Vigas Longitudinales y Transversales



4.10.5. Cálculo seccional – Columnas

La NF P18-710, establece los parámetros para el diseño de columnas. A diferencia del hormigón convencional, el UHPFRC exhibe una resistencia a la compresión y tracción excepcionalmente elevadas, junto con un comportamiento post-fisuración dúctil, lo que influye directamente en la metodología de cálculo. Para las columnas, la norma exige la verificación de la capacidad de la sección para resistir las solicitaciones de compresión axial y los momentos flectores, considerando un diagrama de tensiones-deformaciones para el UHPFRC teniendo en cuenta la capacidad a tracción después del agrietamiento.

4.10.5.1. Pilar P3 – 30x25cm

Tabla 13

Pilar P3 - Parámetros

Sección

b = 300mm

h = 250mm

l = 5043mm

$l_0 = 2,52\text{m}$

k = 0,5

$$l_0 = \frac{k}{l} (m)$$

$$e_{min} = \frac{l_0}{400} \geq 20\text{mm}; \rightarrow e_{min} = 6,3\text{mm}; \rightarrow e_{min} = \mathbf{20\text{mm}}$$

Diagrama de la sección rectangular de la columna P3. El rectángulo tiene una anchura (b) de 300 mm y una altura (h) de 250 mm. Los ejes de coordenadas x (horizontal) y y (vertical) están indicados en mm. El rectángulo está sombreado con un patrón de puntos.

Resistencia de cálculo del hormigón para Pilares f_{cd}

$$f_{cd} = \frac{\alpha_{cc} \cdot f_{ck}}{\gamma_c} \quad (26)$$

$$\alpha_{cc} = 1,0; \gamma_c = 1,3$$

$$f_{cd} = \mathbf{100MPa}$$

Tabla 14

Propiedades geométricas de la Sección

Cabeza de Pilar		Base de Pilar	
Momentos de inercia			
Área (A) =	75000 mm ²	Área (A) =	75000mm ²
I _z =	390625000 mm ⁴	I _z =	562500000 mm ⁴
I _y =	562500000 mm ⁴	I _y =	390625000 mm ⁴
Radios de giro			
i _z =	72,17 mm	i _z =	86,60 mm
i _y =	86,60 mm	i _y =	72,17 mm

Esbeltez			
$\lambda_z =$	34,94	$\lambda_z =$	34,94
$\lambda_y =$	29,11	$\lambda_y =$	29,11
Módulos de sección			
$W_z =$	2604167 mm ³	$W_z =$	2604167 mm ³
$W_y =$	4500000 mm ³	$W_y =$	4500000 mm ³
Excentricidades			
$e_y =$	679 mm	$e_y =$	-744 mm
$e_z =$	1094 mm	$e_y =$	-1185 mm
$\lambda_y/\lambda_z \leq 2 \text{ y } \lambda_z/\lambda_y \leq 2$		0,83 ✓	1,20 ✓
$\frac{e_y/h_{eq}}{e_z/b_{eq}} \leq 0,2 \text{ o } \frac{e_z/b_{eq}}{e_y/h_{eq}} \leq 0,2$		0,04 ✓	ok

Tabla 15

Esfuerzos de diseño Pilar P3

Ubicación	N[kN] Comp	N[kN] Tracc.	V2[kN]	V3[kN]	M2[kN.m]	M3[kN.m]
H = 0,00m	-81,71	51,37	21,23	33,99	89,39	55,46
H = 5,04m	-69,11	-45,41	21,33	33,99	-81,88	-51,43

Tabla 16

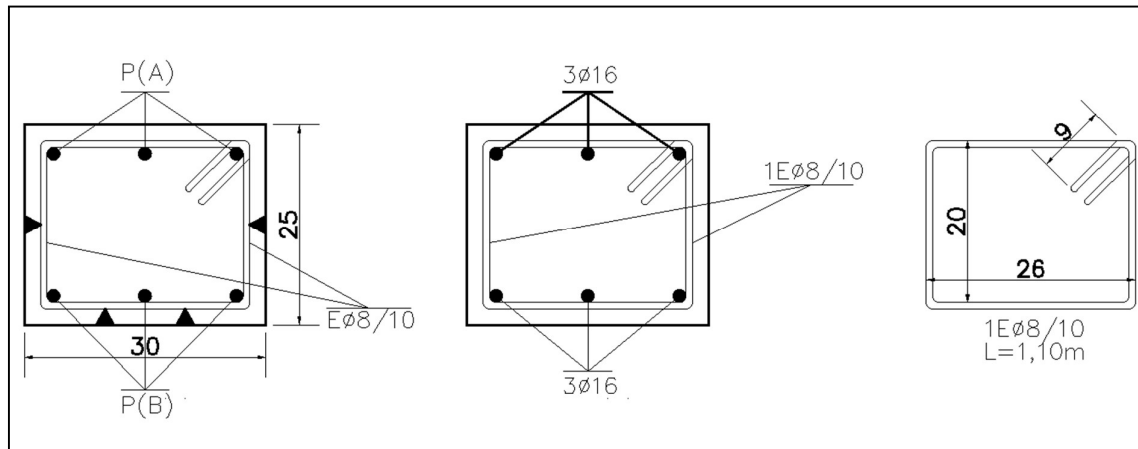
Cálculo seccional – Cabeza de Pilar

Base de Pilar		Cabeza de Pilar	
M2	89,39 kN-m	M2	-81,88 kN-m
M3	55,46 kN-m	M3	-51,43 kN-m
N _d	81,71 kN	N _d	-69,11 kN
$d =$	264 mm	$d =$	264 mm
$b =$	300 mm	$b =$	300 mm
$x =$	18 mm	$x =$	17 mm
M _{Ed} =	105,20 kN-m	M _{Ed} =	96,69 kN-m
$z =$	257 mm	$z =$	257 mm
T_s =	409,56 kN	T_s =	376,21 kN
$Cc =$	491,34 kN	$Cc =$	445,32 kN
$\sigma_{c,max} =$	113,93 MPa	$\sigma_{c,max} =$	106,25 MPa
Deformación y fluencia del Acero			
$\varepsilon_s =$	0,057	$\varepsilon_s =$	0,064

$\varepsilon_y =$	0,002	$\varepsilon_y =$	0,002
$A_{s,req} =$	944 mm ²	$A_{s,req} =$	865 mm ²
As =	1206mm²	As =	1206mm²
$\rho =$	1,83%	$\rho =$	1,83%
Margen / utilización	80,22 %		
Capacidad de momento con el armado propuesto			
M_{Ereq} =	131,51 kN-m	M_{Ereq} =	131,51 kN-m
$Z_{lim} = 0.95 \cdot d$	251 mm	$Z_{lim} = 0.95 \cdot d$	251 mm
$A_{s,min} = \max \left(0,1 \cdot \frac{N_d}{f_{yd}}, \frac{0,004 \cdot A}{f_{yd}}; 0,002A_c \right)$		$A_{s,min} = 125mm^2 \checkmark \checkmark \checkmark$	
$A_{s,m\acute{a}x} = \frac{0,5 \cdot f_{cd} \cdot A_c}{f_{yc,d}}; 0,04A_c$		$A_{s,m\acute{a}x} = 2500mm^2 \checkmark \checkmark \checkmark$	
Refuerzo a Cortante (Armadura Transversal)			
$V_{ed} =$	40,07 kN	$V_{ed} =$	40,07 kN
$k =$	1.87		
$h_0 =$	264 mm		
$V_{Rd,c} =$	307,99 kN		
$V_{Rd,c} \gg V_{Ed} \rightarrow$ No se requiere Armadura Transversal			
Armadura mínima transversal (Ductilidad) NF P18-710			
$\rho_{sw,min} = 0,08A_c$		$\rho_{sw,min} = 60mm^2$	
Diámetro Mínimo de la Armadura (ϕ_t)			
$\phi_t \geq 6mm$		$\phi_t \geq \frac{16mm}{3} = 5,33mm$	
$\phi_d = 8mm$		$A_{sw,\phi 8} = 50,27 mm^2$	
Armadura transversal mínima EC-2			
$\rho_{w,min} = 0.08\sqrt{f_{ck}}/f_{yk}$ $\rho_{w,min} = 0,001824$ $\frac{A_{sw}}{s} \geq \rho_{w,min} \cdot b = 0,001824 \cdot 200 = 0,3648 mm^2/m$ $A_{sw} = n \cdot A_{\phi 8}; \rightarrow A_{sw} = 2 \cdot 50,3 \rightarrow A_{sw} = 100,6mm^2$			
Separación máxima armadura transversal NF P18-710			
$s \leq dim. \text{ menor del pilar} \rightarrow s \leq 250mm$ $S_{cl,tmax} = 250mm$			
Separación mínima armadura transversal NF P18-710			

$s \leq \frac{\text{dim. menor del pilar}}{2} \rightarrow s \leq 125\text{mm}$ $s \leq 6 \cdot \phi_{long} \rightarrow s = 96\text{mm}$ $s \leq 150\text{mm}$	
s = 100mm Por ductilidad en Long. Crítica	
Longitud de la zona crítica NF P18-710	
$l_{cr} = \text{máx}(h, H/6, 450\text{mm}) \rightarrow l_{cr} = 840\text{mm}$	

Figura 20
Diseño de armado de Pilares



4.10.6. Comprobaciones en ELS – Limitaciones tensionales

Las verificaciones en ELS adquieren relevancia para asegurar un comportamiento adecuado bajo cargas de uso. El UHPFRC, aunque permite la presencia de tracciones limitadas y fisuración distribuida, debe cumplir con los umbrales de tensión fijados por la NF P18-710 y el Eurocódigo 2, garantizando así su seguridad y durabilidad. En este apartado se evalúan las tensiones derivadas del análisis estructural, comprobando que no se superen los valores admisibles en compresión ni en tracción, y que el material conserve su integridad en condiciones de servicio.

Tabla 17
Esfuerzos en Comb. Cuasi-permanente

	AXÍL DE DISEÑO		MOMENTO DE DISEÑO		CORTANTE DE DISEÑO	
SECCIÓN	N _{dMín}	N _{dMáx}	M _{dMáx}	M _{dMín}	V _{dMáx}	V _{dMín}
0,00 m	-76,51	-318,27	35,13	3,24	13,46	1,53
5,04 m	-45,41	-301,97	-45,93	-4,06	19,29	1,39

Tensión máxima en el hormigón

N=-318,27 kN (Esfuerzo que más compresión ejerce)

$$\varepsilon_0 = -9,13 \times 10^{-5}$$

$$\sigma_c = \frac{N_{Ed}}{A_c} + \frac{M_{Ed} \cdot \left(\frac{h}{2} - x\right)}{I_c} = 9,82 MPa$$

Curvatura $k = 1,34 \times 10^{-6} \text{ mm}^{-1}$

Tensión en el acero comprimido

$$\sigma_{s, tracc.} = n \cdot \sigma_c \cdot \frac{h - d' - x}{x} = 125,62 MPa$$

Tensión en el acero traccionado

$$\sigma_{s, tracc.} = n \cdot \sigma_c \cdot \frac{h - d' - x}{x} = 190 MPa$$

4.10.7. Control de fisuración

Según lo establecido por el UNE-EN 1992-1-1:2013, para un ambiente XC3, barras de diámetro 16mm y acero en tensión de 240 MPa, se permite un ancho de fisura $w_{m\acute{a}x} = 0,3 \text{ mm}$.

$$\sigma_{s, tracc.} = 195,34 MPa$$

$$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ctm}}{\rho_{p, eff}} (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p, eff})}{E_s} \geq 0,6 \frac{\sigma_s}{E_s} \quad (27)$$

$$k_t \frac{f_{ctm}}{\rho_{p, eff}} (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p, eff}) = 0,4 \times \frac{8}{0,0268} \times (1 + 4,62 \times 0,0268) = 134 MPa$$

$$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = \frac{190 - 134}{200000} = 0,00028$$

$$w_k = s_{r, m\acute{a}x} \cdot (\epsilon_{sm} - \epsilon_{c, i}) \quad (28)$$

$$w_k = s_{r, m\acute{a}x} \cdot (\epsilon_{sm} - \epsilon_{c, i}) = 298 \cdot 0,00057 = 0,17 \text{ mm}$$

Separación máxima de fisuras: $s_{r, m\acute{a}x} = 298 \text{ mm}$

4.10.7.1. Verificación de flechas

Pandeo

El pilar se considera no esbelto. Esto significa que los efectos de segundo orden (riesgo de pandeo) son despreciables y no se requiere un cálculo específico para mayorarlos. Es estable por su propia robustez.

Deriva

La deriva es el desplazamiento horizontal del pilar. La comprobación principal es relevante para los pilares esbeltos, donde la carga axial amplifica la deformación por el momento flector (efecto P-Delta).

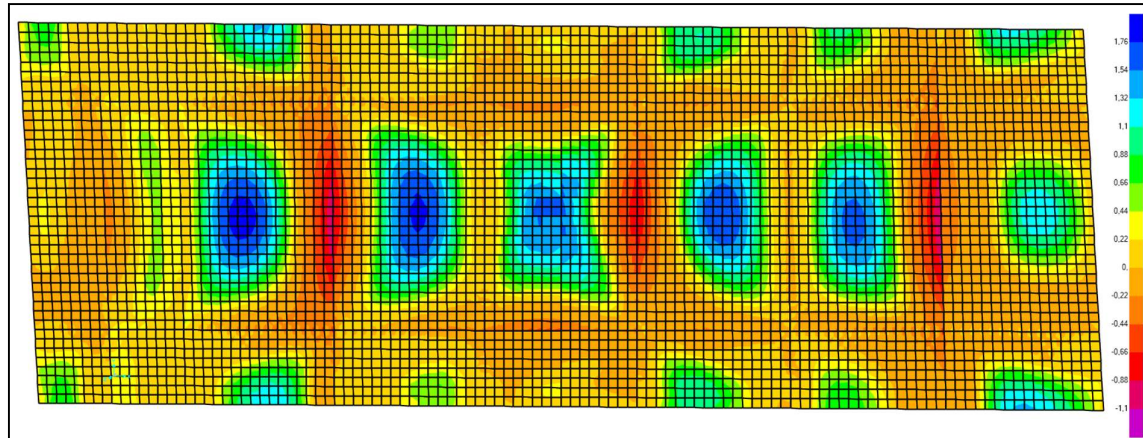
Sin embargo, y dado que el pilar no es esbelto, este efecto de amplificación es despreciable. La flecha elástica inicial (debida al momento de 35.13 kN·m) se considera dentro del análisis global de la estructura y, por sí sola, no requiere una verificación aislada en el pilar.

4.10.8. Diseño de cubierta

A continuación, se detalla el procedimiento para determinar la capacidad resistente de la sección de UHPFRC, sometida a flexión y esfuerzo axial, conforme al modelo de bloques de tensión de la norma NF P18-710.

Tabla 18.

Diagrama de esfuerzos (Momentos + y -) SAP2000



Geometría:

Canto (h): 60 mm

Ancho (b): 1000 mm

Materiales (Resistencias de Cálculo):

Resistencia a Compresión $f_{cd,UHPFRC}$: 100 MPa

Resistencia a Tracción Residual f_{ctd,res_UHPFRC} : 6.15 MPa

Fibra neutra x

$$x = 4.05 \text{ mm}$$

$$F_c = 0.85 \cdot b \cdot x \cdot f_{cd}$$

$$F_t = f_{ctd,res} \cdot b \cdot (h - x) + N_d$$

$$M_{Res} = F_c \cdot z_c + F_t \cdot z_t$$

$$z_c = \frac{h}{2} - \frac{x}{2}$$

$$z_t = \frac{h}{2} - \frac{h - x}{2}$$

$$M_{Res} = 10,33 \text{ kN.m/m}$$

Esfuerzos de diseño

$$N_d = 9,63 \text{ kN/m}$$

$$M_d = -7,42 \text{ kN.m/m}$$

Una vez realizado los cálculos y el análisis de la sección de la cubierta en UHPFRC, se ha verificado su comportamiento frente a la combinación de solicitaciones de momento flector y esfuerzo axil más desfavorable. Los cálculos, basados en el modelo de bloques de tensión de la norma NF P18-710, han demostrado que la capacidad resistente de la sección es superior a las acciones de diseño. Por tanto, se confirma que no se requiere armadura pasiva por razones de agotamiento en E.L.U.

La cubierta de la marquesina en UHPFRC no ha tenido necesidad de disponer armadura pasiva adicional, ya que la comprobación seccional demuestra que la capacidad resistente es suficiente frente a los esfuerzos de diseño. El momento resistente de cálculo obtenido ($M_{Res}=10,33 \text{ kN.m/m}$) supera en aproximadamente un **39 %** al momento máximo de diseño en Estado Límite de Servicio ($M_{Ed}=-7,42 \text{ kN.m/m}$), considerando en todo momento acciones mayoradas y resistencias reducidas conforme a Eurocódigo 2 y NF P18-710. A su vez, la sollicitación axial de tracción ($N_d=9,63 \text{ kN/m}$) queda equilibrada por la propia capacidad del UHPFRC, cuyo comportamiento post-fisuración está garantizada por la incorporación de fibras metálicas distribuidas homogéneamente en la matriz, lo cual asegura resistencia residual a tracción y control de fisuración sin necesidad de acero de refuerzo. Este resultado confirma que la sección satisface holgadamente las exigencias de resistencia y servicio, cumpliendo los límites normativos de deformación y apertura de fisuras, y permite prescindir de armaduras adicionales sin comprometer la seguridad estructural ni la durabilidad de la cubierta.

Capítulo V. Proceso constructivo y montaje

5. Proceso constructivo

Como proceso constructivo se recomienda la prefabricación de todos los elementos que componen la Marquesina de la gasolinera, la industrialización en la construcción presenta ventajas técnicas, económicas y ambientales, lo cual está ampliamente respaldado por investigaciones recientes. La prefabricación permite un control detallado y óptimo de las propiedades del HUPRFC, asegurando su alta resistencia a la compresión, tracción, durabilidad y baja permeabilidad, esenciales para estructuras expuestas a agentes químicos y cargas dinámicas (Luo et al., 2021). Este método también optimiza los tiempos de construcción, reduce errores en obra y minimiza el desperdicio de materiales, lo que se traduce en ahorros significativos en costos y mano de obra. Además, estudios recientes destacan que la prefabricación reduce la huella de carbono al disminuir el consumo de recursos y las emisiones asociadas a la construcción in situ (Rocha et al., 2022). La prefabricación facilita diseños adaptables y permite prever futuras ampliaciones, superando desafíos como la falta de control de calidad en obra y los largos plazos de ejecución. En comparación con métodos tradicionales, este enfoque garantiza mayor precisión, eficiencia y sostenibilidad, lo que lo convierte en una opción ideal para proyectos como gasolineras.

5.1. Cimentación

Aunque el diseño de la cimentación no hace parte del alcance del TFM, se hacen sugerencias constructivas para que sean consideradas. La cimentación mediante zapata prefabricada tipo cáliz establece una solución ampliamente documentada para estructuras prefabricadas, al permitir una transferencia eficaz de esfuerzos axiales, cortantes y de flexión desde el pilar hacia el terreno mediante empotramiento parcial y relleno posterior con grout no contráctil de alta fluidez. Estudios realizados por (Cheng et al., 2021) destacan que este sistema garantiza precisión geométrica, rapidez de montaje y control de calidad, especialmente cuando se combinan tolerancias laterales de 5–10 mm y profundidades de encastramiento superiores a 1,5 veces la sección del pilar. En España, soluciones comerciales como CUBIX® o zapatas prefabricadas en hormigón armado son compatibles con uniones “wet” en obra, donde el relleno in situ proporciona continuidad estructural y durabilidad. La aplicación de esta técnica en un sistema mixto con UHPFRC permite la unión de elementos prefabricados manteniendo la resistencia y rigidez del conjunto, reduciendo tiempos de ejecución y asegurando el cumplimiento de los criterios de durabilidad establecidos en EHE-08 y Eurocódigo 2 para ambientes exteriores industriales.

Figura 21
Preparación del foso - Zapata Tipo Calices



Fuente:chrome-extension://efaidnbmninnbpcajpcglclefindmkaj/https://www.noxifer.com/cms/productos/descargas/catalogo-cubix3-12.pdf

Figura 22
Colocación del CUBIX



Fuente:chrome-extension://efaidnbmninnbpcajpcglclefindmkaj/https://www.noxifer.com/cms/productos/descargas/catalogo-cubix3-12.pdf

Figura 23
Hormigonado exterior de la zapata



Fuente:chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.noxifer.com/cms/productos/descargas/catalogo-cubix3-12.pdf

Figura 24
Fraguado y alicatado del hormigón



Fuente:chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.noxifer.com/cms/productos/descargas/catalogo-cubix3-12.pdf

5.2. Pilares

En la propuesta constructiva, los pilares se fabrican totalmente en planta, con una armadura de espera en la cabeza del elemento, de tal forma que permite una unión en obra eficiente con las vigas mediante conexiones "wet" con UHPFRC de resistencia equivalente o superior a 130MPa.

Esta solución mixta combina la precisión, calidad industrial y rapidez del prefabricado con la continuidad estructural y durabilidad del hormigonado in situ. (Graybeal, 2014) destaca que el UHPFRC permite realizar conexiones simples, robustas y altamente duraderas entre elementos prefabricados, con una

capacidad de empalme de barras de armadura (lap splice) eficaz en tan solo 150 mm. Además, cuando se ejecutan con control riguroso de la calidad del UHPFRC, aseguran un comportamiento igual o superior al de la construcción. La base del pilar deberá disponer de ranuras compatibles con los calices de las zapatas. En función de las solicitaciones y por simplicidad del proceso, todos los pilares llevan el mismo refuerzo de armadura pasiva y dosificación de fibras, que garantizan la capacidad estructural de cada elemento.

Figura 25

Izaje de pilares prefabricados de Hormigón

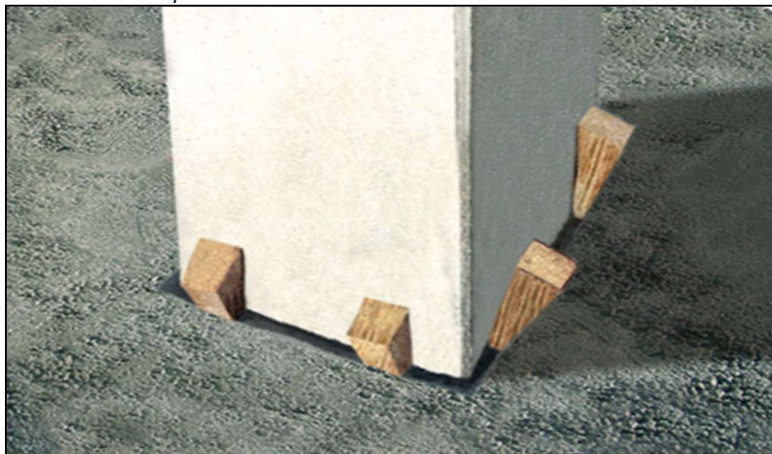


Fuente: <https://prefabricadoseguro.com/montar-un-pilar-prefabricado-en-caliz/>

El izaje de pilares depende de su longitud, peso y características, para el caso específico de los pilares de la marquesina, el pilar más esbelto que se tiene es el P5 de $H = 5257\text{mm}$ y tiene un peso aproximado de 1.05 toneladas. Considerando las especificaciones del terreno y la libertad de maniobra, el izaje puede ser realizado por una sola grúa telescópica.

Figura 26

Colocación del pilar



Fuente: <chrome-extension://efaidnbmninnbpcajpcglclefindmkaj/https://www.noxifer.com/cms/productos/descargas/catalogo-cubix3-12.pdf>

Una vez transportados a la obra, los pilares se izarán y se insertarán en los cálices de cimentación previamente instalados. Se asegurarán con cuñas y se plomarán (verificando su verticalidad) para garantizar su correcta posición. Ver Figuras 23, 24 y 25. El método más sencillo es la utilización de

plomadas en dos caras adyacentes del Pilar y usando herramientas manuales se lleva a la verticalidad solicitada. Sin embargo, en la actualidad se dispone de herramientas que permiten medir la verticalidad con precisión de 0.1° con la ayuda de niveles digitales (ver Figura 26) son herramientas digitales que garantizan un mayor grado de precisión y fiabilidad en el Izaje de elementos estructurales.

Figura 27
Aplomado de Pilares



Fuente: <https://prefabricadoseguro.com/montar-un-pilar-prefabricado-en-caliz/>

Figura 28
Nivel electrónico LASERLINER DIGILEVEL PLUS 40 081.250A



Fuente: <https://www.instrumentacion-metrologia.es/NIVEL-DIGITAL-LASERLINER-DIGILEVEL-PLUS-40-081250A>

5.3. Vigas transversales

La longitud de las vigas transversales es de 10 metros, no excede las dimensiones de transporte y se pueden fabricar en planta en su totalidad. Sin embargo, existen lineamientos que se deben considerar en el proceso constructivo. Se deberá de instalar los pernos que sujetarán la cubierta, para tal fin el Anexo xx muestra el plano de localización de pernos de anclaje, adicionalmente se especifica el grado del perno, la cantidad, distancia, longitud y ubicación con respecto a otros elementos.

Las vigas transversales se prefabricarán en su totalidad en un entorno de producción controlado. Es crucial que se deje expuesta la armadura en las dos intersecciones con los pilares, para tal fin se puede hacer uso de tapas plásticas hechas a medida, XPS o soluciones con espuma de poliuretano. Este proceso es meticuloso y es fundamental para hacer la unión Viga transversal – Pilar – Viga longitudinal in situ posteriormente.

Las vigas se izarán con grúa telescópica y se colocarán sobre los pilares previamente instalados. Las vigas deberán llevar un encofrado base que evite la deformación de la armadura no hormigonada al momento del izaje. Una vez instalada la viga sobre el Pilar la armadura de espera se entrelazará con la del pilar y las vigas longitudinales. Se deben instalar Puntales a lo largo de la viga, con el fin que resistan el peso propio del elemento y este no afecte el procesos de hormigonado in situ.

Se colocarán encofrados temporales alrededor de cada unión. Estos huecos se rellenarán con UHPFRC de 130 MPa o superior, creando una conexión monolítica y resistente que garantiza la continuidad estructural. El retiro de los puntales se realizará una vez las probetas realizadas en obra hayan alcanzado el 75% de f_{ck} .

5.4. Vigas longitudinales

Para el caso específico de las Vigas longitudinales como su longitud excede el límite de transporte, se plantean dos opciones. Se ha hecho una revisión bibliográfica y se ha investigado casos reales en España. En el proceso de fabricación se debe tener presente la instalación de pernos de anclaje que recibirán la cubierta. De igual forma, el proceso constructivo de la cubierta al ser prefabricada demanda la construcción de 3 viguetas transversales que apoyaran directamente sobre las dos Vigas longitudinales, estas intersecciones se ubican a $L = 4.00m$, $L = 12.00m$ y $L = 20.00m$. estas zonas deberán de no ser hormigonada y prever un cajón del ancho de la vigueta (10cm) en todo el canto de la viga longitudinal.

El primero consiste en la prefabricación en dos partes de la viga, es la solución más común y eficiente para este tipo de elementos. El seccionar la viga en dos partes es la solución más recomendable y logísticamente viable. Responde de manera óptima al problema del transporte y aprovecha las ventajas de la prefabricación. Se fabricarán dos segmentos de 14 metros cada uno con sus respectivas barras de espera en la factoría. Estos tramos se transportarán sin problemas hasta la obra. Y al igual que las vigas transversales, el procedimiento de izaje es sencillo y rápido. Los dos segmentos se unirán en la

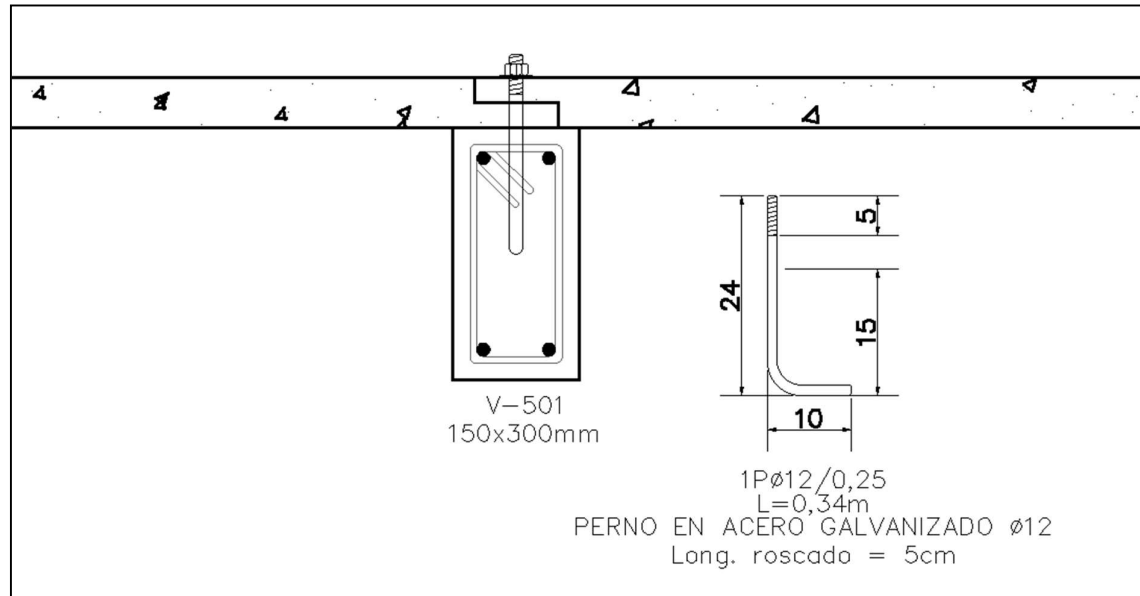
zona de bajo esfuerzo (a 2 metros del pilar). Esta unión se realizará mediante una "junta húmeda" in situ. El proceso es simple y seguro en su ejecución, no demanda logística extrema. Se preparará un encofrado en la zona de la unión de 2 metros de ancho. El espacio se rellenará con **UHPFRC** autocompactable, que envolverá la armadura de espera de ambos segmentos. El UHPFRC garantiza una unión de la misma resistencia o superior que el resto de la viga, logrando la continuidad estructural deseada.

El segundo consiste en la fabricación de la viga completa in situ y posteriormente realizar el izado, Si bien esta opción es posible, el análisis muestra que es un proceso extremadamente complejo y poco documentado para el UHPFRC en España debido a los enormes desafíos logísticos. Izar una viga de 28 metros de largo, incluso si es más esbelta que una de hormigón convencional, requiere de un mínimo de dos grúas de muy alta capacidad en punta y diseñar un plan de Izaje y seguridad complejo. Los riesgos de deformación o fallo durante el izado son más propensos y considerables. Aunque técnicamente factible, esta opción no es recomendable ni económica. La prefabricación en dos segmentos es la solución estándar de la industria para Vigas de luces grandes.

5.5. Cubierta

La cubierta, por sus dimensiones (28m de longitud por 10m de profundidad) y características, constituye una de las fases más complejas del proyecto. Se prefabricarán de siete (7) losas de 4,00 m × 10,00 m × 0,06 m de espesor, hormigonadas sobre moldes de doble chapa que capturan su deformación e inclinación. Para su correcta disposición y transmisión de cargas, se fabricarán adicionalmente tres viguetas transversales de 100×300 mm, cuya ubicación coincide exactamente con el centro de luz de las vigas longitudinales. Cada vigueta tiene un peso aproximado de 750 kg, lo que supone una sobrecarga de 355 kg por viga; este incremento, al ser limitado y de carácter permanente, no requiere un recálculo específico.

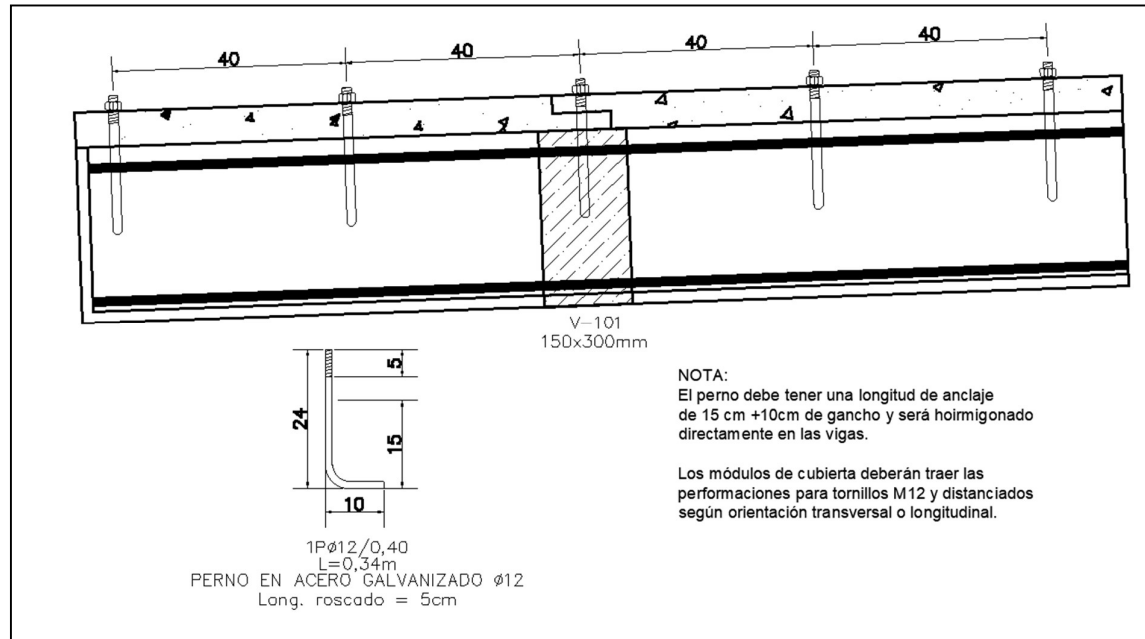
Figura 29
Diseño de anclaje Losa - Vigas Transversales



En la Figura 29 y 30 La fijación de la cubierta se realizará mediante uniones atornilladas, dejando embebidos los pernos en las vigas y vinculados al refuerzo principal, conforme a un dimensionamiento hecho en IDEA StatiCA Connection. Las losas prefabricadas incorporarán pasadores para los tornillos con holgura adicional, así como un rebaje longitudinal de 3 cm de profundidad y 5 cm de separación al borde, permitiendo el encaje con la losa contigua y la conformación de una junta de 10 cm de ancho por 3 cm de espesor, que se rellenará in situ con UHPFRC 130 MPa o superior, asegurando estanqueidad, continuidad y durabilidad de la solución.

Se utiliza como esfuerzo de diseño para calculo de anclajes el Momento resistente de la cubierta, $M_{Res} = 10.33 \text{ kN.m/m}$, considerando que será el máximo resistido, sin embargo

Figura 30
Diseño de anclaje Losa - Vigas Longitudinales



5.6. Peso total de la estructura

El peso total de la marquesina tiene un peso total aproximado de $760 \text{ kN} \approx 76 \text{ Toneladas}$. El detalle específico del peso de la estructura se obtuvo directamente del análisis realizado por SAP2000.

Capítulo VI. Análisis de costes

6. Viabilidad técnica y económica.

El coste total del proyecto inicial considerado por la Dirección facultativa para el suministro, fabricación y montaje de la Marquesina en estructura metálica de la Gasolinera PTN Riba Roja es de Ochenta y dos mil doscientos cincuenta y nueve euros con treinta y cinco céntimos (**82.259,35 €**) PEC (Presupuesto de Ejecución del Contrato).

Las actividades presupuestadas corresponden a:

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	COSTE UNITARIO	IMPORTE
Fabricación y montaje de estructura en Acero S275JR	kg	14.542,80	3,48 €	50.608,94 €
Suministro e instalación de cubierta en panel sándwich acústicos de acero galvanizado	m ²	280	60,05 €	16.814 €
Protección pasiva contra incendios de elemento estructural de Acero S275JR, con pintura intumescente. Sistema "PROMAT"	m ²	35	38,45 €	1.345,75 €
TOTAL, PEM				68.768,69 €

La diferencia radica en los costes generados por la administración, los imprevistos y el margen de utilidad esperada del Constructor. Los equipos de Izaje (Grúa telescópica) es suministrado por el promotor del proyecto.

Para la estimación del coste directo o Presupuesto de Ejecución Material (PEM) de la marquesina, se ha elaborado un análisis de precios descompuestos. Este estudio cuantifica económicamente las partidas principales que conforman la estructura, incluyendo el suministro y puesta en obra del UHPFRC, así como los elementos estructurales: pilares, vigas y la losa de cubierta.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	COSTE UNITARIO	IMPORTE
Diseño de mezcla y fabricación de UHPFRC - 130 MPa	m ³	1,00	1.441,87 €	1.441,87 €
Fabricación, transporte y montaje de Pilares 30x25 cm, en UHPFRC – 130 MPa	m	40	161,48 €	6.459,32 €
Fabricación, transporte y montaje de Vigas 150x300 mm, en UHPFRC – 130 MPa	m	126	105,33 €	13.271,73 €
Fabricación, transporte y montaje de 7 módulos de cubierta 4,00x10,00 m e = 0.06m, en UHPFRC – 130 MPa	m ²	280	113,92 €	31.898,15 €
TOTAL, PEM				53.071,06 €

Desde la perspectiva técnica, la sinergia entre el UHPFRC y la geometría de paraboloide hiperbólico es el pilar de la propuesta. Esta forma de doble curvatura optimiza el comportamiento estructural, permitiendo que el material trabaje de manera mucho más eficiente que en una losa plana o inclinada.

La esbeltez extrema de 6 cm de la cubierta sería inviable sin esta combinación, que minimiza las flexiones y aprovecha al máximo la alta resistencia del UHPFRC. La prefabricación de la cubierta en 7 módulos no solo facilita la logística, sino que también traslada la mayor parte del trabajo a taller, reduciendo drásticamente las operaciones en obra. Esto contrasta con la alternativa en acero, que exigiría complejos trabajos de soldadura en altura, con los consiguientes riesgos y tolerancias más exigentes. El montaje de la solución en UHPFRC se limita a uniones específicas, más rápidas y seguras. Así, la cubierta trasciende su función estructural para convertirse en un elemento arquitectónico distintivo, capaz de definir una nueva y moderna imagen corporativa para la Empresa.

En el análisis económico, la propuesta de diseño en UHPFRC demuestra una notable ventaja competitiva. El Presupuesto PEM se ha estimado en 53.071,06 €, lo que supone una reducción del 22.8% frente a los 68.768,69 € del proyecto original en estructura metálica. La optimización es evidente al desglosar los costes: la partida de fabricación y montaje de acero (50.608,94 €) casi iguala por sí sola el coste total de la solución en UHPFRC.

La alternativa en UHPFRC, en cambio, no requiere recubrimientos especiales de protección al fuego, gracias a sus propiedades de alta densidad, baja permeabilidad y buen comportamiento frente a temperaturas elevadas. Esto elimina partidas adicionales y se traduce en una reducción directa del coste de ejecución.

A nivel global, la solución en UHPFRC no solo ofrece un ahorro inicial en el PEM, sino también un potencial beneficio económico a largo plazo por su mayor durabilidad y menor necesidad de mantenimiento, reforzando así la viabilidad técnica, arquitectónica y económica del proyecto.

Para consultar el análisis de los precios descompuestos de la fabricación y montaje de la Marquesina en UHPFRC se encuentran como anexos en el documento.

Capítulo VII. Ventajas UHPFRC / Estructura metálica

7. Ventajas del UHPFRC vrs. Estructura metálica

A continuación, se expone una comparación entre la solución propuesta en UHPFRC y la alternativa tradicional en estructura metálica, evaluando aspectos técnicos, constructivos, Mantenimiento preventivo, económicos, sostenibilidad y durabilidad. El análisis permite destacar las ventajas técnicas y funcionales del UHPFRC frente al acero en cubiertas de geometría paraboloide hiperbólica.

7.1. Ventajas Técnicas

Se evidencia una superioridad técnica del UHPFRC expresada en términos de rendimiento mecánico, que permite una optimización estructural. La eficiencia estructural y la libertad geométrica son la combinación de la alta resistencia a compresión ($f_{ck} = 130$ MPa) con una notable resistencia a tracción post-fisuración ($f_{ctk} = 8,0$ MPa), la cual es ideal para la geometría de la cubierta en forma de paraboloide hiperbólico. Esta geometría trabaja predominantemente bajo esfuerzos de membrana, minimizando la flexión. El UHPFRC permite materializar esta eficiencia con un espesor de lámina de tan solo 6 cm, algo inviable con hormigón convencional y que en acero requeriría un complejo sistema de perfiles y uniones. Adicionalmente, se evidencia la reducción de peso y la esbeltez de la estructura. Gracias a sus propiedades, los elementos estructurales (vigas y pilares) tienen secciones transversales significativamente reducidas en comparación con lo que requeriría un hormigón convencional y como la concepción original del proyecto en perfiles metálicos HEB 300 y vigas HEA 320. Esto conduce a un peso propio total de la estructura menor, optimizando la cimentación y mejorando la respuesta sísmica al reducir la masa inercial.

7.2. Ventajas Constructivas

El proceso constructivo propuesto, basado en la prefabricación, potencializa las propiedades del UHPFRC, generando eficiencia notable en tiempo y calidad. La industrialización y control de calidad en el proceso de prefabricación de pilares, vigas y los siete módulos de la cubierta en factoría permite un mayor control sobre la dosificación, el curado y los acabados propios del material, garantizando el cumplimiento con las especificaciones de proyecto. Este proceso minimiza las incertidumbres y patologías asociadas a la ejecución en obra. Por otra parte, la rapidez y simplicidad del montaje al proponer un sistema de uniones típico y común -cimentaciones tipo cáliz, juntas húmedas con UHPFRC en los nudos viga-pilar y conexiones atornilladas y selladas en la cubierta- disminuyen los tiempos de montaje significativamente. Eliminar el proceso de soldadura, el suministro de equipos pesados en campo y la dependencia de condiciones climáticas favorables se traduce en una notable reducción de los plazos de ejecución del proyecto.

7.3. Ventajas de Mantenimiento

A largo plazo, la solución en UHPFRC presenta una ventaja económica y operativa decisiva gracias a la reducción de las necesidades de mantenimiento. A diferencia de la estructura de acero, que requiere sistemas de protección (galvanizado, pintura y recubrimientos ignífugos) además de inspecciones y repintados periódicos, el UHPFRC es intrínsecamente resistente. Su matriz cementicia de baja porosidad impide la penetración de agentes agresivos, eliminando el riesgo de corrosión tanto de las fibras de acero internas como de la armadura pasiva. De este modo, la estructura conserva su

integridad mecánica y estética a lo largo de toda su vida útil sin necesidad de tratamientos superficiales o programas intensivos de conservación.

7.4. Ventajas Económicas

Si bien el coste por metro cúbico del UHPFRC es superior al del acero estructural o al hormigón convencional, un análisis de coste global considerando el ciclo de vida (LCC) revela su competitividad económica. La optimización en el coste inicial se evidencia con la reducción tanto en el volumen propio del hormigón (secciones más pequeñas), como en el uso de armadura pasiva, lo cual repercute directamente en cimentaciones más ligeras y económicas. Además, los tiempos de montaje son menores, reduciendo costes indirectos asociados a la gestión del proyecto. Sin embargo, el principal ahorro se produce a lo largo de la vida útil de la infraestructura: la eliminación casi total de los costes de mantenimiento (inspección, repintado, reparaciones por corrosión) convierte la inversión inicial en UHPFRC en una alternativa altamente rentable frente a la solución metálica.

7.5. Ventajas en Sostenibilidad – Huella de CO₂

Una ventaja significativa del UHPFRC frente a la estructura metálica radica en la reducción de la huella de carbono asociada al ciclo de vida. Aunque la fabricación del UHPFRC presenta una demanda energética inicial elevada, su elevada durabilidad, baja permeabilidad y capacidad para prescindir de recubrimientos protectores o sistemas de mantenimiento intensivo permiten minimizar intervenciones posteriores, disminuyendo así las emisiones a lo largo de la vida útil de la estructura. En contraste, las estructuras metálicas, aun siendo más ligeras, requieren procesos de protección contra la corrosión (galvanizado, pintado o mantenimiento periódico), los cuales incrementan su huella de carbono acumulada. Por tanto, al considerar el ciclo completo, el UHPFRC ofrece una opción más sostenible, especialmente en infraestructuras expuestas a ambientes agresivos como las cubiertas de gasolineras.

7.6. Ventajas en Durabilidad

La durabilidad del UHPFRC es, quizás, su ventaja más destacada, derivada directamente de su estructura única. La microestructura densa y con porosidad desconectada le confiere una permeabilidad al agua, cloruros y CO₂. Esto garantiza una protección excepcional de la armadura pasiva, permitiendo reducir los recubrimientos normativos, tal como se contempla en la NF P18-710 (de 20 mm a 15 mm en este caso). Asimismo, la densa red de fibras metálicas no solo aporta resistencia a tracción, sino que controla la fisuración de manera sobresaliente: en lugar de formarse pocas fisuras de gran apertura, se genera un patrón de microfisuras múltiples y distribuidas, con anchos muy controlados (calculados en 0.17 mm, muy por debajo del límite de 0.3 mm), lo que mantiene la estanqueidad y la integridad de la estructura incluso bajo cargas de servicio severas.

Capítulo VIII. Conclusiones y futuras líneas de investigación

8. Conclusiones

Se ha demostrado la viabilidad técnica y económica de sustituir una estructura metálica tradicional por una solución innovadora en Hormigón de Ultra-Alto Rendimiento Reforzado con Fibras (UHPFRC) para la marquesina de una gasolinera. El diseño propuesto, con una cubierta en forma de paraboloide hiperbólico, no solo cumple con todos los requisitos normativos de los Eurocódigos y la norma técnica NF P18-710 , sino que ofrece ventajas sustanciales en términos de eficiencia estructural, durabilidad y mantenimiento frente a la alternativa tradicional en acero.

La combinación de alta resistencia a compresión y la mejorable capacidad a tracción post-fisuración del UHPFRC ha permitido una optimización geométrica radical. La cubierta laminar de 6 cm de espesor trabaja eficientemente bajo esfuerzos de membrana, minimizando la flexión y eliminando la necesidad de armadura pasiva por agotamiento en E.L.U. Del mismo modo, las vigas (150x300 mm) y pilares (25x30 cm) presentan secciones transversales muy reducidas, lo que disminuye el peso total de la estructura a aproximadamente 65 toneladas y optimiza la cimentación.

La propuesta de un proceso constructivo basado íntegramente en la prefabricación de los elementos (pilares, vigas y cubierta) se consolida como la metodología más eficiente y smart. Este enfoque garantiza un control de calidad exhaustivo en factoría, acelera los tiempos de montaje en obra y minimiza la generación de residuos. Las uniones húmedas in situ con UHPFRC y las conexiones atornilladas en la cubierta aseguran la continuidad estructural y la estanqueidad del conjunto.

Se ha demostrado concluyentemente la viabilidad económica del proyecto. El presupuesto de ejecución material (PEM) de la solución en UHPFRC asciende a 53.071,06 €, lo que representa un ahorro directo del 22.8% en comparación con los 68.768,69 € de la alternativa original en estructura metálica. Este ahorro se fundamenta en la optimización del material y la eliminación de partidas como la protección pasiva contra incendios.

8.1. Futuras Líneas de Investigación

Validación experimental de conexiones, realizar ensayos a escala real sobre las uniones críticas del proyecto, especialmente la conexión "húmeda" pilar-viga ejecutada con UHPFRC y las juntas entre los paneles prefabricados de la cubierta. Esto permitiría validar experimentalmente las hipótesis de cálculo y el comportamiento monolítico asumido en el modelo numérico.

Monitoreo de la estructura, por medio de un prototipo a escala o elementos específicos de la marquesina, monitorizar su comportamiento a lo largo del tiempo. El estudio de los efectos de la fluencia, la retracción y la evolución de la microfisuración bajo las condiciones ambientales reales de la Comunidad Valenciana aportaría datos de incalculable valor para futuros diseños.

Optimización del diseño de mezcla con materiales reciclados, investigar la posibilidad de formular una dosificación de UHPFRC utilizando áridos reciclados disponibles en la comunidad Valenciana. El objetivo sería reducir los costes de producción y la huella de carbono asociada al transporte de materias primas sin mermar las prestaciones mecánicas y de durabilidad del material.

Analizar de la resistencia al fuego de elementos estructurales, como Pilares, desarrollando un estudio específico sobre el comportamiento al fuego de los elementos esbeltos de UHPFRC diseñados. Aunque el hormigón presenta una mejor respuesta intrínseca que el acero, la investigación del fenómeno de spalling (desprendimiento explosivo) en este tipo de hormigón es fundamental para garantizar la seguridad en infraestructuras como las gasolineras.

Exploración de geometrías con diseño paramétrico, haciendo uso de herramientas de diseño paramétrico y algoritmos de optimización topológica, se puede explorar otras geometrías más optimas y/o complejas de cubiertas. Esto podría llevar a soluciones estructurales aún más eficientes y estéticamente singulares, aprovechando al máximo la libertad formal que permite el UHPFRC

Explorar nuevos procesos constructivos para diferentes tipos de cubiertas en UHPFRC, orientada a explorar y validar nuevas alternativas que resulten técnica y económicamente viables. La singularidad y el uso de elementos delgados de UHPFRC hacen necesario profundizar en métodos de producción, transporte y montaje que optimicen recursos y reduzcan costes sin comprometer la seguridad ni la durabilidad. En este sentido, resulta pertinente investigar sistemas híbridos de prefabricación parcial combinados con técnicas de curvatura activa, el empleo de moldes modulares reutilizables o soluciones de unión simplificadas que agilicen el montaje en obra. Asimismo, se plantea como necesario evaluar comparativamente el impacto económico de cada alternativa, considerando tanto el coste directo de fabricación como los tiempos de ejecución y la logística de izado. Esta línea permitirá identificar configuraciones constructivas más eficientes que potencien la aplicabilidad del UHPFRC en cubiertas singulares y refuercen su competitividad frente a materiales convencionales.

Bibliografía

Bae, B.-I., Lee, M.-S., Choi, C.-S., Jung, H.-S., & Choi, H.-K. (25 de March de 2021).

Evaluation of the Ultimate Strength of the Ultra-High-Performance Fiber-

Reinforced Concrete Beams. *Applied Sciences*, 11(2951).

doi:<https://doi.org/10.3390/app11072951>

Irreño Palomo, I. R., Frappa, G., Carlos de Almeida, L., Mouta Trautwein, L., & Pauletta, M.

(2024). Analytical and numerical models to determine the strength of RC exterior

beam–column joints retrofitted with UHPFRC. *Engineering Structures*, 312.

doi:<https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2024.118244>.

Richard, P., & Cheyrezy, M. (1995). Composition of reactive powder concretes. *Cement*

and Concrete Research, 25(7), 1501 - 1511. doi:[https://doi.org/10.1016/0008-](https://doi.org/10.1016/0008-8846(95)00144-2)

8846(95)00144-2

Saleme Gidrão, G., Augusto Krah, P., & Carrazedo, R. (2021). Numerical modeling and

design of precast prestressed UHPFRC I beams. *IBRACON Structures and*

Materials Journal(3), 14. doi:<https://doi.org/10.1590/S1983-41952021000300010>

Valencia Secreta. (5 de Enero de 2021). *Así fue la gran nevada de 1960 en Valencia*.

Obtenido de [https://valenciasecreta.com/la-gran-nevada-](https://valenciasecreta.com/la-gran-nevada-1960/#:~:text=Un%2011%20de%20enero%20de,capital%20de%20la%20Comunidad%20Valenciana)

1960/#:~:text=Un%2011%20de%20enero%20de,capital%20de%20la%20Comuni-

dad%20Valenciana.

*AENOR*mas. (s. f.). Recuperado 8 de agosto de 2025, de

<https://plataforma.aenormas.aenor.com/pdf/UNE/N0061575>

Cheng, Z., Liu, D., Li, S., Wang, J., & Zhang, J. (2021). Performance characterization and

design recommendations of socket connections for precast columns. *Engineering*

Structures, 242, 112537. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.112537>

Graybeal, B. A. (2014). Ultra-high-performance concrete connections for precast concrete bridge decks. *PCI Journal*, 59(4), 48-62.

<https://doi.org/10.15554/pcij.09012014.48.62>

Lázaro, C., Castro-Bugallo, C., Navarro-Gregori, J., Priego-de-los-Santos, E., & Serna, P. (2023). Design and production of an experimental UHPFRC bending-active footbridge. *Engineering Structures*, 294, 116742.

<https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2023.116742>

López Morales, M., Gregori, J. N., & Castro Bugallo, M. C. (s. f.). *Comprobación en ELU de Secciones en H Pretensadas de UHPC frente a Esfuerzos de Axil y Flector*.

Recuperado 10 de agosto de 2025, de https://labmatlab-was.upv.es/webapps/home/Comprobacion_en_ELU_2.html

Luo, D., Lu, T., & Chen, Y. F. (2021). Application of ultra-high-performance concrete in prefabricated buildings. *Materials Testing*, 63(12), 1174-1183.

<https://doi.org/10.1515/mt-2021-0043>

Maya Duque, L. F., & Graybeal, B. (2017). Fiber orientation distribution and tensile mechanical response in UHPFRC. *Materials and Structures*, 50(1), 55.

<https://doi.org/10.1617/s11527-016-0914-5>

Morrobél, H. M. C. (s. f.). *APLICACIÓN DE HORMIGÓN DE ULTRA ALTA RESISTENCIA CON FIBRAS DE VIDRIO. CARACTERIZACIÓN DE HORMIGÓN DE ULTRA ALTA RESISTENCIA CON FIBRAS DE VIDRIO*.

Rocha, P. F., Ferreira, N. O., Pimenta, F., & Pereira, N. B. (2022). Impacts of Prefabrication in the Building Construction Industry. *Encyclopedia*, 3(1), 28-45.

<https://doi.org/10.3390/encyclopedia3010003>

Toutlemonde, F., Génèreux, G., Resplendino, J., & Delort, M. (2016, julio 18). Product and Design Standards for UHPFRC in France. *First International Interactive Symposium*

on UHPC. First International Interactive Symposium on UHPC.

<https://doi.org/10.21838/uhpc.2016.114>

Yousef, A. M., Tahwia, A. M., & Al-Enezi, M. S. (2023). Experimental and Numerical Study of

UHPRFC Continuous Deep Beams with Openings. *Buildings*, 13(7), 1723.

<https://doi.org/10.3390/buildings13071723>

ANEXOS

		CÓDIGO:		MI-GS-RG-832				
		VERSIÓN:		2,0				
		FECHA DE APROBACIÓN		16-jun.-25				
		PÁGINA		1 DE 1				
PROYECTO :	Aplicación del UHPFRC en cubiertas laminares de gasolineras							
AÑO:	2025							
ITEM:	UHPFRC - 130 MPa							
UNIDAD:	m³							
1.EQUIPO								
DESCRIPCIÓN				UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	RENDIMIENTO	VALOR PARCIAL
Hormigonera móvil EMA 3				H	1,00	€ 75,00	10,0%	€ 7,50
Báscula industrial Gram Next Xtrem F				H	1,00	€ 15,00	10,0%	€ 1,50
								€ -
Sub - Total Equipo								€ 9,00
2. MATERIALES DE OBRA								
DESCRIPCIÓN				UNIDAD	COSTE	CANTIDAD	VALOR PARCIAL	
CEM IV/A (P) 42,5 R-SR - Cemex 25KG				kg	€ 0,20	800,00	€ 160,00	
Humo de Sílice				Kg	€ 0,75	180,00	€ 135,00	
Arena 0/2 sílica				Kg	€ 0,10	900,00	€ 90,00	
Agua				L	€ 0,10	180,00	€ 18,00	
Superplastificante Sika - Viscocrete 20 HE				kg	€ 4,50	40,00	€ 180,00	
Fibras OL 16/0,2				Kg	€ 5,15	160,00	€ 824,00	
							€ -	
							€ -	
							€ -	
							€ -	
							€ -	
Sub - Total Materiales de obra								€ 1.407,00
3. TRANSPORTE								
MATERIAL	DISTANCIA	CANTIDAD (Vol - Peso)	m³ Ó T/Km	TARIFA	VALOR PARCIAL			
	10,00 km	1	0,10	€ 75,00	€ 7,50			
Sub - Total Transporte					€ 7,50			
4. MANO DE OBRA								
TRABAJADOR	SALARIO MES	CANTIDAD	PRESTACIONES SOCIALES	DÍA	RENDIMIENTO %	VALOR PARCIAL		
Técnico de Obra	€ 1.987,00	1,00	€ 1.001,00	€ 99,60	10%	€ 9,96		
Ayudante Técnico	€ 1.699,00	1,00	€ 824,00	€ 84,10	10%	€ 8,41		
Sub - Total Mano de obra						€ 18,37		
TOTAL COSTOS DIRECTOS						€ 1.441,87		

	ANALISIS DE PRECIOS DESCOMPUESTOS		CÓDIGO:		M-GS-RG-832	
			VERSIÓN:		2,0	
			FECHA DE APROBACIÓN		16-jun.-25	
			PÁGINA		1 DE 1	
PROYECTO :		Aplicación del UHPFRC en cubiertas laminares de gasoliner				
AÑO:		2025				
ITEM:		Pilares 30x25cm				
UNIDAD:		m				
1.EQUIPO						
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	% Rend.	IMPORTE
Vibrador de hormigón de alta frec. - 1200 W - 435 x 20 mm - 230 V		Und	1,00	€ 619,00	0,1%	€ 0,31
Gato carpintero de mango bimaterial		Und	4,00	€ 20,21	0,1%	€ 0,04
Regle yesero metálico 40x40x4000		Und	4,00	€ 21,40	0,1%	€ 0,04
Sierra de mesa M18FTS210-0 M18 FUEL™ ONE-KEY™		Und	1,00	€ 704,00	0,1%	€ 0,35
Taladro atornillador con batería 12V CSC1205BC		Und	1,00	€ 150,00	0,1%	€ 0,08
Sub - Total Equipo						€ 0,82
2. MATERIALES DE OBRA						
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	COSTE	CANTIDAD	IMPORTE	
Tablero tricapa 27 mm, para encofrado IRU-PU & STD		m²	€ 34,51	1,00	€ 1,73	
UHPFRC 130 MPa Fabricado en planta		m³	€ 1.441,87	0,08	€ 113,91	
Desencofrante D Sika 25L		L	€ 3,50	0,10	€ 0,35	
Tornillo autoroscante Spax-Star, Ø 4 x L. 40mm / 200		Pack	€ 8,50	1,00	€ 8,50	
Acero corrugado < 25mm		kg	€ 0,95	7,00	€ 6,65	
Sub - Total Materiales de obra						€ 131,13
3. TRANSPORTE						
MATERIAL	DISTANCIA	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	RENDIMIENTO	IMPORTE
Transporte camión 5 ejes / 40 T	< 50 km	Ton	1,00	€ 12,00	10%	€ 1,20
Sub - Total Transporte						€ 1,20
TRABAJADOR	SALARIO MES	CANTIDAD	PRESTACIONES SOCIALES	DÍA	RENDIMIENTO %	IMPORTE
Técnico de Obra	€ 1.987,00	2,00	€ 1.001,00	€ 199,20	10%	€ 19,92
Ayudante Técnico	€ 1.699,00	1,00	€ 824,00	€ 84,10	10%	€ 8,41
Sub - Total Mano de obra						€ 28,33
TOTAL COSTOS DIRECTOS						€ 161,48
Elaborado por: _____			Revisado por: _____			

		ANALISIS DE PRECIOS DESCOMPUESTOS		CÓDIGO:	M-GS-RG-832	
				VERSIÓN:	2,0	
				FECHA DE APROBACIÓN	16-jun.-25	
				PÁGINA	1 DE 1	
PROYECTO :	Aplicación del UHPFRC en cubiertas laminares de gasolinerías					
AÑO:	2025					
ITEM:	Vigas 150x300mm					
UNIDAD:	m					
1.EQUIPO						
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	% Rend.	IMPORTE
Vibrador de hormigón de alta frec. - 1200 W - 435 x 20 mm - 230 V		Und	1,00	€ 619,00	0,1%	€ 0,31
Gato carpintero de mango bimaterial		Und	4,00	€ 20,21	0,1%	€ 0,04
Regle yesero metálico 40x40x4000		Und	4,00	€ 21,40	0,1%	€ 0,04
Sierra de mesa M18FTS210-0 M18 FUEL™ ONE-KEY™		Und	1,00	€ 704,00	0,1%	€ 0,35
Taladro atornillador con batería 12V CSC1205BC		Und	1,00	€ 150,00	0,1%	€ 0,08
Sub - Total Equipo						€ 0,82
2. MATERIALES DE OBRA						
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	COSTE	CANTIDAD	IMPORTE	
Tablero tricapa 27 mm, para encofrado IRU-PU & STD		m²	€ 34,51	0,90	€ 1,55	
UHPFRC 130 MPa Fabricado en planta		m³	€ 1.441,87	0,05	€ 72,09	
Desencofrante D Sika 25L		L	€ 3,50	0,10	€ 0,35	
Tornillo autoroscante Spax-Star, Ø 4 x L. 40mm / 200		Pack	€ 8,50	1,00	€ 8,50	
Acero corrugado < 25mm		kg	€ 0,95	7,00	€ 6,65	
Sub - Total Materiales de obra						€ 89,15
3. TRANSPORTE						
MATERIAL	DISTANCIA	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	RENDIMIENTO	IMPORTE
Transporte camión 5 ejes / 40 T	< 50 km	Ton	1,00	€ 12,00	10%	€ 1,20
Sub - Total Transporte						€ 1,20
TRABAJADOR	SALARIO MES	CANTIDAD	PRESTACIONES SOCIALES	DÍA	RENDIMIENTO %	IMPORTE
Técnico de Obra	€ 1.987,00	2,00	€ 1.001,00	€ 199,20	5%	€ 9,96
Ayudante Técnico	€ 1.699,00	1,00	€ 824,00	€ 84,10	5%	€ 4,21
Sub - Total Mano de obra						€ 14,17
TOTAL COSTOS DIRECTOS						€ 105,33
Elaborado por: _____			Revisado por: _____			

ANALISIS DE PRECIOS DESCOMPUESTOS		CÓDIGO:	M-GS-RG-832				
		VERSIÓN:	2,0				
		FECHA DE APROBACIÓN	16-jun.-25				
		PÁGINA	1 DE 1				
PROYECTO :		Aplicación del UHPFRC en cubiertas laminares de gasolineras					
AÑO:		2025					
ITEM:		Cubierta Marquesina Gasolinera					
UNIDAD:		m ²					
1.EQUIPO							
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	% Rend.	IMPORTE	
Vibrador de hormigón de alta frec. - 1200 W - 435 x 20 mm - 230 V		Und	1,00	€ 619,00	0,1%	€ 0,31	
Gato carpintero de mango bimaterial		Und	20,00	€ 20,21	0,1%	€ 0,20	
Regle yesero metálico 40x40x4000		Und	20,00	€ 21,40	0,1%	€ 0,21	
Sierra de mesa M18FTS210-0 M18 FUEL™ ONE-KEY™		Und	1,00	€ 704,00	0,1%	€ 0,35	
Taladro atornillador con batería 12V CSC1205BC		Und	1,00	€ 150,00	0,1%	€ 0,08	
Sub - Total Equipo						€ 1,15	
2. MATERIALES DE OBRA							
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	COSTE	CANTIDAD	IMPORTE		
Tablero tricapa 27 mm, para encofrado IRU-PU & STD		m ²	€ 34,51	2,10	€ 3,62		
UHPFRC 130 MPa Fabricado en planta		m ³	€ 1.441,87	0,06	€ 90,84		
Desencofrante D Sika 25L		L	€ 3,50	0,10	€ 0,35		
Tornillo autoroscante Spax-Star, Ø 4 x L. 40mm / 200		Pack	€ 8,50	1,00	€ 8,50		
Sub - Total Materiales de obra						€ 103,31	
3. TRANSPORTE							
MATERIAL	DISTANCIA	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	RENDIMIENTO	IMPORTE	
Transporte camión 5 ejes / 40 T	< 50 km	Ton	1,00	€ 12,00	15%	€ 1,80	
Sub - Total Transporte						€ 1,80	
TRABAJADOR	SALARIO MES	CANTIDAD	PRESTACIONES SOCIALES	DÍA	RENDIMIENTO %	IMPORTE	
Técnico de Obra	€ 1.987,00	2,00	€ 1.001,00	€ 199,20	3%	€ 5,98	
Ayudante Técnico	€ 1.699,00	1,00	€ 824,00	€ 84,10	2%	€ 1,68	
Sub - Total Mano de obra						€ 7,66	
TOTAL COSTOS DIRECTOS						€ 113,92	
Elaborado por: _____		Revisado por: _____					