



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos,
Canales y Puertos

Estudio de soluciones para la sustitución de tableros y
adecuación de la infraestructura en los puentes de acceso
a la pedanía El Palmar de la ciudad de València

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos

AUTOR/A: Abío Buendía, Javier

Tutor/a: Monleón Cremades, Salvador

CURSO ACADÉMICO: 2025/2026

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos

Estudio de soluciones para la sustitución de tableros y
adecuación de la infraestructura en los puentes de acceso
a la pedanía El Palmar de la ciudad de València

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos

AUTOR/A: Abío Buendía, Javier

Tutor/a: Monleón Cremades, Salvador

CURSO ACADÉMICO:

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero expresar mi más sincero agradecimiento a la Universitat Politècnica de València y a la Escuela de Caminos, Canales y Puertos. A todo el profesorado y personal que me ha acompañado en una etapa inolvidable que siempre guardaré en el recuerdo. Esta institución me ha brindado una formación transversal excepcional, permitiéndome profundizar en múltiples vertientes de la profesión; entre ellas, mi enriquecedora participación en TALPA Tunneling UPV, un proyecto colectivo que ha sido clave para mi crecimiento tanto en lo profesional como en lo personal.

Seguidamente, deseo manifestar mi profunda gratitud a PAVASAL Empresa Constructora por confiar en mí y abrirme las puertas del mundo laboral real. Gracias por tutorizar mi aprendizaje, primero durante mi periodo de prácticas entre marzo y diciembre de 2025, y posteriormente al apostar firmemente por mí para la Mención Dual. Es un verdadero orgullo formar parte de esta casa, con la que espero compartir una larga, sólida y exitosa carrera profesional.

A mis tutores, Javier Aparicio Tormo y Salvador Monleón Cremades, vuestro apoyo, respaldo y guía en este último tramo de mi andadura académica han sido los pilares fundamentales para mantener el rigor técnico y alcanzar con éxito la entrega final de este Trabajo Fin de Máster.

A todos mis compañeros de escuela, hoy ya amigos de vida, que me llevo de la universidad; no me cabe la menor duda de que sin vuestra complicidad y aliento los días de entrega no habrían sido lo mismo. Asimismo, dedico estas líneas a los amigos que tuve que dejar atrás para venir a València a cumplir mi gran sueño de estudiar Ingeniería de Caminos; la distancia nunca ha sido un freno para vuestro cariño.

Por último, el reconocimiento más profundo es para las personas que han sido mi brújula y mi motor en todo este trayecto: mi familia. Especialmente a mis padres, por impulsarme y darme el valor de cambiar de ciudad y emprender este viaje en una época tan sumamente difícil e incierta como fue la crisis del COVID. Vuestro apoyo incondicional ha sido mi mayor sustento; todo lo que he logrado, y la persona en la que me he convertido, os lo debo enteramente a vosotros.

ÍNDICE

DOCUMENTO N° 1: MEMORIA Y ANEJOS

1. MEMORIA
2. ANEJOS A LA MEMORIA
 - Anejo 1: Reportaje Fotográfico.
 - Anejo 2: Informe de Auscultación y Ensayos de Laboratorio.
 - Anejo 3: Estudio de Soluciones y Análisis Multicriterio de Alternativas.
 - Anejo 4: Fichas Técnicas de Sistemas y Materiales.

DOCUMENTO N° 2: PLANOS

DOCUMENTO N° 3: PRESUPUESTO

1. Mediciones
2. Cuadro de Precios 1 y 2
3. Estimación Presupuesto de Ejecución Material

MEMORIA

ÍNDICE DE LA MEMORIA

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Objeto del Trabajo.	7
1.2. Justificación y Necesidad de la Actuación.	7
1.3. Objetivos del TFM.	7
1.4. Metodología de Trabajo.	8

2. DESCRIPCIÓN DEL ENTORNO Y ANTECEDENTES

2.1. Localización y Ámbito de Estudio: La Carretera de Acceso a El Palmar.	8
2.2. Condicionantes Ambientales: Parque Natural de la Albufera y Red Natura 2000.	9
2.3. Caracterización de las Estructuras Actuales: Tipología e Historia	9
2.4. Condicionantes de Tráfico y Movilidad.	11

3. DIAGNÓSTICO, AUSCULTACIÓN Y PATOLOGÍA

3.1. Campaña de Ensayos Realizada.	13
3.2. Análisis Químico: Perfil de Cloruros y Carbonatación.	15
3.3. Evaluación de la Capacidad Estructural Remanente.	16
3.4. Conclusión del Diagnóstico: Agotamiento de la Vida Útil y Necesidad de Sustitución.	16

4. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS

4.1. Definición de Escenarios Operativos.	17
4.1.1. Escenario 1: Reparación Estructural y Funcional	17
4.1.2. Escenario 2: Construcción por Mitades	17
4.1.3. Escenario 3: Sustitución Integral con Tableros y Losas de Transición Prefabricadas	18
4.2. Alternativas de Sección Transversal.	18
4.3. Alternativas de Materiales de Alta Durabilidad:	19
4.3.1. Hormigón de Ultra-Alto Rendimiento (UHPC / Formex).	19
4.3.2. Acero Inoxidable Dúplex.	20
4.4. Ampliación de Accesos: Losas para la Transición del ancho de calzada.	20
4.4.1. Origen y Extrapolación Tecnológica del Diseño	21
4.4.2. Adopción del Sistema Formex para las Losas de Acceso	21

5. ANÁLISIS DE VIABILIDAD TÉCNICA

5.1. Condicionantes Técnicos y Criterios de Diseño Derivados del Diagnóstico	21
5.2. Proyecto de Recalce de la Infraestructura: Diseño de Pilotes de 30 metros.	22
5.2.1. Estimación Geotécnica y Profundidad de Diseño	22
5.2.2. Toma de Datos y Definición de Solicitaciones	22
5.2.3. Asistencia Técnica Especializada y Dimensionamiento	22
5.3. Análisis de Durabilidad y Mantenimiento según el Ambiente Marino	22
5.3.1. Estrategia de Materiales frente a la Agresividad Ambiental	22
5.3.2. Plan de Mantenimiento y Coste de Ciclo de Vida	22

6. PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS Y LOGÍSTICA

6.1. Plan de Montaje de Tableros Prefabricados.	23
6.1.1. Criterios de Selección y Estabilización de la Maquinaria	23
6.1.2. Análisis de Emplazamientos Disponibles y Cimentaciones Provisionales de Hormigón por Estructura	23
6.1.3. Secuencia General de la Operativa (Corte, Demolición y Montaje)	24
6.2. Estrategia de Simultaneidad.	25

6.2.1. Independencia Logística y Doble Eje de Suministro	25
6.2.2. Configuración Preferente: Simultaneidad en Puentes 1 y 2	25
6.3. Estrategia de Secuencialidad.	25
6.4. Gestión de Desvíos y Afección al Tráfico.	26
6.4.1. Justificación del Desvío	26
6.4.2. Solución Paralela en Puentes 1 y 3: Pedraplén y Marcos Prefabricados	26

7. VALORACIÓN ECONÓMICA COMPARATIVA

7.1. Presupuesto de Ejecución Material (PEM) por Alternativa (Software Presto).	27
7.2. Análisis de Costes Indirectos y de Implantación.	27
7.2.1. Costes de Implantación y Medios Auxiliares	28
7.2.2. Optimización de Costes Indirectos por Reducción de Plazo	28
7.3. Análisis de Ciclo de Vida (LCC): Inversión inicial vs. Mantenimiento a 50 años.	28
7.3.1. Alternativa 0 (Reparación de la estructura actual)	29
7.3.2. Soluciones Industriales de Alta Durabilidad (FORMEX y Acero Dúplex)	29
7.3.3. Acotación del Alcance del Estudio	29

8. EVALUACIÓN MULTICRITERIO Y SELECCIÓN DE LA SOLUCIÓN ÓPTIMA

8.1. Definición de Criterios de Selección.	29
8.2. Ponderación de Alternativas (Método AHP).	29

9. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

9.1. Conclusiones Generales del Trabajo Fin de Máster	32
9.2. Discrepancia entre la Solución Académica y la Realidad Operativa: El Factor Político	32
9.3. Líneas Futuras de Investigación	32

10. BIBLIOGRAFÍA

33

ÍNDICE DE IMAGENES

<i>Imagen 1. Entorno de la actuación, Albufera de Valencia</i>	7
<i>Imagen 2. Situación y localización</i>	8
<i>Imagen 3. Sección transversal actual</i>	9
<i>Imagen 4. Estado del hormigón</i>	10
<i>Imagen 5. Estado de los refuerzos</i>	10
<i>Imagen 6. Pavimento fisurado</i>	11
<i>Imagen 7. Alternativa El Perellonet</i>	11
<i>Imagen 8. Alternativa El Perelló</i>	12
<i>Imagen 9. Estado actual alternativa El Perelló</i>	12
<i>Imagen 10. Alternativa Sollana</i>	12
<i>Imagen 11. Extracción de testigos</i>	14
<i>Imagen 12. Catas realizadas por la AT</i>	15
<i>Imagen 13. Estado del Hormigón</i>	17
<i>Imagen 14. Desvíos propuestos Puente 2</i>	18
<i>Imagen 15. Sección 4 metros</i>	19
<i>Imagen 16. Sección 7 metros</i>	19
<i>Imagen 17. Sección 9 metros</i>	19
<i>Imagen 18. Sección Acero Dúplex</i>	20
<i>Imagen 19. Sección losas de transición proyecto realizado</i>	21
<i>Imagen 20. Sección losas de transición propuesta</i>	21
<i>Imagen 21. Emplazamiento maquinaria pesada Puente 1</i>	23
<i>Imagen 22. Emplazamiento maquinaria pesada Puente 2</i>	24
<i>Imagen 23. Emplazamiento maquinaria pesada Puente 3</i>	24

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Evaluación Multicriterio de los Itinerarios de Desvío.</i>	12
<i>Tabla 2. Resumen de ensayos y auscultación previstos por la Asistencia Técnica.</i>	13
<i>Tabla 3. Resumen de ensayos y auscultación realizados por la Asistencia Técnica.</i>	14
<i>Tabla 4. Criterios de Evaluación para la velocidad del pulso.</i>	14
<i>Tabla 5. Comparativa entre valores de carbonatación y recubrimiento determinados por pachometrías.</i>	15
<i>Tabla 6. Elección del objetivo en función del índice estructural (IE) y el índice de corrosión (IC).</i>	16
<i>Tabla 7. Análisis Comparativo de Planificación Logística.</i>	26
<i>Tabla 8. Resumen Comparativo del Presupuesto Base de Licitación (PBL).</i>	27
<i>Tabla 9. Relación entre Inversión Directa y Plazo de Ejecución Global.</i>	28
<i>Tabla 10. Matriz de comparación de criterios macro y pesos asignados.</i>	30
<i>Tabla 11. Matriz de síntesis global y vectores de prioridad definitivos AHP.</i>	30
<i>Tabla 12. Matriz de decisión.</i>	31

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Objeto del Trabajo.

El objeto del presente es el estudio y definición técnica de la sustitución integral de los tableros de los tres puentes situados en el acceso norte a la pedanía de El Palmar (Valencia).

Dichas estructuras, cuya tipología actual se remonta a la década de los 50, constituyen la única vía de acceso rodado desde el norte a la localidad, soportando el tráfico pesado de la línea regular nº 24 de la EMT. Esta singularidad las convierte en infraestructuras críticas, dado que cualquier fallo estructural supondría el aislamiento de una pedanía con una altísima dependencia del sector turístico y el abastecimiento logístico.

Bajo esta premisa, el trabajo desarrolla una solución técnica orientada a:

- Garantizar la seguridad estructural mediante el diseño de tableros de nueva generación.
- Maximizar la durabilidad en ambiente marino agresivo mediante el uso de materiales avanzados.
- Adecuar la sección transversal para mejorar la movilidad del transporte público y la seguridad vial.
- Minimizar el impacto socioeconómico mediante una estrategia de ejecución por corte total coordinado, optimizando los plazos de obra para proteger la actividad económica de El Palmar.

1.2. Justificación y Necesidad de la Actuación.

La antigüedad de las estructuras (más de 70 años) y su ubicación en un ambiente marino agresivo (Parque Natural de l'Albufera), han acelerado los procesos de degradación material. Aunque inicialmente se contemplaban labores de mantenimiento ordinario, las inspecciones visuales y los ensayos preliminares sugieren un escenario de agotamiento de la vida útil estructural.

La justificación de este trabajo reside en la necesidad crítica de objetivar el estado real de la infraestructura. No es posible definir una estrategia de intervención (reparación, refuerzo o sustitución) sin una caracterización exhaustiva de la capacidad portante remanente. Por tanto, el núcleo del estudio es determinar la solución óptima que garantice la seguridad y durabilidad, bajo un escenario de máxima exigencia técnica.

El emplazamiento de las obras, en pleno corazón del Parque Natural de l'Albufera (espacio protegido incluido en la Red Natura 2000 como ZEPA y LIC), introduce un nivel de complejidad técnica y administrativa determinante para el proyecto.

Los puentes cruzan cauces gestionados por la Confederación Hidrográfica y la Comunidad de Regantes, lo que impone estrictos condicionantes ambientales:

-Protección del medio hídrico: Prohibición absoluta de cualquier tipo de vertido, directo o indirecto, al cauce. Esta restricción abarca la totalidad de residuos generados en obra, tanto sólidos (escombros, restos metálicos) como líquidos o en suspensión. Ello impone la obligatoriedad de diseñar e implementar

sistemas de confinamiento y plataformas de trabajo totalmente estancas bajo los tableros, garantizando la protección integral del medio acuático frente a cualquier actividad constructiva.

-Fauna y Avifauna: Restricción de trabajos ruidosos o vibratorios durante las épocas de nidificación de especies protegidas, lo que condiciona el cronograma de obra.

-Gestión de Residuos y Limpieza del Entorno: Si bien la gestión se integrará en la operativa general de la obra, la ubicación en el Parque Natural exige un control de ejecución reforzado respecto a los Residuos de Construcción y Demolición (RCDs). La prioridad será la segregación estricta en origen y la retirada inmediata a gestor autorizado, evitando cualquier acopio temporal susceptible de dispersión por viento o lluvia, garantizando así la "cero afección" al ecosistema.



Imagen 1. Entorno de la actuación, Albufera de Valencia (fuente: elaboración propia).

1.3. Objetivos del TFM.

El propósito central de este trabajo es desarrollar una propuesta técnica integral que resuelva la obsolescencia de los puentes de El Palmar, equilibrando la innovación en materiales con la viabilidad económica y el respeto medioambiental.

Objetivo General

Definir y evaluar la solución óptima para la sustitución de los tableros y la adecuación de la infraestructura de acceso a El Palmar, garantizando la seguridad estructural, la durabilidad en ambiente marino y la mejora de la seguridad vial.

Objetivos Específicos

Para alcanzar el objetivo general, se plantean los siguientes hitos:

- Diagnóstico y Caracterización: Evaluar el estado de conservación de las estructuras actuales a partir de los datos de auscultación y ensayos, justificando técnicamente la necesidad de intervención.
- Análisis de Alternativas de Materiales: Estudiar diferentes soluciones de materiales de alta durabilidad, analizando su comportamiento frente a la degradación en ambientes de agresividad marina.
- Rediseño de la Sección Transversal: Proyectar una nueva plataforma que garantice la seguridad vial y la operatividad del transporte público y vehículos pesados, incorporando sistemas de contención adecuados.
- Planificación del Procedimiento Constructivo: Desarrollar una estrategia logística y de ejecución que optimice los tiempos de obra y garantice la seguridad de los trabajadores, considerando los condicionantes de acceso a la pedanía.
- Evaluación Económica y de Ciclo de Vida: Realizar una valoración económica detallada y un análisis de costes a largo plazo, comparando la inversión inicial frente a las necesidades futuras de mantenimiento de las soluciones propuestas.

1.4. Metodología de Trabajo.

Para la consecución de los objetivos planteados, se ha seguido una metodología secuencial estructurada en cinco fases principales, que permiten transitar desde el análisis del estado actual hasta la definición detallada de la solución propuesta:

- Fase I: Recopilación y análisis de antecedentes. Estudio de la documentación histórica de las estructuras originales y revisión de los condicionantes ambientales y urbanísticos del entorno de El Palmar.
- Fase II: Diagnóstico y análisis patológico. Procesado y evaluación de los datos obtenidos en la campaña de auscultación. Se analizan los perfiles de cloruros, profundidad de carbonatación y ensayos de resistencia para determinar la capacidad portante remanente y validar la necesidad de sustitución de los tableros.
- Fase III: Desarrollo de alternativas. Definición de diferentes escenarios de intervención, evaluando tanto la geometría de la sección transversal como el uso de materiales de nueva generación. En esta fase se analizan las ventajas e inconvenientes técnicos de cada solución frente a la agresividad del medio.
- Fase IV: Valoración económica y planificación. Cuantificación de las soluciones mediante el software Presto, elaborando el Presupuesto de Ejecución Material. Simultáneamente, se realiza el

análisis de los procesos constructivos y la programación de los trabajos mediante diagramas de Gantt, optimizando la logística de los desvíos y el suministro de materiales.

- Fase V: Evaluación multicriterio y selección. Aplicación de criterios ponderados (técnicos, económicos, ambientales y sociales) para la selección de la solución óptima. El proceso culmina con la justificación técnica de la alternativa elegida y la redacción de las conclusiones finales.

2. DESCRIPCIÓN DEL ENTORNO Y ANTECEDENTES

2.1. Localización y Ámbito de Estudio: La Carretera de Acceso a El Palmar.

El ámbito de estudio se circunscribe al tramo de acceso a la pedanía a través de la Calle Vicent Baldoví. Este vial constituye el eje principal de conexión entre la carretera del Saler (CV-500) y el núcleo urbano de El Palmar. La pedanía se sitúa en una configuración geográfica singular, conformando una isla rodeada de canales y tierras de cultivo de arroz, lo que confiere a su red viaria un carácter de "fondo de saco" de alta vulnerabilidad.

La actuación se focaliza específicamente en los tres puentes que permiten salvar los canales de drenaje y navegación del entorno de la Albufera. Estas estructuras se localizan en los últimos 1,5 kilómetros de acceso a la población, cruzando cauces que son vitales para la gestión hídrica del parque natural.

Dada la morfología del terreno, no existen rutas alternativas asfaltadas que permitan el acceso de vehículos pesados o autobuses desde el norte, lo que sitúa a estas tres estructuras de la Calle Vicent Baldoví como puntos críticos de la red de transporte local. El ámbito de estudio comprende no solo el tablero de los puentes, sino también las zonas de transición y los estribos, donde la adecuación geométrica es necesaria para garantizar la seguridad vial y la funcionalidad de la infraestructura.

La situación y localización en el entorno de la ciudad de Valencia es la siguiente:

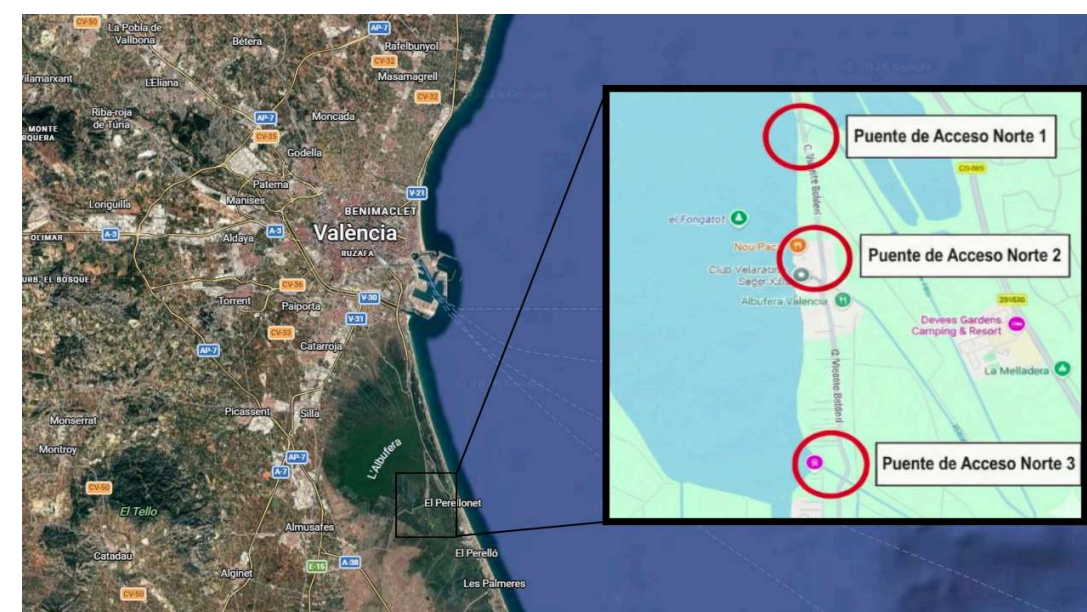


Imagen 2. Situación y localización (fuente: Google Maps).

Estudio de soluciones para la sustitución de tableros y adecuación de la infraestructura en los puentes de acceso a la pedanía El Palmar de la ciudad de Valencia

2.2. Condicionantes Ambientales: Parque Natural de la Albufera y Red Natura 2000.

Este apartado es vital para justificar por qué la obra es tan cara y compleja. Aquí tienes una propuesta redactada:

El proyecto se desarrolla íntegramente dentro del Parque Natural de la Albufera, uno de los humedales más importantes de la cuenca mediterránea. Esta ubicación implica que cualquier intervención está supeditada a un régimen de protección especial, al estar incluida en la Red Natura 2000 bajo las figuras de:

- ZEPA (Zona de Especial Protección para las Aves): Debido a la importancia del entorno para la invernada y nidificación de avifauna.
- LIC (Lugar de Importancia Comunitaria): Por la presencia de hábitats y especies de flora y fauna de interés comunitario.

Estos condicionantes imponen una "huella ambiental mínima" para cualquier intervención técnica futura. La extrema proximidad de los cauces (acequias de navegación y riego) exige que tanto el mantenimiento de las estructuras actuales como cualquier posible proceso de demolición o refuerzo garanticen el confinamiento total de residuos.

La normativa del Parque restringe severamente la ocupación del lecho del canal, lo que limita la instalación de cimbras o apoyos provisionales que puedan alterar el flujo hidráulico o afectar a la fauna bentónica. Este escenario obliga a que cualquier estrategia constructiva debe ser planificada para ejecutarse, preferiblemente, desde la propia calzada o mediante sistemas que vuelen sobre el cauce sin contacto directo con el agua, condicionando drásticamente la logística de maquinaria y el acopio de materiales en la zona.

2.3. Caracterización de las Estructuras Actuales: Tipología e Historia

Las estructuras objeto de estudio responden a una tipología de puentes de vigas de hormigón armado, cuya concepción original se enmarca en la Real Orden de 1925, periodo de modernización de los accesos rurales a la Albufera. Aunque se documentan refuerzos significativos en la década de los 50, las estructuras conservan su esencia original: un tablero de vigas de sección en π (Pi) con un canto total de 1,70 m y un ancho útil de apenas 3,92 m.

Estructuralmente, la sección consta de dos almas de 0,30 m de espesor, separadas 1,90 m entre ejes, con voladizos laterales de 1,00 m. Funcionalmente, esta geometría impone una restricción severa: la calzada útil es de apenas 2,92 m, flanqueada por dos aceras de servicio de 0,50 m. Esta configuración obliga a una circulación en sentido único alternativo, resultando crítica para el paso de los autobuses de la Línea 24 de la EMT, que operan con márgenes de seguridad mínimos.

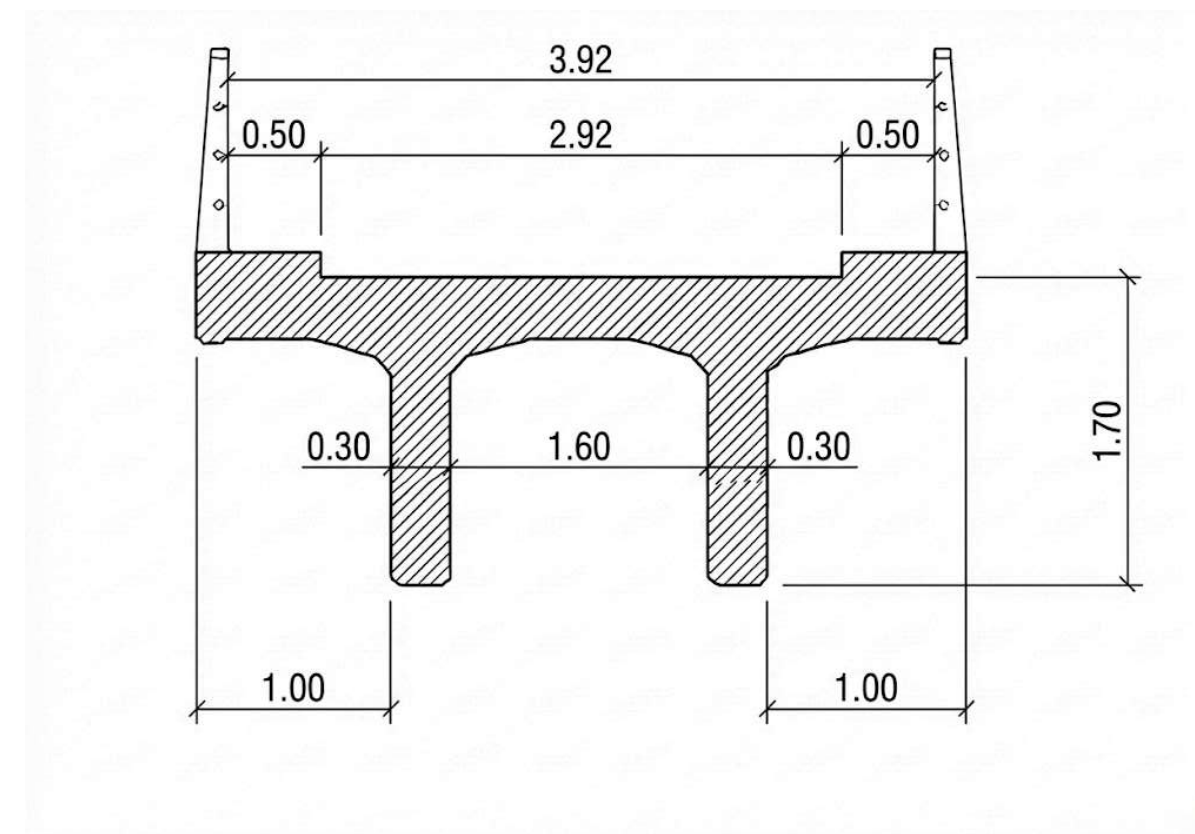


Imagen 3. Sección transversal actual (fuente: elaboración propia).

Particularidades de las Estructuras

A pesar de compartir tipología, cada puente presenta características singulares:

- Puente 1: Estructura isostática de un solo vano (15,50 m de luz). Estribos de hormigón en masa (4,87 m de ancho) revestidos con mampostería.
- Puente 2: Geometría idéntica al primero (15,50 m), pero flanqueado por pontones rectangulares (2,80 x 2,90 m) que garantizan la continuidad hidráulica de las acequias adyacentes.
- Puente 3: Es la estructura de mayor envergadura, compuesta por dos vanos isostáticos de 15,50 m (longitud total de 31 m), apoyados sobre una pila central de 3,84 m y estribos de gran volumen (5,24 m). Cuenta con pontones al igual que el puente 2, de las mismas características.

Diagnóstico Preliminar y Estado de Conservación

La reciente campaña de ensayos ha revelado una degradación material más severa de lo previsto, cuestionando la durabilidad a corto plazo:

1. Resistencia Mecánica: Se han obtenido valores de resistencia característica (f_{ck}) inferiores a 15 MPa. Si bien esta cifra generó una lógica preocupación inicial al situarse muy por debajo de los estándares mínimos exigidos por la normativa actual, en apartados posteriores de este trabajo se justificará por qué este dato no resulta tan alarmante como se deduce de una primera lectura.



Imagen 4. Estado del hormigón (fuente: elaboración propia).

2. Estado Químico y Carbonatación: Los ensayos de profundidad de carbonatación han mostrado un avance del frente carbonatado que supera, en la mayoría de los puntos, el recubrimiento geométrico de las armaduras. Esto puede indicar la despasivación del acero, dejando la armadura expuesta a la corrosión activa favorecida por la humedad ambiental de la Albufera.

3. Evaluación de Refuerzos Históricos: Respecto a las intervenciones anteriores, la inspección visual ha evidenciado procesos de corrosión avanzada en las chapas. Al no disponerse aún de ensayos de adherencia o espesor remanente, y dado el estado visual, se asume preventivamente que su contribución estructural es nula o no fiable, lo que obliga a plantear su sustitución o la implementación de un sistema de refuerzo alternativo independiente.



Imagen 5. Estado de los refuerzos (fuente: elaboración propia).

4. Seguridad Vial y Sistemas de Contención: Los pretiles o barreras actuales no cumplen con los niveles de contención ni la anchura de trabajo exigidos por la Orden Circular 35/2014. Además, el ancho reducido del tablero (3,92 m) limita las opciones comerciales disponibles.

5. Firme e Impermeabilización: El aglomerado asfáltico presenta agotamiento y grietas, permitiendo la filtración de agua hacia el tablero (acelerando la corrosión). La impermeabilización actual es inexistente o fallida.



Imagen 6. Pavimento fisurado (fuente: elaboración propia).

2.4. Condicionantes de Tráfico y Movilidad.

La Calle Vicent Baldoví funciona como un eje de doble sentido de circulación en la mayor parte de su trazado. Sin embargo, la presencia de las tres estructuras objeto de estudio genera una discontinuidad crítica en la plataforma. Debido al ancho útil de calzada de apenas 2,92 m en los tableros, los puentes funcionan como puntos de estrangulamiento donde el tráfico debe pasar obligatoriamente a un sistema de sentido único alternativo.

Esta restricción operativa es especialmente conflictiva para la Línea 24 de la EMT, que constituye el principal servicio de transporte público de la pedanía. Los condicionantes específicos son:

- Interferencia de gálibos transversales: Un autobús estándar presenta una anchura de aproximadamente 2,55 m. Al cruzar tableros de 2,92 m, el margen de maniobra lateral es de apenas 18 cm por lado, lo que exige una precisión extrema al conductor y reduce la velocidad de paso a niveles mínimos.
- Gestión del flujo alternativo: Al ser la vía de doble sentido, el encuentro fortuito de un autobús con otros vehículos en las proximidades del puente genera situaciones de bloqueo. La falta de visibilidad en los accesos obliga a detenciones frecuentes y maniobras de prioridad que degradan la capacidad de la vía.

- Seguridad de usuarios vulnerables: El estrechamiento de la calzada en los puentes anula de facto la funcionalidad de las aceras de servicio (0,50 m). Durante el paso de vehículos pesados, cualquier tránsito peatonal o ciclista por la estructura queda en una situación de riesgo inaceptable según los estándares actuales de seguridad vial.

Esta problemática de movilidad, unida al carácter de "único acceso" para vehículos pesados desde el norte, justifica que la solución técnica no solo deba atender a la resistencia estructural, sino obligatoriamente a la ampliación de la sección transversal para normalizar el flujo de doble sentido en todo el itinerario.

Análisis de Itinerarios Alternativos y Desvíos

La interrupción del acceso principal no es solo un desafío técnico, sino un problema de resiliencia social. Actualmente, se han identificado y analizado tres itinerarios alternativos para gestionar el tráfico durante la intervención:

Alternativa A: Acceso por El Perellonet

Es la ruta geográficamente más cercana, lo que supondría el menor tiempo de desvío para los usuarios.

- Ventajas: Optimización de tiempos de recorrido y proximidad al núcleo urbano.
- Problemáticas: El camino actual es de grava y tierra, lo que genera nubes de polvo y no es apto para el paso de la línea 24 de la EMT. Además, un volumen de tráfico elevado degradaría rápidamente el firme, requiriendo un mantenimiento constante o una pavimentación previa no prevista.

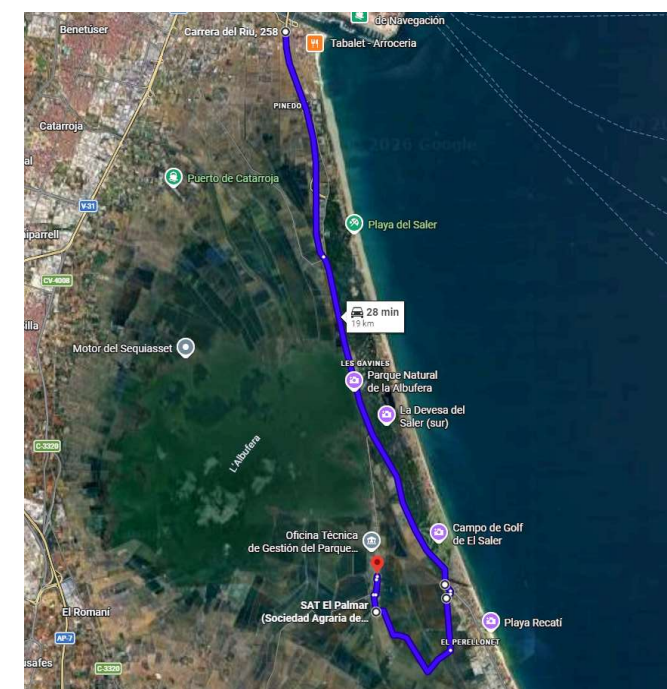


Imagen 7. Alternativa El Perellonet (fuente: Google Maps).

Alternativa B: Acceso por El Perelló

Esta opción utiliza viales asfaltados, lo que garantiza una mayor seguridad de rodadura y accesibilidad para vehículos pesados y autobuses.

- Ventajas: Itinerario totalmente pavimentado y accesible para cierta parte de la flota de la EMT.
- Problemáticas: Supone un incremento del tiempo de trayecto superior a los 40 minutos. La sección de la vía es extremadamente estricta en ciertos puntos, imposibilitando el cruce de dos vehículos simultáneos. Aunque se encuentre pavimentada, en zonas localizadas existen daños graves.

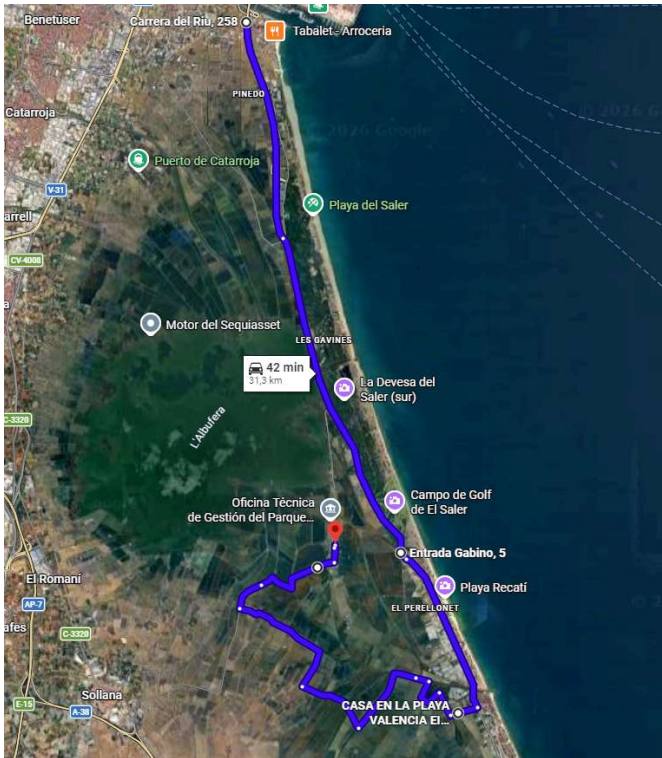


Imagen 8. Alternativa El Perelló (fuente: Google Maps).



Imagen 9. Estado actual alternativa El Perelló (fuente: elaboración propia).

Alternativa C: Acceso por Sollana

Estudio de soluciones para la sustitución de tableros y adecuación de la infraestructura en los puentes de acceso a la pedanía El Palmar de la ciudad de València

Se considera la opción con la infraestructura viaria en mejor estado de conservación y capacidad.

- Ventajas: Pavimento óptimo y amplitud de calzada. Es una ruta excelente para residentes que ya conocen la zona y desean evitar las congestiones de los caminos más estrechos.
- Problemáticas: Es el itinerario menos conocido. Su implementación efectiva requeriría señalización desde la salida de Valencia (Pista de Silla). Existe un alto riesgo de error por parte de visitantes no residentes, lo que acabaría derivando tráfico de forma incontrolada hacia las alternativas A o B.

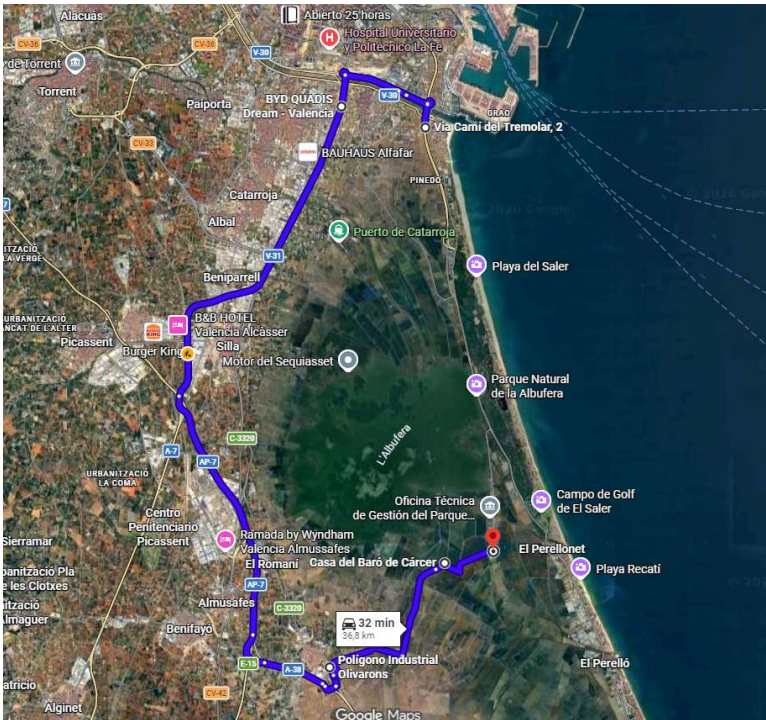


Imagen 10. Alternativa Sollana (fuente: Google Maps).

Evaluación Multicriterio de los Itinerarios de Desvío

Se ha realizado un estudio de campo exhaustivo para validar la viabilidad de las rutas alternativas de acceso a El Palmar, concluyendo que el impacto socioeconómico de un cierre total de la vía principal es inasumible para una duración superior a 30 días.

Alternativa	Estado del Firme	Capacidad para Bus EMT	Impacto en Tiempo	Conclusión Técnica
A (Perellonet)	Grava y tierra	No apta	+25 min	Descartada por riesgo de polvo y degradación.
B (Perelló)	Asfalto con daños graves +2	Apta (restringida)	+40 min	Crítica por secciones estrechas y retenciones.
C (Sollana)	Óptimo	Apta	+30 min	Viable sólo como ruta recomendada para residentes.

Tabla 1. Evaluación Multicriterio de los Itinerarios de Desvío.

Tras el análisis pormenorizado de las tres rutas, se concluye que ninguna de las alternativas se considera viable al 100% para un periodo de afección superior a un mes. El impacto acumulado en los tiempos de transporte y la degradación de los viales secundarios generarían un perjuicio inasumible para la movilidad de la zona.

Además, la implementación de cualquiera de estos itinerarios requeriría una inversión significativa en logística y comunicación, incluyendo:

- Un despliegue exhaustivo de cartelería y señalización de desvío en puntos estratégicos.
- Campañas de información ciudadana tanto a nivel local (El Palmar) como a nivel metropolitano (Valencia ciudad) para mitigar el caos circulatorio.

Por todo ello, la estrategia de planificación actual se orienta hacia la reducción de plazos de ejecución de la obra. El objetivo es minimizar o eliminar la necesidad de cortes totales de carretera, priorizando tareas que puedan ejecutarse sin interrumpir el flujo vehicular.

No obstante, la inviabilidad operativa de estos itinerarios para periodos prolongados no exime de su uso imperativo durante las ventanas de corte total necesarias para el izado y montaje de los nuevos tableros. Por ello, en la valoración económica de este trabajo se ha integrado una partida presupuestaria específica destinada a la implantación, señalización y mantenimiento de estos desvíos. Esta dotación garantiza que, durante las fases críticas de interrupción del tráfico, se disponga de los recursos logísticos, la cartelería de gran formato y el personal de control necesarios para canalizar el flujo vehicular con las máximas garantías de seguridad, minimizando el impacto de los desvíos sobre la red secundaria y los usuarios de la pedanía.

3. DIAGNÓSTICO, AUSCULTACIÓN Y PATOLOGÍA

3.1. Campaña de Ensayos Realizada.

La base fundamental para el diagnóstico de las estructuras parte de la campaña de ensayos y auscultación diseñada y supervisada por la Asistencia Técnica (AT) encargada del estudio de la infraestructura. Este trabajo de campo se concibe como una herramienta de precisión para validar las sospechas de degradación observadas in situ y para proporcionar una base de datos empírica sobre la cual sustentar las decisiones de diseño del presente TFM.

El reconocimiento a la labor de la AT es clave en este apartado, ya que la campaña ha sido planteada bajo criterios de máxima representatividad técnica, localizando los puntos de ensayo en las secciones más críticas y expuestas de cada puente. El autor del presente trabajo utiliza la planimetría y los resultados brutos proporcionados por dicha Asistencia Técnica para realizar un análisis crítico y una evaluación de la capacidad remanente.

Según los planos (véase planos en *Anejo nº 2: Informe de Auscultación y Ensayos de Laboratorio*) de ubicación de ensayos facilitados por la AT, la intervención se ha estructurado en las siguientes técnicas de auscultación:

- Extracción de Testigos Cilíndricos: Perforación mediante corona de diamante para la obtención de núcleos de hormigón en almas, voladizos y apoyos. Estos testigos, ensayados posteriormente en laboratorio, son los que proporcionan la resistencia a compresión real (fck) de un hormigón cuya dosificación original data de mediados del siglo XX.
- Ensayos de Ultrasonidos: Aplicación de técnicas no destructivas para medir la velocidad de propagación de impulsos ultrasónicos. Estos datos permiten evaluar la homogeneidad del hormigón y detectar discontinuidades internas, correlacionándolos con la calidad del material proporcionada por los testigos.
- Pachometría y Mapeo de Armaduras: Uso de equipos de inducción electromagnética para determinar la disposición real de los cercos y armaduras longitudinales, así como la cuantificación del recubrimiento geométrico, factor determinante en el avance de la corrosión.
- Catas de Inspección Directa: Aperturas localizadas en el recubrimiento para la evaluación visual del estado de conservación de la interfaz acero-hormigón. Estas catas han permitido verificar de forma empírica el grado de oxidación en las armaduras principales y el estado de las chapas de refuerzo metálico.

Para sistematizar la información proporcionada por la Asistencia Técnica, se presenta a continuación el cuadro resumen de los ensayos e inspecciones proyectados inicialmente. Esta planificación refleja la densidad de muestreo necesaria para una caracterización estructural con garantías estadísticas:

Estructura	Testigos (Vigas)	Testigos (Losa)	Ultrasonidos	Pachometrías	Catas
Puente 1	4	2	14	12	2
Puente 2	4	2	14	12	2
Puente 3	8	2	28	16	4
TOTALES	16	6	56	40	8

Tabla 2. Resumen de ensayos y auscultación previstos por la Asistencia Técnica.

Nota: Aunque esta fue la planificación de partida, la ejecución final se adaptó a la accesibilidad real y a los hallazgos encontrados durante el proceso de inspección.

Los ensayos finalmente realizados fueron los siguientes:

PUENTE	TESTIGOS EN VIGAS	TESTIGOS EN LOSA	ULTRASONIDOS	PACHOMETRÍAS	CATAS
PUENTE 1	4	-	8	10	1
PUENTE 2	4	-	12	14	1
PUENTE 3	2	2	11	11	2
TOTAL	10	2	31	35	4

Tabla 3. Resumen de ensayos y auscultación realizados por la Asistencia Técnica.

Resultados de la Extracción de Testigos: Se procedió a la extracción de probetas cilíndricas en las vigas de los tres puentes para su posterior rotura en laboratorio según la norma UNE-EN 13791:2020. Los resultados evidenciaron una notable variabilidad entre las estructuras, obteniéndose resistencias medias de 15,18 MPa (Puente 1), 24,60 MPa (Puente 2) y 18,30 MPa (Puente 3).

- Justificación del valor de cálculo: Dado que la dispersión estadística de los resultados superó el 15% del valor medio en las tres estructuras, la normativa impidió adoptar la media como valor representativo. Siguiendo un criterio de máxima seguridad, se adoptó el valor más desfavorable obtenido en la campaña, estableciendo una resistencia a compresión de cálculo de 12 MPa para el modelo de elementos finitos. Si bien este valor resulta insuficiente bajo las prescripciones actuales, es plenamente coherente con las dosificaciones y técnicas constructivas de la década de 1920.



Imagen 11. Extracción de testigos (fuente: Calsens).

Homogeneidad mediante Ultrasonidos: Se empleó este ensayo no destructivo para determinar la uniformidad del hormigón y detectar posibles cambios cualitativos en sus propiedades, así como la presencia de fisuras u otras discontinuidades internas. Los resultados arrojaron velocidades medias de propagación de 3.563,44 m/s para el Puente 1, 3.355,37 m/s para el Puente 2 y 3.295,29 m/s para el Puente 3.

- Interpretación de resultados: De acuerdo con los criterios de valoración aplicables (TWRL 1980 / UNE-EN 12504-4:2022), las velocidades registradas se sitúan en el rango de 3.000 a 4.000 m/s, lo que clasifica el material como un hormigón de calidad media. Los datos muestran valores homogéneos y con baja dispersión entre los tres puentes, descartando la existencia de oquedades o defectos internos graves y confirmando que las bajas resistencias a compresión detectadas son sistémicas de la estructura original, evidenciando únicamente la variabilidad propia del material de la época.

A.3-5.4 Criterios de valoración

En cualquier parte de la estructura en la que el hormigón aparenta ser uniforme, existen varios criterios de evaluación y uno de ellos puede ser (TWRL 1980):

VELOCIDAD (M/S)	CALIDAD DEL RECUBRIMIENTO
> 4000	Buena
3000-4000	Media
< 3000	Baja

Tabla A.3-5. Criterios de evaluación para la velocidad del pulso

Tabla 4. Criterios de Evaluación para la velocidad del pulso.

Pachometría y Reconstrucción Geométrica: Se empleó este ensayo no destructivo, basado en métodos de inducción electromagnética, para localizar la disposición del acero de refuerzo, medir el espesor del recubrimiento de hormigón y determinar la separación entre estribos sin dañar la estructura original. La campaña permitió reconstruir la cuantía geométrica de la sección, identificando una separación media de estribos de 200 mm y unos espesores de recubrimiento que oscilan entre 40 y 50 mm para las armaduras laterales, y entre 40 y 60 mm para las armaduras inferiores.

- Interpretación de resultados: Si bien estos espesores se consideran aceptables y coherentes con las prácticas constructivas de la década de 1920, resultan insuficientes bajo los criterios de durabilidad del Código Estructural actual. Dado que los puentes se ubican en una clase de exposición XS1 (ambiente marino por aerosoles sin contacto directo con el agua) y tienen una antigüedad cercana a los 100 años, la normativa vigente exigiría un recubrimiento mínimo de 65 mm. Esta deficiencia geométrica estructural justifica por qué el frente de carbonatación y los iones cloruro han alcanzado con facilidad la profundidad de las armaduras, provocando su despasivación.

Catas Exploratorias y Verificación Directa: Como complemento a los ensayos no destructivos, se realizaron catas en puntos estratégicos de las vigas en π para proceder a la exposición directa de las armaduras. El objetivo fue doble: validar los datos obtenidos mediante pachometría y evaluar visualmente el grado de avance de la corrosión.

- Resultados de la inspección: La apertura de las ventanas permitió confirmar una corrosión activa y generalizada en el acero de refuerzo. Se observó una pérdida de sección eficaz en las armaduras

longitudinales y una degradación severa en los estribos, presentando en algunos puntos una reducción de sección que compromete la transferencia de esfuerzos.

- Sinergia con el diagnóstico: La observación directa en las catas validó la hipótesis de despasivación planteada en los análisis químicos. Se constató que el óxido generado está provocando la delaminación del hormigón de recubrimiento, lo que confirma que el proceso patológico ha superado la fase de iniciación y se encuentra en una fase de propagación avanzada.



Imagen 12. Catas realizadas por la AT (fuente: Calsens).

3.2. Análisis Químico: Perfil de Cloruros y Carbonatación.

El factor determinante para la sustitución de los puentes de El Palmar no es su déficit resistente mecánico, sino el agotamiento terminal de su vida útil química. La estructura presenta una patología sistémica donde la combinación de carbonatación y penetración de cloruros ha generado un escenario de degradación irreversible, proceso conocido técnicamente como la pérdida de pasivación del acero.

El Frente de Carbonatación: Los ensayos de fenolftaleína realizados confirman que el pH del hormigón ha descendido por debajo de 9 en espesores que igualan o superan el recubrimiento real de las armaduras.

- Datos del Informe: Se han identificado profundidades de carbonatación de hasta 40-50 mm. Dado que la pachometría fijó el recubrimiento crítico precisamente en 40 mm, se confirma que el 100% de la sección protectora ha perdido su alcalinidad.
- Efecto: La desaparición de la capa pasivante deja al acero expuesto a la corrosión galvánica en un entorno con humedad relativa constante (proximidad a la Albufera), lo que garantiza una velocidad de oxidación sostenida.

ESTRUCTURA	ID	PROFUNDIDAD DE CARBONATACIÓN (mm)	RECUBRIMIENTO (mm)	CONDICIÓN DEL ACERO
TESTIGOS EN VIGAS PI				
1	T1	40	40	Despasivado
	T2	55	40	Despasivado
	T5	65	40	Despasivado
	T6	70	40	Despasivado
2	T3	30	40	Pasivado
	T4	30	40	Pasivado
	T7	40	40	Despasivado
	T8	45	40	Despasivado
3	T9	35	40	Pasivado
	T10	70	40	Despasivado
	T11	-	-	
	T12	-	-	

Tabla 5. Comparativa entre valores de carbonatación y recubrimiento determinados por pachometrías.

Contaminación por Cloruros: La ubicación en clase de exposición XS1 (ambiente marino) ha provocado una migración de iones cloruro hacia el interior de la viga. Los resultados de laboratorio son concluyentes:

- Umbral de Corrosión: Según el informe, se han detectado concentraciones de cloruros que superan el límite crítico del 0,4% respecto al peso del cemento.
- Valores Máximos: En puntos específicos de las vigas en π , el contenido de cloruros alcanza niveles de saturación que actúan como catalizadores de una corrosión por picaduras (pitting). Este fenómeno es especialmente peligroso en estructuras de esta antigüedad, ya que reduce la sección eficaz del acero de forma localizada sin mostrar síntomas externos evidentes hasta que la capacidad portante se ve comprometida de forma súbita.

Diagnóstico de Durabilidad:

La sinergia entre la carbonatación total y la alta concentración de cloruros sitúa a los tableros en un estado de "leucemia estructural".

- Infectividad Química: El "contaminante" (los cloruros) no está en la superficie, sino que ha penetrado profundamente en la masa del hormigón.
- Inutilidad del Parcheo: De acuerdo con las conclusiones del estudio de la AT, cualquier intervención basada en morteros de reparación o inhibidores de corrosión tendría una eficacia temporal mínima (inferior a 5-10 años), ya que el proceso de oxidación continuaría internamente debido a la contaminación de la matriz cementicia original.

Conclusión: La estructura ha agotado su Estado Límite de Durabilidad. Al ser incapaz de garantizar los niveles de seguridad que exige el Código Estructural para los próximos años, la sustitución integral se presenta como la única solución técnicamente responsable y económicamente eficiente a largo plazo.

3.3. Evaluación de la Capacidad Estructural Remanente.

Una vez caracterizados los materiales y el estado de degradación, se procedió a evaluar la seguridad de las estructuras mediante modelos numéricos de Elementos Finitos (MEF). El objetivo es determinar si los puentes, en su estado actual, son capaces de soportar las solicitaciones exigidas por la normativa vigente (IAP-11) en comparación con el marco normativo de su época de construcción (Real Orden de 1925).

Metodología de Cálculo y Modelización

Para la evaluación, se ha empleado un modelo detallado que integra la geometría real obtenida en el levantamiento y las propiedades mecánicas mermadas identificadas en los ensayos:

- Resistencia adoptada: 12 MPa (basado en el percentil inferior de los testigos de hormigón).
- Sección eficaz: Se ha considerado la pérdida de sección en armaduras detectada en las catas y el agotamiento del recubrimiento por carbonatación.
- Hipótesis de carga: Se han contrastado las cargas de diseño originales (carros de la R.O. 1925) frente al Vehículo de Tipo 1 (600 kN) de la Instrucción sobre las Acciones a considerar en el Proyecto de Puentes de Carretera (IAP-11).

Resultados: El Déficit de Seguridad (IE)

Los resultados se expresan mediante el Índice Estructural (IE), que relaciona la capacidad resistente de la sección frente a la solicitación actuante. Un valor de IE inferior a 1,4 indica insuficiencia estructural.

- Insuficiencia a Flexión: Bajo las cargas actuales de la IAP-11, el momento resistente resulta insuficiente (IE = 0,929), lo que explica la aparición de fisuras transversales en las vigas.
- El "Talón de Aquiles": El Esfuerzo Cortante: El dato más crítico es el Índice Estructural a cortante, que se sitúa en un 0,616. Este valor indica que la estructura solo es capaz de soportar el 44% de la carga de cálculo exigida por la normativa actual.
- Inviabilidad del Refuerzo: Incluso con refuerzo estructural, el índice a cortante, sigue sin alcanzar el umbral de suficiencia. Esto demuestra que la geometría de la sección en π de 1925 no admite un refuerzo que la equipare a los estándares de seguridad del siglo XXI.

De acuerdo con los resultados obtenidos, el tablero presenta un índice estructural (IE) correspondiente a la categoría **INSUFICIENTE** y un índice de corrosión clasificado como **MODERADO**, lo que sitúa a la estructura en la categoría MI de la matriz.

		ÍNDICE DE CORROSIÓN			
		DESPRECIABLE 3-5	BAJO 6-10	MODERADO 11-15	ALTO 16-20
Índice Estructural	Insuficiente < 1,4	DI Refuerzo	BI Refuerzo	MI Sustitución	AI Sustitución
	Suficiente 1,4-2,0	DS	BS Reparación	MS Refuerzo	AS Sustitución
	Adecuado > 2,0	DC	BC Protección	MC Reparación	AC Reparación

Tabla 6. Elección del objetivo en función del índice estructural (IE) y el índice de corrosión (IC).

En consecuencia, el objetivo de intervención recomendado es **SUSTITUCIÓN**, en coherencia con el análisis desarrollado respecto a la capacidad resistente y el estado de conservación del tablero.

3.4. Conclusión del Diagnóstico: Agotamiento de la Vida Útil y Necesidad de Sustitución.

Como conclusión definitiva del diagnóstico, el informe dictamina que la vida útil de las tres estructuras se encuentra agotada, advirtiendo que las actuaciones parciales de reparación o refuerzo son inviables, ya que no resolverían de forma integral las graves limitaciones estructurales ni los mecanismos de deterioro químico existentes. En base a este estado crítico, se establece la obligatoriedad de llevar a cabo la sustitución de los tres tableros en un plazo a corto plazo, fijando un límite máximo de 8 meses. Dada la criticidad de esta infraestructura para la movilidad de El Palmar, y hasta que se materialice la obra de sustitución, es imperativo establecer medidas de control rigurosas durante el periodo transitorio para garantizar la seguridad de los usuarios. El protocolo de actuación recomendado consta de tres pilares fundamentales:

1. Ejecución de Pruebas de Carga: Se prescribe la realización de pruebas de carga en los tres puentes de forma inmediata. El objetivo es verificar experimentalmente la respuesta real de cada tablero bajo un escenario de carga controlado, validando en campo los resultados teóricos obtenidos en los modelos numéricos.
2. Sistema de Monitorización Continua: Resulta obligatoria la implementación de un sistema de monitorización ininterrumpida hasta el inicio de las obras. Esta auscultación en tiempo real permitirá realizar un seguimiento detallado de la evolución del comportamiento estructural y proporcionar información objetiva y cuantificable para la gestión de emergencias ante cualquier anomalía imprevista.
3. Plan de Inspecciones Periódicas: El control instrumental se debe complementar con inspecciones visuales in situ con una periodicidad estricta de dos meses. Estas revisiones periódicas estarán orientadas a identificar cualquier aceleración patológica, haciendo especial hincapié en el avance de la fisuración, el avance de la corrosión en las armaduras y la degradación de los elementos de apoyo.

Dada la extensión y el nivel de detalle de la campaña realizada, se hace constar que la totalidad de la documentación técnica de base que sustenta este diagnóstico se encuentra recopilada de forma exhaustiva en el Anejo nº2: Informe de Auscultación y Ensayos de Laboratorio. En dicho documento se puede consultar

el desglose pormenorizado de los planos de levantamiento, las tablas de resultados brutos de laboratorio, la memoria del modelo de Elementos Finitos (MEF), las fichas técnicas de caracterización de cada estructura y el registro fotográfico completo de las inspecciones. Este compendio documental constituye el soporte empírico e histórico sobre el que se fundamenta la necesidad de intervención y la posterior elección de las soluciones constructivas que se desarrollan en los capítulos sucesivos.

4. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS

4.1. Definición de Escenarios Operativos.

Previo a la selección de una tipología estructural o sección transversal específica, el estudio de soluciones parte de la definición de tres grandes escenarios operativos o estrategias de actuación. Estos escenarios evalúan macro-alternativas que abarcan desde el intento de aprovechamiento de la infraestructura existente hasta su completa sustitución mediante diferentes métodos constructivos.

4.1.1. Escenario 1: Reparación Estructural y Funcional

Este escenario plantea la conservación de los tableros actuales mediante una intervención correctiva profunda, orientada a frenar el deterioro patológico y restituir la seguridad de los usuarios sin demoler la estructura base. Las operaciones requeridas para esta alternativa comprenden:

-Saneamiento del hormigón: Picado y eliminación mecánica (o mediante hidrodemolición) de todo el recubrimiento de hormigón carbonatado y contaminado por cloruros hasta alcanzar una capa soporte sana.



Imagen 13. Estado del Hormigón (fuente: Elaboración Propia).

-Tratamiento de armaduras: Limpieza exhaustiva del acero de refuerzo para eliminar el óxido, seguida de la aplicación de resinas o puentes de unión con propiedades de pasivación para proteger la armadura frente a futuras agresiones.

-Reconstrucción geométrica: Reposición de la sección original perdida empleando morteros de reparación estructural tixotrópicos (clase R4).

-Acondicionamiento de refuerzos metálicos: Debido a las estrictas restricciones medioambientales derivadas de la ubicación en el Parque Natural de la Albufera, se descarta el chorreado abrasivo tradicional por el alto riesgo de emisión de partículas y residuos al ecosistema acuático. En su lugar, se plantea una limpieza mecánica confinada (mediante herramientas rotativas manuales equipadas con sistemas de aspiración de polvo), seguida de la aplicación de convertidores de óxido químicos que estabilicen la corrosión existente, culminando con la aplicación de sistemas de pintura anticorrosiva compatibles con este grado de preparación superficial.

-Adecuación funcional y de seguridad: Retirada de los pretilos actuales y reposición por una barandilla normativa adaptada al entorno, culminando con el fresado completo de la capa de rodadura actual y la reposición del aglomerado asfáltico.

Nota: Este escenario queda descartado tras el informe realizado por Calsens

4.1.2. Escenario 2: Construcción por Mitades

Este escenario operativo plantea la sustitución y ampliación de la infraestructura mediante una modificación definitiva del eje de la carretera, ejecutando la nueva superestructura en dos fases temporales diferenciadas para minimizar la afección al tráfico rodado. El proceso constructivo sigue estrictamente la siguiente secuencia:

-Fase 1: Ocurrencia de Expropiaciones y Movimiento de Tierras: Al desplazarse el eje de la carretera de forma permanente, se requiere la expropiación forzosa de las parcelas colindantes. Se inician los trabajos de movimiento de tierras y cimentaciones en paralelo al trazado actual.

-Fase 2: Ejecución de la Primera Mitad del Nuevo Tablero: Se construye la primera mitad de la nueva estructura, conformando una sección transversal inicial de 4,5 metros de anchura. Esta obra se realiza "fuera de línea" (offline), por lo que el tráfico rodado continúa circulando con total normalidad por los puentes originales existentes.

-Fase 3: Desvío de Tráfico y Demolición del Puente Antiguo: Una vez el primer semitablero adquiere la resistencia estructural necesaria, se realiza el desvío y transferencia del tráfico hacia esta nueva plataforma de 4,5 metros. Al quedar completamente liberada la estructura histórica original, se procede a su demolición, desguace y retirada definitiva de la zona.

-Fase 4: Ejecución de la Segunda Mitad y Consolidación: En el espacio liberado por el puente antiguo, se ejecuta la segunda mitad del tablero faltante. Finalmente, se acoplan ambas secciones transversales, consolidando un puente definitivo de 9 metros de ancho plenamente accesible, con dos carriles de circulación y aceras normativas.

Evaluación del Escenario:

Ventajas: Desde el punto de vista del tráfico, es una solución muy eficiente durante la fase de obra. Al ejecutarse la primera mitad en paralelo, los cortes de tráfico en el eje son estrictamente puntuales e intermitentes (limitados principalmente al momento de transferir el tráfico en la Fase 3 y a los entronques finales).

Inconvenientes: El factor crítico insalvable es su altísimo impacto medioambiental y territorial. Al modificar el trazado de forma definitiva, la ocupación de suelo protegido dentro del Parque Natural de la Albufera es permanente, destruyendo hábitats de flora y fauna locales. Además, la tramitación de una variante permanente en este entorno protegido dilataría los plazos de aprobación administrativa de forma inasumible por la urgencia de la obra, sumando la complejidad técnica y el coste de las expropiaciones fijas.

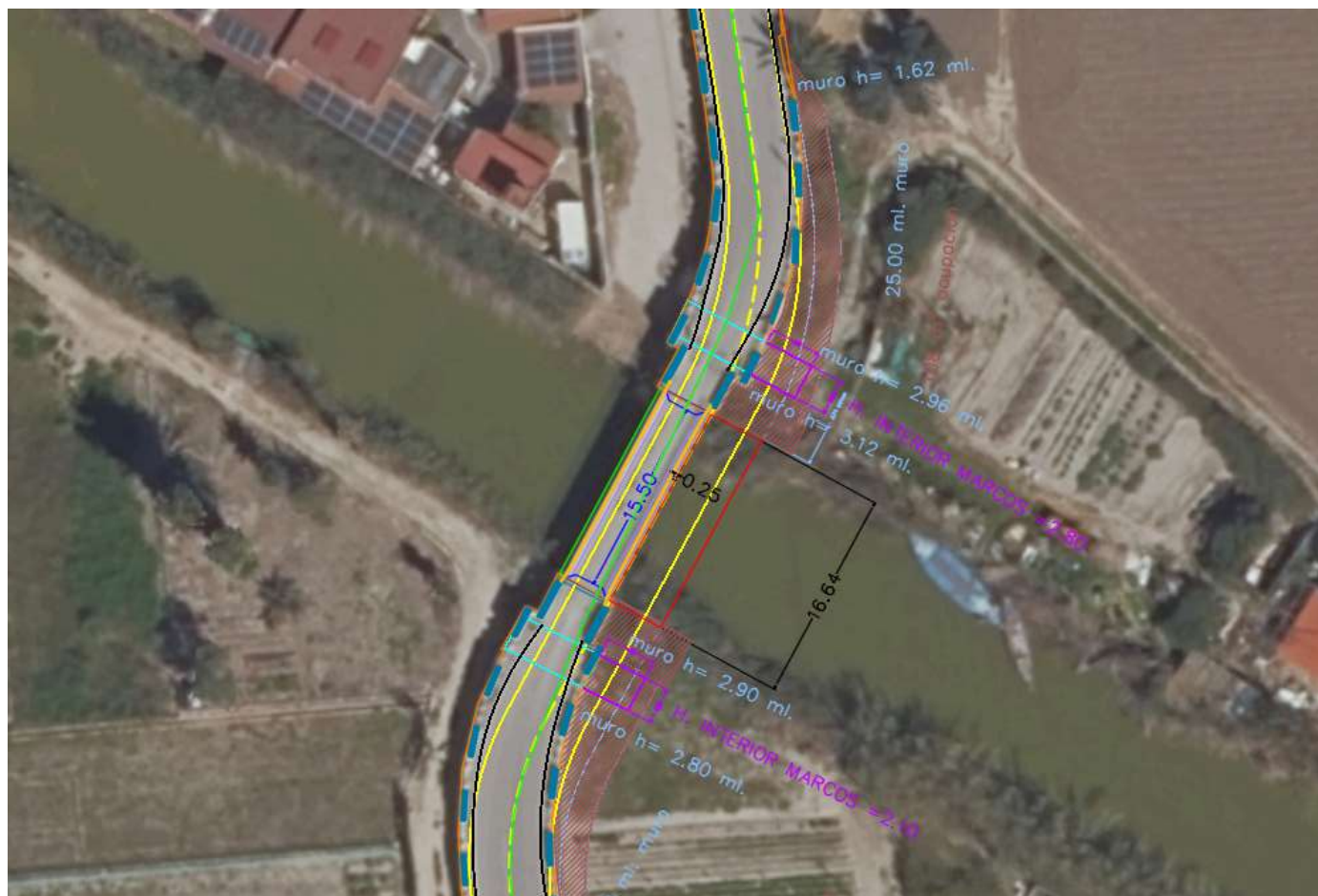


Imagen 14. Desvíos propuestos Puente 2 (fuente: Zwcad).

Para una interpretación detallada del desfase geométrico y la secuencia temporal de estas fases, se puede consultar la documentación gráfica recogida en el Documento nº2: Planos.

4.1.3. Escenario 3: Sustitución Integral con Tableros y Losas de Transición Prefabricadas

Este tercer escenario plantea el desguace y demolición completa de los puentes en π actuales para implantar un nuevo sistema estructural prefabricado. Esta solución no solo sustituye el tramo sobre el cauce, sino que resuelve de forma definitiva los estrechamientos en los accesos mediante elementos de transición. El proceso y configuración se definen de la siguiente manera:

-**Actuación 1:** Demolición y Retirada: Se procede al corte y desguace controlado de la superestructura original, retirando los elementos degradados mediante grúas de gran tonelaje sobre el mismo eje actual, minimizando la ocupación del entorno.

-**Actuación 2:** Recalce y Consolidación de los Estribos: Para aprovechar la cimentación actual y no alterar el cauce de las acequias (evitando un impacto ambiental inasumible en la Albufera), se ejecuta el recalce y refuerzo de los estribos existentes, dotándolos de la capacidad portante necesaria para el nuevo tablero.

-**Actuación 3:** Configuración de la Nueva Superestructura: El nuevo esquema longitudinal de la vía se conforma mediante el montaje rápido de elementos prefabricados, configurando la siguiente secuencia geométrica:

1. **Carretera actual:** Tramo de calzada existente con un ancho aproximado de 7 metros.
2. **Losas prefabricadas de acceso:** Piezas que actúan como transición geométrica en la zona del antiguo estrechamiento, adaptando el ancho de la carretera al ancho del nuevo puente.
3. **Nuevo Tablero Principal:** Superestructura prefabricada apoyada sobre los estribos recalcados que salva el vano sobre la acequia. (La anchura y material de este tablero central es la que definirá las diferentes alternativas a estudiar: 4m, 7m, 7,2m o 9m).
4. **Losas prefabricadas de salida:** Elementos simétricos de transición para devolver el flujo a la anchura estándar de la vía.
5. **Carretera actual:** Conexión con el tramo de vía existente (~7 metros).

Evaluación del Escenario:

Ventajas: Es la opción óptima desde la perspectiva del plazo de ejecución y el bajo impacto ambiental. Al trasladar la fabricación al taller (tableros y losas prefabricadas), se suprimen los encofrados complejos in situ. Esto comprime el cronograma, limitando los cortes de tráfico a períodos muy breves (durante el izado de las piezas) y sin modificar de forma permanente el trazado ni ocupar suelo del Parque Natural.

Inconvenientes: Exige una logística de transportes especiales sumamente precisa para llevar tableros completos y grúas de gran tonelaje hasta la pedanía, obligando a cortes de tráfico totales, aunque de corta duración, durante las maniobras críticas de montaje.

4.2. Alternativas de Sección Transversal.

Tomando como base el procedimiento constructivo del Escenario 3, se plantean cuatro alternativas viables. Estas opciones varían fundamentalmente en la anchura de la nueva plataforma y en la concepción de su prefabricación (cuyos detalles mecánicos y de materiales se desarrollarán en profundidad en el apartado 4.3). A efectos funcionales y de capacidad viaria, las secciones de 7,00 m y 7,20 m se consideran equivalentes.

-**Alternativa A:** Sustitución con Tablero Prefabricado Integral de 4,00 m

- **Descripción:** Consiste en renovar la estructura manteniendo la anchura estricta del puente histórico (4 metros).
- **Valoración:** Resuelve el déficit resistente, pero perpetúa el estrangulamiento viario. Al impedir el cruce simultáneo de dos vehículos y carecer de espacio físico para aceras, presenta unas condiciones de seguridad vial y peatonal inaceptables.

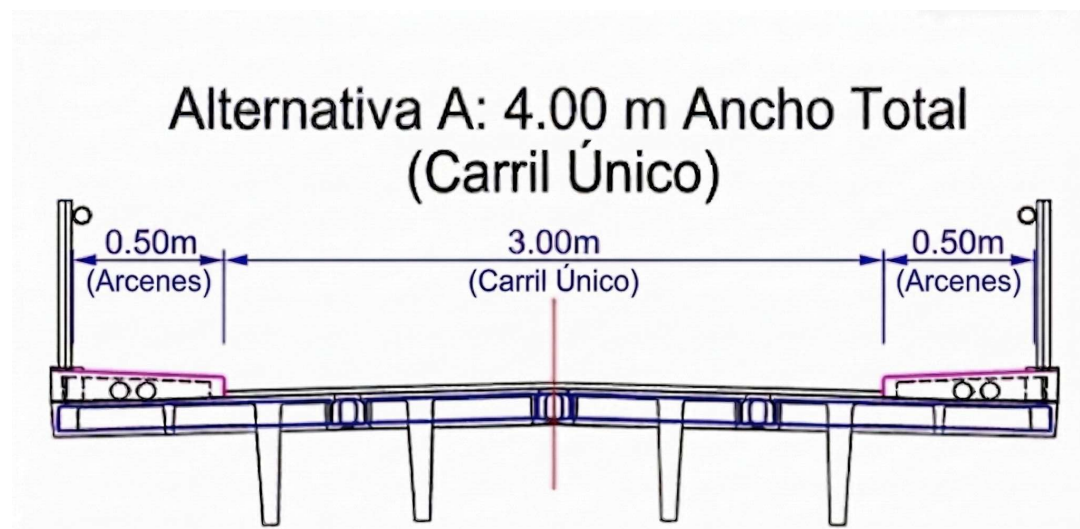


Imagen 15. Sección 4 metros (fuente: Inteligencia Artificial; Preffor).

-**Alternativa B:** Sustitución con Tablero Prefabricado Integral de 7,20 m (Solución Base del Promotor)

- **Descripción:** Alternativa inicialmente adoptada por el Ayuntamiento, configurando un tablero prefabricado que permite dos carriles de circulación ajustados y aceras de anchura mínima.
- **Valoración:** Mejora sustancialmente el flujo de tráfico. Sin embargo, el espacio peatonal resultante se sitúa en el límite estricto de la normativa de accesibilidad, ofreciendo un margen de seguridad muy reducido para usuarios con movilidad reducida.

PUENTE 15,50 m ALTERNATIVA B: 7.20 M ANCHO TOTAL

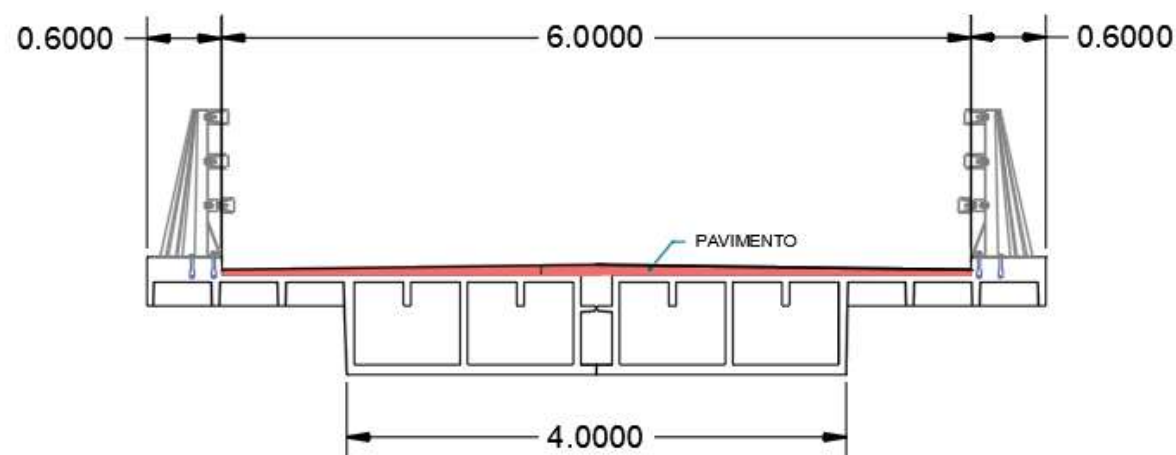


Imagen 16. Sección 7 metros (fuente: Preffor).

-**Alternativa C:** Sustitución con Tablero Prefabricado Integral de 9,00 m (Solución Propuesta)

- **Descripción:** Plantea la instalación de una superestructura de gran anchura, configurando una plataforma con dos carriles holgados y aceras plenamente accesibles a ambos lados.
- **Valoración:** Es la opción más ambiciosa. Garantiza la máxima seguridad y comodidad, absorbiendo con holgura los picos de tráfico rodado y peatonal, y dotando a la infraestructura de resiliencia frente a futuras reordenaciones urbanísticas.

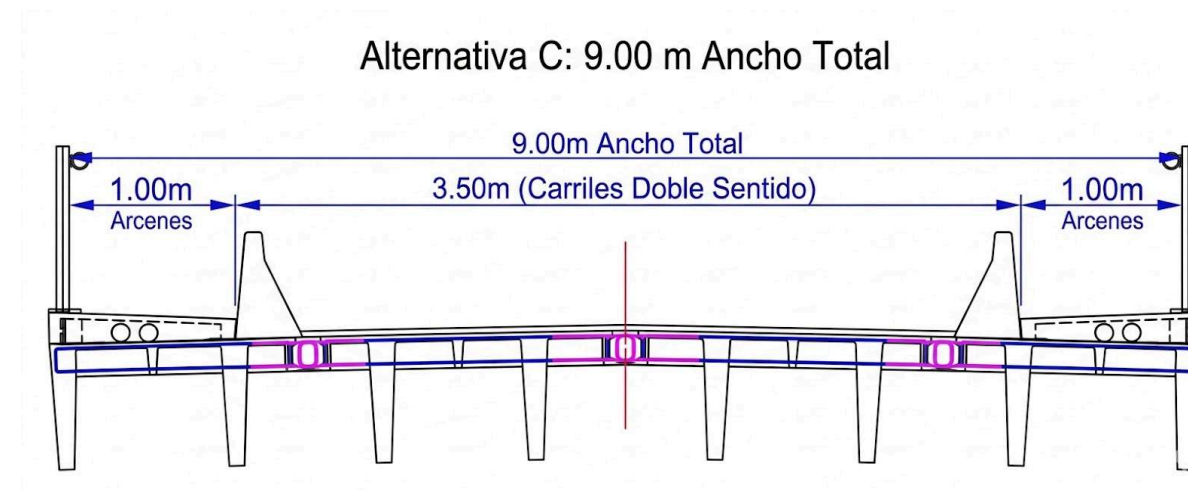


Imagen 17. Sección 9 metros (fuente: Preffor).

4.3. Alternativas de Materiales de Alta Durabilidad:

Una vez definida la idoneidad del prefabricado como escenario base para minimizar el impacto sobre el Parque Natural de la Albufera, resulta imperativo analizar las dos tipologías estructurales viables para conformar los nuevos tableros. La elección del sistema estructural no solo condiciona el comportamiento resistente a largo plazo, sino que determina la logística de transportes, la maquinaria de izado y el nivel de riesgo medioambiental durante la fase de obra.

A continuación, se describen y evalúan las dos tecnologías propuestas: el sistema de tablero integral (Formex) y el sistema de vigas prefabricadas con losa in situ (Dúplex).

4.3.1. Hormigón de Ultra-Alto Rendimiento (UHPC / Formex).

El sistema Formex consiste en la materialización de la superestructura mediante elementos prefabricados de hormigón de altas prestaciones que se configuran, curan y postesan íntegramente en las instalaciones del taller.

-**Concepción Estructural y Optimización de Cargas:** Las piezas llegan a obra conformando cajones o losas autoportantes que integran la capacidad resistente total. Un factor decisivo de esta tipología es su optimización másica: aunque resulta ligeramente más pesada que una solución desglosada en vigas Dúplex, el tablero Formex es notablemente más ligero que la superestructura histórica de 1925. Según los predimensionamientos, los tableros para los vanos de 15,5 metros (Puentes 1 y 2) presentan un peso aproximado de 65 toneladas, mientras que el vano principal de 31 metros (Puente 3), al requerir mayor canto estructural, alcanza las 150 toneladas. Esta reducción de la carga permanente (peso propio) respecto al estado actual es vital, ya que permite aprovechar y recalcar los estribos existentes sin someterlos a sobretensiones.

-**Proceso Constructivo e Intervención In Situ:** La operativa en la Albufera se simplifica drásticamente. Tras el izado y posicionamiento de las piezas integrales mediante grúas móviles de gran tonelaje, la única actuación húmeda requerida in situ es el cosido de las juntas de conexión entre las distintas placas o módulos. Estas juntas, de dimensiones muy reducidas, se rellenan y sellan empleando el mismo hormigón de altas prestaciones (tipo Formex), garantizando una continuidad estructural y un monolitismo perfecto en todo el tablero.

-Ventajas en el entorno de la Albufera:

- **Riesgo Ambiental Nulo:** Al prescindir del vertido de una losa completa sobre el cauce, el riesgo de accidentes o derrames de lechada al agua desaparece. Las juntas se ejecutan de forma totalmente controlada y confinada.
- **Apertura Inmediata:** La ausencia de encofrados y tiempos de curado masivos (más allá de las juntas de conexión de fraguado rápido) permite una apertura al tráfico de obra o definitivo de forma inmediata tras el montaje.

-Consideraciones Logísticas: La principal exigencia de este sistema radica en la planificación del transporte especial y en el posicionamiento de las grúas de alto tonelaje necesarias para manipular piezas de hasta 150 toneladas. No obstante, se trata de una operativa estandarizada que compensa ampliamente la reducción de los plazos de corte de la vía.

4.3.2. Acero Inoxidable Dúplex.

Esta segunda alternativa plantea un cambio radical en la concepción del material principal. Consiste en la ejecución de un tablero mixto soportado por dos vigas longitudinales metálicas (perfiles tipo IPE o armados) fabricadas en acero inoxidable Dúplex, sobre las cuales se dispone una losa superior de hormigón (que puede ser ejecutada in situ o mediante prelosas prefabricadas).

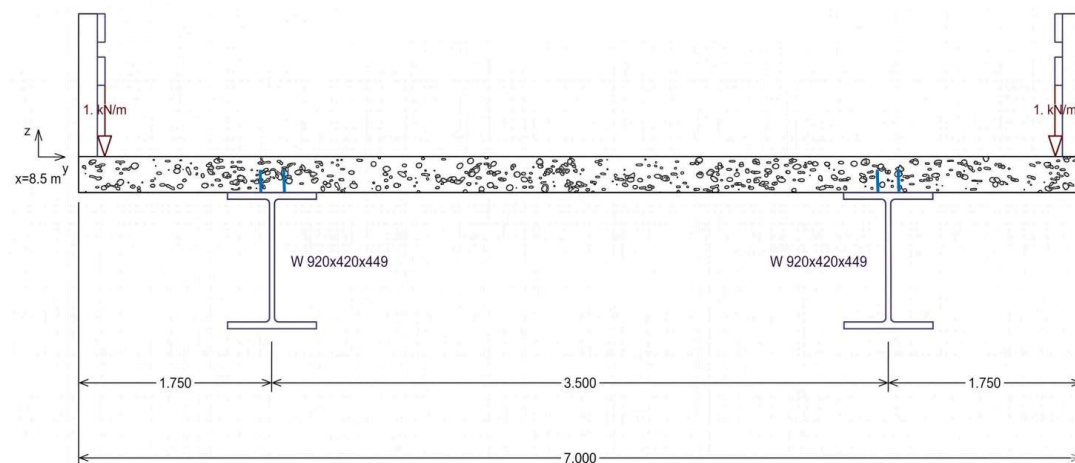


Imagen 18. Sección Acero Dúplex (fuente: ICEV).

-El Material: ¿Qué es el Acero Dúplex? El acero Dúplex es una aleación inoxidable avanzada que presenta una microestructura bifásica, compuesta por proporciones aproximadamente iguales de austenita y ferrita. Sin embargo, su principal característica diferencial y la clave de su excelente comportamiento radica en su composición química altamente aleada:

- **Alto contenido en Cromo (Cr):** Supera ampliamente el umbral del 11% que define a los aceros inoxidables estándar, situándose frecuentemente por encima del 20-22%. Este elevado porcentaje reacciona de forma inmediata con el oxígeno ambiental para generar una película pasivadora de óxido de cromo, una capa superficial continua e insoluble que sella el metal y detiene el avance de la corrosión.

- **Contenido optimizado de Níquel (Ni):** Incorpora un porcentaje de níquel situado en el entorno del 5%. Este elemento actúa como un potente estabilizador de la fase austenítica, permitiendo ese equilibrio bifásico al 50% que le otorga su excepcional tenacidad y comportamiento estructural.

Esta dualidad metalúrgica y química le confiere unas características físicas y mecánicas excepcionales frente al acero al carbono tradicional:

- **Bajo peso propio y alta resistencia:** Su límite elástico es prácticamente el doble que el de un acero inoxidable estándar. Esto permite afinar enormemente el espesor de los perfiles metálicos, logrando una estructura extremadamente ligera que descarga de tensiones a los estribos originales.
- **Durabilidad extrema y nulo mantenimiento:** Posee una resistencia sobresaliente a la corrosión por cloruros y bajo tensión, un factor crítico en el ambiente salino y permanentemente húmedo del Parque Natural de la Albufera. Al no requerir tratamientos superficiales ni pinturas protectoras, su coste y complejidad de conservación a lo largo de su vida útil (Coste de Ciclo de Vida) es prácticamente nulo.

-Proceso Constructivo y Conexión Estructural: A nivel constructivo, tras el apoyo de las dos vigas longitudinales metálicas sobre los estribos, se requiere la conformación de la losa superior. Para garantizar que el acero y el hormigón trabajen de forma conjunta (sección mixta), es imprescindible la soldadura de conectores de rasante (tipo Nelson o similares) en el ala superior de las vigas, los cuales quedarán embebidos en el hormigón de la losa para absorber los esfuerzos cortantes en la interfaz.

-Evaluación Logística y Afección a Plazos: A pesar de que el acero Dúplex representa una solución insuperable desde la perspectiva de la durabilidad y la optimización de pesos, esta tipología penaliza sustancialmente el cronograma general de la obra. La dilatación de los plazos se debe a varios factores críticos:

- **Mayor número de piezas y operaciones:** A diferencia del sistema Formex (que se iza en un solo bloque o módulos completos), el tablero mixto obliga a coordinar y montar múltiples elementos por separado (vigas, prelosas/encofrados, conectores, ferralla superior).
- **Complejidad de las uniones mixtas:** La interfaz entre dos materiales de diferente naturaleza (acero y hormigón) exige tolerancias milimétricas y procesos de soldadura o atornillado in situ que ralentizan el avance.
- **Tiempos de espera:** Si la losa se ejecuta total o parcialmente in situ, se reintroducen los tiempos de curado y fraguado del hormigón, impidiendo la apertura inmediata al tráfico y alargando la afección vial en el acceso a la pedanía.

4.4. Ampliación de Accesos: Losas para la Transición del ancho de calzada.

Un aspecto crítico en la concepción de la nueva infraestructura no radica únicamente en el cruce del cauce, sino en la resolución de los severos estrechamientos geométricos existentes en los viales de aproximación inmediata a las estructuras. Para solucionar este problema de gálibo transversal de forma eficiente, se plantea la implantación de losas de transición prefabricadas dispuestas inmediatamente antes y después de los nuevos tableros principales.

Con el fin de evitar confusiones terminológicas, resulta imperativo precisar el concepto de "losa de transición" adoptado en este apartado, el cual difiere sustancialmente de su acepción clásica en la ingeniería de puentes. Tradicionalmente, una losa de transición es un elemento estructural oculto bajo el firme que conecta la plataforma deformable del terraplén de acceso con la estructura rígida del estribo; su única función mecánica es mitigar los asientos diferenciales y suprimir el característico "escalón" en la zona de entrada al puente.

Por el contrario, en el presente proyecto, el término se emplea bajo un enfoque estrictamente geométrico, funcional y de ordenación vial. El objeto de estas piezas no es resolver un problema geotécnico de transición de rigideces entre terraplén y estribo, sino materializar una transición progresiva del ancho de la calzada. Actúan como losas de ensanche estructural en voladizo que permiten ensanchar los viales de aproximación desde la sección estricta y estrangulada de la calle Vicent Baldoví hasta alcanzar la plataforma de 9,00 metros del nuevo tablero principal, eliminando de forma segura el efecto "cuello de botella" en los accesos.

4.4.1. Origen y Extrapolación Tecnológica del Diseño

La propuesta de emplear losas prefabricadas para ensanchar los accesos y eliminar los "cuellos de botella" no constituye una solución teórica aislada. Esta estrategia de ingeniería surge a partir de la experiencia y los resultados de un proyecto constructivo previamente ejecutado con éxito en un entorno de condicionantes geométricos y geotécnicos análogos.

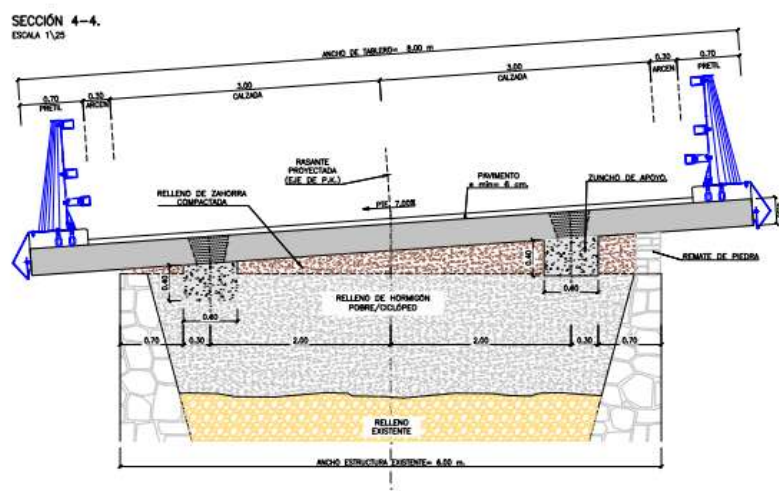


Imagen 19. Sección losas de transición proyecto realizado (fuente: Pavasal).

Tras comprobar la viabilidad constructiva, el excelente comportamiento estructural bajo cargas de tráfico real y la idoneidad logística de dicha solución en la obra precedente, se procede a extrapolar y adaptar conceptualmente dicho diseño a las particularidades y luces específicas de los tres accesos de El Palmar. Esta transferencia de tecnología e historial de éxito garantiza la viabilidad de la solución propuesta.

4.4.2. Adopción del Sistema Formex para las Losas de Acceso

En consonancia con el análisis de materiales realizado en los apartados anteriores, se determina que estas losas de transición se ejecutarán íntegramente empleando la tecnología de hormigón de altas prestaciones tipo Formex. La elección de este material para las losas de los estrechamientos responde a las ventajas competitivas ya descritas, las cuales resultan esenciales en este punto de la obra.

LOSAS PREFABRICADAS

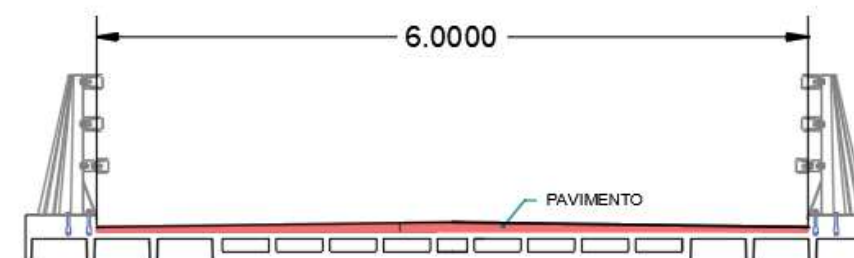


Imagen 20. Sección losas de transición propuesta (fuente: Propuesta Preffor).

5. ANÁLISIS DE VIABILIDAD TÉCNICA

5.1. Condicionantes Técnicos y Criterios de Diseño Derivados del Diagnóstico

El diagnóstico exhaustivo recogido en el Capítulo 3 no solo ha servido para justificar de forma objetiva la necesidad de sustitución de los puentes, sino que constituye el documento base del que emanan las directrices y restricciones técnicas para el diseño de la nueva infraestructura. Las patologías detectadas y el entorno singular del Parque Natural de la Albufera imponen un marco de trabajo con tolerancias muy estrictas.

A partir del análisis previo, se establecen los siguientes condicionantes primarios que regirán la viabilidad técnica y el cálculo del nuevo proyecto:

1. Condicionante Hidráulico y Geométrico (Sección del Cauce): La intervención se sitúa sobre las acequias que nutren y regulan el nivel hídrico de la Albufera. Por exigencia de la Confederación Hidrográfica y la normativa medioambiental, la nueva estructura no puede alterar, estrangular ni modificar la sección hidráulica actual. Este imperativo obliga a mantener la línea de apoyos (estribos) en su ubicación histórica, descartando el acortamiento de las luces del vano o la inclusión de pilas intermedias en el cauce.

2. Condicionante de Cargas y Aprovechamiento de Subestructura: Dado que la geometría en planta obliga a utilizar la misma huella de los estribos actuales, el nuevo tablero (pese a tener un ancho propuesto de 9 metros y estar diseñado para las exigentes sobrecargas de uso de la normativa IAP-11) debe optimizar al máximo su peso propio. Como se anticipó, el uso de tecnología de prefabricación avanzada permite que las nuevas cargas transmitidas a los apoyos se mantengan en un orden de magnitud compatible con el recalce de las subestructuras existentes.

3. Condicionante Geotécnico (El entorno lagunar): Al enmarcarse en el entorno lagunar de la Albufera, la estratigrafía superficial del terreno está compuesta por limos, fangos y arcillas blandas altamente compresibles y con una capacidad portante prácticamente nula. Este perfil geotécnico, documentado en los estudios del terreno, invalida cualquier solución de cimentación superficial o directa para los nuevos requerimientos de carga, exigiendo ineludiblemente el diseño de un sistema de cimentación profunda para el recalce de los estribos.

4. Condicionante de Durabilidad y Agresividad Química: El informe de inspección dictaminó que la causa principal del colapso funcional de los puentes de 1925 fue la penetración masiva de cloruros y la carbonatación. Por tanto, el nuevo proyecto debe diseñarse asumiendo un ambiente de exposición altamente agresivo (clase de exposición marina y ambiente húmedo constante según el Código Estructural). El diseño no solo deberá cumplir los Estados Límites Últimos (ELU), sino priorizar el Estado Límite de Durabilidad mediante el control de la fisuración y la especificación de hormigones especiales.

Conclusión de las Bases de Diseño: La convergencia de un terreno superficial incompetente (Condicionante 3) y la necesidad de aumentar la capacidad de carga del puente sin alterar el cauce (Condicionantes 1 y 2), define el principal desafío técnico de este proyecto: la necesidad de ejecutar un recalce profundo de la infraestructura.

5.2. Proyecto de Recalce de la Infraestructura: Diseño de Pilotes de 30 metros.

Tal y como se estableció en los criterios de diseño, la inviabilidad de aplicar cargas adicionales sobre los estratos superficiales exige proyectar un sistema de transferencia de cargas profundo. Este apartado desarrolla la metodología adoptada para el recalce de los estribos históricos mediante pantallas de micropilotes, garantizando la estabilidad de las nuevas superestructuras.

5.2.1. Estimación Geotécnica y Profundidad de Diseño

En la fase de redacción de este proyecto no se dispuso de una campaña geotécnica específica con sondeos mecánicos en el punto exacto de la obra. Para solventar esta carencia y definir las bases de cálculo, se adoptó una aproximación empírica basada en la consulta técnica a profesionales y empresas del sector con experiencia contrastada en la ejecución de cimentaciones profundas en el entorno del Parque Natural de la Albufera.

Los datos recabados en intervenciones análogas y cercanas indicaron que el sustrato firme (estrato de arenas densas y gravas capaz de soportar las cargas por punta) se localiza a una profundidad de entre 20 y 25 metros bajo el nivel de las acequias, existiendo por encima un potente paquete de fangos y limos altamente compresibles. Aplicando un criterio de prudencia ingenieril, se estableció un margen de seguridad de 5 metros adicionales, fijando la profundidad de diseño de la cimentación profunda en 30 metros. Esta longitud garantiza el correcto empotramiento en el estrato competente.

5.2.2. Toma de Datos y Definición de Solicitaciones

Para dimensionar el recalce, se llevó a cabo un levantamiento topográfico de detalle en el entorno de las estructuras. Esta información permitió modelizar la geometría exacta de los estribos de fábrica y estimar las dimensiones de sus zapatas originales ocultas bajo el cauce.

Posteriormente, esta geometría tridimensional se cruzó con la bajada de cargas teórica. Se extrajeron las solicitaciones calculadas en el modelo de Elementos Finitos del informe de la asistencia técnica (CalSens), las cuales incluyen el peso propio de la nueva solución estructural prefabricada y las severas sobrecargas de tráfico exigidas por la Instrucción IAP-11.

5.2.3. Asistencia Técnica Especializada y Dimensionamiento

El compendio de datos geométricos, los requerimientos de carga (IAP-11) y la profundidad estimada del estrato firme (30 m) conformaron el pliego de bases del recalce. Toda esta información técnica se suministró a una empresa especialista en geotecnia y ejecución de micropilotes para su dimensionamiento definitivo.

Mediante este proceso de ingeniería colaborativa, la empresa especialista definió la solución óptima para el recalce, proporcionando los siguientes parámetros clave para la viabilidad del proyecto:

- **Número y distribución de micropilotes:** Configuración de la pantalla perimetral (o perforada a través de la zapata existente) necesaria para absorber los esfuerzos verticales y horizontales.
- **Valoración económica:** Presupuesto detallado de ejecución material de la partida de cimentación.
- **Cronograma:** Plazo estimado de ejecución de las perforaciones, inyecciones y zunchos, vital para la planificación global de la obra.

5.3. Análisis de Durabilidad y Mantenimiento según el Ambiente Marino

El colapso funcional de las estructuras originales de 1925 evidenció que el entorno del Parque Natural de la Albufera somete a los materiales a condiciones extremas de degradación, marcadas por una humedad constante y una alta concentración de cloruros. Por ello, el diseño del nuevo proyecto no solo debe garantizar la resistencia mecánica (ELU), sino asegurar el Estado Límite de Durabilidad frente a este ambiente agresivo durante una vida útil de diseño de 100 años.

5.3.1. Estrategia de Materiales frente a la Agresividad Ambiental

De acuerdo con el Código Estructural, la ubicación de la infraestructura exige clasificar el ambiente de exposición como altamente agresivo (influencia marina y humedad permanente).

La elección de la solución de tablero integral mediante el sistema Formex resuelve intrínsecamente este condicionante. Al tratarse de un Hormigón de Altas Prestaciones (HAP), presenta una matriz cementicia ultra-densa con una relación agua/cemento muy baja. Esto se traduce en una porosidad y permeabilidad prácticamente nulas, bloqueando físicamente la penetración del ión cloruro y el frente de carbonatación hacia las armaduras activas y pasivas, evitando así la patología que condenó a los puentes históricos.

5.3.2. Plan de Mantenimiento y Coste de Ciclo de Vida

Una de las mayores ventajas de haber descartado soluciones mixtas (vigas metálicas o armaduras expuestas) en favor de un tablero prefabricado integral de hormigón de alta compacidad es la drástica reducción de los costes de conservación.

El plan de mantenimiento proyectado para la nueva infraestructura se clasifica como de "Baja Intensidad", limitándose a las siguientes operaciones rutinarias:

- **Inspecciones visuales** periódicas (cada 2-5 años) del estado del pavimento y de los paramentos de hormigón.
- **Limpieza** y despeje de los sistemas de drenaje (**imbornales**) para evitar la acumulación de agua en la calzada.

- **Revisión y mantenimiento preventivo** de los elementos de apoyo (neoprenos zunchados) y las juntas de dilatación elásticas, que son los únicos elementos sometidos a desgaste mecánico por el tráfico y los ciclos térmicos.

En conclusión, la sinergia entre una cimentación profunda protegida en el subsuelo y una superestructura de hormigón de muy baja permeabilidad garantiza un Coste de Ciclo de Vida (CCV) óptimo, minimizando las interrupciones por mantenimiento en el principal acceso a El Palmar.

6. PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS Y LOGÍSTICA

6.1. Plan de Montaje de Tableros Prefabricados.

La viabilidad operativa de la sustitución integral de los puentes depende críticamente de la ingeniería de izado y de la planificación logística. Independientemente de las variantes que se evalúen, la movilización y el emplazamiento de maquinaria pesada constituye un factor común y estrictamente obligatorio. Esta maquinaria no solo es necesaria para el montaje de los nuevos prefabricados, sino que será la encargada de ejecutar la retirada y carga de los tableros históricos una vez seccionados, optimizando así los costes de implantación.

El objeto de este plan es analizar las condiciones del entorno para identificar los puntos estratégicos donde estabilizar la maquinaria de forma segura, garantizando el manejo de cargas críticas (módulos de unas 65 t en los Puentes 1 y 3; y de hasta 150 t en el Puente 2) y minimizando la afección geométrica sobre la calzada actual.

6.1.1. Criterios de Selección y Estabilización de la Maquinaria

Tras las consultas técnicas realizadas a empresas especialistas en elevación de cargas pesadas, se ha determinado la necesidad de movilizar una grúa hidráulica autopropulsada sobre camión de la gama de 250 a 300 toneladas de capacidad nominal. En concreto, el modelo de referencia adoptado para la viabilidad de la operativa es la LIEBHERR LTM-1250/1 (o equipo de características y diagrama de cargas equivalente). Este modelo proporciona la combinación óptima de capacidad de carga, longitud de pluma y versatilidad espacial para los alcances requeridos en este proyecto.

6.1.2. Análisis de Emplazamientos Disponibles y Cimentaciones Provisionales de Hormigón por Estructura

Como respuesta directa a la necesidad de garantizar la estabilidad de la grúa LIEBHERR LTM-1250/1 (250-300 t) en un entorno de muy baja capacidad portante, se incluye en la valoración técnica y económica la ejecución de cimentaciones provisionales de hormigón para los apoyos en las tres estructuras. Estas losas o zapatas temporales de hormigón armado aseguran el correcto reparto de presiones de los gatos estabilizadores, blindando el terreno frente al punzonamiento y adaptando la operativa a las particularidades de cada vano:

A) Puente 1 (Acceso Norte): Ataque desde Calzada Sur y Cimentación Externa

Dada la restricción extrema que supone el terreno natural inundable en los márgenes de este punto, la estrategia descarta el posicionamiento en parcelas de la marjal y centra la operativa en la propia infraestructura:

- Posicionamiento sobre Calzada (Acceso Sur): La grúa autopropulsada operará directamente posicionada sobre el propio eje de la calzada actual, atacando la estructura exclusivamente desde el acceso situado más al sur, el cual presenta una geometría más favorable para la aproximación de la maquinaria.
- Cimentación Provisional de Hormigón Fuera de Calzada: Para evitar el colapso estructural del paquete de firmes y el pavimento asfáltico bajo las masivas reacciones de la máquina, la cimentación de los estabilizadores se ejecutará completamente fuera de la calzada, invadiendo los márgenes laterales. Se verterán banquetas temporales de hormigón fuera del límite del vial para recibir y repartir la carga de los outriggers extendidos, permitiendo operar desde el centro de la pista manteniendo la distancia de guarda con el tendido eléctrico cercano.



Imagen 21. Emplazamiento maquinaria pesada Puente 1 (fuente: Google Earth)

B) Puente 2 (Estructura Intermedia): Viabilidad Geométrica Óptima

Para la sustitución de este vano, cuya carga de izado ronda las 65 toneladas, la cimentación provisional es un elemento crítico pero de fácil resolución gracias al espacio disponible:

- Acceso Paralelo y Plataforma de Reparto Lateral: Se aprovechará el vial de servicio paralelo al tablero actual (de anchura superior a 7,00 metros) para el posicionamiento de la maquinaria. Sobre la superficie de este vial, se ejecutará una cimentación provisional mediante losas de hormigón que blinde el terreno frente a asientos diferenciales, permitiendo realizar los trabajos con un radio corto y seguro sin ocupar los carriles de la calzada principal.



Imagen 22. Emplazamiento maquinaria pesada Puente 2 (fuente: Google Earth)

C) Puente 3 (Acceso Sur): Vano Principal y Operativa por Doble Acceso

Este es el punto que presenta la mayor exigencia técnica del proyecto, ya que, al ser el de mayor luz (31 metros), el tablero central alcanza pesos cercanos a las 150 toneladas.

- **Estrategia de Doble Ataque para Optimización de Maquinaria:** Si se pretendiera izar y retirar toda esta estructura desde un único emplazamiento, el excesivo radio de acción combinado con la gran carga de la pieza exigiría movilizar una grúa de un tonelaje inviable e incompatible con el entorno. Por ello, se ha planificado una operativa de doble ataque: la LIEBHERR LTM-1250/1 se posicionará secuencialmente en ambos accesos del puente (norte y sur), realizando las maniobras de demolición y montaje de cada mitad desde su extremo correspondiente, minimizando el momento de vuelco.
- **Cimentaciones Provisionales de Hormigón:** En ambos accesos se aprovecharán las superficies colindantes (como el ramal hacia la EDAR), ejecutando bases estabilizadoras provisionales de hormigón para los gatos hidráulicos, lo que garantiza el reparto seguro de estas cargas extremas sin provocar el hundimiento estructural de los viales de servicio.



Imagen 23. Emplazamiento maquinaria pesada Puente 3 (fuente: Google Earth)

6.1.3. Secuencia General de la Operativa (Corte, Demolición y Montaje)

Para las tres estructuras, una vez posicionada y estabilizada la grúa LIEBHERR LTM-1250/1 sobre su respectiva cimentación provisional de hormigón, la operativa integral se dividirá en tres grandes fases secuenciales:

Fase 1: Labores de Corte y Desmontaje de la Estructura Existente

- **Seccionado de precisión in situ:** Se prevén labores previas de corte longitudinal y transversal del tablero histórico original. Para garantizar un fraccionamiento limpio y evitar la transmisión de vibraciones a la subestructura (estribos) que debe ser conservada, el corte se ejecutará estrictamente por medio de sierras de disco diamantado combinado con perforadoras de broca hueca diamantada (para la resolución de esquinas, liberación de tensiones y ejecución de taladros pasantes para eslingado). El objetivo de este fraccionamiento es dividir la superestructura antigua en piezas de menores dimensiones, reduciendo drásticamente los pesos individuales de izado.
- **Izado y extracción:** Estrobo individual de cada una de las secciones cortadas del puente viejo a través de las perforaciones habilitadas, elevación controlada mediante la grúa y carga directa sobre camiones de transporte.

Fase 2: Gestión de RCD y Economía Circular (Acopio Intermedio)

- **Traslado a zona de acopio intermedio:** Debido a la imposibilidad física y al riesgo ambiental de triturar el hormigón sobre el cauce de las acequias de la Albufera, los fragmentos del tablero se transportarán a una zona de acopio intermedio previamente habilitada y autorizada.

- **Demolición en acopio:** En esta área de almacenamiento temporal, se acometerán los trabajos de demolición secundaria empleando maquinaria convencional (retroexcavadoras con martillo hidráulico y pinzas demoledoras) para triturar el hormigón y segregar las armaduras de acero.
- **Evacuación a gestor autorizado:** Una vez reducidos a escombros manejables, se procederá a su carga en camiones bañera para el traslado definitivo a una planta de gestión de residuos autorizada, cumpliendo estrictamente con la normativa de gestión de RCD.

Fase 3: Montaje de la Nueva Superestructura Prefabricada

- **Recepción del transporte especial:** Posicionamiento de los camiones góndola con los nuevos módulos prefabricados (de 65 t o 150 t) en el radio de alcance de la pluma.
- **Fijación de utillaje:** Anclaje de las eslingas a los puntos de izado integrados en el hormigón de fábrica.
- **Izado, rotación y descenso:** Elevación lenta del nuevo tablero, controlando las oscilaciones con cabos guía manuales (vientos), y colocación milimétrica sobre los neoprenos zunchados de los estribos recalados.
- **Desenganche y cosido:** Liberación de la grúa LIEBHERR para proceder a los trabajos de sellado definitivo de las juntas con hormigón de altas prestaciones.

6.2. Estrategia de Simultaneidad.

La estrategia de simultaneidad plantea la ejecución paralela y concurrente de los trabajos en dos de las tres estructuras del proyecto. Bajo este modelo de planificación, las actividades críticas —tales como el corte diamantado de los tableros antiguos, la perforación de los micropilotes para el recalce de estribos y el posterior izado de los módulos prefabricados Formex— se acometen de forma solapada en dos frentes de trabajo independientes.

El objetivo primordial de esta estrategia es comprimir drásticamente el camino crítico global de la obra, reduciendo el tiempo total de restricciones severas en la pedanía. La viabilidad de este planteamiento se fundamenta en los siguientes criterios logísticos y sociales:

6.2.1. Independencia Logística y Doble Eje de Suministro

La ejecución concurrente de dos estructuras es técnicamente viable gracias a la configuración geográfica de los accesos a El Palmar, lo que permite establecer rutas de abastecimiento totalmente diferenciadas para evitar interferencias mutuas:

- **Eje Norte (CV-500):** Suministra de forma directa y exclusiva al tajo del Puente 1 y, en función de la fase, al Puente 2. Cuenta con capacidad estructural y geométrica consolidada para absorber transportes especiales.
- **Eje Sur (Acceso Sollana):** Actúa como la vía de entrada alternativa para la maquinaria pesada y los módulos prefabricados destinados al Puente 3 y al Puente 2. Las inspecciones de campo han validado que este itinerario agrícola asfaltado dispone de los radios de giro necesarios para el paso de la grúa LIEBHERR LTM-1250/1 y los camiones góndola, garantizando el suministro continuo en escenarios de máxima restricción.

Esta duplicidad de accesos permite establecer dos líneas de producción paralelas con equipos de obra independientes, duplicando el rendimiento general sin generar un colapso por acumulación de maquinaria en un único vial.

Estudio de soluciones para la sustitución de tableros y adecuación de la infraestructura en los puentes de acceso a la pedanía El Palmar de la ciudad de València

6.2.2. Configuración Preferente: Simultaneidad en Puentes 1 y 2

Aunque la estrategia conceptual permite emparejar la ejecución simultánea de cualquier par de estructuras, el proyecto determina como configuración óptima y preferente la intervención conjunta en el Puente 1 (Acceso Norte) y el Puente 2 (Intermedio).

La justificación de esta elección responde a un criterio riguroso de mínima afección social y seguridad vial:

- **Minimización del aislamiento de la población:** El Puente 3 (Acceso Sur) se sitúa de forma inmediata junto al núcleo urbano de El Palmar y da servicio al vial de la EDAR. Si se mantuviera abierto este tercer puente mientras se ejecutan simultáneamente el 1 y el 2, la pedanía conservaría su conexión directa y fluida con el exterior a través del Acceso de Sollana.
- **Garantía de conectividad:** Al concentrar los cortes temporales en la zona norte e intermedia (Puentes 1 y 2), se consigue aislar a la menor cantidad de población posible. Los residentes, los comercios, el transporte público (EMT) y, crucialmente, los vehículos de emergencia (ambulancias y bomberos) mantendrán una vía de evacuación y entrada 100% operativa y conectada de forma directa con el casco urbano durante toda esta fase de la obra, mitigando el riesgo de confinamiento físico de la pedanía.

6.3. Estrategia de Secuencialidad.

Frente a la ejecución solapada analizada en el apartado anterior, la estrategia secuencial plantea una intervención sucesiva y lineal a lo largo del trazado. Bajo este modelo de planificación, se establece la premisa estricta de finalizar por completo los trabajos estructurales en un vano (incluyendo la deconstrucción del tablero histórico, la ejecución de la cimentación profunda y el montaje del nuevo tablero Formex) antes de autorizar el despliegue de maquinaria y el corte de tráfico en el siguiente.

El avance lógico propuesto para este modelo seguiría el flujo de los accesos, priorizando un orden consecutivo (por ejemplo, Puente 1 -> Puente 2 -> Puente 3). Esta alternativa prioriza el control técnico y la seguridad operativa por encima de la compresión extrema del cronograma general, basándose en los siguientes pilares fundamentales:

- **Concentración de Flujos y Control de Calidad:** Al focalizar la totalidad de los medios auxiliares, los equipos de perforación y la maquinaria de izado (grúa LIEBHERR LTM-1250/1) en un único tajo activo, se simplifica drásticamente la logística interna de la obra. Esta concentración evita la dispersión de recursos en diferentes puntos de la marjal y permite una supervisión técnica mucho más exhaustiva por parte de la Dirección de Obra. Esto resulta especialmente crítico para facilitar el control de calidad continuo en partidas complejas, como la verificación de los estratos durante el recalce con micropilotes o las maniobras milimétricas de apoyo de los módulos prefabricados.
- **Garantía Absoluta de Movilidad y Protección Civil:** Representa la mayor ventaja de esta estrategia a nivel de impacto social. Al mantener siempre en servicio dos de las tres estructuras, se asegura que los residentes, negocios y parcelas agrícolas situadas en los tramos intermedios de la pedanía dispongan en todo momento de una vía de evacuación expedita (ya sea con salida hacia el eje norte de la CV-500 o hacia el desvío sur por Sollana). Con esta secuencia, se elimina por completo el riesgo de generar "bolsas de aislamiento" en el tramo central de la calle Vicent Baldoví, garantizando el flujo constante de servicios de emergencia.
- **Flexibilidad ante Contingencias Operativas:** Trabajar en un esquema de "uno a uno" dota al proyecto de una gran capacidad de adaptación. Si surgiese cualquier imprevisto técnico o climatológico durante la excavación o el izado, el retraso quedaría encapsulado exclusivamente en ese punto. No

habría transportes especiales paralizados esperando en otras zonas ni cortes de tráfico inútiles, evitando un efecto dominó que desestabilice todo el plan de obra.

Escenario Estratégico	Ventajas Competitivas	Desventajas y Riesgos Críticos
Simultaneidad Parcial (Ej: Puentes 1 y 2 a la vez)	• Reducción drástica del cronograma: Compresión del plazo global de obra (estimado entre un 30% y 40%). • Optimización financiera: Menor coste de medios indirectos, amortizando la implantación conjunta. • Concentración temporal: La afección social se acota a un periodo de tiempo muy breve e intensivo.	• Duplicidad de equipos: Exigencia de movilizar dos equipos críticos simultáneamente (grúas LTM-1250/1 y pilotadoras). • Riesgo de aislamiento: Posible confinamiento temporal de residentes en tramos intermedios de la pedanía. • Vulnerabilidad logística: El fallo o bloqueo de un acceso paraliza el suministro de la obra por completo.
Secuencialidad Lineal Puente 1 -> Puente 2 -> Puente 3	• Garantía de movilidad: Transitabilidad constante del núcleo urbano y flujo asegurado para servicios de emergencia. • Menor presión espacial: Nula acumulación simultánea de maquinaria pesada en el entorno protegido. • Flexibilidad técnica: Alta capacidad de adaptación ante imprevistos (geotécnicos o climáticos) sin generar efecto dominó.	• Dilatación del cronograma: Incremento muy significativo del plazo total de ejecución del proyecto. • Afección económica prolongada: Impacto sostenido en el tiempo sobre el tejido comercial y hostelero local. • Fatiga vecinal: Riesgo de agotamiento social debido a la presencia crónica y prolongada de las obras.

Tabla 7. Análisis Comparativo de Planificación Logística.

6.4. Gestión de Desvíos y Afección al Tráfico.

6.4.1. Justificación del Desvío

Tal y como se analizó exhaustivamente en el Apartado 2.4 (Condicionantes de Movilidad), la pedanía de El Palmar presenta una dependencia absoluta de la calle Vicent Baldoví como único eje de acceso. En dicho apartado quedó demostrada la inviabilidad operativa de establecer desvíos a través de rutas alternativas (eje costero de El Perelló/El Perellonet o vías agrícolas hacia Sollana), dado el inasumible incremento de tiempos de recorrido, la incompatibilidad geométrica para el cruce de vehículos pesados y la obligación de mantener el servicio público de la Línea 24 de la EMT. Partiendo de esta premisa de contorno, se plantea el diseño de un desvío provisional localizado en el entorno inmediato de las estructuras.

6.4.2. Solución Paralela en Puentes 1 y 3: Pedraplén y Marcos Prefabricados

Para evitar el aislamiento de la pedanía y posibilitar la construcción de los nuevos tableros a sección completa (minimizando el camino crítico del proyecto), se proyecta la ejecución de desvíos provisionales paralelos. Por razones espaciales y ambientales, esta solución se aplicará exclusivamente en los Puentes 1 y 3.

La solución de ingeniería adoptada huye de los terraplenes masivos convencionales y se alinea con la filosofía de industrialización mediante la siguiente secuencia constructiva:

- Cama de Asiento (Pedraplén Provisional): Se realiza el vertido y regularización de un pedraplén sobre el lecho del canal de la acequia. Esta capa actúa como elemento repartidor de cargas, nivelando el fondo limoso y evitando asientos diferenciales ante el tráfico pesado.
- Superestructura Temporal (Marcos Prefabricados): Sobre el pedraplén se dispone, mediante grúa, una batería de marcos prefabricados de hormigón armado y encima una capa de asfalto. Estos garantizan mecánicamente el paso de autobuses y maquinaria agrícola mientras salvaguardan la sección hidráulica del canal.
- Reversibilidad Ambiental: Una vez inaugurados los nuevos puentes, se fresa el pavimento ejecutado, se izan los marcos y se draga la totalidad del pedraplén, restituyendo la batimetría original de la acequia y garantizando un impacto ecológico nulo en el Parque Natural de la Albufera.

A diferencia de las otras estructuras, el Puente 2 presenta una imposibilidad física y legal para albergar un desvío paralelo. Su ubicación, confinada entre edificaciones y parcelas de altísimo valor ecológico, haría que cualquier desvío exigiese expropiaciones masivas y una desviación geométrica incompatible con la normativa del Parque Natural.

El análisis temporal de las actuaciones proyectadas revela una optimización drástica en el camino crítico del proyecto. Bajo un escenario de ejecución secuencial, la implementación conjunta de las estrategias logísticas y los sistemas prefabricados logra reducir el periodo de corte total de tráfico de los 123 días naturales, estimados para una construcción mediante métodos tradicionales, a tan solo 37 días naturales.

Esta compresión de la planificación se traduce en una reducción neta de 86 días naturales de afección severa a la vía. Desde la perspectiva de la dirección de proyectos, este ahorro temporal justifica la viabilidad de la alternativa, ya que minimiza exponencialmente el impacto socioeconómico sobre los

residentes y el tejido comercial de El Palmar, garantizando una restitución ágil de la movilidad y del servicio de transporte público.

7. VALORACIÓN ECONÓMICA COMPARATIVA

7.1. Presupuesto de Ejecución Material (PEM) por Alternativa (Software Presto).

El presente apartado recoge la estimación de los costes de ejecución para cada uno de los escenarios planteados. Con el objetivo de dotar al Estudio de Soluciones del máximo rigor analítico, la cuantificación económica no se ha realizado mediante ratios paramétricos globales, sino a través de una medición detallada y la elaboración de un presupuesto analítico utilizando el software de gestión de costes Presto.

El listado completo de mediciones desglosadas, los cuadros de precios unitarios y los presupuestos detallados por capítulos se incluyen íntegramente en el *Documento nº3: Presupuesto* de este documento.

Para la obtención de los precios unitarios (Cuadro de Precios Nº1), se ha empleado una metodología mixta:

- Unidades de obra civil convencional (movimiento de tierras, demoliciones, firmes y pavimentos): Se han adoptado los precios de bases de datos oficiales actualizados a valores de mercado.
- Unidades singulares e industrializadas (tableros prefabricados de UHPC FORMEX, soluciones en Acero Dúplex y sistemas de contención): Se han recabado ofertas técnicas y económicas reales directamente de empresas especialistas y proveedores del sector, garantizando una alta fiabilidad en la comparativa de los capítulos de mayor peso económico.

Tras la modelización en Presto, se han calculado los Presupuestos Base de Licitación (PBL) para cada alternativa. Estos importes representan la inversión total requerida por la Administración, incluyendo el Presupuesto de Ejecución Material (PEM), el porcentaje correspondiente a Gastos Generales (GG), el Beneficio Industrial (BI) del contratista y el Impuesto sobre el Valor Añadido (IVA).

Alternativa Estudiada	PBL (PEM + GG + BI + IVA)
0. Reparación	314.026,84 €
1. Tablero 9m FORMEX (Desvíos Definitivos)	4.733.310,77 €
2. Tablero 9m FORMEX (Losas prefabricadas)	3.983.660,30 €

Alternativa Estudiada	PBL (PEM + GG + BI + IVA)
3. Tablero 7.2m FORMEX (Losas prefabricadas)	3.376.171,90 €
4. Tablero 7m DÚPLEX (Losas prefabricadas)	4.262.531,76 €
5. Tablero 4m FORMEX (Losas prefabricadas)	3.153.841,45 €

Tabla 8. Resumen Comparativo del Presupuesto Base de Licitación (PBL).

A la vista de los resultados, se extraen conclusiones determinantes para la viabilidad del proyecto. Como era previsible, la Alternativa 0 (Reparación) resulta la opción con menor inversión inicial (314.026,84 €); sin embargo, se trata de una medida puramente paliativa que no resuelve las carencias geométricas ni estructurales a medio plazo.

Por otro lado, la Alternativa 1, que contempla la ejecución con desvíos definitivos, se dispara hasta los 4,73 M€ debido al altísimo coste de las obras auxiliares y movimiento de tierras. La Alternativa 2 (Tablero 9m FORMEX con losas prefabricadas), que es la solución técnica y funcionalmente óptima, presenta un coste de 3.983.660,30 €. Se sitúa en un rango intermedio, resultando más económica que las soluciones en Acero Dúplex (Alternativa 4), demostrando que la industrialización y el uso de UHPC logran contener los costes directos.

7.2. Análisis de Costes Indirectos y de Implantación.

El Presupuesto Base de Licitación (PBL) analizado en el apartado anterior define los costes directos de las unidades de obra. Sin embargo, desde la perspectiva de la Dirección de Proyectos, una comparativa económica rigurosa exige evaluar los costes vinculados a la logística, los medios auxiliares y, fundamentalmente, al plazo de ejecución global.

Para ilustrar este impacto, la siguiente tabla relaciona la inversión directa (PBL) con el cronograma global estimado para cada alternativa:

Alternativa Estudiada	PBL (PEM + GG + BI + IVA)	Plazo de Ejecución
0. Reparación	314.026,84 €	-

Alternativa Estudiada	PBL (PEM + GG + BI + IVA)	Plazo de Ejecución
1. Tablero 9m FORMEX (Desvíos Definitivos)	4.733.310,77 €	183 días - 6 meses
2. Tablero 9m FORMEX (Losas prefabricadas)	3.983.660,30 €	140 días - 4,6 meses
3. Tablero 7.2m FORMEX (Losas pref. / Simultánea-Secuencial)	3.376.171,90 €	140 días - 4,6 meses / 186 días - 6,11 meses
4. Tablero 7m DÚPLEX (Losas prefabricadas)	4.262.531,76 €	143 días - 4,7 meses
5. Tablero 4m FORMEX (Losas prefabricadas)	3.153.841,45 €	140 días - 4,6 meses

Tabla 9. Relación entre Inversión Directa y Plazo de Ejecución Global.

La comparativa entre la Alternativa 1 (ejecución tradicional con desvíos definitivos) y los escenarios basados en la industrialización presenta un cambio radical en la estructura de costes del proyecto.

7.2.1. Costes de Implantación y Medios Auxiliares

La adopción de un sistema altamente industrializado requiere una inversión inicial superior en la fase de implantación. La logística de cualquier alternativa (excepto la de reparación) exige la movilización de medios de elevación especiales (grúas autopulsadas de gran tonelaje) capaces de operar en radios amplios para el izado de los tableros completos.

Asimismo, la estrategia de mantener la conectividad mediante desvíos provisionales (pedraplén y batería de marcos prefabricados en los Puentes 1 y 3) supone un incremento en las partidas de obras auxiliares. Esta inversión logística encarece la fase de arranque en comparación con los métodos convencionales.

7.2.2. Optimización de Costes Indirectos por Reducción de Plazo

La aparente penalización económica de la implantación se amortiza de forma inmediata al analizar los Costes Indirectos (CI) dependientes del tiempo. En estimaciones estándar, los CI se calculan como un

porcentaje fijo sobre el PEM. Sin embargo, la realidad de la obra civil demuestra que los Costes Indirectos son directamente proporcionales a la duración del camino crítico.

Al analizar la Tabla 7.2, se evidencia un comportamiento cronológico altamente homogéneo entre las Alternativas 2, 3 (en su escenario simultáneo), 4 y 5, cuyos plazos globales de ejecución son idénticos (140 días) o virtualmente iguales (143 días en el caso de la solución metálica de Acero Dúplex). Desde el punto de vista del procedimiento constructivo, esta convergencia temporal está plenamente justificada: el camino crítico de la obra viene gobernado de forma estricta por las tareas de acondicionamiento de la subestructura, ejecución del pedraplén auxiliar y perforación de los micropilotes de recalce.

La única variable operativa entre estos cuatro escenarios es el izado y posicionamiento físico del tablero. Al tratarse en todos los casos de soluciones industrializadas cortadas y ensambladas en taller, el tiempo necesario para la maniobra de izado con grúa pesada permanece constante, ya que las diferencias de ancho de la plataforma (desde los 4 metros de la Alternativa 5 hasta los 9 metros de la Alternativa 2) no alteran el rendimiento ni la duración de la operación de montaje a pie de obra.

Tal y como refleja la Tabla 7.2, el sistema industrializado de la Alternativa 2, 3 y 5 reduce el plazo de ejecución global de 183 días (escenario 1) a tan solo 140 días naturales. Esta contracción neta de 43 días (prácticamente mes y medio de obra) en el cronograma global (independiente de la drástica reducción de los días de corte total de tráfico) supone un ahorro estructural crítico en los siguientes conceptos:

- Equipo Técnico y Mano de Obra Indirecta: Reducción de 1,5 meses en las nóminas del equipo de gestión (Jefe de Obra, Encargado General, Topografía, Técnico de Prevención y Control de Calidad).
- Instalaciones de Obra: Menor tiempo de alquiler y mantenimiento de casetas, acometidas provisionales y vallados perimetrales.
- Seguridad y Control de Tráfico: Minimización del alquiler de barreras tipo New Jersey, semaforización y balizamiento, elementos cuyo coste se dispara en mantenimientos prolongados.
- Mitigación de Riesgos: Al reducir el tiempo de exposición de la obra, disminuye la probabilidad de incidencias por factores climáticos adversos típicos de la región, traducándose en menores sobrecostes por imprevistos.

7.3. Análisis de Ciclo de Vida (LCC): Inversión inicial vs. Mantenimiento a 50 años.

La evaluación de infraestructuras públicas modernas no puede limitarse a la Inversión Inicial (CAPEX) analizada en los apartados anteriores. Siguiendo las directrices de la *Ley de Contratos del Sector Público* y la *Directiva Europea 2014/24/UE*, resulta preceptivo aplicar un Análisis de Coste de Ciclo de Vida (LCC - Life Cycle Costing). Este enfoque integra los costes de Operación y Mantenimiento (OPEX) proyectados a lo largo de la vida útil de la estructura, establecida normativamente en un horizonte de 50 años.

En el caso específico de los puentes de acceso a El Palmar, el Análisis LCC viene condicionado por dos factores críticos:

- La extrema agresividad del entorno (Clase de Exposición XS3): Las estructuras se ubican en la zona de carrera de mareas y salpicaduras del Parque Natural de la Albufera, un ambiente altamente salino que somete a los materiales a un ataque continuo por cloruros.

- La vulnerabilidad de la conectividad: Al existir un único eje de acceso, cualquier operación de mantenimiento futuro que requiera el corte de carriles generará un impacto socioeconómico inasumible para la pedanía, replicando los problemas de la fase de construcción.

Bajo este prisma, el comportamiento a 50 años de las tres tipologías de materiales estudiadas difiere drásticamente, alterando por completo la rentabilidad de las alternativas.

7.3.1. Alternativa 0 (Reparación de la estructura actual)

Como se ha expuesto en los bloques de diagnóstico, la estructura original de hormigón armado de 1925 se encuentra severamente degradada por la acción de los cloruros. Optar por la Alternativa 0 (Reparación) implica asumir una solución con una ventana de durabilidad muy reducida en un ambiente XS3. A medio plazo, la Administración se vería obligada a realizar inversiones recurrentes en mantenimiento, parches estructurales y, eventualmente, la sustitución total de los tableros en unas pocas décadas, con el consiguiente impacto económico y social para la pedanía.

7.3.2. Soluciones Industriales de Alta Durabilidad (FORMEX y Acero Dúplex)

Frente a la vulnerabilidad del hormigón convencional, las soluciones de obra nueva planteadas en este estudio (Alternativas 1 a 5) basan su viabilidad a largo plazo en el uso de materiales de última generación cuya altísima durabilidad y baja necesidad de mantenimiento están plenamente garantizadas y contrastadas por las empresas especialistas del sector:

- Tecnología UHPC (FORMEX): Los datos técnicos facilitados por el fabricante constatan que este hormigón de ultra altas prestaciones posee una porosidad capilar prácticamente nula. Al ser impermeable al agua y a los agentes agresivos, se elimina por completo el riesgo de corrosión interna de las fibras. El mantenimiento activo de la superestructura durante los 50 años es, por tanto, inexistente, requiriendo únicamente las labores rutinarias del firme asfáltico o la limpieza de sumideros.
- Soluciones en Acero Dúplex: Al igual que el UHPC, las aleaciones de acero dúplex proyectadas para la alternativa metálica cuentan con el aval de la industria metalúrgica especializada, garantizando una resistencia intrínseca a la corrosión en ambientes salinos extremos sin necesidad de aplicar repintados, galvanizados o tratamientos superficiales de mantenimiento a lo largo de su vida útil.

7.3.3. Acotación del Alcance del Estudio

Conviene matizar que, si bien se reconoce la ventaja competitiva y el ahorro que suponen estas tecnologías para los costes de explotación futuros de la Administración (OPEX), el desarrollo de un cálculo numérico y una modelización financiera detallada del Ciclo de Vida (LCC) excede el ámbito y el objeto de este TFM.

La comparativa económica de este trabajo se centra estrictamente en la optimización de los procesos constructivos, la reducción de los plazos de afección vial y la cuantificación del Presupuesto Base de Licitación inicial (CAPEX). No obstante, la contrastada ausencia de mantenimiento de las soluciones de FORMEX y Dúplex se incorpora de forma cualitativa como un factor de peso determinante en la fase de selección de la alternativa óptima.

8. EVALUACIÓN MULTICRITERIO Y SELECCIÓN DE LA SOLUCIÓN ÓPTIMA

8.1. Definición de Criterios de Selección.

Para objetivar la toma de decisiones y garantizar una selección fundamentada en la ingeniería del valor y la dirección de proyectos, se han definido cuatro vectores macro-críticos de decisión. Cada uno de ellos integra una serie de indicadores específicos adaptados a los condicionantes de contorno de la calle Vicent Baldoví en El Palmar:

- **Criterio Social y de Movilidad Funcional (C1)**: Evalúa tanto la eficacia operacional de la infraestructura a largo plazo como el impacto directo sobre la comunidad local durante la fase de construcción. Por un lado, analiza la funcionalidad definitiva mediante la capacidad vial de la plataforma (eliminación del cuello de botella y de la regulación semafórica alternativa), la seguridad geométrica, la accesibilidad universal de los itinerarios peatonales segregados y la compatibilidad con el gálibo transversal de vehículos pesados (Línea 24 de la EMT y maquinaria agrícola tractocargada). Por otro lado, este criterio pondera de forma crítica variables inherentes a la fase de ejecución, tales como la fatiga vecinal (derivada de la producción de ruidos, polvo e incomodidades en los accesos diarios) y la afección económica al tejido comercial y hostelero local por las restricciones de paso. De este modo, se penalizan severamente aquellas alternativas que prolonguen de manera injustificada los tiempos de alteración de la rutina urbana de la pedanía.
- **Criterio Técnico y Estructural (C2)**: Analiza la viabilidad material y mecánica de la superestructura. Sus indicadores miden la durabilidad intrínseca del material ante la difusión de cloruros en ambiente de extrema agresividad marina (Clase XS3), la ligereza estructural (minimización del peso propio) y el nivel de solicitaciones transmitidas a la subestructura histórica de mampostería de 1925, limitando la necesidad de recalces masivos invasivos.
- **Criterio Ambiental y Patrimonial (C3)**: Cuantifica la huella ecológica de la alternativa sobre el ecosistema protegido del Parque Natural de la Albufera. Los indicadores evalúan el cumplimiento estricto de la política de "Vertido Cero" al canal de la acequia, la no ocupación permanente de los márgenes marjalenses, la minimización del impacto visual y el respeto estricto a la servidumbre vial existente sin incurrir en expropiaciones forzosas de suelo protegido.
- **Criterio Económico y Temporal (C4)**: Sintetiza las restricciones financieras y de cronograma de la fase de construcción (CAPEX). Sus indicadores se basan en el Presupuesto Base de Licitación (PBL) final obtenido mediante el modelizado en *Presto*, la duración del camino crítico global del proyecto (*Project*) y, críticamente, la minimización de los días naturales de corte total del tráfico vehicular.

8.2. Ponderación de Alternativas (Método AHP).

Para eliminar la subjetividad en la resolución del problema, se implementa el **Método AHP (Analytic Hierarchy Process)**. Este algoritmo descompone el problema en una estructura jerárquica y calcula las prioridades globales a partir de matrices de comparación paritaria utilizando la escala fundamental de Saaty.

Estableciendo la filosofía de gestión de este TFM (donde la conectividad social y la viabilidad técnica gobiernan el proyecto), se define la distribución de pesos macro en: un **35%** para el Criterio Social (C1), un **25%** para el Criterio Técnico (C2), un **20%** para el Criterio Ambiental (C3) y un **20%** para el Criterio

Económico (C4). La consistencia matemática de esta distribución de pesos ha sido validada obteniendo un *Ratio de Consistencia* (RC = 0,00%) perfectamente alineado con los límites del método.

Criterio	Social (C1)	Técnico (C2)	Ambiental (C3)	Económico (C4)	Prioridad (wi)
Social (C1)	1,000	1,400	1,750	1,750	35,0%
Técnico (C2)	0,714	1,000	1,250	1,250	25,0%
Ambiental (C3)	0,571	0,800	1,000	1,000	20,0%
Económico (C4)	0,571	0,800	1,000	1,000	20,0%

Tabla 10. Matriz de comparación de criterios macro y pesos asignados.

Para la obtención de las prioridades locales de las alternativas, se han parametrizado de forma objetiva los datos cuantitativos de costes y plazos deducidos en el Capítulo 7 (para los criterios técnicos y económicos), y se han cruzado analíticamente los pros y contras del estudio de soluciones (para los criterios sociales y ambientales). Multiplicando estas prioridades locales por el peso global de cada criterio macro (35%, 25%, 20% y 20%), se ejecuta la agregación lineal ponderada que arroja el vector de prioridades globales definitivas:

Alternativa Evaluada	Social (w1=35,0%)	Técnico (w2=25,0%)	Ambiental (w3=20,0%)	Eco/Plazo (w4=20,0%)	Prioridad Global Total
Alt. 0: Reparación	0,052	0,048	0,462	0,455	0,214

Alternativa Evaluada	Social (w1=35,0%)	Técnico (w2=25,0%)	Ambiental (w3=20,0%)	Eco/Plazo (w4=20,0%)	Prioridad Global Total
Alt. 1: 9m FORMEX (Desv. Def.)	0,314	0,295	0,041	0,051	0,202
Alt. 2: 9m FORMEX (Losas Pref.)	0,314	0,295	0,192	0,166	0,255 (Ganadora)
Alt. 3: 7.2m FORMEX (Losas Pref.)	0,188	0,164	0,145	0,190	0,174
Alt. 4: 7m DÚPLEX (Losas Pref.)	0,080	0,150	0,115	0,082	0,105
Alt. 5: 4m FORMEX (Losas Pref.)	0,052	0,048	0,045	0,056	0,050

Tabla 11. Matriz de síntesis global y vectores de prioridad definitivos AHP.

Nota metodológica: El desarrollo algebraico paso a paso, la formulación de las cuatro submatrices paritarias de dimensión 6x6 correspondientes a cada criterio y sus respectivos análisis de vectores propios y consistencia local se detallan de forma exhaustiva en el *Anejo nº 4: Estudio de Soluciones* de este trabajo.

8.3. Justificación de la Solución Propuesta.

Alternativa Planteada	Criterio Social (Peso: 35%)	Criterio Técnico (Peso: 25%)	Criterio Ambiental (Peso: 20%)	Criterio Eco/Plazo (Peso: 20%)	Puntuación Final Ponderada
0. Reparación	1	1	5	5	2,60
1. 9m FORMEX (Desvíos Def.)	5	4	1	1	3,05
2. 9m FORMEX (Losas Prefab.)	5	4	3	3	3,95
3. 7.2m FORMEX (Losas Prefab.)	3	4	4	4	3,65
4. 7m DÚPLEX (Losas Prefab.)	3	3	4	2	3,00
5. 4m FORMEX (Losas Prefab.)	1	3	4	4	2,70

Tabla 12. Matriz de decisión.

El análisis multicriterio formalizado bajo el algoritmo AHP determina que la Alternativa 2 (Tablero de 9 metros de ancho útil en hormigón UHPC FORMEX mediante losas prefabricadas ancladas) constituye la solución óptima absoluta para el objeto del proyecto, alcanzando la mayor prioridad global del estudio (0,255). Los fundamentos de ingeniería y gestión que justifican este fallo técnico se resumen a continuación:

1. Descarte de Soluciones Paliativas o de Capacidad Estricta (Alt. 0 y Alt. 5): Mantener calzadas de carril único con paso alternativo semaforizado penaliza de forma inaceptable el criterio social (35,0%), al perpetuar las retenciones crónicas que afectan a la movilidad local, el turismo y los servicios de emergencia de El Palmar. Además, el diagnóstico estructural descarta la viabilidad de la Alternativa 0 a medio plazo.
2. Inviabilidad de Trazados Alternativos Convencionales (Alt. 1): Un tablero de 9 metros monolítico ejecutado mediante desvíos definitivos sobre la marjal (Alternativa 1) resuelve la funcionalidad vial, pero resulta incompatible con la legislación medioambiental (20,0%). Supondría una ocupación e impacto irreversibles sobre el suelo protegido del Parque Natural de la Albufera y elevaría el presupuesto al máximo del estudio (4,73 M€).
3. Ventaja Operativa Frente a Secciones Intermedias (Alt. 3 y Alt. 4): Las plataformas de 7 y 7,20 metros (Alternativas 3 y 4) posibilitan un doble sentido de circulación estricto, pero inducen un efecto de fricción severo ante el cruce de vehículos pesados (autobuses EMT y remolques agrícolas), obligando a reducir las aceras a dimensiones subóptimas e inseguras según la normativa de accesibilidad.
4. Optimización Logística y Constructiva de la Opción Ganadora (Alt. 2): La Alternativa 2 resuelve de manera integral el problema funcional al implantar una sección de 9 metros, consiguiendo un equilibrio financiero y temporal excelente gracias a dos hitos de gestión:
 - a. **Uso de UHPC FORMEX**: Permite un diseño de losas aligeradas que minimiza drásticamente el peso muerto de la superestructura. Esto hace viable el aprovechamiento y adecuación técnica de los estribos tradicionales de mampostería de 1925 mediante un sistema compacto de cimentación profunda con micropilotes, sin alterar la huella estructural en el canal (25,0% en el Criterio Técnico).
 - b. **Estrategia de Desvíos Provisionales Localizados**: El planteamiento de desvíos temporales paralelos en los Puentes 1 y 3 (batería de marcos sobre pedraplén provisional) permite aislar las zonas de trabajo de forma continua. Gracias a la prefabricación e industrialización del montaje, el camino crítico de afección directa se contrae de 123 días naturales a tan solo 37 días naturales de corte total de tráfico, minimizando exponencialmente la fatiga vecinal por ruidos y accesos, así como la afección económica sobre el tejido comercial y hostelero local durante el periodo de las obras.

Por todo ello, se ratifica la Alternativa 2 como la única solución capaz de satisfacer con rigor de ingeniería la tríada de restricciones financieras (CAPEX controlado de 3.983.660,30 €), optimización de plazos sociales (reducción neta de 86 días de corte de tráfico) y preservación ecosistémica irreversible en la Albufera.

Finalmente, cabe destacar que este diagnóstico, obtenido de forma analítica, metodológica y objetiva a través del modelo matemático AHP, converge y se alinea plenamente con el criterio profesional, la visión constructiva y la experiencia empírica de los expertos de PAVASAL. Esta coincidencia exacta entre el rigor académico y el juicio de los especialistas del sector privado avala de forma definitiva la robustez y viabilidad real de la decisión adoptada.

9. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

9.1. Conclusiones Generales del Trabajo Fin de Máster

El desarrollo de este Trabajo Fin de Máster alcanza satisfactoriamente el objetivo general planteado: diseñar, valorar y justificar una solución técnicamente rigurosa, económicamente viable y medioambientalmente sostenible para la sustitución de los tableros degradados en los puentes de acceso a El Palmar.

De la convergencia entre el rigor de la ingeniería estructural y el marco metodológico de la Dirección de Proyectos, se desprenden las siguientes conclusiones clave:

- Validación de la Tecnología UHPC: El hormigón de Ultra Altas Prestaciones (FORMEX) ha demostrado ser la herramienta de diseño definitiva para entornos de agresividad ambiental extrema (XS3). Su resistencia y compacidad estructural permiten proyectar tableros aligerados de canto mínimo que reducen el peso propio de la superestructura, haciendo viable el aprovechamiento de los estribos históricos de 1925 mediante un sistema complementario de micropilotes.
- Eficiencia Logística y Social: El diseño de desvíos provisionales localizados paralelos (batería de marcos sobre pedraplén temporal) en los Puentes 1 y 3, combinado con la velocidad de montaje de las losas prefabricadas de UHPC, consigue el mayor hito de planificación del estudio: reducir el periodo de corte total de tráfico de 123 días naturales a tan solo 37 días naturales. Esta reducción neta de 86 días mitiga drásticamente la fatiga vecinal y protege la actividad comercial y hostelera de la pedanía.
- Consistencia Jurídica y Ambiental: La solución propuesta (Alternativa 2) respeta escrupulosamente los exigentes condicionantes del Parque Natural de la Albufera, operando bajo la premisa de "Vertido Cero", evitando expropiaciones forzosas en suelo protegido y garantizando la reversibilidad total de las obras auxiliares tras la retirada del pedraplén provisional.

9.2. Discrepancia entre la Solución Académica y la Realidad Operativa: El Factor Político

Una de las mayores lecciones extraídas durante la elaboración de este trabajo, especialmente gracias a la experiencia adquirida en la Mención Dual en empresa (PAVASAL), es la existencia de una brecha entre la optimización técnico-académica y la toma de decisiones real en la obra pública.

La Alternativa 2 se ha consolidado matemáticamente en este TFM como la solución óptima absoluta tras aplicar un riguroso Proceso Analítico Jerárquico (AHP). Sin embargo, es imperativo hacer constar que esta no será la solución que se adopte finalmente en la realidad para la ejecución de las obras.

En el ámbito civil real entra en juego un factor exógeno fundamental que excede los modelos de optimización académica y que no ha sido modelizado en las matrices de decisión estándar: la política y la gestión de los tiempos de la Administración Pública.

Mientras que la ingeniería del valor y este TFM buscan la máxima eficiencia global ponderando el Ciclo de Vida (LCC) a 50 años y la reducción del plazo de obra, la toma de decisiones de los responsables públicos responde a dinámicas diferentes.

Esta divergencia no resta validez al presente TFM; al contrario, lo dota de un valor estratégico diferencial. Este trabajo se erige como un modelo técnico de referencia (Línea Base) frente al cual la constructora y el ayuntamiento pueden medir de forma cuantitativa el coste de oportunidad real (en dinero, en meses de retraso para el pueblo y en pérdida de durabilidad) de las decisiones políticas que finalmente se impongan sobre el terreno.

9.3. Líneas Futuras de Investigación

Partiendo de los campos de conocimiento explorados en este documento, se proponen las siguientes líneas de trabajo para futuros desarrollos académicos o profesionales:

- Modelización Numérica de Juntas en Paneles UHPC: Desarrollar un análisis avanzado mediante elementos finitos enfocado exclusivamente en el comportamiento resistente y a fatiga de las juntas húmedas y conexiones entre las losas prefabricadas de FORMEX bajo las cargas de tráfico pesado de la Línea 24 de la EMT.
- Cuantificación Analítica de los Costes de Usuario: Profundizar en la monetización de los costes sociales indirectos de la obra, evaluando el impacto económico real por minuto de retraso en los itinerarios de transporte público y estimando el impacto en la facturación del sector hostelero de El Palmar durante las ventanas de corte de la vía.
- Cuantificación del Impacto de los Condicionantes Administrativos: Diseñar un modelo de evaluación que incorpore de forma cualitativa las restricciones de viabilidad administrativa en la obra pública, analizando el peso que tienen en la decisión final factores como la aversión al riesgo por materiales no tradicionales, la complejidad de tramitación de expedientes especiales en entornos protegidos y las limitaciones del gasto público a corto plazo.

10. BIBLIOGRAFÍA

Jefatura del Estado. (2017). Ley 9/2017, de 8 de noviembre, de Contratos del Sector Público, por la que se transponen al ordenamiento jurídico español las Directivas del Parlamento Europeo y del Consejo 2014/23/UE y 2014/24/UE, de 26 de febrero de 2014. Boletín Oficial del Estado, (272).

Ministerio de la Presidencia, Relaciones con las Cortes y Memoria Democrática. (2021). Real Decreto 470/2021, de 29 de junio, por el que se aprueba el Código Estructural. Boletín Oficial del Estado, (190).

Ministerio de Fomento. (2011). IAP-11: Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera. Orden FOM/2304/2011, de 2 de agosto. Boletín Oficial del Estado (BOE).

Ministerio de Fomento. (2014). Instrucción de Carreteras 8.3-I.C.: Señalización de obras. Dirección General de Carreteras.

Ministerio de Fomento. (2016). Guía para la realización del control de accesos e inspecciones técnicas en puentes de la Red de Carreteras del Estado. Dirección General de Carreteras.

Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. (2021). Real Decreto 470/2021, de 29 de junio, por el que se aprueba el Código Estructural. Boletín Oficial del Estado (BOE), nº 190. Con especial aplicación y cumplimiento de los siguientes bloques articulados:

- Estructuras de Hormigón: Artículos 26 a 78 (Título 2).
- Estructuras de Acero: Artículos 79 a 108 (Título 3).
- Estructuras Mixtas: Artículos 109 a 124 (Título 4).

UNE-EN 1993-1-4:2007/A2:2021. Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras de acero. Parte 1-4: Reglas generales. Reglas suplementarias para los aceros inoxidables. Asociación Española de Normalización (UNE).

Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process: Planning, priority setting, resource allocation*. McGraw-Hill.

Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1(1), 83-98.

Metalesa Seguridad Vial. (2025). Ficha Técnica: Pretíl urbano Metaurban® N2. Metalesa.

Metalesa Seguridad Vial. (2025). Plano EV_PR_MU_001 (N2+SPM)-T_01: Descripción geométrica y armado sistema de contención Metaurban N2 anclado a tablero (Escala 1:20). Departamento de Ingeniería de Metalesa.

PREFFOR & RDC (Research & Development Concretes). (2023). Soluciones con Hormigón de Muy Alto Rendimiento (UHPC): La nueva generación de estructuras de hormigón [Presentación técnica corporativa].

RDC (Research & Development Concretes). (s.f.). Hormigón de Muy Alto Rendimiento (UHPC): ¿Qué es el UHPC? Concepto y campos de aplicación [Dossier de introducción técnica].

UNE-EN 1317-2:2011. Sistemas de contención para carreteras. Parte 2: Clases de comportamiento, criterios de aceptación para los ensayos de impacto y métodos de ensayo para barreras de seguridad incluidos los pretiles de puentes. AENOR.

UNE-EN 139500:2014. Sistemas de contención para carreteras. Sistemas para la protección de motociclistas en barreras de seguridad y pretiles. AENOR.