

Estudio conceptual acerca de las posibilidades de ampliación y sustitución de tableros de puentes con mínima afección al tráfico.

Trabajo realizado por:
Alberto Gurrea Hernández

Dirigido:
Óscar Ramón Ramos Gutiérrez

Titulación:
Grado en Ingeniería Civil

Santander, diciembre de 2019

TRABAJO FINAL DE GRADO

*Dedicado a mis padres, porque sin ellos
todo esto no hubiera sido posible.
Simplemente, GRACIAS.*



RESUMEN

Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Civil, Mención en Construcciones Civiles.

Título: Estudio conceptual acerca de las posibilidades de ampliación y sustitución de tableros de puentes con mínima afección al tráfico.

Autor: Alberto Gurrea Hernández

Director: Óscar Ramón Ramos Gutiérrez

Convocatoria: Diciembre 2019

Palabras clave: Ampliación, tablero, puente, ensanchamiento.

MOTIVACIÓN

Este Trabajo Fin de Grado se realiza como requisito previo a la obtención del título de Graduado en Ingeniería Civil, mención en Construcciones Civiles en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad de Cantabria. Para su realización se han puesto en práctica conocimientos adquiridos durante la carrera destacando asignaturas como: Construcción de Obras Públicas, Maquinaria, Equipos y Plantas, Tecnología de Estructuras, Impacto Ambiental, Organización y Control de Obras, Comportamiento Mecánico de los Materiales.

El contenido de el trabajo está íntimamente relacionado con la Ingeniería Civil, se trata de una cuestión cada vez mas común hoy en día. En países desarrollados como es el caso de España, EEUU y Europa cobran mas importancia las ampliaciones y el mantenimiento de las infraestructuras ya existentes que la construcción inicial de estas. A las ampliaciones de tableros de puentes se añade el reto de la mínima afección al tráfico, con lo que se pretende la no afección del servicio de la infraestructura durante las obras.

OBJETIVOS

Los objetivos que se plantean son los siguientes:

- Motivación de por qué las ampliaciones son un asunto interesante en la actualidad.
- Metodologías a seguir para la ampliación de puentes, valorando previamente, vida útil residual, capacidad del puente existente, influencia de la nueva carga debida a la ampliación, proceso constructivo, afección al tráfico.
- Casos concretos de ampliaciones realizadas con éxito según las distintas tipologías de puente.



DIAGNOSTICO PARA LA AMPLIACIÓN

INSPECCIÓN

Para realizar una ampliación de la sección transversal de un tablero de puente, en primer lugar debemos conocer e inspeccionar el estado de la estructura. Valorar aspectos tales como el índice de carbonatación del hormigón, la carrera de fatiga de los elementos metálicos, la vida útil de los materiales, la pérdida de recubrimiento de algunos elementos, etc.

Resulta de vital importancia y por esto conviene tener en cuenta la evaluación de la capacidad portante de la estructura, comúnmente denominado Load Rating.

Puede encontrarse un puente con un buen estado de conservación y expectativas adecuadas de vida útil residual, entonces se plantean dos opciones:

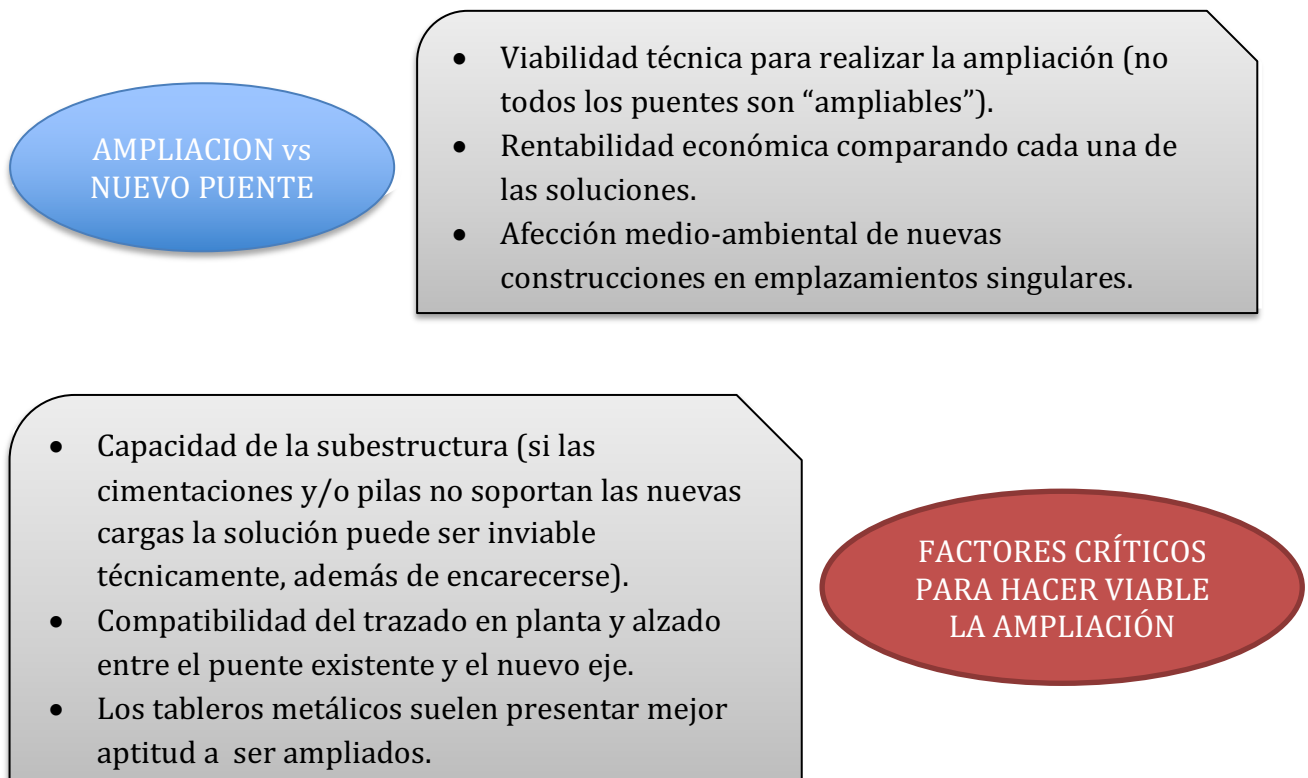
- Realizar un ensanchamiento de la estructura original.
- Construcción de un nuevo puente paralelo al existente.

Sin embargo también puede darse el caso de un puente en mal estado de conservación y expectativas reducidas de vida útil residual, por lo cual las opciones son:

- Rehabilitación + ampliación.
- Rehabilitación + construcción de un puente paralelo al existente.
- Demolición + construcción de un nuevo puente con la capacidad total.

DECISIÓN FINAL

Siempre la elección de una de las anteriores opciones se ve condicionada por factores técnicos, económicos, ambientales y sociales.





MÉTODOS CONCRETOS DE AMPLIACIÓN POR TIPOLOGÍA ESTRUCTURAL

A continuación, se explicarán resumidamente algunos de los métodos de ampliación más empleados según las 4 distintas categorías de estructuras existentes.



Como colofón se describe la ampliación del Puente de Rande (Tramo de la AP-9 Pontevedra-Vigo), hito mundial al ser la primera ampliación de un puente atirantado manteniendo abierto el tráfico del puente existente en todo momento.



PEQUEÑAS OBRAS DE FÁBRICA Y HORMIGÓN ARMADO

Los puentes de fábrica y hormigón armado se caracterizan por sus materiales constitutivos, los cuales presentan grandes resistencias a compresión pero pocas a tracción. Algunos ejemplos de materiales son la sillería de ladrillo y el hormigón armado. Son materializados normalmente por una sucesión de arcos que transmiten las cargas al terreno gracias a pilas o pilonas de gran robustez.

Presentan por norma general luces de vanos reducidas en comparación con otras tipologías, suelen ser menores de 20 metros.

Suelen ser bastante antiguos por lo que su adecuación a las condiciones de tráfico y seguridad actualmente vigentes exigen su refuerzo y ampliación normalmente. Debido a su antigüedad su valor patrimonial suele ser alto ya que se encuentran en zonas de gran valor medioambiental lo que conlleva a actuaciones respetuosas.

Son frecuentes los que poseen algunas de sus pilonas en cauces de ríos o embalses.

Generalmente son puentes a poca altura sobre el terreno o el agua con una subestructura sobredimensionada que garantiza toda la estabilidad del conjunto.

Los fallos en la subestructura, concretamente en la cimentación suelen conllevar a la ruina del puente, por lo que si son detectados estos graves problemas, se suele reemplazar por una nueva estructura íntegramente.

Las ampliaciones de la superestructura, si no son excesivamente importantes pueden acometerse según varios tipos de procedimientos:

- LOSA PREFABRICADA CON ZUNCHOS DE CONEXIÓN
- LOSA IN SITU Y VIGAS DE ATADO
- AMPLIACIÓN CON VIGAS PREFABRICADAS DE HORMIGÓN PRETENSADO
- LOSA ARMADA CON MICROPILOTES EN PILAS Y VOLADIZOS CON PRELOSAS
- LOSA HORMIGONADA IN SITU
- SUSTITUCIÓN COMPLETA DE TABLERO DE HORMIGÓN ARMADO EXISTENTE POR UN TABLERO MIXTO

PUENTES HISTÓRICOS

Son piezas de gran valor patrimonial y al mismo tiempo infraestructuras básicas. Por su antigüedad, materiales, forma, situación, utilidad, significado, son algunas de las características que hacen a estos puentes esenciales tomando el título de Puentes Históricos. Cerca de 30.000 puentes históricos dependen del Ministerio de Fomento porque aún forman parte de la red de carreteras del Estado. Su conservación, junto con el anhelo de ampliar la estructura ensanchando su tablero para resolver de forma hábil los problemas de aglomeración de tráfico, cobran vital importancia. Estos puentes suelen estar próximos a ciudades o situados en el interior de ellas, desempeñan una labor fundamental respecto a la movilidad de la ciudad y sus alrededores.

- PUENTE DE MARÍA CRISTINA, SAN SEBASTIÁN (ESPAÑA)
- PUENTE SOBRE EL RÍO ESLA, VALENCIA DE DON JUAN (ESPAÑA)



PUENTES DE VIGAS DOBLE "T": HORMIGÓN PRETENSADO Y METÁLICOS

Los puentes de vigas son estructuras que conectan dos puntos y por lo tanto facilitan el cruce de áreas impenetrables. A menudo nos encontramos con este tipo de puente en la ciudad y fuera de ella, donde sirven como puentes de carretera, peatonales o como puentes de ferrocarril.

Construidos con vigas dobles (doble T), los puentes tienen la particularidad de ser capaz de adaptarse a los terrenos específicos del lugar donde se disponen.

- Las vigas pueden tener formas rectas o curvas.
- Del mismo modo, el puente de vigas puede tener varias luces. Las alturas de estas pueden ser constantes o variables.
- Dependiendo del caso y del entorno de trabajo, las vigas serán continuas o isostáticas.
- Las vigas son generalmente paralelas y están unidas con espaciadores. A continuación, ellas albergan una losa que apoyará la calzada. Denominando a todo el conjunto como tablero.

Los puentes de vigas son muy recomendables para las estructuras de baja altura y tienen un buen rendimiento mecánico.

Otra de las muchas ventajas de esta tipología de puente es que conllevan una realización bastante sencilla en comparación con otros tipos de estructuras. Los materiales de ese puente son duraderos y requieren poco mantenimiento cuando las fases de construcción están bien ejecutadas. La prefabricación de vigas es ventajosa no sólo técnicamente sino también desde un punto de vista económico. Los puentes de vigas tienen más propiedades isostáticas que permiten que la obra siga siendo casi completamente insensible al hundimiento de terreno.

Las ampliaciones de este tipo de estructuras suelen resultar bastante más simples que otras tipologías, el principal modo de ensanche es la adición de más vigas adosadas en los laterales de la estructura, ampliando así la zona del tablero. Se pueden prever futuras ampliaciones lo que facilita aún más los trabajos de ensanche.

- AMPLIACIÓN DE LA AUTOPISTA SH-183 DALLAS-TARRANT COUNTY, (EE.UU)
- LBJ BRIDGE 85, TEXAS (EE.UU)
- AMPLIACIÓN Y REHABILITACIÓN DE VARIOS PUENTES EN LA AUTOPISTA INDIANA TOLL ROAD, (EE.UU)

GRANDES VIADUCTOS

Se contempla el caso de dos grandes viaductos ampliados en España, dentro de la Autovía del Cantábrico: El Arco de la Regenta y el Puente de los Santos.

Fueron construidos en la década de los años 80 y 90 para una vía de dos carriles de circulación, un carril para cada sentido.

Desde el año 2003-2008 se proyectó y se construyó la ampliación de dicha vía a una autovía de 2+2 carriles de circulación, 2 por sentido.



El Arco de la Regenta fue proyectado inicialmente previendo una futura ampliación de la vía pasando esta de ser una carretera convencional de un carril por sentido a una Autovía de dos carriles en cada dirección. Esta previsión de ampliación facilitó los trabajos de construcción enormemente.

Sin embargo el Puente de los Santos no fue concebido para albergar futuras ampliaciones por lo que fue necesario un mayor esfuerzo y complejidad técnica para llevar a cabo dicha ampliación.

- AMPLIACIÓN PUENTE PINTOR FIERROS. ARCO DE LA REGENTA
- AMPLIACIÓN DEL PUENTE DE LOS SANTOS

AMPLIACIÓN DEL PRIMER PUENTE ATIRANTADO EN EL MUNDO. RANDE

La ampliación del icónico puente de Rande que cruza la ría de Vigo a través de una estructura atirantada de 704 metros de longitud y 400 metros de luz principal, es por su complejidad técnica la obra más singular del tramo de la AP-9, habiendo condicionado todo el proyecto y absorbido buena parte de su presupuesto 105,5 millones de euros. La solución planteada, una vez descartada por costosa la construcción de un nuevo puente, se basa en el máximo aprovechamiento de la capacidad portante del puente existente, finalizado en el año 1977 y con una vida residual prospera. Consiste en la adición de un nuevo carril por sentido de circulación a cada uno de los lados exteriores de la plataforma, ampliando así la capacidad del puente de dos a tres carriles por sentido.

CONCLUSIÓN

Según el estudio realizado sobre las diversas formas de ampliación y sustitución de tableros de puente, puede finalizarse este trabajo planteando algunas conclusiones.

1. Necesidad e importancia de ampliar.

La primera conclusión que se obtiene de la elaboración de este trabajo final de grado es la necesidad e importancia de ampliar las estructuras existentes Vs. nueva construcción. Son muchas las estructuras existentes y un gran número de ellas presentan buenas condiciones para realizar ampliaciones o ensanchamientos de su tablero.

2. Numerosos puentes en países desarrollados se encuentran en la fase final de su vida útil.

España, Francia, Alemania, Europa en general, los EE.UU, tienen en común que son países desarrollados y cuentan con medios para invertir en infraestructuras. La segunda conclusión que nos proporciona el haber realizado este estudio sobre posibles ampliaciones es la escasa vida residual de muchas de las estructuras construidas en estos lugares durante los años 30, 40, 50, 60..., la edad media de éstas ronda los 80 años, por lo tanto, es vital la rehabilitación de dichas estructuras.



3. Necesidad de poner a punto una metodología de inspección y evaluación.

Como consecuencia a la elaboración de este trabajo, surgen algunas dudas sobre las metodologías que se llevan a cabo, no tanto para la inspección, pero sí para la evaluación de la capacidad portante y de la vida útil de estructuras como paso previo a cualquier operación de rehabilitación y ampliación. Por esta razón es muy interesante asentar las bases de una metodología a seguir para evaluar una estructura y decidir sobre sus posibilidades o no de ampliación.

4. No siempre es posible ampliar.

En gran parte de este trabajo se comentan proyectos de ampliación de estructuras de mayor o menor envergadura. No por esto debe asumirse que toda estructura es ampliable, en algunos casos no es viable técnica u económicamente.

En el transcurso de elaboración del estudio se desecharon puentes los cuales no pudieron ser ensanchados por distintos motivos.

5. Existen diversos procedimientos/alternativas para ampliar.

Adentrándonos mas en el desarrollo de este estudio, diferenciamos cuatro grandes grupos de estructuras que a su vez diferenciamos en distintos procedimientos/alternativas para acometer la ampliación.

Mantener los puentes en servicio, la llamada “no afección al tráfico”, puede conseguirse de distintas formas en función de las características de la estructura. Se estudian desde las actuaciones mas sencillas hasta los viaductos mas grandes y complejos.



ABSTRACT

Final Degree thesis in Civil Engineering, Mention in Civil Constructions.

Title: Conceptual study on the possibilities of expansion and replacement of bridge decks with minimal effect on traffic.

Author: Alberto Gurrea Hernández

Thesis Supervisor: Óscar Ramón Ramos Gutiérrez

Announcement: December 2019

Key words: Enlargement, board, bridge, widening.

MOTIVATION

This Final Degree Project is carried out as a prerequisite to obtaining the degree of Graduate in Civil Engineering, mention in Civil Constructions at the Higher Technical School of Civil Engineering of the University of Cantabria. In order to carry it out, the knowledge acquired during the career has been put into practice, highlighting subjects such as: Construction of Public Works, Machinery, Equipment and Plants, Structures' Technology, Environmental Impact, Organization and Control of Works, Mechanical Behavior of Materials.

The content of this work is intimately related to Civil Engineering, which is an increasingly common issue today. In developed countries such as Spain, the United States and Europe, the expansion and maintenance of existing infrastructures are more important than their initial construction. To the extensions of bridge decks is added the challenge of causing the minimum effect on traffic, which is intended not to affect the service of the infrastructure during the works.

GOALS

The objectives are as follows:

- Motivation as to why enlargements are an interesting subject at the present time.
- Methodologies to follow for the extension of bridges, evaluating previously, residual useful life, capacity of the existing bridge, influence of the new load due to the extension, construction process, effect on traffic.
- Specific cases of successful extensions according to the different types of bridge.



DIAGNOSIS FOR ENLARGEMENT

INSPECTION

To enlarge the cross-section of a bridge deck, we first need to know and inspect the condition of the structure. Evaluate aspects such as the carbonation index of the concrete, the fatigue stroke of the metallic elements, the useful life of the materials, the loss of coating some elements, etc.

It is of vital importance and for this reason it is important to take into account the evaluation of the load-bearing capacity of the structure, commonly called Load Rating.

A bridge can be found in good state of conservation and adequate expectations of residual useful life, then two options will be considered:

- Perform a widening of the original structure.
- Construction of a new bridge parallel to the existing one.

However, there may also be the case of a bridge in a poor state of conservation and reduced expectations of residual useful life, which is why the options are:

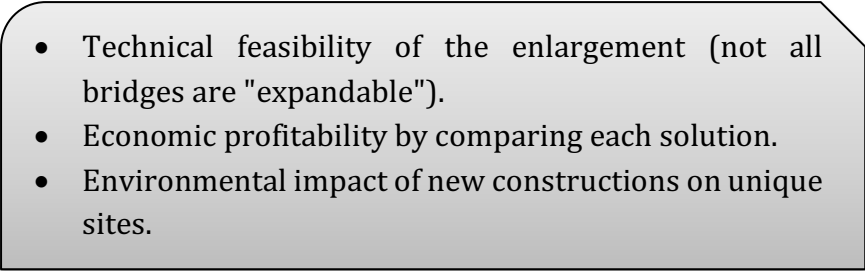
- Rehabilitation + enlargement.
- Rehabilitation + construction of a bridge parallel to the existing one.
- Demolition + construction of a new bridge with full capacity.

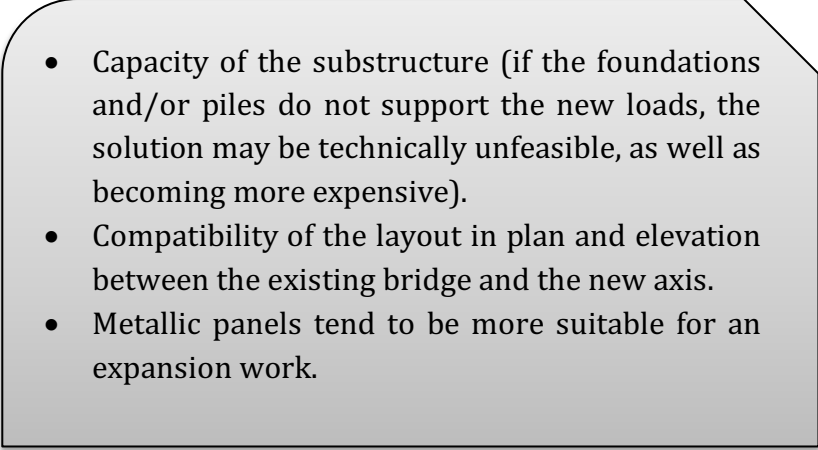
FINAL DECISION

The choice of one of the above options is always conditioned by technical, economic, environmental and social factors.



ENLARGEMENT
vs NEW BRIDGE

- 
- Technical feasibility of the enlargement (not all bridges are "expandable").
 - Economic profitability by comparing each solution.
 - Environmental impact of new constructions on unique sites.

- 
- Capacity of the substructure (if the foundations and/or piles do not support the new loads, the solution may be technically unfeasible, as well as becoming more expensive).
 - Compatibility of the layout in plan and elevation between the existing bridge and the new axis.
 - Metallic panels tend to be more suitable for an expansion work.

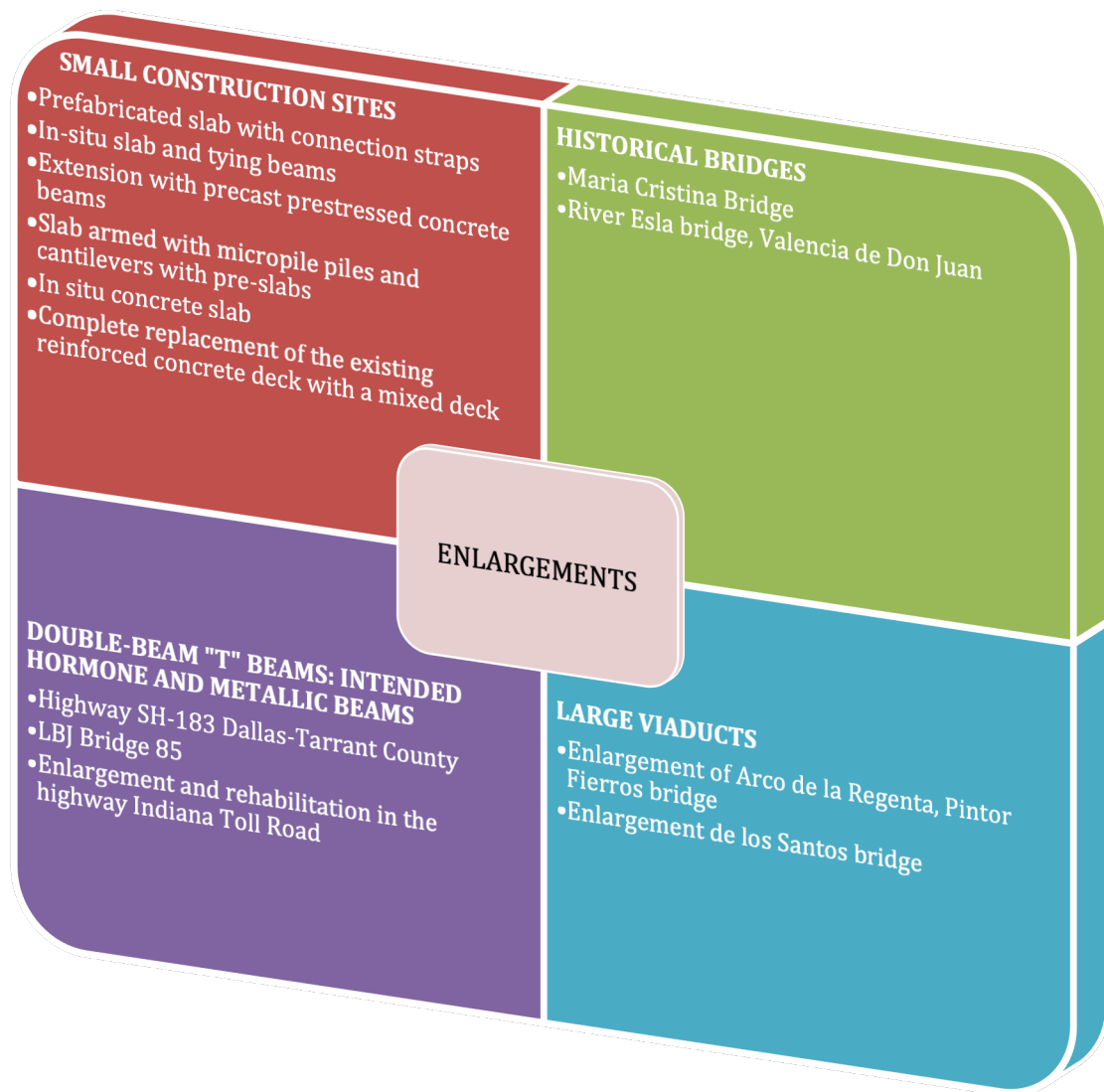


CRITICAL FACTORS
FOR MAKING
ENLARGEMENT



SPECIFIC METHODS OF ENLARGEMENT BY STRUCTURAL TYPOLOGY

Below summarized is to find some of the most commonly used extension methods for the 4 different categories of existing structures.



As a colophon, the enlargement of the Rande Bridge (Section of the AP-9 Pontevedra-Vigo) is described. A world reference as it is the first extension of a cable-stayed bridge keeping the traffic of the existing bridge open at all times.

SMALL CONSTRUCTION SITES AND REINFORCED CONCRETE

Factory bridges and reinforced concrete are characterized by their constituent materials, which present great resistance to compression but few to traction. Some examples of materials are brick masonry and reinforced concrete. They are usually materialized by a



succession of arches that transmit the loads to the ground thanks to piles or pylons of great robustness.

As a general rule, they have small spans compared to other types, usually less than 20 meters.

They are usually quite old, so their adaptation to today's traffic and safety conditions requires their reinforcement and extension normally. Due to their age, their heritage value is usually high as they are found in areas of great environmental value, which leads to respectful actions.

They are frequent those that have some of their pylons in riverbeds or reservoirs.

Generally, they are bridges with little height over the land or water with an oversized substructure that guarantees the stability of the whole structure.

Failures in the substructure, particularly in the foundation, often lead to the damage of the bridge, so if these serious problems are detected, it is usually replaced by a completely new structure.

Extensions of the superstructure, if they are not excessively important, can be undertaken according to various types of procedures:

- PREFABRICATED SLAB WITH CONNECTION STRAPS
- IN-SITU SLAB AND TYING BEAMS
- EXTENSION WITH PRECAST PRESTRESSED CONCRETE BEAMS
- SLAB ARMED WITH MICROPILE PILES AND CANTILEVERS WITH PRE-SLABS
- IN SITU CONCRETE SLAB
- COMPLETE REPLACEMENT OF THE EXISTING REINFORCED CONCRETE DECK WITH A MIXED DECK

HISTORICAL BRIDGES

They are pieces of great patrimonial value and at the same time basic infrastructures. Characteristics like their antiquity, materials, shape, location, usefulness, are some examples that make these bridges essential, taking the title of Historic Bridges. Nearly 30,000 historic bridges depend on the Ministry of Development because they still form part of the State's road network. Its conservation is a key aspect and as well as the desire to enlarge the structure by widening its board in order to skillfully solve the problems of traffic agglomeration. These bridges are usually located close to or within cities and play a fundamental role in the mobility of the city and its surroundings.

- BRIDGE OF MARÍA CRISTINA, SAN SEBASTIÁN (SPAIN)
- BRIDGE OVER THE ESLA RIVER, VALENCIA, SPAIN.



DOUBLE-BEAM "T" BEAMS: INTENDED HORMONE AND METALLIC BEAMS

Beam bridges are structures that connect two points and therefore facilitate the crossing of impenetrable areas. We often come across this type of bridge in the city and outside it, where they serve as road bridges, pedestrian bridges or as railway bridges.

Built with double beams (double T), the bridges have the particularity of being able to adapt to the specific terrains of the place where they are placed.

- The beams can have straight or curved shapes.
- In the same way, the beam bridge can have several spans. The heights of these can be constant or variable.
- Depending on the case and the working environment, the beams will be continuous or isostatic.
- The beams are generally parallel and connected with spacers. They then house a slab that will support the carriageway. Naming the whole assembly as a board.

Beam bridges are highly recommended for low-rise structures and have good mechanical performance.

Another of the many advantages of this type of bridge is that they are quite easy to build compared to other types of structures. The bridge materials are durable and require little maintenance when the construction phases are well executed. The prefabrication of beams is not only technically but also economically advantageous. Beam bridges have more isostatic properties that allow the building to remain almost completely insensitive to ground subsidence.

The enlargements of this type of structures are usually much simpler than other typologies, the main mode of widening is the addition of more beams attached to the sides of the structure, thus expanding the area of the deck. It is possible to foresee future enlargements, which facilitates even more the widening works.

- EXPANSION OF THE SH-183 DALLAS-TARRANT COUNTY HIGHWAY (U.S.A.)
- LBJ BRIDGE 85, TEXAS (U.S.A.)
- EXPANSION AND REHABILITATION OF SEVERAL BRIDGES ON THE INDIAN TOLL ROAD (U.S.A.)

LARGE VIADUCTS

The case of two large viaducts extended in Spain, within the Cantabrian Highway: El Arco de la Regenta and Puente de los Santos.

They were built in the 80's and 90's for a two-lane road, one lane for each direction.

From 2003-2008 the extension of this road to a 2+2 lane dual carriageway was designed and built, 2 in each direction.

The Arco de la Regenta was initially designed to provide for a future widening of the road from a conventional one-lane road in each direction to a two-lane dual carriageway in each direction. This expansion forecast facilitated the construction work enormously.



However, the Puente de los Santos was not designed to host future extensions, so it was necessary to make a greater effort with technical complexity to carry out this expansion.

- ENLARGEMENT OF THE BRIDGE PINTOR FIERROS. ARCH OF LA REGENTA
- ENLARGEMENT OF THE BRIDGE DE LOS SANTOS

EXTENSION OF THE FIRST CABLE-STAYED BRIDGE IN THE WORLD: RANDE

The extension of the iconic Rande bridge that crosses the Vigo estuary through a cable-stayed structure 704 meters long and 400 meters of main span is, due to its technical complexity, the most singular work of the AP-9 section, having conditioned the whole project and absorbed a large part of its 105.5 million euro budget. The proposed solution, once the construction of a new bridge has been discarded as costly, is based on the maximum utilization of the bearing capacity of the existing bridge, completed in 1977 and with a prosperous residual life. It consists of adding a new lane in each direction of traffic to each of the outer sides of the platform, thus increasing the capacity of the bridge from two to three lanes in each direction.

CONCLUSION

According to the study carried out on the various forms of extension and replacement of bridge decks, this work can be completed by drawing some conclusions.

1. Need and importance of enlargement.

The first conclusion to be drawn from the elaboration of this final degree thesis is the need and importance of expanding existing structures vs. new construction. There are many existing structures and a large number of them present good conditions for carrying out extensions or widening of their deck.

2. Many bridges in developed countries are in the final stages of their useful life.

Spain, France, Germany, Europe in general, the USA, what they have in common is that they are developed countries and have the means to invest in infrastructures. The second conclusion that we have concluded from this study of possible extensions is the short residual life of many of the structures built in these places during the 30s, 40s, 50s, 60s..., having an average life of around 80 years, therefore the rehabilitation of these structures is vital.

3. The need to develop an inspection and evaluation methodology.

As a consequence of the elaboration of this work, some doubts arise about the methodologies that are carried out, not so much for the inspection, but for the evaluation of the load-bearing capacity and the useful life of structures as a previous step to any rehabilitation and extension operation. For this reason, it is very interesting to lay the foundations of a methodology to be followed to evaluate a structure and decide or discard its possibilities of expansion.



4. *It is not always possible to enlarge.*

Much of this work discusses the possibility of some projects to enlarge different structures that might vary in size and other features. However, it should not be assumed that any structure can be expanded; in some cases, it is not technically or economically feasible.

In the course of the study, bridges were discarded which could not be widened for various reasons.

5. *There are several procedures/alternatives to enlarge.*

Taking a deeper look into the development of this study, we differentiate four large groups of structures that differ with one another in some characteristics regarding procedures / alternatives to undertake the desired expansion.

Maintaining bridges in service, the so-called "non-affection to traffic", can be achieved in different ways depending on the characteristics of the structure.

The study ranges from the simplest actions to the largest and most complex viaducts.



1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 ANTECEDENTES	1
1.2 HISTORIA	1
○ 1.2.1 RED VIARIA EN ESPAÑA.....	2
○ 1.2.2 TRÁFICO, VELOCIDADES Y TRAMOS DE CONCENTRACIÓN.....	4
1.3 MOTIVACIÓN.....	5
2 DIAGNÓSTICO PREVIO A LA AMPLIACIÓN	6
2.1 INSPECCIÓN.....	6
○ 2.1.1 INSPECCIÓN BÁSICA.....	7
○ 2.1.2 INSPECCIÓN PRINCIPAL.....	7
○ 2.1.3 INSPECCIÓN ESPECIAL.....	9
2.2 VIDA ÚTIL RESIDUAL	9
○ 2.2.1 EDAD MEDIA DE LOS PUENTES EXISTENTES.....	10
○ 2.2.2 ÍNDICE DE CARBONATACION DEL HORMIGÓN	11
○ 2.2.3 CARRERA DE FATIGA EN ELEMENTOS METÁLICOS.....	14
○ 2.2.4 PÉRDIDA DE RECUBRIMIENTO	16
2.3 EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE, LOAD RATING.....	17
2.4 INFLUENCIA DE OTROS ASPECTOS.....	18
2.5 DECISIÓN FINAL.....	18
3 MÉTODOS CONCRETOS DE AMPLIACIÓN EN FUNCIÓN DE LA TIPOLOGÍA	
ESTRUCTURAL	20
3.1 PEQUEÑAS OBRAS DE FÁBRICA Y HORMIGÓN ARMADO	21
○ 3.1.1 LOSA PREFABRICADA Y ZUNCHOS DE CONEXIÓN.....	21
○ 3.1.2 LOSA IN SITU Y VIGAS DE ATADO	24
○ 3.1.3 AMPLIACIÓN CON VIGAS PREFABRICADAS DE HORMIGÓN PRETENSADO	26
○	27
○ 3.1.4 LOSA ARMADA CON MICROPILOTES EN PILAS Y VOLADIZOS CON PRELOSAS.....	27
○ 3.1.5 LOSA HORMIGONADA IN SITU.....	30
○ 3.1.6 SUSTITUCIÓN COMPLETA DE TABLERO DE HORMIGÓN ARMADO EXISTENTE POR UN TABLERO MIXTO	32
3.2 PUENTES HISTÓRICOS.....	34
○ 3.2.1 PUENTE DE MARÍA CRISTINA, SAN SEBASTIÁN (ESPAÑA).....	34
○ 3.2.2 PUENTE SOBRE EL RÍO ESLA, VALENCIA DE DON JUAN (ESPAÑA).....	38
3.3 PUENTES DE VIGAS DOBLE "T": HORMIGÓN PRETENSADO Y METÁLICOS	41
○ 3.3.1 AMPLIACIÓN DE LA AUTOPISTA SH-183 DALLAS-TARRANT COUNTY, (EE.UU)	41
○ 3.3.2 LBJ BRIDGE 85, TEXAS (EE.UU).....	44
○ 3.3.3 AMPLIACIÓN Y REHABILITACIÓN DE VARIOS PUENTES EN LA AUTOPISTA INDIANA TOLL ROAD, (EE.UU)	46
3.4 GRANDES VIADUCTOS.....	48
○ 3.4.1 AMPLIACIÓN PUENTE PINTOR FIERROS. ARCO DE LA REGENTA.....	48
○ 3.4.2 AMPLIACIÓN DEL PUENTE DE LOS SANTOS.....	60
3.5 AMPLIACIÓN DEL PRIMER PUENTE ATIRANTADO EN EL MUNDO. RANDE.	72
4 CONCLUSIONES.....	78
5 FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO	82
6 REFERENCIAS.....	83



1 INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

En países desarrollados como es el caso de España, EEUU y Europa en general cobran cada vez más importancia las ampliaciones y el mantenimiento de las infraestructuras existentes que su construcción inicial. A las ampliaciones de tableros de puente se añade el reto de la mínima afección al tráfico. Se pretende no interrumpir el servicio de la infraestructura durante la ejecución de las obras, en el caso de no ser posible, se intentará minimizar la afección al tráfico.

Se trata de un aspecto que tiene bastante importancia en la actualidad, con numerosas ampliaciones por todo el mundo. Obras de ampliación que se ponen al servicio de los ciudadanos para satisfacer sus necesidades relacionadas principalmente con el transporte por carretera. Es común encontrar noticias relacionadas en periódicos o informativos de televisión.

- En el diario ABC de Sevilla, con fecha 05/12/2018 se anuncia la noticia *“Fomento dice ahora que la ampliación del puente del Centenario de Sevilla es solo «una posibilidad»”*.^[1] (Martos, 2018)
Se estudia la viabilidad técnica y económica de la sustitución de los tirantes del Puente del Centenario en Sevilla y su posible ampliación.
- En Faro de Vigo, con fecha 02/1/2018 el titular es *“Así se construyo la ampliación del puente de Rande”*.^[2] (Vigo, 2018)
Donde el ministerio de fomento publica un video sobre el avance de las obras y el aspecto final de la infraestructura ampliada pasando de 4 a 6 carriles tras las obras, siendo pioneros a nivel internacional ya que se trata de la primera ampliación de un puente atirantado.
- El Diario Montañés, con fecha 02/2/2019 publica *“La ampliación del puente de Cartes, obliga regular el tráfico dos semanas”*.^[3] (Cavia, 2019)
Se trata de una ampliación sobre el río Besaya, con la que se dotará a dicho puente de dos metros y medio adicionales por sentido, que servirán de paso para ciclistas y peatones. Se debe cortar un carril en el inicio de ejecución de las obras.

1.2 HISTORIA

La construcción de puentes y obras de paso se data desde tiempos muy lejanos, con el paso del tiempo se han ido mejorando las técnicas, los materiales empleados y los conocimientos sobre el comportamiento de estos materiales. Los primeros puentes tienen su origen promovido por establecer las primeras vías de comunicación comerciales.



Nos remontamos a tiempos pasados cuando pensamos en el origen de las carreteras, caminos estrechos, llenos de polvo que servían en la antigüedad para transportar mercancías de unas ciudades a otras.

Hacia el 300 a.C., los romanos fueron los primeros en construir las carreteras de forma científica. Su técnica fue tan elaborada que persistiría a lo largo de 2.000 años. La conexión de las calzadas romanas con la Ruta de la Seda dará lugar a la ruta mas larga del mundo durante 2.000 años, que partía de Cádiz y terminaba en Shanghái aproximadamente 12.800 km. En Hispania los romanos construyeron la Vía Augusta, de unos 1.500 km de longitud, y que unía Cádiz con los Pirineos.

En la Edad Media se abandonaron las calzadas romanas, y muchas se destruyeron y se utilizaron como canteras. Durante los siglos XV y XVI se comenzaron a pavimentar las calles, aumentó el interés por el desarrollo de carreteras especialmente en Francia, y apareció la primera carretera de peaje en Inglaterra.

La técnica moderna de construcción de carreteras comenzó entre los siglos XVIII y XIX. Las primeras autopistas surgen en el siglo XX, en Italia años 20, y en Alemania años 30, tras la primera guerra mundial, es necesario invertir en infraestructuras en los países afectados. En España se construye la primera autopista de peaje en los años 60, mas de 20 años después de la finalización de la guerra Civil del país.

Tras los conflictos bélicos los países que intervienen en ellos tienen grandes carencias en sus infraestructuras, debilitadas por la guerra, se inicia entonces un periodo de emersión.

1.2.1 RED VIARIA EN ESPAÑA

A medida que transcurren los años el desarrollo económico, social y cultural va en aumento, y cada vez son más necesarias las relaciones comerciales entre puntos separados por grandes distancias. De ahí que cada país elabore su plan de modernización y organización de Carreteras.

Algunos, como España, realizaron en un principio una organización radial, uniendo con la capital Madrid distintos puntos como Barcelona, Valencia, Cádiz, Badajoz, La Coruña e Irún. Más adelante se seguiría extendiendo la red interconectando las 6 vías radiales entre sí, dando lugar a conexiones a lo largo del Mediterráneo, del Cantábrico, etc. (*Figura 1*)

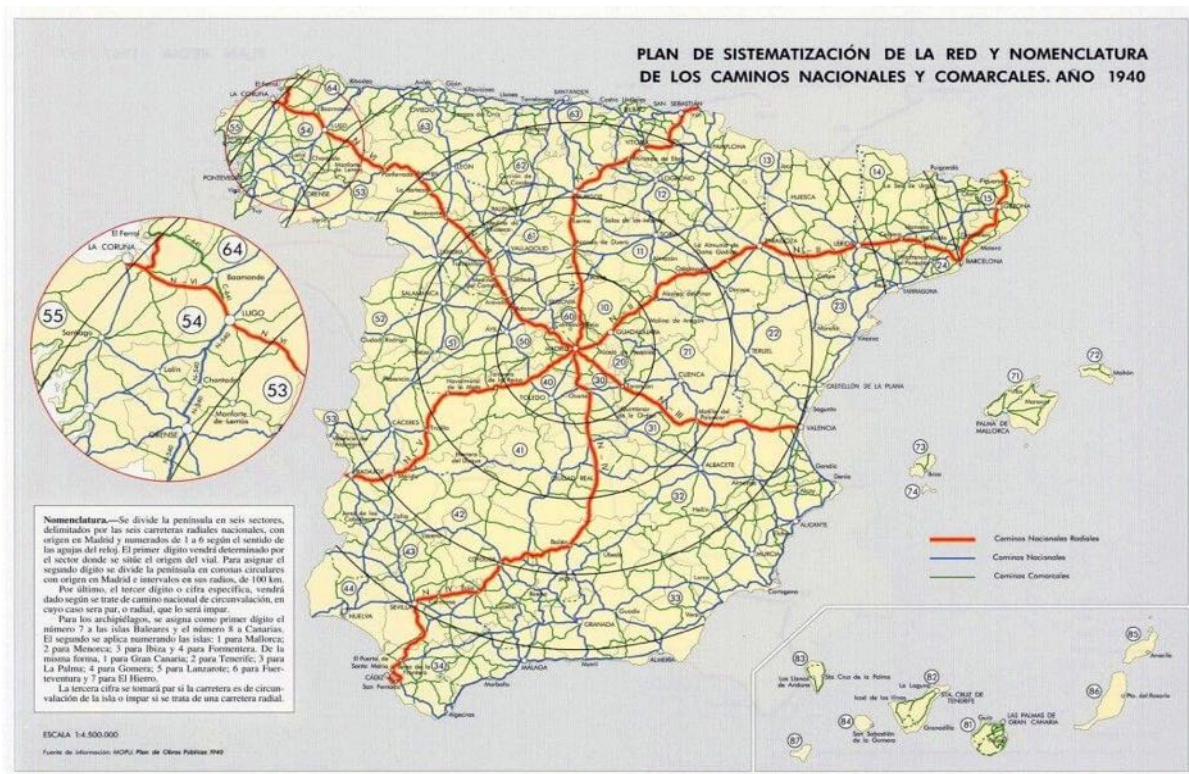


Figura 1: Plan de la Red de Carreteras Españolas año 1940. [4] (Anexo: Carreteras Nacionales de España, s.f.)

“La red de carreteras de España tiene, a 31 de diciembre de 2017, 165.686 km, de los cuales 26.393 km (Red de Carreteras del Estado, RCE) están administradas por el Ministerio de Fomento y recogen el 52,1% del tráfico total y el 64,6% del tráfico pesado. Además, hay 71.325 km que están gestionados por las Comunidades Autónomas y soportan el 42,6% del tráfico, y 69.968 km por las Diputaciones (que suponen el 5,3% del tráfico restante). (Figura 2)

Además de este viario, los ayuntamientos tienen a su cargo (según la última medición realizada con carácter oficial, que data de 1998) 489.698 km de los cuales 361.517 km son interurbanos. Finalmente, existen 11.355 km de viario dependiente de otros organismos. De esta gran cantidad de viario no existen mediciones de tráfico oficiales, pero su peso respecto al total es muy reducido (según estimaciones de la Dirección General de Carreteras no superarían en ningún caso el 10% del total del resto de la red).

De la totalidad de la red, 17.163 km son vías de gran capacidad (autopistas de peaje, autopistas libres, autovías y carreteras multicarril), de las cuales 11.974 km pertenecen a la RCE. Estos datos pueden ser consultados en la web del Ministerio de Fomento.” [5] (Fomento, Red General de Carreteras, s.f.)



Figura 2: Plan de Carreteras Españolas año 2017. [5] (Fomento, Red General de Carreteras, s.f.)

1.2.2 TRÁFICO, VELOCIDADES Y TRAMOS DE CONCENTRACIÓN

El conocimiento del tráfico y sus previsiones es una herramienta básica para la planificación, proyecto, conservación y explotación de la red de carreteras. En particular el dimensionamiento de una vía se hace a partir del tráfico existente y previsible y el dimensionamiento de un firme tiene como variable específica el volumen de vehículos pesados.

“Con motivo del Plan de Carreteras de 1960 se iniciaron en España de una forma sistemática y para el conjunto de la red los estudios de oferta (inventario) y demanda (tráfico). Este último se desarrolló de una forma continua a través de los Planes anuales de aforos, donde se dan las instrucciones a cada una de las Demarcaciones y Unidades de Carreteras para registrar el tráfico en las secciones de la red más significativas por medio de estaciones de aforo que en la actualidad (Mapa de Tráfico 2017) y sólo en la Red de Carreteras del Estado suman 3.246 de las cuales 562 son permanentes (se afora las 24 horas de todos los días del año), 76 son semipermanentes (84 días: una semana cada uno de los doce meses del año), 397 son primarias (42 o 49 días: una semana en meses alternos, incluyendo en cualquier caso el mes de agosto), 979 son secundarias, (12 días: 2 días laborables en meses alternos) y 1.232 son de cobertura (2 días laborables al año). Además, hay 332 estaciones virtuales registradas representativas de otros tantos tramos de autopistas de peaje. El conjunto de datos obtenidos se valida y



expande en los Servicios Centrales de la Dirección General de Carreteras. Como resumen del trabajo realizado se publica anualmente el Mapa de Tráfico de la Dirección General de Carreteras.”^[5] (Fomento, Red General de Carreteras, s.f.).

A la hora de proyectar un tramo de carretera se emplea una estimación de IMD de vehículos que ocuparan la vía, en ocasiones esta predicción puede quedarse escasa debido a la gran concentración de personas en sitios como grandes ciudades. Entonces evidentemente se hace necesario realizar una ampliación.

1.3 MOTIVACIÓN

La ampliación o ensanchamiento de las redes viarias es un asunto interesante hoy en día, debido al continuo crecimiento de la población asentada cada vez con mas frecuencia alrededor de las grandes urbes. Las carreteras proyectadas algunos años atrás no son capaces de soportar las demandas de tráfico actuales y es necesario realizar una ampliación de la carretera.

Hay diversas formas de realizar dicha ampliación, dependiendo de si tenemos una calzada convencional o calzadas separadas.

A) Calzada convencional:

- Adosando carriles a uno y otro lado del eje de la calzada existente y adecuando la nueva plataforma.
- Realizando una plataforma adyacente paralela a la ya existente, donde se destinará una para cada sentido de la marcha.

B) Calzadas separadas:

- Ampliando la calzada por su parte interna a través de la mediana, para esto ha de tener una mediana de tamaño apropiado la cual hubiese sido diseñada pensando en una futura ampliación.
- Adosando carriles por la parte externa de cada una de las calzadas. Esta opción tiene sus inconvenientes debido a la problemática de las numerosas expropiaciones necesarias para llevarla a cabo.

Una vez planificadas las ampliaciones o ensanchamientos de las vías nos encontramos con la necesidad de adecuar las estructuras existentes como puentes, viaductos y túneles. En concreto en este estudio el principal objetivo es el análisis de posibilidades de ensanchamiento de estructuras como puentes y viaductos.



2 DIAGNÓSTICO PREVIO A LA AMPLIACIÓN

En este capítulo se van a diferenciar y explicar los diversos aspectos que deben ser evaluados para realizar un diagnóstico sobre las posibles estructuras y su capacidad de ser ampliadas o no. Se deberá valorar mediante una inspección de la estructura, valoración de la vida residual, evaluación de la capacidad portante, criterios como factor económico de la ampliación, características de trazado, afección al tráfico en su posible construcción, papel medioambiental que juega la estructura en el entorno, etc. Con todos estos datos obtenidos se deberá tomar una decisión sobre el futuro de la estructura.

2.1 INSPECCIÓN

La principal labor principalmente es valorar el estado de los materiales que forman la estructura. Si se producen fisuras en el hormigón o en los diversos materiales metálicos, si se observan asentamientos diferenciales, corrosión, etc.

En España el ministerio de Fomento tiene su propia norma para realizar las inspecciones de infraestructuras, la *“Guía para la realización de inspecciones principales de obras de paso en la Red de Carreteras del Estado”*. [6]

Las inspecciones y métodos descritos tienen como principal finalidad detectar eficazmente los deterioros y patologías a tiempo, realizar su seguimiento y poner en marcha las operaciones de mantenimiento preventivo o rehabilitación lo antes posible, pero sin olvidar la importante labor de determinar el nivel de actualización de la estructura a la normativa vigente, para asegurar en todo momento la seguridad del usuario, la optimización de las inversiones y finalmente la calidad de la infraestructura.

La inspección no se limita sólo al puente propiamente dicho, sino que se encuadra en un conjunto más amplio: la infraestructura, pudiendo existir otras estructuras o elementos anejos (muros de contención, terraplenes y vías de acceso, cauces, etc.), cuyo estado de conservación puede tener una incidencia apreciable en su funcionalidad y durabilidad. Se establecen distintos niveles de inspección que se diferencian en su intensidad, frecuencia, medios humanos y materiales empleados.





Las principales causas del deterioro de las estructuras se deben a acciones naturales y ambientales acompañadas por las acciones de tipo antrópico y de tipo accidental. Dichas acciones provocan daños en el material constituyente y en los elementos de la obra de paso. (Figura 3)

En el siguiente esquema se muestra la relación de dichas acciones con el deterioro de la estructura.

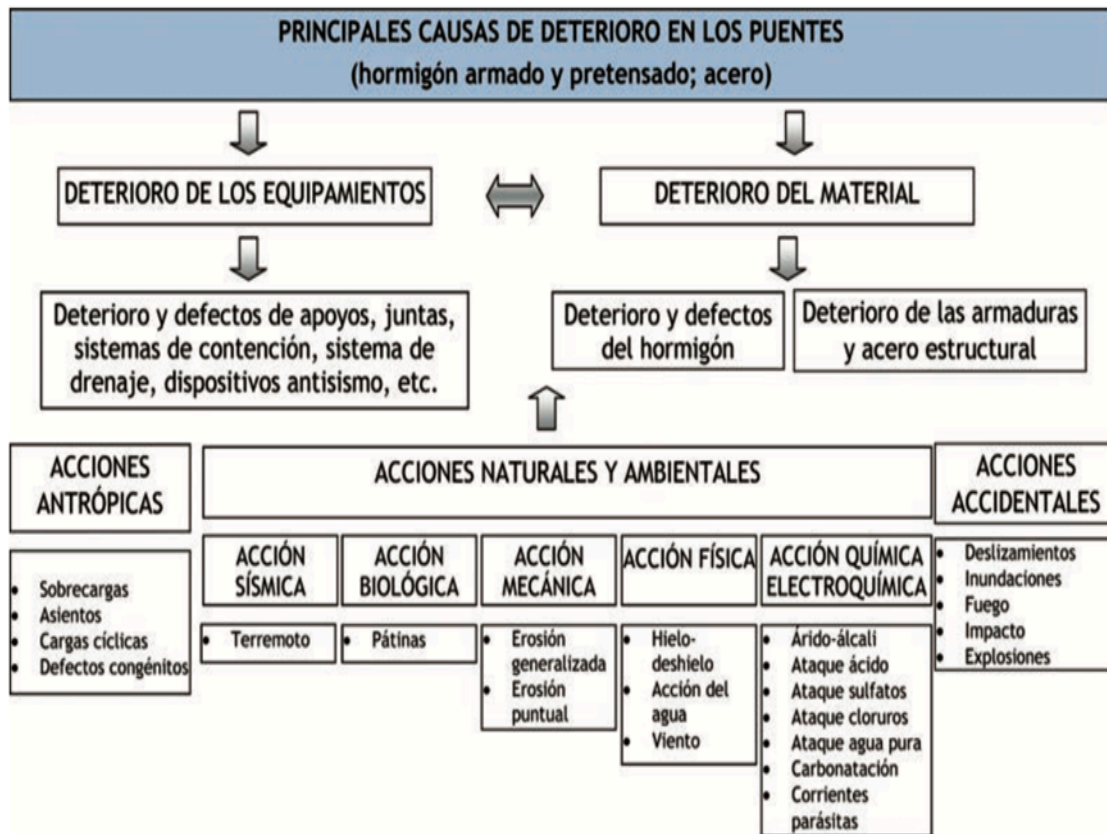


Figura 3: Relaciones Causa-Efecto entre las acciones y los mecanismos de deterioro. [6] (Fomento, Guía para la realización de inspecciones principales de obras de paso en la Red de Carreteras del Estado)

2.1.1 INSPECCIÓN BÁSICA

Se entiende por Inspección Básica (también conocida como inspección rutinaria) una inspección visual desarrollada por personal no especializado. Este nivel de inspección constituye una sistemática útil para detectar deterioros de forma temprana y poder así prevenir que éstos degeneren en deterioros graves, así como para localizar daños que necesiten una reparación urgente.

2.1.2 INSPECCIÓN PRINCIPAL

Se entiende por Inspección Principal una inspección visual minuciosa del estado de todos los elementos del puente, constituyendo una auténtica auscultación del mismo. A priori no requieren la utilización de medios extraordinarios. Deben ser realizadas por

personal especializado bajo la supervisión de un ingeniero. Se recomienda que la primera inspección principal, denominada comúnmente Inspección cero, se realice poco antes de la puesta en servicio del puente, ya que servirá de referencia para determinar la evolución de los deterioros.



Figura 4: Interior del arco durante una inspección principal detallada. ^[6] (Fomento, Guía para la realización de inspecciones principales de obras de paso en la Red de Carreteras del Estado)

Se distinguen tres zonas de la estructura a efectos de la realización de una Inspección Principal, que se resumen a continuación:

- Cimentaciones: en la mayor parte de los casos no serán accesibles, lo que hace que los posibles fallos que en ellas se produzcan sólo puedan ser detectados indirectamente a través de signos externos visibles en el resto de elementos del puente, en forma de movimientos excesivos, deformaciones, fisuración, etc. Por ello se deben vigilar atentamente las características geométricas y patológicas en subestructura y superestructura.
- Subestructura, que comprende:
 - Estribos (incluyendo terraplenes, muros laterales, aletas, muros de acompañamiento, etc.).
 - Pilas.
 - Aparatos de apoyo, cuyo estado general y situación de deformación proporcionan una importante indicación sobre el funcionamiento global de la estructura.
- Superestructura, que comprende:
 - Elementos portantes principales (vigas principales, arcos, interior y exterior de un cajón, etc.).
 - Elementos portantes secundarios (vigas secundarias, riostras, diafragmas, etc.).
 - Losa de compresión del tablero.

Es fundamental observar cuidadosamente los posibles desplazamientos verticales y horizontales de estos elementos, así como sus variaciones respecto de las inspecciones precedentes.



2.1.3 INSPECCIÓN ESPECIAL

Las Inspecciones Especiales, a diferencia del resto, no se realizan sistemáticamente o con carácter periódico, sino que surgen, generalmente, como consecuencia de los daños detectados en una Inspección Principal o, excepcionalmente, como consecuencia de una situación singular (como por ejemplo impactos de vehículos, daños por riadas o cualquier otro desastre natural, etc.). Necesariamente implican la presencia de técnicos y equipos especiales.

En la Inspección Especial, además de la realización de un examen visual, se necesitan ensayos de caracterización y mediciones complementarias. Este nivel de reconocimiento requiere un plan previo a la inspección, detallando y valorando los aspectos a estudiar, así como las técnicas y medios a emplear. En general, las actuaciones a realizar en las obras de paso como consecuencia de los resultados obtenidos en la inspección requieren la redacción de un informe de caracterización y evaluación de daños o un proyecto de reparación.

Algunos ejemplos de ensayos específicos son:

- Análisis geotécnico del terreno con la extracción de muestras.
- Evaluación de la resistencia del hormigón mediante la extracción de probetas testigo.
- Ensayos esclerométricos.
- Mapas de sales.
- Ensayos de ultrasonidos.
- Evaluación de las características del acero mediante ensayos de tracción.
- Determinación de la situación de las barras de armado mediante equipos electromagnéticos (pachómetro).
- Medidas de potencial eléctrico para determinar el estado de corrosión de las armaduras.
- Análisis químico del hormigón para detectar posibles causas de ataques sobre la pasta de cemento o los áridos.
- Contenido de iones cloro u otros en el hormigón que hayan podido favorecer la corrosión de las armaduras.
- Determinación de la profundidad de carbonatación.
- Análisis de soldaduras mediante líquidos penetrantes o gammagrafía.

2.2 VIDA ÚTIL RESIDUAL

La vida residual de los puentes depende del estado de la estructura y de sus características funcionales, así como de las modificaciones previstas. Depende principalmente de las medidas que se tomen para prolongarla. Generalmente resulta más económico reparar y, eventualmente, reforzar un puente que sustituirlo. La decisión se toma en cada caso particular. Algunas veces es difícil tomarla por causa de las incertidumbres residuales. Se trata un tema complejo que requiere mucha investigación.



En estructuras en las que se detectan problemas en la cimentación o en las pilas es decir en la subestructura, el factor económico suele dispararse y en ocasiones resulta mas barato la realización de una nueva obra.

En Europa esta muy extendida la idea de que los puentes tienen un largo periodo de vida. Esta opinión se basa en que diversos puentes y obras de origen romano con antigüedades aproximadas a los 2.000 años aun sobreviven. La mayoría de ellos realizados con mampostería que produce una sensación de resistencia y robustez que les da una apariencia de durabilidad.

No siempre los puentes mas antiguos tienen asociada una vida residual mayor, en ocasiones esto puede ser cierto pero las construcciones se asemejan a seres vivientes que se debilitan y deterioran con los años.

La vida residual esta íntimamente ligada a la inspección y la conservación de estas estructuras de paso.

¿Es posible evaluar el período de vida que se espera de los puentes?

La estimación del tiempo de vida de la estructura es un elemento importante para la valoración de la probabilidad de fallo. Para las obras de nueva construcción se aproximan periodos de vida esperados de 100 a 200 años.

La vida residual se calcula como diferencia entre la vida media y la edad del puente, el problema es hacer una predicción correcta de la vida media lo cual resulta difícil de evaluar exactamente.

2.2.1 EDAD MEDIA DE LOS PUENTES EXISTENTES

En Europa es evidente que la edad media varia considerablemente desde los puentes romanos hasta los mas recientes. Se estiman vidas medias existentes de 100 a 200 años para puentes de mampostería, alrededor de 100 años para puentes metálicos y de unos 40 años para puentes de hormigón armado.

En la historia de los puentes de mampostería se refleja que un gran número de puentes romanos y de la Edad Media fueron destruidos, algunas veces pocos años después de su construcción. La vida media de los puentes de mampostería es, por lo tanto, claramente más corta que la edad media de los existentes.

Por el contrario, la edad más alta de los puentes de hormigón pretensado es de unos 40 años construyéndose muchos nuevos cada año, por lo tanto, la edad media de este tipo de puentes es menor de 20 años. Afortunadamente, es cierto que el periodo de vida media de los mismos será mucho más largo que su actual edad media.

Sin duda, es muy útil conocer mejor la edad media de los diferentes tipos de puentes; no obstante, esto es solamente un elemento parcial que no permite, por si mismo, evaluar la vida residual de aquéllos.

La tasa anual de sustitución o lo que es lo mismo la relación de puentes sustituidos cada año y el numero total de puentes existentes se estima entorno a valores del 0.2 y 1.6 %,

estos valores no aportan nada debido a la poca homogeneidad de los puentes existentes. [7] (Grattasat)

Pero si nos indica que cada día un numero de puentes mayor necesitan una actuación por lo que los fondos destinados a este tipo de trabajos deben aumentar para evitar limitaciones de tráfico o accidentes.

2.2.2 ÍNDICE DE CARBONATACION DEL HORMIGÓN

La carbonatación es un fenómeno natural que ocurre todos los días en miles de estructuras en el mundo cuyo elemento principal es el hormigón. Se trata de un proceso del cual se han realizado multitud de estudios, y esta perfectamente documentado. Este fenómeno provoca daños mas severos en estructuras de hormigón que contienen en su interior acero de refuerzo. La carbonatación avanza de forma sigilosa hacia el interior de la estructura, hasta alcanzar las armaduras causándoles la corrosión.

La carbonatación del hormigón es la perdida de PH de este, producida cuando el dióxido de carbono CO_2 que se encuentra en la atmosfera al reaccionar con la humedad dentro de los poros del hormigón, convierte el hidróxido del calcio $Ca(OH)_2$ con un alto PH, en carbonato de calcio $CaCO_3$ que tiene un PH más neutral. (Figura 5)

El hormigón presenta una gran alcalinidad (Rango de PH de 12 a 13), este factor protege al acero de refuerzo frente a la corrosión formando una capa de oxido pasivo sobre la superficie del acero, dicha capa es la que destruirán los cloruros cuando alcancen las armaduras.

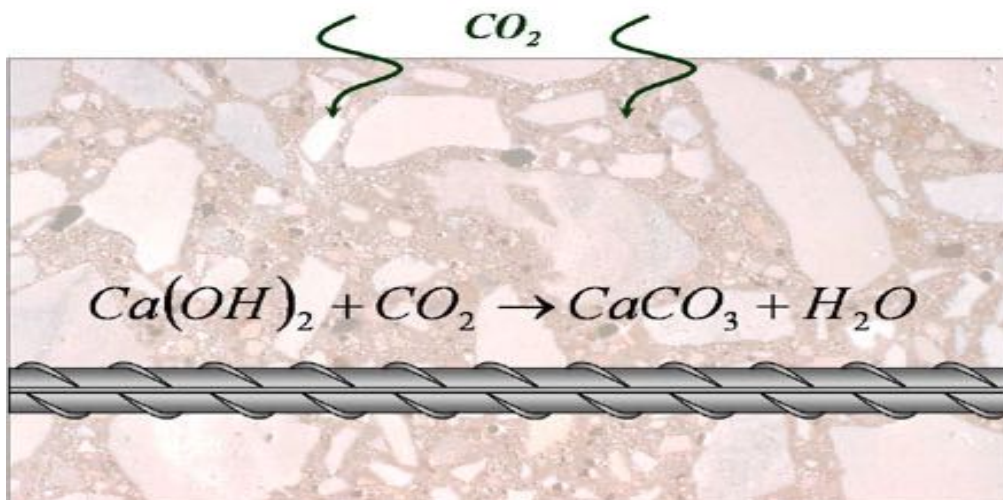


Figura 5: Reacción producida por el fenómeno de la Carbonatación.

Cuando avanza la carbonatación hacia el interior del refuerzo, la capa pasiva de óxido protectora, deja de ser estable. A este nivel de pH (por debajo de 9.5), es posible que empiece la corrosión, resultando finalmente en el agrietamiento y astillamiento del hormigón. Aunque la difusión del dióxido de carbono a través de los poros de hormigón

puede requerir años, antes de que ocurra el daño por corrosión la cual puede ser devastadora y muy costosa de reparar. ^[8] (Montani)

Afortunadamente en nuestro caso y para evaluar la capacidad portante de una estructura, la carbonatación es una condición relativamente sencilla de identificar y diagnosticar. La manera más fácil de detectar la carbonatación en una estructura es romper un pedazo de hormigón (preferentemente cerca de un borde) en donde se sospeche que hay carbonatación. Tras soplar el polvo residual, se pulveriza una solución de 1 o 2 por ciento de fenolftaleína en alcohol sobre la superficie del hormigón. Las áreas carbonatadas del concreto no cambiarán de color, mientras que las áreas con un pH mayor de 9 a 9.5 adquirirán un color rosado brillante. Este cambio muy apreciable de color muestra cuanto ha progresado el "frente" de carbonatación dentro del hormigón.

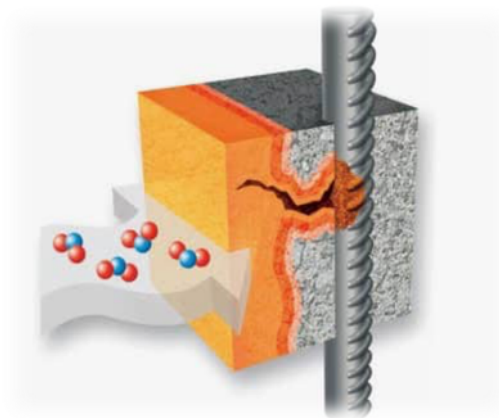


Figura 6: Carbonatación alcanzando armaduras provocando la corrosión.

Factores que afectan la carbonatación

- El contenido de humedad del hormigón: para que tenga lugar la carbonatación, debe haber presencia de humedad. La reacción de carbonatación avanza más rápido cuando la humedad relativa se encuentra entre 50 y 55 por ciento. A humedad más baja, no hay suficiente agua en los poros del hormigón para que se disuelvan cantidades significativas de hidróxido de calcio. Por encima de 75 por ciento de humedad, la situación se revierte y los poros se bloquean progresivamente con agua.
- Permeabilidad: El hormigón permeable se carbonatará rápidamente. Algunas recomendaciones para producir hormigón de baja permeabilidad son incluir relaciones bajas de agua/cemento, compactación apropiada por vibración, uso de puzolanas tales como ceniza volante o humo de sílice y curados apropiados. Estas prácticas dificultan la difusión del dióxido de carbono a través de el hormigón.
- Recubrimiento y defectos de superficie: La carbonatación puede inclusive llegar a causar problemas de corrosión aun en hormigón de alta calidad. Un recubrimiento bajo y defectos de superficie tales como grietas y pequeños hoyos proporcionan una ruta directa al acero de refuerzo.

Estrategias de reparación y protección

Para estructuras en las que se ha diagnosticado corrosión, agrietamiento y astillamiento inducidos por la carbonatación, existen pocas opciones de reparación.



- Con frecuencia, la opción más factible es reparar y proteger el hormigón: Esta es una técnica de reparación directa que atiende claramente una necesidad inmediata. Sin embargo, la reparación del daño visible es sólo el primer paso para una reparación duradera del concreto dañado por la corrosión. Las áreas resanadas cubren usualmente sólo alrededor de 15 por ciento de toda el área de la superficie, pero el área total de esta ha sido carbonatada. Si sólo se resana el daño visible, sin preocuparse por las causas subyacentes, no pasará mucho tiempo antes de que ocurra una mayor fisuración.
- Recubrimientos anticarbonatación: Para detener efectivamente el avance del "frente de carbonatación", con frecuencia se emplean recubrimientos anticarbonatación. Al contrario de las pinturas de mampostería o los recubrimientos elastoméricos comunes, los recubrimientos anticarbonatación están específicamente diseñados para detener el ingreso del dióxido de carbono. Existen en Europa métodos de prueba estandarizados para evaluar la resistencia al dióxido de carbono de un recubrimiento. Estas pruebas han demostrado que un recubrimiento anticarbonatación de alta calidad puede agregar protección a la varilla de refuerzo en una cantidad igual a muchos centímetros de recubrimiento de concreto. Los recubrimientos anticarbonatación deben ser recubrimientos respirables que puedan obtenerse en variedades rígidas o capaces de puentear grietas.
- Se puede elegir la protección catódica si el daño por corrosión es severo. Sin embargo, esta es una opción costosa y requiere la continuidad eléctrica del refuerzo, así como también costos sustanciales para el mantenimiento progresivo. La re alcalinización es una técnica bastante nueva que pretende restaurar la alta alcalinidad del recubrimiento de concreto extrayendo electroquímicamente un químico con alto contenido de pH en la estructura. Se trata también de una opción costosa con un historial muy limitado.
- Inhibidores de corrosión: Cuando el frente de carbonatación ha alcanzado ya la profundidad del refuerzo de acero. En situaciones como ésta, el recubrimiento anticarbonatación, aunque detiene el progreso ulterior de la carbonatación, no podrá detener la corrosión existente que ya está teniendo lugar.

En base a la información detallada anteriormente, se efectuarán los ensayos oportunos en las estructuras previstas de una posible futura ampliación para determinar si es posible que la estructura soporte las nuevas cargas del proyecto. Una de las opciones que se puede plantear es que el resultado sea desfavorable y no se pueda ampliar, recomendándose la construcción de una nueva estructura.

Iones Cloruros (Cl^-) o Sulfatos

Otro factor capaz de desencadenar la corrosión aparte de la carbonatación es la presencia de iones despasivantes en cantidad suficiente para romper localmente las



películas de óxido submicroscópicas y continuas, a las cuales se le atribuye la pasivación, desencadenando así la corrosión localizada en forma de picaduras.

Esta posibilidad se debe a los cloruros, ya sean añadidos al hormigón como aditivos, o en las sales para provocar el deshielo en redes viarias, o bien porque los contenga el medio ambiente y penetren por difusión como en las zonas costeras.

Los cloruros son transportados desde la superficie hasta las armaduras a través de los poros de la estructura. De esta manera, se forma una celda de corrosión con una zona catódica en la cual se da el proceso de reducción y un área anódica pequeña, la picadura, donde se disuelve el acero. ^[9] (Cobo)

2.2.3 CARRERA DE FATIGA EN ELEMENTOS METÁLICOS

En ingeniería y, en especial, en ciencia de los materiales, la fatiga de materiales se refiere al fenómeno por el cual la rotura de los materiales bajo cargas dinámicas cíclicas se produce con más facilidad que con cargas estáticas. Aunque es un fenómeno que, sin definición formal, era reconocido desde la antigüedad, este comportamiento no fue de interés real hasta la revolución industrial, cuando, a mediados del siglo XIX se comenzaron a producir las fuerzas necesarias para provocar la rotura de los materiales con cargas dinámicas muy inferiores a las necesarias en el caso estático.

Se define como fatiga: El proceso de iniciación y propagación de grietas en elementos metálicos, originados por tensiones de valor no constante en el tiempo.

La comprobación respecto al estado límite de fatiga de una determinada estructura, tiene como objeto garantizar, con una probabilidad suficientemente elevada, que dicha estructura se comportará satisfactoriamente durante la vida útil prevista para la misma, sin que se produzca el fallo de la propia estructura ni de ninguno de sus elementos, y sin que sea previsible la aparición de grietas producidas por dicho fenómeno.

Debido al estudio que se está realizando, los puentes de carretera y de ferrocarril son el ejemplo más claro de estructuras sometidas al fenómeno de la fatiga, influenciadas por millones de ciclos de cargas dinámicas como puede ser un vehículo o un tren atravesando la estructura.

Comprobación a Fatiga

Método del daño acumulado.

Las carreras de tensiones normales o tangenciales debidas a las acciones variables frecuentes no podrán exceder determinados límites:

$$\Delta\sigma \leq 1,5f_y$$

$$\Delta\tau \leq 1,5 \frac{f_y}{\sqrt{3}}$$

Donde f_y corresponde al límite elástico del material en cuestión.

Las tensiones nominales se calculan en régimen lineal, utilizando la sección bruta sin considerar ningún efecto de concentración de tensiones.



Para cada detalle constructivo susceptible de experimentar daño por fatiga, se comprobará que el daño D_d acumulado por el detalle como resultado de los ciclos de carga que deba soportar es igual o inferior a la unidad (Regla de Palmgren-Miner).

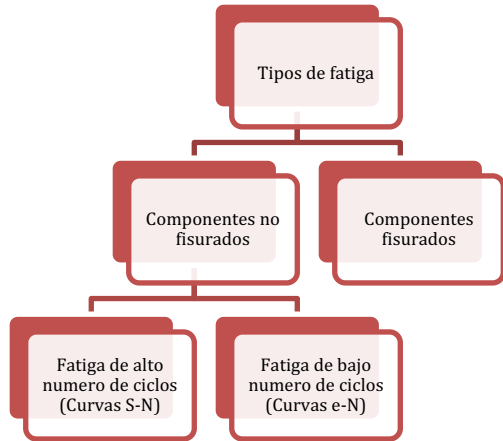


Figura 7: Diversificación de tipos de Fatiga.

La norma EAE en su capítulo XI tiene un apartado con un “*Método Simplificado para Puentes*”. Las Instrucciones sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes (IAP, IAPF) definen modelos simplificados de cargas para las comprobaciones del estado límite último de fatiga. ^[10] (EAE)

Se pueden observar dos modos de vida en fatiga:

- SAFE-LIFE: Reemplazo del material antes de poseer fisuras.
- FAIL-SAFE: El material posee fisuras, pero se realizan periódicas inspecciones para retirar el material antes de alcanzar el tamaño de fisura crítico.

Los valores de las carreras de tensiones equivalentes de amplitud constante, relativas a 2 millones de ciclos, que producen el mismo daño acumulado que las oscilaciones tensionales de amplitud variable producidas por las cargas reales a lo largo de la vida útil de la estructura se aproximan a partir de las cargas de los modelos simplificados de fatiga y de las condiciones del tráfico real:

- Esquema estático de la estructura y de la línea de influencia de los efectos de las cargas en la sección o elemento en estudio.
- Vida útil del puente.
- Volumen del tráfico real.
- Distribución del tráfico pesado a lo ancho de la plataforma del tablero del puente.

Un factor muy a tener en cuenta son los procesos de FIA, (Fisuración inducida por ambiente), se desarrollan en lugares con ambientes agresivos (Hidrogeno, Oxígeno, Cloro) por ejemplo ambientes marinos. Debilitan principalmente los materiales metálicos.

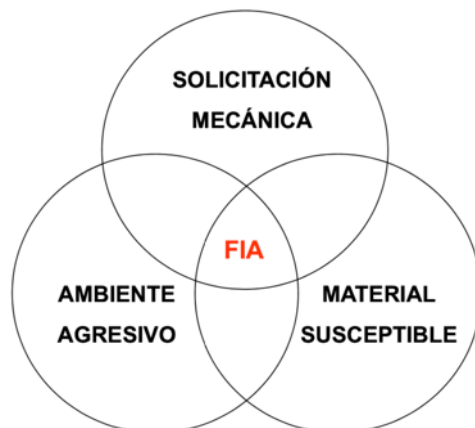


Figura 8: Factores que producen Fisuración inducida por ambiente.

COLAPSO DEL SILVER BRIDGE

El fallo del puente fue debido a una pequeña fisura de 3.2 mm localizada en uno de los elementos de sujeción. Esta fisura se había desarrollado mediante procesos de FIA. (Figura 8)

El otro elemento de sujeción falló por colapso dúctil al no soportar toda la carga de la estructura.

2.2.4 PÉRDIDA DE RECUBRIMIENTO

La pérdida de recubrimiento en los materiales constituyentes de la estructura presenta un agravante en el estudio de una posible ampliación. En la construcción inicial de dicha estructura se proyectan unas secciones y espesores de material apropiados para soportar el tipo de cargas correspondiente.

Con el paso del tiempo y la afección de diversos factores estos espesores se pueden ver considerablemente reducidos afectando así a la capacidad de carga de la estructura y por lo tanto a su vida residual.

Dicha pérdida de recubrimiento puede localizarse mayoritariamente en dos tipos de materiales diferentes característicos en la construcción de puentes y estructuras de paso.

Pérdida de recubrimiento en hormigón

Para evitar este desafortunado proceso se debe evitar la fisuración de el hormigón. De esta manera las barras de acero corrugado no serán atacadas químicamente y no se desarrollará el fenómeno de la corrosión. Cuando dichas barras son atacadas fuertemente se exfolian en capas perdiendo parte de su sección resistente.

El recubrimiento debe ser el adecuado para no desarrollar grandes fisuras que expongan las armaduras. Un recubrimiento de hormigón mayor no garantiza una mejor protección del armado, quizá sea todo lo contrario. Sí el elemento trabaja a flexión, en la cara traccionada no queda mas remedio que se produzca la fisuración del hormigón para que la armadura pueda entrar en tracción. Por lo tanto, con un gran recubrimiento la apertura de fisura que se generará será mayor.

Pérdida de recubrimiento en elementos metálicos



Figura 9: Pérdida de recubrimiento en vigas metálicas producido por el fenómeno de la corrosión.

En elementos metálicos se produce la oxidación del material. Estos elementos pueden ser recubiertos, en una primera instancia, por sistemas de pintura que al menos incluye imprimaciones antioxidantes, completado, cuando quedan vistas, por esmaltes u otras capas de acabado. En otras muchas ocasiones los elementos estructurales quedan



embebidos o en contacto con otros materiales como morteros hormigones, etc. Como en cualquier otra forma de utilización, los elementos de acero al carbono usados en las estructuras metálicas están sujetos a procesos de deterioro por corrosión en cuanto se den las condiciones para ello: humedad prolongada sobre la superficie metálica procedente de cualquier fuente, con o sin contaminantes. Es muy importante evaluar los espesores de estos elementos ya que debido a la corrosión se han podido ver disminuidos y por lo tanto su función estructural resistente ha podido descender notablemente.

2.3 EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE, LOAD RATING

Si parece posible mantener el puente basándonos en la vida útil residual, hay que evaluar su capacidad portante. Excepto en puentes recientes, las especificaciones de proyecto han cambiado desde su construcción. Las cargas establecidas en los códigos han aumentado con el número y peso de los vehículos. Las tensiones admisibles también han aumentado, sin embargo, el resultado del cálculo generalmente aparece más desfavorable que el cálculo original. El nivel de seguridad parece ser insuficiente comparado con el de los puentes nuevos. En ese tema, se puede apuntar que hay diferencias considerables e injustificadas entre los códigos nacionales, tanto en los sistemas de cargas de tráfico como en los elementos de seguridad a tener en cuenta en el proyecto.

Antes de tomar la decisión de reforzar o de sustituir, es aconsejable analizar el problema más ampliamente. En este aspecto es particularmente útil hacer uso de los nuevos principios de seguridad. Se ha demostrado que el concepto de «nivel de seguridad» es muy complejo y no puede expresarse cuantitativamente de una forma sencilla.

Primeramente, debe hacerse una distinción entre estados límites últimos y de servicio. Gracias a esta distinción, que no existió en las especificaciones anteriores, es posible tratar de diferenciar los efectos de las acciones que son realmente peligrosas y los de aquellas que podrían tener únicamente consecuencias menores.

Respecto a esfuerzos y resistencias, es importante conocer el estado real de la estructura. La resistencia de los materiales puede medirse por ensayos de laboratorio de algunas muestras extraídas en obra. El comportamiento mecánico puede apreciarse por el aspecto externo y por las flechas de los elementos portantes y, también, por un riguroso examen de los apoyos y juntas de expansión. En este momento puede ser necesario efectuar investigaciones más completas para determinar el estado interno y el comportamiento de la estructura. Algunos métodos de ensayos no destructivos pueden dar valiosa información: esclerómetro (*rebound-hammer*), pachómetro (*magnetic detector*), instrumentos de ultrasonido, medidor de fisuras, bandas extensométricas, gammagrafía, células de carga, etc.

Con técnicas modernas, en ciertos casos es posible medir las tensiones totales en el acero y hormigón y no solamente la variación de las tensiones por efecto de la carga.



2.4 INFLUENCIA DE OTROS ASPECTOS

Se debe valorar diversos aspectos además de los comentados anteriormente. Puede que la vida útil residual sea favorable y la capacidad portante también soporte las nuevas cargas tras la ampliación. Pero puede llegar a no ser una solución viable debido a aspectos como:

- **Factor ambiental:** Se valorarán los impactos sobre el terreno, la fauna y las personas, en una obra nueva o una ampliación de la estructura existente.
- **Trazado:** Debe valorarse si los acuerdos existentes durante las estructuras y sus proximidades pueden albergar una ampliación y cumplir la normativa de la Ley de Carreteras.
- **Afección al tráfico:** Debe valorarse con especial atención ya que es un aspecto determinante, si durante el periodo de obras de ampliación el puente sigue estando en servicio.
- **Económico:** Uno de los aspectos mas importantes. Se debe valorar este factor ya que dependiendo de la tipología y de la estructura del puente, su ampliación puede ser muy costosa, de manera que la opción de una nueva obra de paso pueda resultar mas económica.

2.5 DECISIÓN FINAL

En este apartado y mediante el diagnostico evaluado en los puntos anteriores, se conocen unas características de la estructura con las que se debe valorar si es viable o no el proceso de ampliación.

Para realizar una ampliación de la sección transversal de un tablero, en primer lugar, debemos haber inspeccionado el estado de la estructura. Evaluar su vida útil residual y su capacidad portante junto con algunos otros factores.

Se puede encontrar un puente con un buen estado de conservación y expectativas adecuadas de vida útil, entonces se plantearán dos opciones:

- Realizar un ensanchamiento del existente.
- Construcción de un nuevo puente paralelo al existente.

Se realizará un ensanchamiento si la evaluación de la capacidad portante para las nuevas cargas y número de carriles es favorable.

Sin embargo, también puede darse el caso de un puente en mal estado de conservación y expectativas reducidas de vida útil, por lo cual las opciones son:

- Rehabilitación + ampliación.
- Rehabilitación + construcción de un puente paralelo al existente.
- Demolición + construcción de un nuevo puente con la capacidad total.

En estos casos el factor económico juega un enorme papel, ya que puede resultar mas caro en algunas situaciones una rehabilitación + ampliación que la construcción de una estructura paralela nueva.



En la siguiente figura se muestran a modo de resumen una serie de aspectos que ayudan a tomar la decisión final sobre la posible ejecución de la ampliación.

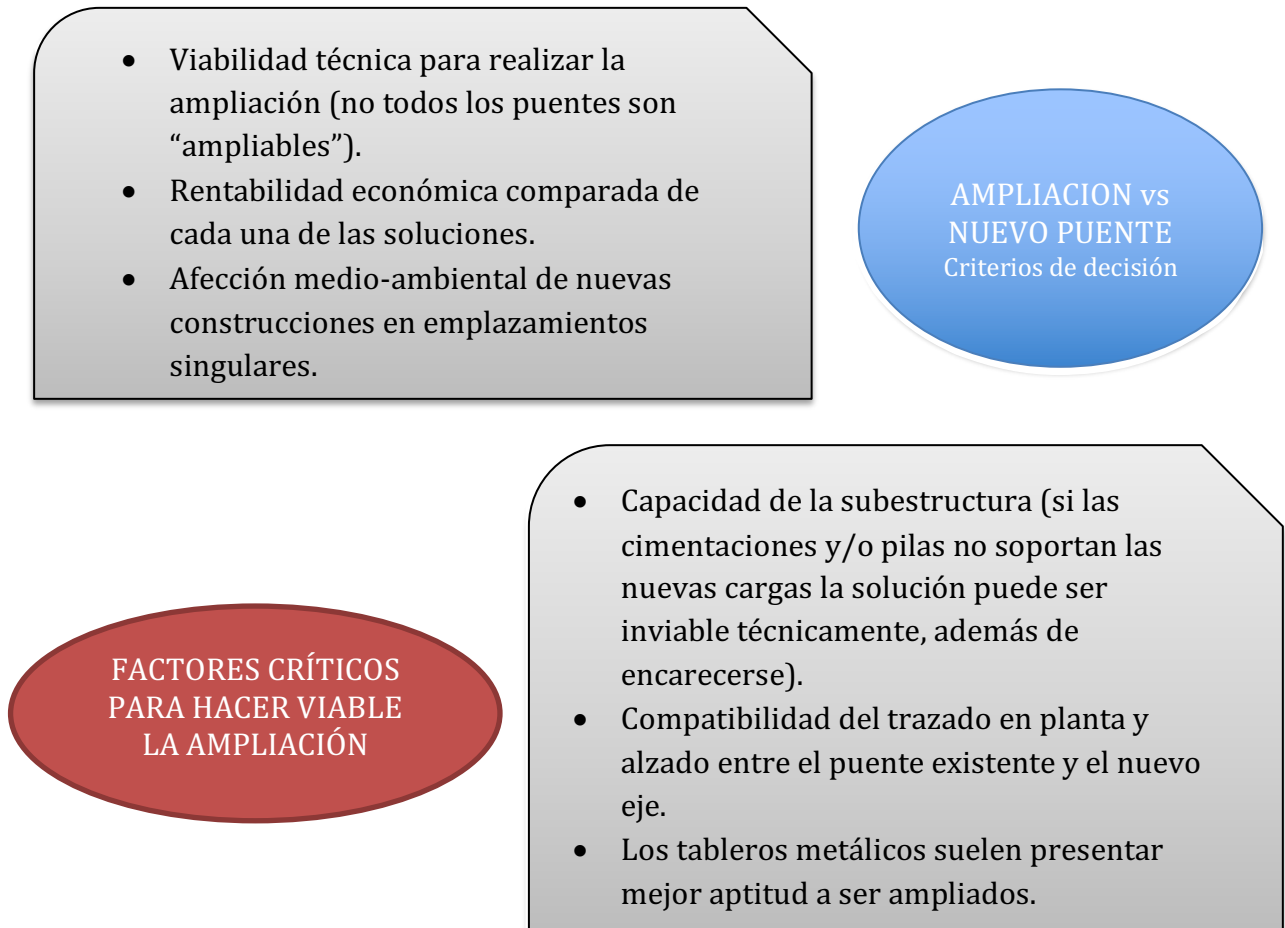


Figura 10: Ampliación vs Nuevo Puente. Factores críticos para hacer viable la ampliación.

¿Pero es siempre posible realizar una ampliación?

La respuesta es no, algunas veces no hay manera de superar ciertos obstáculos que dificultan la ampliación o la hacen prácticamente imposible de realizar. Un ejemplo de ello es el nuevo puente de la *Concha de Arredo*. La nueva traza exigía cotas en tablero de aproximadamente 20 metros más altas que las del viaducto original.

Se plantearon dos opciones:

- Elevar el tablero existente 20 metros y después ampliarlo, esta opción se descartó por razones técnicas.
- Construir un nuevo puente adecuado a las nuevas exigencias.

Finalmente, se realizó próximo al original un puente más alto que se adaptara a las nuevas exigencias.



3 MÉTODOS CONCRETOS DE AMPLIACIÓN EN FUNCIÓN DE LA TIPOLOGÍA ESTRUCTURAL

A continuación, se explicarán resumidamente algunos de los métodos de ampliación más empleados según las 4 distintas categorías de estructuras existentes.



Figura 11: Diagrama sobre los métodos concretos de ampliación en función de la tipología estructural.

Como colofón se describe la ampliación del *Puente de Rande* (Tramo de la AP-9 Pontevedra-Vigo), hito mundial al ser la primera ampliación de un puente atirantado manteniendo abierto el tráfico del puente existente en todo momento.

3.1 PEQUEÑAS OBRAS DE FÁBRICA Y HORMIGÓN ARMADO

Características principales

Los puentes de fábrica y hormigón armado se caracterizan por sus materiales constitutivos, los cuales presentan grandes resistencias a compresión, pero pocas a tracción. Algunos ejemplos de materiales son la sillería de ladrillo y el hormigón armado. Son materializados normalmente por una sucesión de arcos que transmiten las cargas al terreno gracias a pilas o pilonas de gran robustez.

Presentan por norma general luces de vanos reducidas en comparación con otras tipologías, suelen ser menores de 20 metros.

Suelen ser bastante antiguos por lo que su adecuación a las condiciones de tráfico y seguridad actualmente vigentes exigen su refuerzo y ampliación normalmente. Debido a su antigüedad su valor patrimonial suele ser alto ya que se encuentran en zonas de gran valor medioambiental lo que conlleva a actuaciones respetuosas.

Son frecuentes los que tienen algunas de sus pilonas en cauces de ríos o embalses.

Generalmente son puentes a poca altura sobre el terreno o el agua con una subestructura sobredimensionada que garantiza toda la estabilidad del conjunto.

Los fallos en la subestructura, concretamente en la cimentación suelen conllevar a la ruina del puente, por lo que, si son detectados estos graves problemas, se suele reemplazar por una nueva estructura íntegramente.

Las ampliaciones de la superestructura, si no son excesivamente importantes pueden acometerse según varios tipos de procedimientos, algunos de los cuales se ejemplifican a continuación.

3.1.1 LOSA PREFABRICADA Y ZUNCHOS DE CONEXIÓN

Se trata de una metodología de ampliación mediante losas prefabricadas unidas a la subestructura del puente existente a través de zunchos de conexión rellenos con hormigón que entrelazan las losas prefabricadas con el puente formando un todo uno. Estos zunchos de conexión realizan la labor de una viga de atado continua a lo largo de todo el tablero. Usualmente suelen ser dos vigas de atado, en las proximidades del borde de la sección transversal.

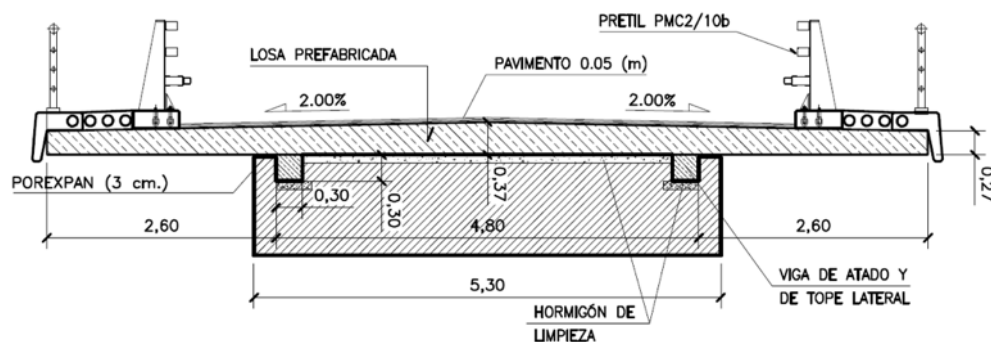


Figura 12: Sección transversal, losa prefabricada y zunchos de conexión. ^[18] (Barrientos)

Puente sobre el embalse de Requejada (Cervera de Pisuerga, Palencia, España).

Información general

Situado en el tramo de carretera desde la CL-627 a la localidad de Polentinos, en el término municipal de Cervera de Pisuerga, en el Parque Nacional de Fuentes Carrionas. El puente nos conduce directamente a Polentinos, atraviesa las aguas del río Pisuerga, en el primero de los embalses creados para regular este caudaloso río. El Embalse de Requejada, fue construido en el año 1940 posible fecha también de la construcción del Puente.



Figura 13: Situación geográfica de la estructura.



Figura 14: Vista general del puente, anterior a la ampliación.

Este gran puente, ha sufrido actuaciones posteriores, asfaltándolo y sustituyendo los laterales de ladrillo por una barandilla, de un color verde metalizado que ha conseguido integrarlo perfectamente en el paisaje, actuaciones contempladas en el proyecto de



título: “Refuerzo y mejora del Puente de Polentinos sobre el embalse de Requejada”.^[11]
(Palencia)

- Fecha: septiembre de 2003.
- Plazo de ejecución: tres meses.
- Presupuesto de ejecución: 180.000 €
- Material: Hormigón.



Figura 15: Vista del puente actual, una vez reforzado y mejorado.^[11] (Palencia).

A lo largo de sus más de 180 metros de longitud se encuentran 14 arcos de medio punto de hormigón, que le dan un aspecto majestuoso, en medio del embalse, por su gran longitud. A pesar de su luz, presenta una calzada estrecha de algo más de tres metros por los que puede pasar únicamente un vehículo. Es necesaria su ampliación para conseguir una calzada con espacio suficiente para el cruce de 2 vehículos.

Propuesta de ampliación

La actuación que se propone es una ampliación de 5,30 a 11,00 m mediante una nueva losa de hormigón prefabricada y zunchos de conexión que actúan como vigas de atado. Los trabajos comenzarían con la retirada de barreras laterales y la construcción de zunchos de conexión próximos a cada borde del tablero existente para posteriormente colocar las losas prefabricadas unidas a la estructura por dichos zunchos. Para llevar a cabo esta ampliación se debería cortar el tráfico del puente durante buena parte de las obras, pero la duración no debería excederse.

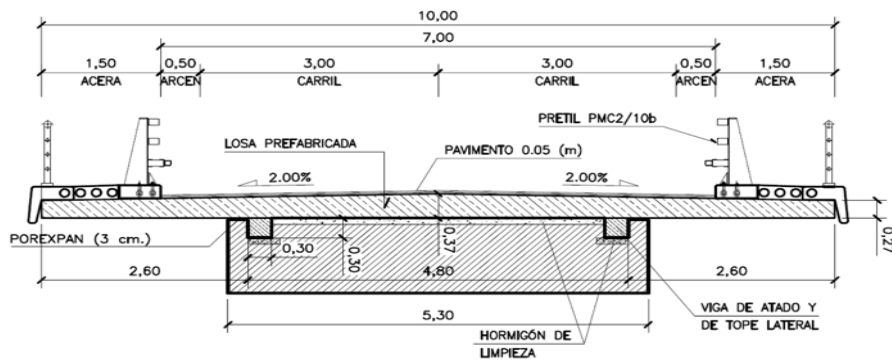


Figura 16: Sección transversal del tablero tras realizar la ampliación. ^[18] (Barrientos)

Proceso constructivo

- Retirada de la barrera lateral.
- Demolición de parte del tablero existente para albergar zunchos de conexión.
- Colocación de armaduras de refuerzo en zunchos.
- Conexión con las armaduras existentes.
- Colocación de losas prefabricadas.
- Colocación de los nuevos pretiles laterales.
- Pavimentado equipamiento y señalización de el nuevo trazado.

3.1.2 LOSA IN SITU Y VIGAS DE ATADO

Se trata de una metodología de ampliación en la que la losa se construye in situ sobre la subestructura, es decir no se utilizan piezas prefabricadas. Al igual que la metodología anteriormente descrita sustituye los zunchos de conexión por vigas continuas de atado en los márgenes de la estructura existente. De esta forma se consigue la unión entre la subestructura original y la nueva losa de hormigón.

Puente sobre el Río Piezga en Muñopedro, Segovia (España)

Información general

En las últimas décadas del siglo XIX, en las carreteras peninsulares de segundo y tercer orden, se construyeron infinidad de puentes. Es el caso de la ruta denominada nacional N-110 que conectaba la ciudad de Soria con Plasencia.

Son puentes y pontones con cimentación, estribos, pilas y tablero construidos en hormigón en masa, los más cercanos en el tiempo, ya se hacen con hormigón armado. En bóvedas y entrepaños se revisten de la piedra del lugar, generalmente granito, caliza o arenisca. Se hacen altos y bonitos pretiles de piedra y se conforman en calzadas que pueden llegar a los 6 metros de anchura.



Figura 17: Vista general del puente, N-110 (PK-202.5)

Propuesta de ampliación

Se propone el ensanchamiento del tablero mediante la metodología de losa in situ y vigas de atado. La ampliación incrementaría el ancho del tablero de los 6 a los 8 metros. Se utilizaría la subestructura original ya que las obras de ampliación solo se desarrollarían en la parte del tablero o superestructura.

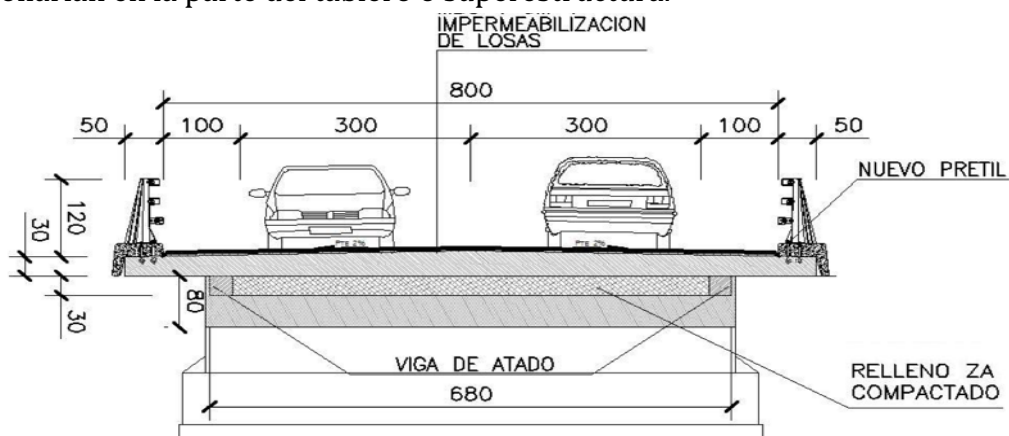


Figura 18: Sección transversal, losa IN SITU y vigas de atado. ^[18] (Barrientos)

Proceso constructivo

- Retirada de los pretiles de piedra lateral.
- Demolición de parte del tablero existente para construir las vigas de atado.
- Colocación de armaduras de refuerzo.
- Conexión con las armaduras existentes.
- Hormigonado de la nueva losa, entrelazándose a la subestructura mediante las nuevas vigas de atado.
- Colocación de los nuevos pretiles laterales metálicos.
- Pavimentado equipamiento y señalización de el nuevo trazado.

3.1.3 AMPLIACIÓN CON VIGAS PREFABRICADAS DE HORMIGÓN PRETENSADO

Método de ampliación basado en la utilización de vigas prefabricadas de hormigón pretensado. El hormigón pretensado nos da una mayor capacidad de carga de dichas vigas ya que los momentos flectores y cortantes que pueden absorber son superiores a las vigas de hormigón armado convencional.

Las vigas prefabricadas de hormigón pretensado se colocan adosadas lateralmente al tablero existente, suelen sustentarse sobre diafragmas de apoyo colocados sobre las pilas. Estos diafragmas pueden materializarse mediante hormigón armado o elementos metálicos.

Puente sobre el arroyo Froya, Lumbrales, Salamanca (España)

Propuesta de ampliación

Se proyecta el ensanche del tablero del puente para mejorar la capacidad de tráfico que soporta dicha estructura. Con la actuación se obtiene una calzada con dos carriles amplios para una vía de doble sentido de circulación.

Para solventar la ampliación se han planteado las siguientes actuaciones:

- Eliminación de la parte superior del tablero original de la estructura.
- Refuerzo de las pilas del puente para que sean capaces de absorber los sobreesfuerzos provocados por la viga de borde usada para la ampliación del tablero.
- Ampliación del tablero mediante el uso de vigas prefabricadas pretensadas (una por vano isostático y sentido de circulación).
- Hormigonado para dar continuidad entre estructura existente y ampliación.
- Construcción de nuevos pretilos de hormigón.
- Pavimentado, equipamiento y señalización de el nuevo trazado.

Se trata de un tipo de metodología de ampliación que aprovecha la subestructura original, por lo cual la vida útil residual de esta subestructura debe ser prospera y la capacidad portante, suficiente para absorber las nuevas cargas.



Figura 19: Vista en detalle de el apoyo en los diafragmas de pila de las vigas prefabricadas.



Figura 20: Vista general del puente sobre el Froya, tras la realización de la ampliación.

3.1.4 LOSA ARMADA CON MICROPILOTES EN PILAS Y VOLADIZOS CON PRELOSAS

Esta forma de ampliación va un paso más allá que las anteriormente comentadas. Se refuerzan las pilas desde el tablero con la ayuda de micropilotes, además de reforzar las pilas sirven como elemento de unión entre los viejos estribos y la nueva losa armada que se ejecutara in situ. El nuevo ancho de losa estará compuesto por un hormigonado in situ de la parte interior del tablero, nexo de unión entre micropilotes y armaduras de las prelasas. Las prelasas pueden describirse como una losa discontinua que combina elementos prefabricados en las zonas voladas del tablero y una zona central en la que se dispondrá un hormigonado en obra.

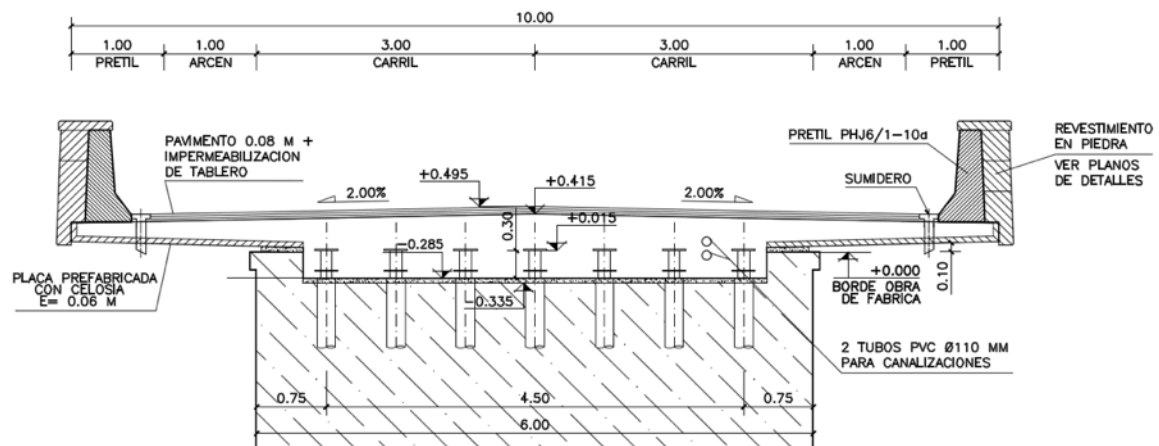


Figura 21: Sección transversal, losa armada con micropilotes en pilas y voladizos con prelasas. [18]

Puente de Sandoval de la Reina, Sandoval de la Reina, Burgos (España)

Características generales

Este interesante puente tiene una longitud de 45 metros y sus bóvedas tienen una profundidad de 6 metros, equivalente al ancho de la antigua calzada. Dispone de 5 vanos con arcos de luces semejantes a 5,50 metros cada uno. El apoyo intermedio entre arcos se hace sobre 4 pilas del tipo tabique con un grueso de 1 metro y que incorporan los salientes tajamar-espólón en forma semicilíndrica. Tanto en estribos como bajo pilas,



sobresalen las basas que sustentan toda la estructura y que reposan en la cimentación, en aquella época, a base de pilotaje de troncos de madera, emparrillado y hormigón hidráulico.

Los arranques de toda la estructura se protegen con una solera de hormigón sobre lecho madre para evitar erosiones o descalces de pilas y estribos que pudiera ser de una intervención posterior a la construcción del puente y que produce la bajada de aguas en cascada. ^[12] (Puentes, s.f.)

Descripción de la Ampliación

El nuevo tablero se conforma a base de prelosas consecutivas prefabricadas de hormigón pretensado con un ancho de 10 metros que forman la nueva cubierta sobre la que se aplican las mezclas que forman el nuevo firme. Estas losas producen un vuelo a cada lado del puente de aproximadamente 2 metros de estructura prefabricada. Las pilas se refuerzan con micropilotes en su cara posterior con conexión a la losa central hormigonada in situ. La solidez de la obra civil ha podido aguantar el peso del nuevo tablero, los rellenos de hormigón y sus nuevos pretilos. Los viejos pretilos se sustituyen por bloques de hormigón armado prefabricado, machihembrados por medio de los propios pernos de ferralla que llevan incorporados y unas escotaduras de conexión. Se observa un puente robusto, sin fracturas, fisuras o humedades en las bóvedas o paños exteriores.

Proceso constructivo

- En primer lugar, deben retirarse los antiguos pretilos.
- Demolición de parte del tablero existente para micropilotar.
- Micropilotar fundamentalmente en la zona de las pilas, para fortalecer la estructura y aumentar así la capacidad portante.
- Izado y colocación de prelosas.
- Conexión de armaduras. (*Figura 24a*)
- Hormigonado de la parte central del tablero.
- Colocación de los nuevos pretilos laterales. (*Figura 24b*)
- Pavimentado, equipamiento y señalización de el nuevo trazado.



Figura 22: Izado y colocación de las losas prefabricadas. [12]



Figura 24a: Colocación del acero de refuerzo en el tablero. [12]

Figura 24b: construcción de barrera lateral y revestimiento de esta. [12]



Figura 25: Puente aguas abajo una vez realizada la ampliación. [12]

3.1.5 LOSA HORMIGONADA IN SITU

Metodología fundamentada en la ejecución de un hormigonado de tablero in situ, para este tipo de construcción es necesario colocar los elementos auxiliares dependiendo del tipo de puente a ampliar, encofrados, vigas metálicas, refuerzos, disponer las armaduras en sus posiciones correspondientes antes de proceder al hormigonado de la losa in situ. Este tipo de ampliación forma una unión rígida de la parte superior del tablero.

Puente de Castilla sobre el río Arlanzón, Burgos, (España)

Características generales

Las obras consistieron en la ampliación de su plataforma para conseguir aumentar el número de carriles de tres a cuatro y así intentar reducir los problemas de la saturación del tráfico en esta zona, acrecentados a raíz de la peatonalización del *Puente de Santa María*. También se restauraron y reforzaron los pilares de piedra para que pudieran sustentar la nueva plataforma.

Se opta por la solución de losa hormigonada in situ, donde se retira la parte superficial del tablero, se colocan los elementos auxiliares y encofrados junto al acero de refuerzo y se hormigona finalmente formando un todo en uno.

Proceso constructivo

- En primer lugar, deben retirarse las antiguas barreras laterales.
- Demolición de parte del tablero existente para no incrementar en exceso la rasante.
- Colocación de elementos auxiliares y encofrados, dichos elementos generalmente metálicos ayudaran a fortalecer la estructura y aumentar así la capacidad de las partes en voladizo. *(Figura 26)*
- Colocación de el resto de armaduras y encofrados.
- Conexión de armaduras.
- Hormigonado del tablero comprobando flechas en voladizo.
- Pavimentado, equipamiento y señalización de el nuevo trazado.
- Colocación de los nuevos pretilas laterales.



Figura 26: Colocación de elementos auxiliares y encofrados en los voladizos laterales.



Figura 27: Vistas generales del puente una vez ampliado.

3.1.6 SUSTITUCIÓN COMPLETA DE TABLERO DE HORMIGÓN ARMADO EXISTENTE POR UN TABLERO MIXTO

Este tipo de tipología de ampliación consta de sustituir el tablero existente de hormigón armado por un tablero mixto. Un tablero mixto consiste en la adición de vigas metálicas y hormigón armado, constituyendo un todo en uno con la resistencia propia de ambos materiales. En este tipo de metodología se aprovecha la subestructura original existente y se sustituye el tablero de hormigón armado que con el paso de los años esta alcanzando el final de su vida útil.

Puente sobre el río Sella en Ribadesella, Asturias, España

Actualmente el proceso de ampliación se encuentra en periodos de licitación, se estima que a mediados de 2020 se conozca el proyecto ganador y su sucesiva construcción.

Mas adelante comentaremos la solución propuesta por APIA XXI que consiste en la sustitución completa del tablero actual por un tablero mixto.

Características principales

Se trata de un puente localizado en la conocida localidad de Ribadesella, territorio perteneciente a la comunidad autónoma del Principado de Asturias.

Su construcción data del año 1940, el puente original está formado por 14 vanos isostáticos de 14 metros de luz. La anchura total del tablero es de aproximadamente 8,50 m de los cuales 6 m son dedicados a la circulación de vehículos (un carril por sentido). La sección transversal de la estructura dispone de 5 nervios longitudinales de hormigón armado.

Las pilas son del tipo tabique con una sección rectangular de 8,40 x 1,00 m.

La cimentación consta de 14 pilotes hincados, 12 de los cuales poseen un tipo de sección de 0,40 x 0,40 m y los otros 2 restantes de tamaño un poco menor 0,35 x 0,35 m.

Tras evaluar la estructura para diagnosticar si es posible llevar a cabo una ampliación (ver capítulo, 2.1 INSPECCIÓN), se revelaron problemas de corrosión en las armaduras.

Un aspecto mas a tener en cuenta previendo un futuro ensanche del puente es que alojaba en su interior distintos servicios que debían tenerse en cuenta.

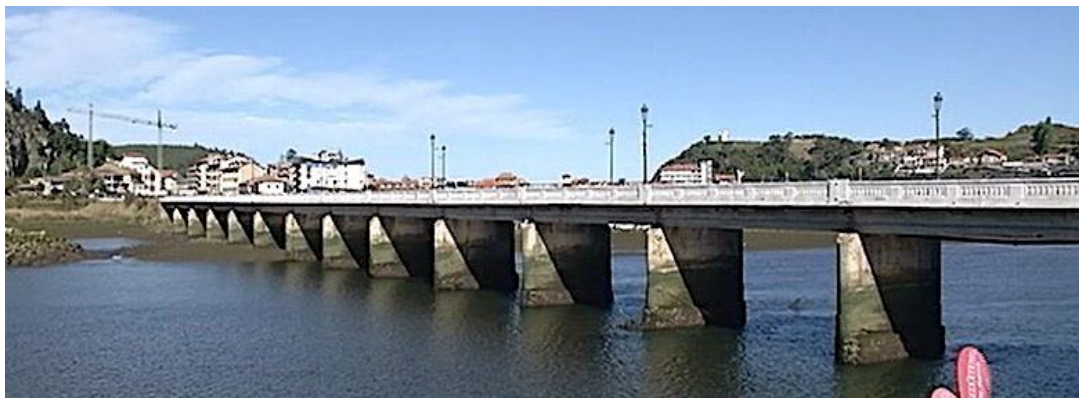


Figura 28: Vista general del Puente en Ribadesella.

Descripción de ampliación

La tipología de solución que se propone consiste en la sustitución de la superestructura existente y el refuerzo de las pilas.

Se estudiaron distintas opciones alguna de ellas consistía en reforzar con fibra de carbono algunas secciones con el fin de aprovechar la estructura existente.

Los métodos constructivos que se proponen permiten no interrumpir el servicio al tráfico de la estructura.

Distintas fases constructivas

Primera fase

- En primer lugar, se inhabilitaría un carril al tráfico, de esta manera se podría demoler el tablero del puente soportado por 2 de los 5 nervios de hormigón armado.
- Una vez retiradas $\frac{2}{5}$ partes de la sección de puente se continúa reforzando las pilas en la sección demolida.
- Colocación de los apoyos de la mitad de la sección transversal.
- Ejecución de la losa de la mitad de la sección transversal.
- Pavimentado equipamiento y señalización de la mitad de la sección.
- Colocación de el nuevo pretil lateral exterior y colocación de una barrera temporal en el margen interior.

Segunda fase

- Abrir al tráfico la calzada ejecutada en la Primera fase.
- Cortar el resto de sección del puente y demoler su tablero.
- Reforzar las pilas en las $\frac{3}{5}$ partes restantes.
- Colocación de los apoyos de la mitad restante de la sección transversal.
- Ejecución de la losa de la mitad de la sección transversal.
- Unión longitudinal de ambas losas.
- Pavimentado equipamiento y señalización de la mitad de la sección.
- Colocación de el nuevo pretil lateral exterior y delimitación de la sección transversal del puente en tres zonas: Acera y carril bici de 3,50 m en el lado costero, calzada de dos carriles de 6 m de anchura, 3 m por carril y finalmente una acera dedicada exclusivamente a los peatones de 1,50 m.

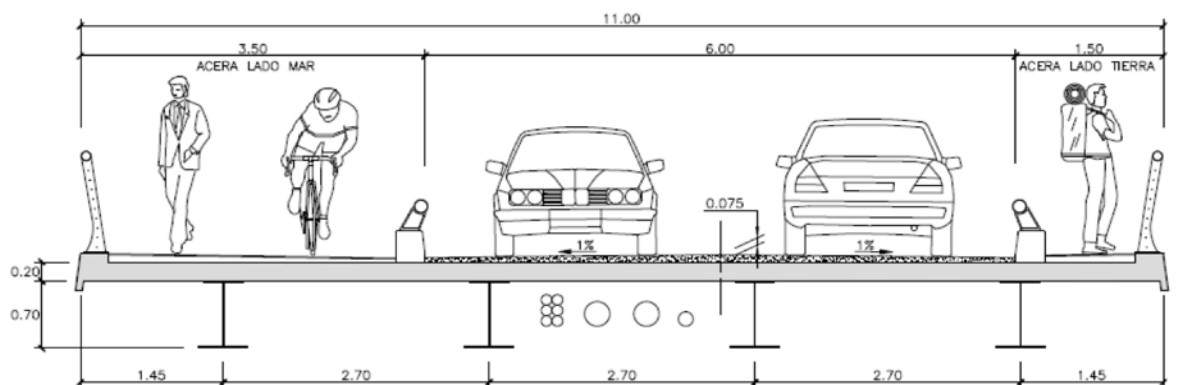


Figura 29: Sección transversal del nuevo tablero una vez acometida la ampliación. ^[19] (XXI)

3.2 PUENTES HISTÓRICOS

Características principales

Son piezas de gran valor patrimonial y al mismo tiempo infraestructuras básicas. Por su antigüedad, materiales, forma, situación, utilidad, significado, son algunas de las características que hacen a estos puentes esenciales tomando el título de Puentes Históricos. Cerca de 30.000 puentes históricos dependen del Ministerio de Fomento porque aún forman parte de la red de carreteras del Estado. Su conservación es un aspecto clave y en muchas ocasiones el anhelo de ampliar la estructura ensanchando su tablero para resolver de forma hábil los problemas de aglomeración de tráfico. Estos puentes suelen estar próximos a ciudades o situados en el interior de ellas, desempeñan una labor fundamental respecto a la movilidad de la ciudad y sus alrededores.

3.2.1 PUENTE DE MARÍA CRISTINA, SAN SEBASTIÁN (ESPAÑA)

Características generales

Situado en el casco urbano de la ciudad de San Sebastián, se trata del tercer puente en profundidad desde la línea de costa sobre el río Urumea.

Construcción	Año 1904
Longitud total	78 m
Luz libre	24 m
Anchura del tablero	20 m

Antiguo Puente

Tenía una longitud de 88 metros y constaba de 3 arcos contruidos en hormigón armado con diafragmas longitudinales y rasante horizontal. Las luces libres de los vanos son de 24 metros cada uno. Las bóvedas de hormigón de 70 centímetros de espesor en arranques y de 60 centímetros en la clave están reforzadas por 13 vigas armadas en doble T. Las pilas de hormigón están revestidas de sillería y piedra artificial.

En cuanto a lo estructural gozaba de alta simpleza con tres aberturas iguales con bóvedas macizas de 24 metros de luz rematadas por un conjunto de tabiques delgados longitudinales sobre los que apoya la losa superior, también de hormigón, que constituye el forjado o piso del tablero. [12] (Puentes, s.f.)

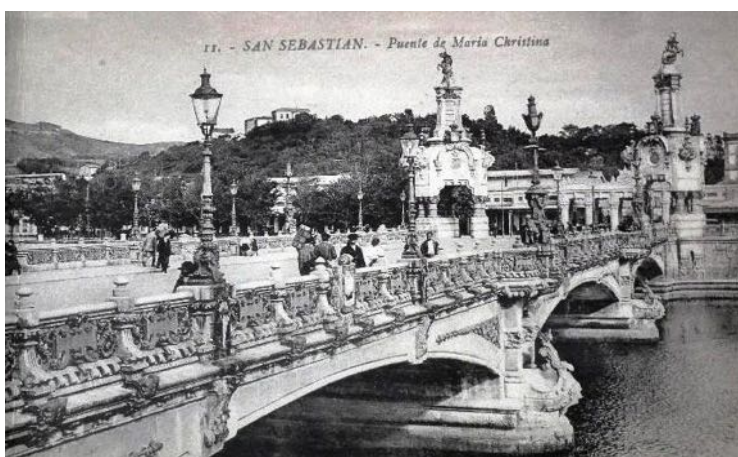


Figura 30: Postal del Puente de María Cristina



En los años ochenta, ante el deterioro que se podía apreciar en el puente, el Ayuntamiento encarga su rehabilitación a los ingenieros Arenas, Alonso y Pantaleón. El estudio de Juan José Arenas de Pablo, un ingeniero al que debe reconocérsele una culta sensibilidad en el desempeño de su profesión, y un compromiso especial con las estructuras de tipo puente. De Pablo, catedrático durante su vida en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Santander, optó por realizar una modificación radical en la concepción estructural y una intervención mas sencilla en lo decorativo que logra mantener su apariencia y el espíritu del lugar, pero que obviamente no impide que hoy debamos hablar de un puente distinto del construido por Ribera en 1904.

Objetivos y dificultades de la remodelación

- Mantener el intenso tráfico peatonal que da acceso a las estaciones y centros universitarios y escolares.
- No interrumpir servicios como agua, gas y electricidad que abastecen a los barrios del margen derecho del río.
- Se necesitaba una gran cantidad de espacio para la maquinaria.
- Desconocimiento con detalle de la estructura original del puente.
- Diversidad de materiales en su ornamentación.

Nuevo puente

Se demolieron las viejas bóvedas y se sustituyeron por un conjunto de quince arcos tímpano (cinco en cada vano) prefabricados en hormigón armado.

Se completan con placas prefabricadas curvas de intradós y losas también prefabricadas de tablero superior bajo las que se han dispuesto nervios prefabricados transversales.

Con un mínimo de operaciones de vertido de hormigón In situ para lograr la solidaridad del conjunto, se consigue obtener una sección pluricelular, ventajosa en el plano resistente, muy económica en cuanto a gastos de materiales, y capaz de albergar en sus huecos una gran cantidad de servicios. Todo ello a partir de elementos prefabricados. De esta manera se confeccionó un tablero de sección celular, mucho mas ligero. Ochenta años después de su apertura, el puente fue reinaugurado.

Proceso constructivo

El proceso constructivo consistió en la demolición mediante franjas longitudinales (*Figura 31*) hasta alcanzar la anchura suficiente para construir los dos cajones que constituyen medio puente. Posteriormente apoyándose sobre esta zona poder demoler la otra mitad de la estructura original.

- Se transportaron los arcos-tímpano para su posterior colocación en la estructura. (*Figura 32*)
- Se colocaron dos arcos por cada vano para conseguir formar la mitad de la sección transversal del tablero.

- Una vez colocados los arcos, se procede a la unión de estos mediante nervios prefabricados transversales además de placas prefabricadas curvas de intradós en la parte inferior y losas de tablero también prefabricadas que forman la parte superior.
- Realizada la mitad de la sección se procede desde esta a demoler y rehabilitar la otra mitad original del puente.
- Se sigue la misma metodología que en la primera fase.
- Terminada la estructura del nuevo puente se construyen los nuevos pretiles laterales conservando la esencia de los originales.
- Mas adelante se pavimenta, equipa y señala el nuevo trazado.

Resumen en imágenes del proceso constructivo

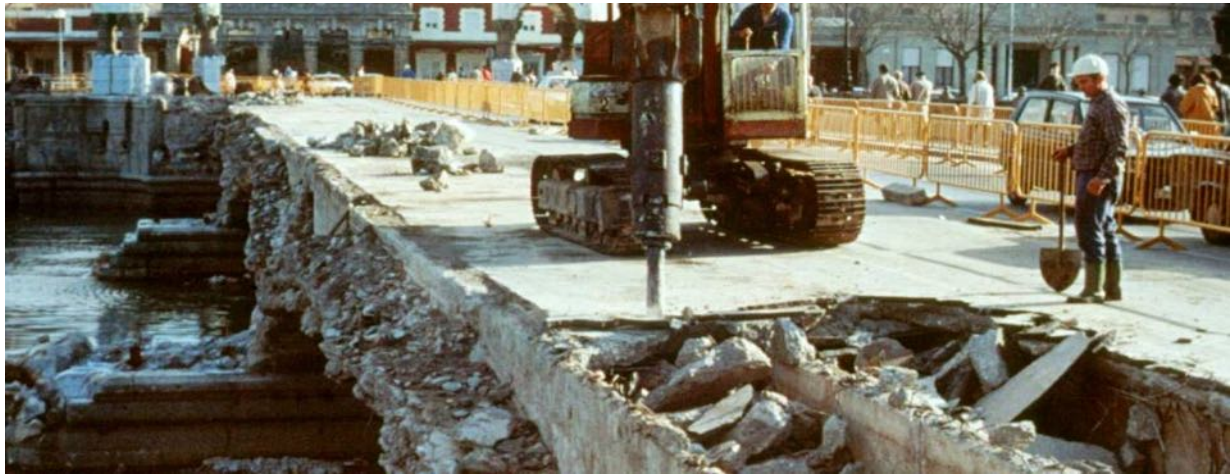


Figura 31: Demolición del antiguo tablero.



Figura 32: Transporte de Arcos-Tímpano.



Figura 33: Izado y colocación de Arcos-Tímpano.



Figura 34: Unión transversal de Arcos-tímpano mediante nervios y placas prefabricadas.



Figura 35: Vista general del nuevo Puente rehabilitado.

3.2.2 PUENTE SOBRE EL RÍO ESLA, VALENCIA DE DON JUAN (ESPAÑA)

Características principales

Localizado en Valencia de Don Juan, Castilla y León (España).

Su construcción data del año 1910 obra del Ingeniero D. José Eugenio Ribera, al igual que el Puente de María Cristina comentado anteriormente. Posee características de puente urbano y monumental.

Compuesto por 4 vanos de 35 metros de luz cada uno, materializados con bóvedas rebajadas de hormigón armado que nacen en pilas macizas de sillería.

El tablero contaba con una anchura de 6 metros, destinando 4 de ellos a la calzada y los dos metros sobrantes a sendas aceras peatonales en ambos sentidos.

Durante ochenta años este puente desempeñó un magnífico servicio a la comunidad y ofreció un buen estado de conservación, pero la limitación de anchura de su plataforma llegó a constituir una seria restricción y un peligro para la circulación de automóviles y peatones. El transcurso de los años hizo que este puente adquiriera un valor histórico, mientras tanto su calidad arquitectónica como su emplazamiento sobre el río Esla y delante del Castillo de Coyanza le han hecho merecedor de ser considerado patrimonio cultural. Por esta razón se planteó su ampliación.



Figura 36: Vista general del puente anterior a la ampliación.

Proyecto de ampliación

Debido a la intensidad de tráfico que soportaba, la junta de Castilla y León planteó, la necesidad de ensancharlo reforzándolo estructuralmente.

La propuesta de la empresa APIA XXI consistió en montar una nueva superestructura mixta (acero/hormigón) sobre la subestructura existente, que respetara íntegramente el volumen de éste y que transmitiera las cargas verticales directamente a la cabeza de las pilas, evitando de esta manera esfuerzos horizontales en las mismas.

Se trata de establecer un tablero recto y continuo, cuya sección transversal en forma de PI, alojara en su interior el volumen de la bóveda actual y que apoyara sobre el eje de

cada pila mediante un diafragma transversal de hormigón armado ejecutado mediante una excavación local sobre la misma.

La solución consistía en una nueva estructura basada en vigas metálicas laterales, desarrolladas en acero tipo corten, combinadas con una nueva losa superior de hormigón que apoya directamente en ellas sin transmitir cargas de ningún tipo a las viejas bóvedas que se encuentran inferiormente. Esto conlleva a establecer una nueva rasante unos 50 cm mas alta de la existente.



Figura 37: Colocación de la viga metálica lateral. [18]

En las zonas de pilares tales vigas de acero se ven sustituidas por almas de hormigón mas apropiadas para soportar esfuerzos de flexión negativa, estructuralmente lógicas para enlazarlas con una viga traviesa alojada dentro de la masa del puente y, también de mejor articulación visual con la sillería de aquellos.

Se ensanchó la plataforma hasta los diez metros de anchura y se añadieron a su vez plataformas semicirculares a la altura de las pilas para la contemplación del paisaje.

Proceso constructivo



Figura 38: Diferentes vistas del puente tras la ampliación.

Se estructuró en 5 fases consecutivas.

- FASE 1: Se construyen los dos primeros diafragmas transversales de hormigón armado ejecutando una excavación local sobre la estructura.
- FASE 2: Se construye el tercer diafragma en el estribo 3 y a su vez se ejecutan los ensanchamientos circulares en los extremos de los diafragmas construidos en la Fase 1.
- FASE 3: Se materializan el cuarto y quinto diafragma y a su vez se ejecuta el ensanchamiento del tercer diafragma (realizado en la Fase 2).
- FASE 4: Se construyen los ensanchamientos de los diafragmas restantes es decir 4 y 5 y se continua con la colocación de las vigas laterales en acero tipo corten a lo largo de los 4 vanos. Una vez colocadas las vigas laterales se construyen los voladizos laterales hasta alcanzar prácticamente los ensanchamientos circulares.
- FASE 5: Una vez colocadas las vigas laterales metálicas que transmiten los esfuerzos a las pilas a través de almas de hormigón armado ya materializadas y la ejecución de los voladizos laterales, se procede al pavimentado, equipado y señalizado del nuevo trazado.



Figura 39: Detalle del encuentro de una viga lateral de acero tipo Corten en un pilar con un alma de hormigón armado prevista para soportar la flexión negativa.



3.3 PUENTES DE VIGAS DOBLE “T”: HORMIGÓN PRETENSADO Y METÁLICOS

Características principales

Los puentes de vigas son estructuras que conectan dos puntos y por lo tanto facilitan el cruce de áreas impenetrables. A menudo nos encontramos con este tipo de puente en la ciudad y fuera de ella, donde sirven como puentes de carretera, peatonales o como puentes de ferrocarril.

Construidos con vigas dobles (doble T), los puentes tienen la particularidad de ser capaces de adaptarse a los terrenos específicos del lugar donde se disponen.

- Las vigas pueden tener formas rectas o curvas.
- Del mismo modo, el puente de vigas puede tener varias luces. Las alturas de estas pueden ser constantes o variables.
- Dependiendo del caso y del entorno de trabajo, las vigas serán continuas o isostáticas.
- Las vigas son generalmente paralelas y están unidas con espaciadores. A continuación, ellas albergan una losa que apoyará la calzada. Denominando a todo el conjunto como tablero.

Los puentes de vigas son muy recomendables para las estructuras de baja altura y tienen un buen rendimiento mecánico.

Otra de las muchas ventajas de esta tipología de puente es que conllevan una realización bastante sencilla en comparación con otros tipos de estructuras. Los materiales de ese puente son duraderos y requieren poco mantenimiento cuando las fases de construcción están bien ejecutadas. La prefabricación de vigas es ventajosa no sólo técnicamente sino también desde un punto de vista económico. Los puentes de vigas tienen más propiedades isostáticas que permiten que la obra siga siendo casi completamente insensible al hundimiento de terreno.

Las ampliaciones de este tipo de estructuras suelen resultar bastante más simples que otras tipologías, el principal modo de ensanche es la adición de más vigas adosadas en los laterales de la estructura, ampliando así la zona del tablero. Se pueden prever futuras ampliaciones lo que facilita aún más los trabajos de ensanche.

3.3.1 AMPLIACIÓN DE LA AUTOPISTA SH-183 DALLAS-TARRANT COUNTY, (EE.UU)

Características principales

En el año 2013 salió a concurso el proyecto y obra de la SH183 tramo Dallas-Tarrant County, APIA XXI desarrollo para Ferrovial tanto el diseño del trazado como el diseño estructural, finalmente no resultaron adjudicatarias.

La construcción de nuevas calzadas de la SH183 entre Dallas y Tarrant supuso el diseño de nuevos “*overpasses*”, “*underpasses*” y “*connectors*”, alcanzando un total de más de 60 estructuras, (*Figura 40*).

Todas las estructuras proyectadas eran del tipo viga Tx54 de hormigón pretensado.

Se combinaban pilas tipo *multicolumn*, *hummer-head* y *straddle-bent*.

Se propuso la ampliación de las estructuras existentes que garantizaban la capacidad estructural suficiente y su ampliación era constructivamente viable.

Proyecto de ampliación

Se muestra el caso de ampliación típica de una calzada por adición lateral.

Se propone la construcción de un *multicolumn* de dos pilas de sección circular y *bent* rectangular sobre el que se apoyan dos nuevas vigas Tx54



Figura 40: Vista general de un tramo de autopista con estructuras previstas para una futura ampliación

Proceso constructivo

- Retirada de la barrera lateral.
- Demolición de parte del tablero existente hasta alcanzar el eje de la viga exterior.
- Construcción de las pilas-pilote.
- Construcción del *bent* rectangular.
- Colocación de las nuevas vigas para la ampliación, en este caso vigas Tx54 de hormigón pretensado.
- Colocación de armaduras de refuerzo en losa.
- Conexión con las armaduras existentes.
- Hormigonado de la losa.
- Sustitución de juntas de dilatación.
- Colocación de la nueva barrera lateral.
- Pavimentado equipamiento y señalización de el nuevo trazado.



Figura 43: Vista general de distintos tipos de pila (circular y rectangular).



Figura 42: Izado de vigas prefabricadas tipo T.



Figura 42: Vista general de ampliación autopista SH-183.

3.3.2 LBJ BRIDGE 85, TEXAS (EE.UU)

Características principales

La autopista LBJ se sitúa al norte de Dallas, en el estado de Texas. Debido al nivel de tráfico que soporta en la actualidad, se ha decidido proceder a su ampliación.

Inicialmente, la sección transversal estaba constituida por un tronco con cuatro carriles de media por sentido más una serie de vías de servicio con un número variable de carriles. Con la ampliación que se está construyendo, se añaden tres carriles adicionales por sentido. La ubicación de la LBJ en una trama urbana consolidada hace que en gran parte de la actuación esta ampliación tenga que realizarse a distinto nivel.

Las estructuras más importantes en esta actuación son las que amplían el número de carriles del tronco. Se pueden distinguir dos tipologías básicas, en función del espacio disponible para la ampliación:

- Zonas con disponibilidad de espacio. En este caso la ampliación se realiza íntegramente con viaductos, que se sitúan a ambos lados de los carriles que reemplazan a los existentes, ligeramente superpuestos a los mismos. La secuencia constructiva de estos viaductos presenta numerosas fases, tanto en sentido longitudinal como transversal, para permitir el mantenimiento del tráfico.



Figura 44: Animación 3D sobre la construcción-ampliación de la LBJ express. (Ferroviál)

- Zonas con restricciones de espacio. En ellas, los carriles que reemplazan a los existentes se soterran entre muros. Los carriles de la ampliación se disponen a ambos lados, con una parte superpuesta soportada por viaductos y otra parte situada sobre el terreno, en la coronación de los muros.

En general, se entiende que la ampliación de una estructura debe ser tal que permita alojar un nuevo flujo de circulación adicional (rodado o peatonal) al ya existente.

Normalmente el tráfico va a circular sobre el puente y por ello la ampliación va a afectar a la superestructura fundamentalmente.

Sin embargo, puede darse el caso que la calzada a ampliar no es la que circula por encima de la superestructura sino la que circula por debajo de esta.

En el caso del *LBJ Bridge 85* se plantea una solución basada en la redistribución de luces de un puente existente para poder ampliar las carreteras que salvaba inicialmente y que se amplían.

Este trabajo fue realizado por *Janssen & Spaans Engineering* para Ferrovial, APIA XXI realizó labores de *Independent Cheeker y Construction Engineering*.

Solución propuesta

La ampliación de las carreteras laterales salvadas por el Bridge 85 afectaba básicamente a dos pilas y tres vanos. Esto se traduce en la necesidad de saber si el puente podía seguir garantizando su buen comportamiento estructural modificando su distribución de luces.

Tras los correspondientes estudios se procede a la construcción de las nuevas pilas.

Se colocaron torres de sostenimiento temporales para el desarrollo de las labores de gateo y sustitución de aparatos de apoyo.

Refuerzo de los elementos cuya capacidad estructural no tenía la suficiente fuerza para soportar las solicitaciones derivadas de la nueva configuración de luces.

Refuerzo de vigas longitudinales y demolición de las columnas existentes construidas según el proyecto original.

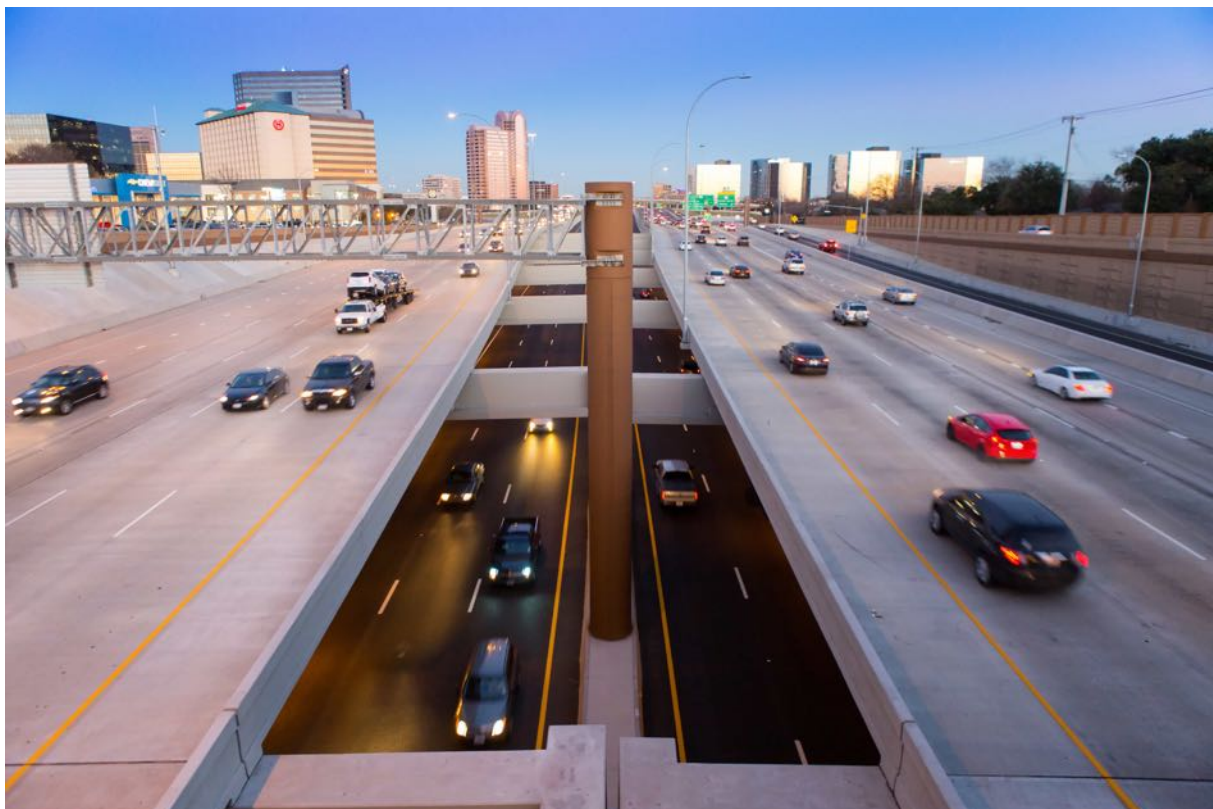


Figura 45: Vista general de un tramo a diferentes alturas en LBJ Express DALLAS.



3.3.3 AMPLIACIÓN Y REHABILITACIÓN DE VARIOS PUENTES EN LA AUTOPISTA INDIANA TOLL ROAD, (EE.UU)

Características principales

El consorcio formado por CINTRA y MIG fue adjudicatario de la concesión de la Indiana Toll Road por un periodo de 75 años. Esta autopista tiene una longitud total de 157 millas (251 km) con dos carriles por sentido y fue construida en el año 1956, aunque diversas rehabilitaciones, ampliaciones y construcción de nuevos enlaces han sido llevadas a cabo desde entonces.



Dentro del Contrato de Concesión existe la obligación de ampliar de 2+2 a 3+3 un total de 6,7 millas (10,6 km). Dentro del alcance de estas obras de ampliación, el Consorcio inicialmente había previsto demoler y reconstruir totalmente las estructuras existentes, conforme con los proyectos aportados por la Administración. Sin embargo, al comenzar a operar la autopista se ha puesto de manifiesto que no es necesario la demolición de la totalidad de las estructuras.

Los puentes están formados por vanos isostáticos y vigas metálicas y hormigón.

Se acometieron obras para sanear deterioros de las estructuras por el fenómeno del deshielo, reparaciones en 1980 en las que se debía mantener el tráfico durante los trabajos.

Solución propuesta

El caso del puente Broadway se basa en el refuerzo de la estructura existente y ampliación.

En primer lugar, el primer punto por acometer debido a los efectos del deshielo sobre los materiales, fue la limpieza, eliminación y protección de los elementos metálicos y de hormigón.

La posterior sustitución de los aparatos de apoyo mediante el gateo de parte del tablero. El resto de fases son las habituales en una ampliación de tal tipo.

Proceso constructivo

- Dado el estado de conservación de los elementos de tipo metálico fue necesaria la limpieza hasta la eliminación incluso de acero para conocer el espesor real de los elementos estructurales y valorar así su necesidad de refuerzo.
- Colocación de ánodos de sacrificio.
- Inhabilitación de la mitad de la calzada para la retirada del tablero.
- Construcción de nuevos pilares y columnas.
- Colocación y unión de nuevas vigas metálicas.
- Gateo de la estructura.
- Colocación de prelosas.
- Hormigonado de la losa y conexión con conectores.
- Impermeabilización del tablero.



- Colocación de nuevas juntas de dilatación.
- Pavimentado, señalizado y equipamiento.



3.4 GRANDES VIADUCTOS

A continuación, se presentan el caso de dos grandes viaductos ampliados en España, dentro de la Autovía del Cantábrico: El Arco de la Regenta y el Puente de los Santos.

Fueron construidos en la década de los años 80 y 90 para una vía de dos carriles de circulación, un carril por cada sentido.

Desde el año 2003-2008 se proyectó y se construyó la ampliación de dicha vía a una autovía de 2+2 carriles de circulación, 2 por sentido.

El Arco de la Regenta fue proyectado inicialmente previendo una futura ampliación de la vía pasando esta de ser una carretera convencional de un carril por sentido a una Autovía de dos carriles en cada dirección. Esta previsión de ampliación facilitó los trabajos de construcción enormemente.

Sin embargo, el Puente de los Santos no fue concebido para albergar futuras ampliaciones por lo que fue necesario un mayor esfuerzo y complejidad técnica para llevar a cabo dicha ampliación.

Características principales

Un viaducto es una obra de ingeniería que salva un valle en su totalidad, característica diferenciadora de los puentes. Haciendo referencia a Grandes Viaductos, suelen ser de grandes dimensiones, con grandes luces y grandes flechas. Estas características tan peculiares se abordan mediante grandes arcos o a través de vanos sucesivos, todo ello ejecutado con los hormigones y aceros más resistentes y mediante las técnicas más avanzadas de ejecución.

- Tienen grandes dimensiones.
- Suelen albergar vías rápidas tipo Autopistas o Autovías.
- Poseen anchuras de tablero amplias para albergar 4 o más carriles.
- Constituidos de materiales de alta resistencia.
- Conectan grandes valles.

3.4.1 AMPLIACIÓN PUENTE PINTOR FIERROS. ARCO DE LA REGENTA

Características generales

El viaducto Pintor Fierros, construido hace ya más de dos décadas y Premio Internacional Puente de Alcántara 1996, salva el valle del río Cabo (Asturias) con un arco de hormigón armado de 194 m de luz y una flecha de 50,38 m. La longitud total del puente es de 381,60 m, divididos en 19 vanos de 18,20 m y dos vanos extremos de 17,90 m cada uno (*Figura 47*). La máxima altura de pila de los viaductos de acceso es de 51,13 m y la máxima altura de la rasante sobre el valle del río ronda los 100 m. Los primeros 5 vanos de cada extremo forman los viaductos de acceso al arco y los restantes 11 vanos descansan ya sobre el propio arco. El tablero es una sección mixta bixágena en π , cerrada en el fondo con una chapa auxiliar no colaborante. La anchura total del tablero era de 12 m. El cajón metálico tiene 6,50 m de anchura, por lo que contemplaba voladizos laterales de 2,75 m. ^[13] (Pantaleón Prieto, Ramos Gutiérrez, & Martínez García)

La calzada alojaba inicialmente dos carriles de 3,50 m de anchura, uno para cada sentido, con arcenes laterales de 2,50 m.

Dadas las peculiaridades de esta estructura, y previendo las necesidades de la futura autovía, ya se concibió el arco para ser capaz de soportar la actual ampliación de la calzada.



Figura 46: Vista general del viaducto anterior a la ampliación.

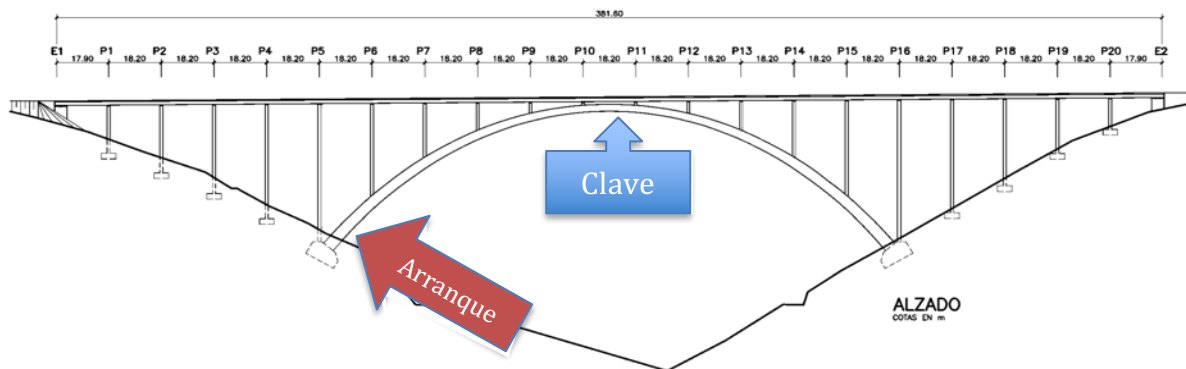


Figura 47: Plano de alzado del viaducto Pintor Fierros. [13]

Arco

La sección del arco, según la directriz, es un cajón bicelular de canto variable entre 4,20 m en arranque y 2,40 m en la clave. Las almas tienen 0,40 m de espesor y las tablas superior e inferior son de 0,30 m de espesor en arranque y de 0,24 m de espesor en la clave.

Las secciones del arco que empotran a las pilas que soportan el tablero están macizadas y disponen de un pretensado transversal.

El hormigón del arco es H-350 y el acero pasivo AEH-400.

Pilas y estribos

Las pilas tienen una altura variable entre un metro (las situadas en la zona de clave) y 51 m (las situadas en la zona de arranque del arco). Las pilas 1 a 5 y 16 a 20 están

cimentadas sobre el terreno, y componen los viaductos de acceso, mientras que las pilas 6 a 15 se apoyan sobre el arco.

La sección transversal de las pilas es rectangular, maciza, con anchura de 6,50 m.

Los estribos son cerrados, con fuste circular.

Tanto las pilas como los estribos, y los arranques del arco, están cimentados mediante cimentación directa contra las laderas del valle.

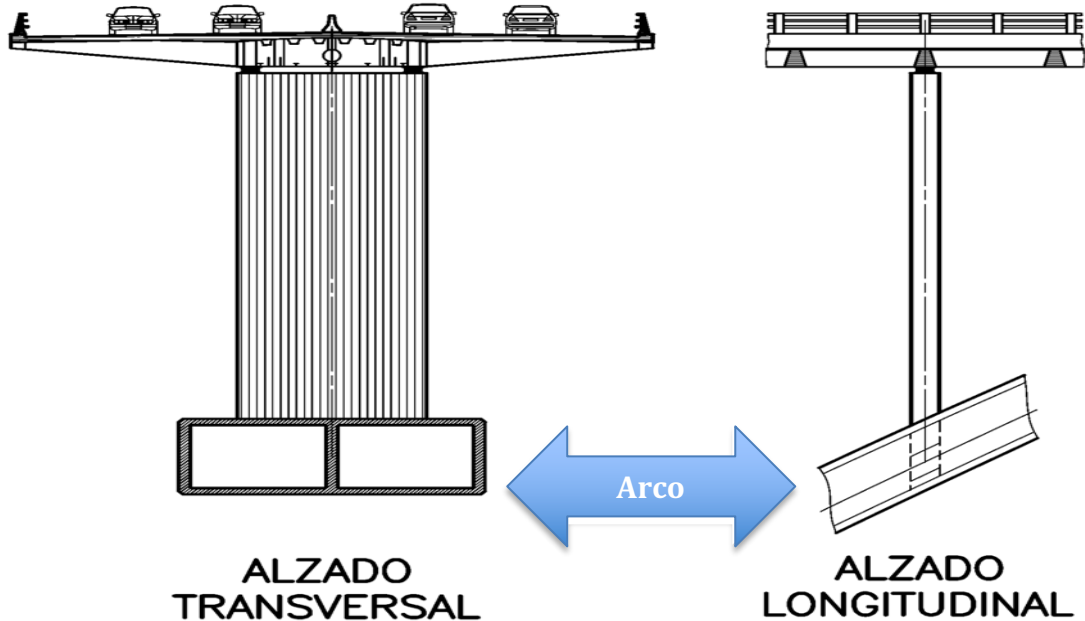


Figura 48: Distintas vistas de alzado (transversal y longitudinal). [13]

Aparatos de apoyo

El viaducto dispone de diferentes tipos de aparatos de apoyo. Aparatos de neopreno confinado que no admiten desplazamiento relativo tablero-pila, aparatos de apoyo de neopreno confinado con deslizamiento unidireccional y aparatos de apoyo de neopreno zunchado dependiendo de la zona del tablero.

Tablero

Como ya se ha expuesto, el tablero es una sección mixta de 6,50 m de anchura y 1,65 m de canto total en el eje.

La losa superior tiene canto mínimo de 0,25 m en el centro de la sección y canto de 0,40 m en el extremo del cajón. Los voladizos de hormigón (con una longitud de 2,75 m) arrancan con canto de 0,40 m y en el extremo tienen canto de 0,25 m.

El tablero está rigidizado cada 4,55 m por marcos cerrados que, en las secciones de pilas y estribo, se convierten en los correspondientes diafragmas de apoyo. Los diafragmas de pilas y estribo están convenientemente dispuestos para permitir una posible sustitución de los aparatos de apoyo.

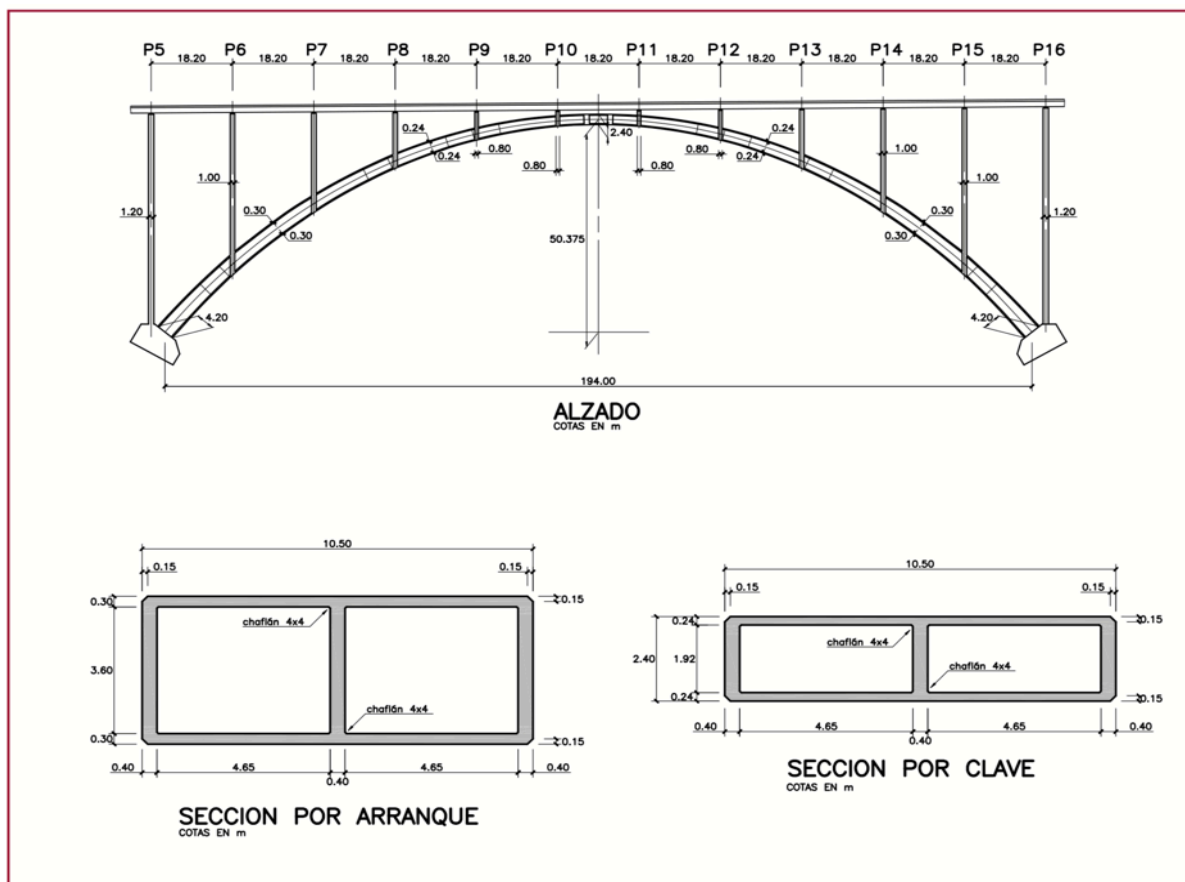


Figura 49: Plano de la variación de la sección del arco. [13]

Proceso constructivo

El arco, elemento principal y condicionante de toda la estructura, fue construido mediante el sistema de dovelas sucesivas hormigonadas in situ sobre un carro de avance. Para el sostenimiento del voladizo del arco se estableció una triangulación provisional por medio de tirantes pretensados hacia los viaductos de acceso. La tracción global del cordón superior durante esta fase de avance en voladizo del arco fue resistida por la sección metálica del tablero, que la conduce hasta el estribo (cuya estabilidad se logró mediante anclajes pretensados provisionalmente al terreno).

El ciclo constructivo se resume en las siguientes fases:

- Hormigonado de una serie de dovelas sucesivas del arco.
- Atirantamiento de la anteúltima dovela hormigonada.
- Hormigonado de la pila sobre el arco.
- Prolongación del tablero metálico mediante grúa.

Para la ejecución de la zona central del arco se recurrió al empleo de un mástil provisional sobre las pilas 9 y 12.

La construcción del arco finalizó con la apertura en clave mediante gatos y el hormigonado de la dovela de cierre.

La construcción de los vanos de acceso al arco se realizó de forma tradicional.

Descripción de la ampliación

Se ha ampliado la sección transversal del tablero del viaducto a una anchura total de 22 m (4 carriles de circulación de 3,50 m de anchura, arcenes de 2,50 m y mediana de 3,00 m). Con el fin de minimizar la afección a la estructura existente y rebajar tanto el coste directo de la ampliación como el plazo necesario para ejecutarla se ha mantenido invariable la anchura de la viga metálica en 6,50 m. De esta forma, la ampliación está soportada en su totalidad por la colocación de unos voladizos metálicos que sirven de soporte a la nueva losa. Estos voladizos, con una longitud de 7,75 m, se han dispuesto en las secciones del tablero donde ya existen marcos cerrados, y soldados a las almas laterales de la viga metálica. Igualmente, se ha construido una viga-cajón metálica longitudinal en el borde del tablero, soldada al extremo de los voladizos metálicos. Esta viga, de 0,50 m de anchura y 0,30 m de canto, posteriormente queda solidarizada con la losa de hormigón, materializándose una viga mixta que contribuye a mejorar la respuesta del tablero frente a cargas excéntricas. ^[13] (Pantaleón Prieto, Ramos Gutiérrez, & Martínez García)

También ha sido necesario ampliar los estribos existentes para alojar los 5,00 m adicionales de tablero a cada lado. Los nuevos “falsos estribos” no reciben carga vertical del tablero y su única misión es la de contener el derrame de tierras y garantizar una transición suave al tráfico en el paso de terraplén a estructura e, incluso, transversalmente entre la parte existente y los nuevos voladizos.

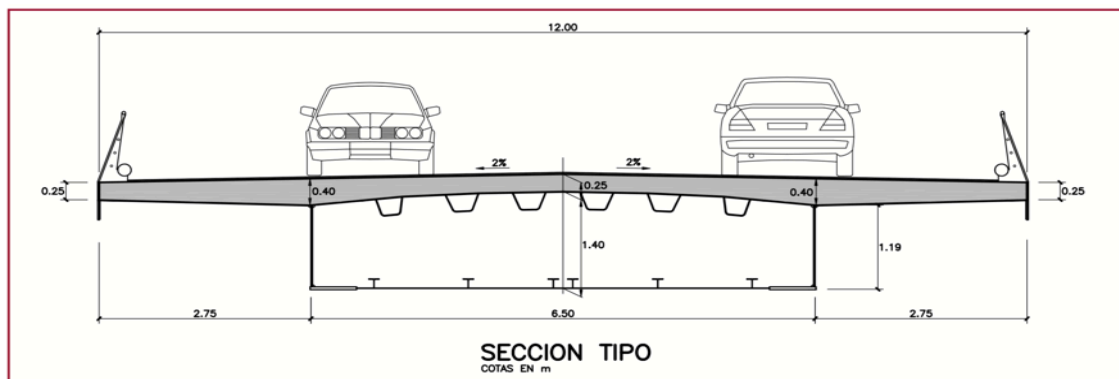


Figura 50: Sección original anterior a la ampliación.

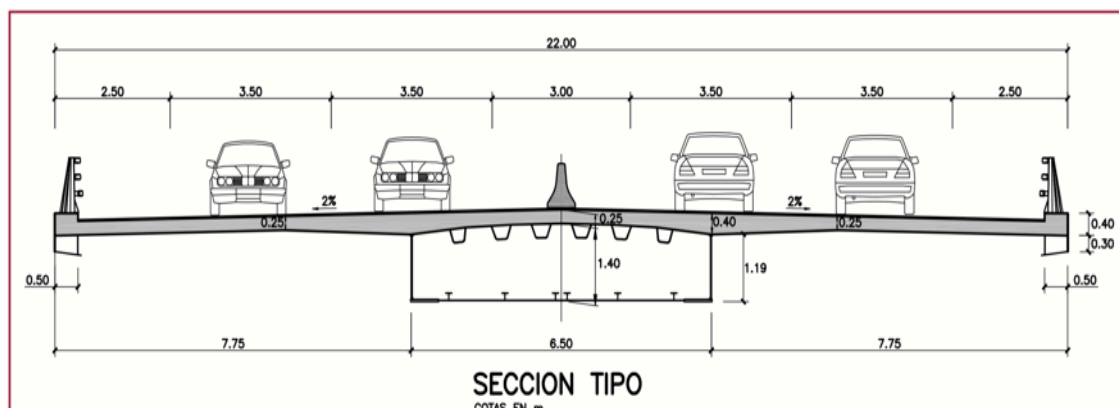


Figura 51: Sección tipo una vez realizada la ampliación.

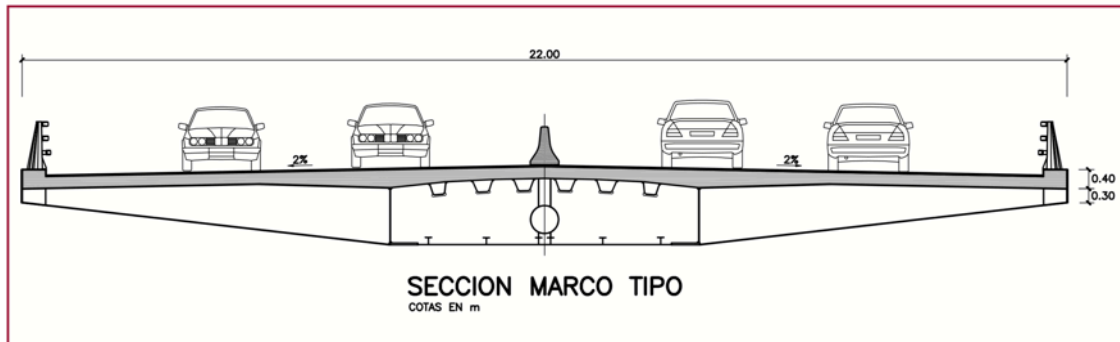


Figura 52: Sección tipo una vez realizada la ampliación en la zona del marco con vigas metálicas.

Voladizos metálicos

Los voladizos metálicos tienen una longitud de 7,16 m, y están separados una distancia de 4,55 m, coincidente con la posición de los marcos transversales del tablero. Son, por tanto, la prolongación natural de dichos marcos transversales.

La sección del voladizo es una doble T, de canto variable. El canto en arranque es el mismo del alma del tablero, 1,19 m, y el canto en el extremo es 0,34 m.

El ala inferior es de anchura linealmente variable, entre 0,75 m en el arranque y 0,30 m en el extremo. Igualmente, el ala superior del voladizo también es de anchura variable, entre 0,75 m y 0,30 m. Los primeros 2,75 m del ala superior del voladizo ya estaban colocados en el tablero original, previendo facilitar las labores de construcción de la ampliación. La unión de las alas del voladizo a las vigas principales del tablero está suavizada mediante un acuerdo de radio 0,20 m. La soldadura de las alas de los voladizos al tablero existente se ha realizado a penetración completa, mientras que la soldadura del alma del voladizo al alma del tablero se ha realizado en ángulo.



Figura 53: Detalle de voladizos de vigas metálicas soldadas al cajón.

Viga de borde

Se ha dispuesto una viga-cajón metálica longitudinal en el borde del tablero, soldada al extremo de los voladizos metálicos. Esta viga tiene una anchura de 0,50 m entre almas, y 0,30 m de canto en el extremo.

Para facilitar la unión soldada con el voladizo se han extendido las alas de esta viga cajón una longitud de 7 cm hacia el interior.

El espesor de las chapas de la viga de borde es 12 mm, y dispone de rigidizadores transversales completos en la unión con el voladizo.



Losa de Hormigón

Estrictamente la ampliación de la losa de hormigón debería ser de 5,00 m a cada lado, aunque es necesario eliminar previamente 1,00 m de la losa existente a cada lado (*Figura 54*), para disponer de la longitud de solape necesaria entre las armaduras de la losa existente y la nueva.

El espesor de la nueva losa de hormigón es de 0,25 m, constante. En el extremo del tablero, coincidente con la viga de borde, se ha realizado un recrecido de 0,15 m de altura, que permite acomodar de forma más adecuada el pretil metálico. El hormigón de la losa es de calidad HA-35. La losa está conectada en toda su longitud tanto a los voladizos metálicos como a la viga de borde mediante conectores.

Proceso constructivo de la ampliación

En primer lugar, hay que destacar que el proceso constructivo de la ampliación se ha llevado a cabo manteniendo abierto el tráfico en todo momento. Se habilitaron para ello dos carriles de circulación por la parte central del tablero, con una anchura de calzada de 6,00 m.

El proceso constructivo se inició con la realización de las tareas previas, como son las de construcción de la ampliación de los estribos y macizado del tablero en zona de estribos (para evitar el despegue o reptado de los aparatos de apoyo).

Los trabajos de ampliación del tablero comenzaron con la retirada del pretil metálico existente y la demolición de la losa en una longitud de 1,00 m a cada lado, necesarios para solapar adecuadamente la armadura de la losa existente con la de la nueva. Esta demolición se realizó en tres fases:

- Fresado del aglomerado (0,10 m de espesor).
- Picado del bordillo existente (0,10 m x 0,45 m) mediante mini retro y corte de la armadura del bordillo.
- Hidrodemolición de 1,00 m de losa del tablero, (*Figura 54*). Los trabajos de hidrodemolición se llevaron a cabo alternativamente a uno y otro lado del tablero utilizando para ello dos robots. El agua recuperada del proceso se trata en un sistema de decantación de aguas para su posterior reutilización y proteger el fondo del valle de posibles vertidos. El proceso de hidrodemolición permite obtener un borde "limpio" de la losa de hormigón, sin partes sueltas, con la superficie a unir con el nuevo hormigón rugosa, y la armadura transversal existente perfectamente limpia y sin doblar.



Figura 54: Hidrodemolición de parte del tablero.

Posteriormente se procedió a instalar el carro para la colocación de la estructura metálica y el hormigonado de la losa (*Figura 55*). El carro está formado por tres cerchas unidas y arriostradas entre sí, de las que cuelgan 4 módulos de encofrado, 2 a cada lado para el hormigonado de la losa de hormigón. El carro se sustenta mediante tres pares de patas que se apoyan sobre dos carriles, cuya función es la de repartir las cargas para evitar problemas de punzonamiento en la losa superior existente del tablero. Estos carriles se colocan en sentido longitudinal, con una separación entre ellos de 9,00 m, quedando su posición, en planta, ligeramente por fuera de las almas de las vigas metálicas, y permitiendo el tráfico por la parte central del tablero. Los tres pares de apoyo del carro están separados longitudinalmente 4,55 m (que es la separación entre marcos) con lo que la distancia entre las patas extremas es de 9,10 m. La carga total transmitida por el carro es del orden de 1.500 kN. El encofrado gravita sobre una estructura de vigas metálicas abatibles y consta de vigas de madera en sentido longitudinal, sobre las que está colocado el panel fenólico. El equipo se completa con dos juegos de tres polipastos en cada lateral: uno en sentido longitudinal y dos en sentido transversal para posibilitar el traslado de los voladizos metálicos y las vigas de borde.



Figura 55: Carro para la colocación de la estructura metálica y el hormigonado de la losa.

El proceso de soldado de los nuevos voladizos metálicos y viga de borde al tablero existente se realizó de forma simultánea al hormigonado de la losa, en ciclos de 2 días, según la siguiente secuencia:

- El carro se coloca en posición (de los tres pares de apoyos que tiene, el trasero queda situado en el último voladizo colocado en la fase anterior).
- En el primer día del ciclo se presentan y se sueldan 2 voladizos metálicos a cada lado del tablero, y el correspondiente tramo de viga de borde. Posteriormente se realizan los ensayos no destructivos de las soldaduras.
- El segundo día del ciclo se procede a ferrallar y hormigonar los 9,10 m de losa a cada lado del tablero, con el propio sistema porta encofrados del carro.
- En el primer día del nuevo ciclo, y antes de trasladar el carro, se debe asegurar una resistencia del hormigón de 20 N/mm^2 en el momento de desencofrado, y al menos 16 horas de curado.
- El hormigonado de los siguientes módulos de losa se realiza ya desde la propia losa hormigonada con anterioridad, garantizando una resistencia media superior a 25 N/mm^2 .



Figura 56: Vista general calzada ampliada vs calzada original.

Análisis estructural

Se realizó un extenso análisis resistente de todo el viaducto, de acuerdo con las normativas actuales, para verificar la seguridad de la ampliación.

Subestructura

Para la determinación de esfuerzos globales en la estructura se realizaron dos tipos de modelos:

- Modelos 2D de simulación del proceso constructivo. Estos modelos permiten conocer la influencia del proceso constructivo en el reparto de esfuerzos de peso propio y carga permanente, así como calcular su evolución en el tiempo y su interacción con la fluencia y retracción del hormigón.
- Modelo 3D para la inclusión de todas las cargas y sobrecargas. Este modelo permite obtener las envolventes de esfuerzos por sobrecargas y combinarlas.

Como fase previa al trabajo de cálculo en oficina de la ampliación del viaducto, se procedió a efectuar un replanteo de la geometría de la estructura construida. Dadas las condiciones de accesibilidad del lugar, esta medición fue realizada mediante medios topográficos avanzados, aunque no es posible garantizar una precisión elevada. Los resultados muestran un descenso del arco en las posiciones de la clave, mientras que el tablero sí mantiene la rasante de proyecto. Este hecho puede deberse a los ajustes propios de flechas que se producen durante el proceso constructivo.

Por este motivo, y para acercarse a las condiciones estáticas reales de la estructura, se ha seguido un doble camino en todos los modelos que recogen el cálculo de esfuerzos globales: por un lado, se han realizado los cálculos con la geometría de proyecto del puente y, por otro, y como factor de seguridad adicional, se han estudiado los efectos que esta geometría deformada tiene sobre la respuesta del arco y el tablero.

Con estos modelos se ha comprobado el adecuado nivel de seguridad de las pilas y el arco.

Tablero

El estudio realizado sobre el comportamiento del tablero, destacó dadas las especiales características del vano tipo (mayor anchura que longitud), con una especial atención a su comportamiento resistente frente a cargas excéntricas.

Se realizó un modelo de elementos finitos que representa tres vanos de un cajón de sección mixta, simulándose con las condiciones de contorno el resto del tablero y las pilas. Se representan las distintas fases por las que pasa el tablero en su construcción desde el estado inicial, con 12 m de anchura, hasta la puesta en servicio con la sección ampliada, de 22 m de anchura.

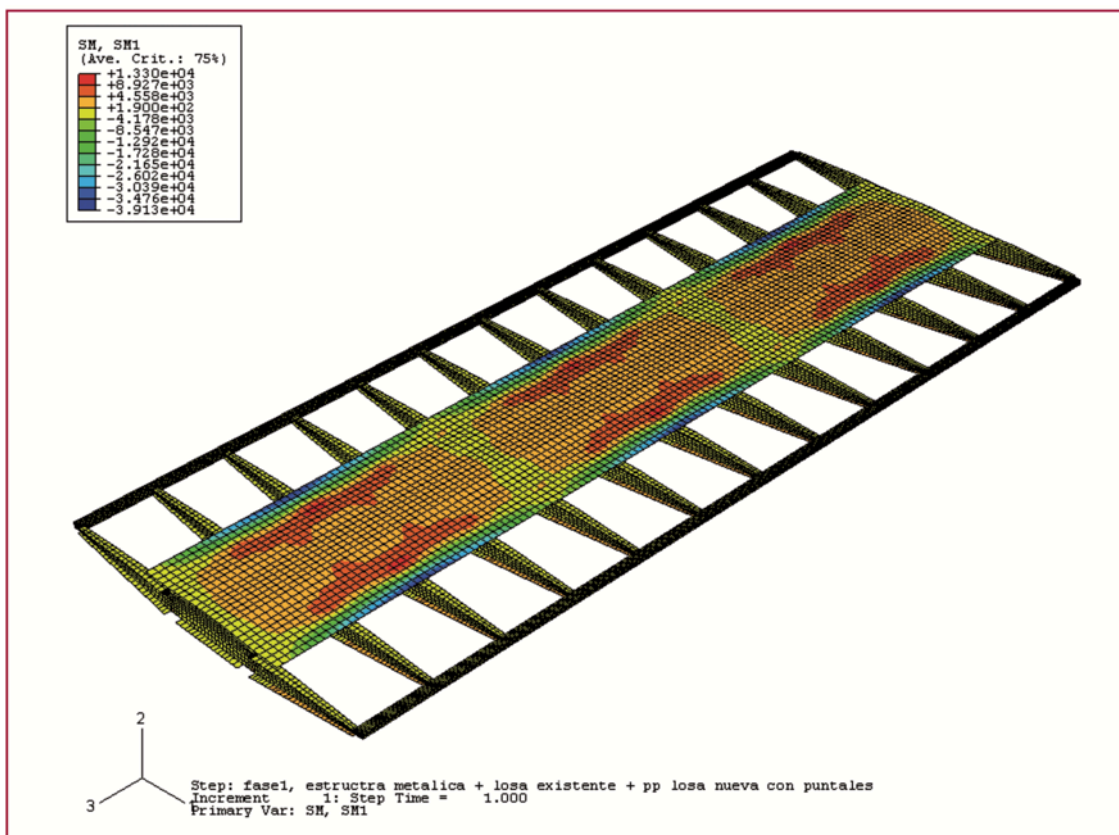


Figura 57: Modelado por elementos finitos para el análisis del tablero. ^[13] (Pantaleón Prieto, Ramos Gutiérrez, & Martínez García)

Del modelo se desprende que los voladizos, o costillas, no se cargan todos por igual cuando se aplica una carga distribuida en la losa superior, sino que, debido al efecto de la flexión global del tablero, la flexión longitudinal de la losa superior y la presencia de la viga de borde, los voladizos de pila se cargan más que los demás. Teniendo en cuenta este efecto, se dimensionan los voladizos como secciones mixtas de hormigón y acero.

La viga de borde se dimensiona como sección mixta, formada por el pequeño cajón metálico y el recrecido de hormigón que se dispone encima y al que se ancla la barrera.

Por último, la armadura de la losa se dimensiona a partir de los esfuerzos obtenidos en el modelo, diferenciándose en las cuantías colocadas los tramos entre voladizos adyacentes a secciones de pila de los que están en centro de luz.

Análisis

En las primeras fases de proyecto se estudió la posibilidad de sustituir la chapa de fondo de 5 mm original (no colaborante) por otra de mayor espesor que sí lo fuera, que cerraría la sección y mejoraría su comportamiento ante cargas excéntricas, aunque esta opción dificultaba considerablemente la ampliación.

Se ha comprobado que la solución de sección bijácena original, en la que no se sustituye la chapa de fondo existente no colaborante y se proyecta una nueva viga mixta de borde, presenta un comportamiento ante cargas excéntricas plenamente satisfactorio y reduce las flechas en el extremo de la sección para las cargas concentradas.

Estructura terminada

En la imagen que se muestra a continuación puede observarse la magnitud del arco y en especial los nuevos voladizos materializados a través de vigas metálicas soldadas al cajón original. En el extremo del voladizo destaca la viga de atado mixta (acero y hormigón) para mejorar la respuesta del tablero frente a cargas excéntricas.



Figura 58: Vista inferior del arco ampliado a través de los voladizos metálicos

3.4.2 AMPLIACIÓN DEL PUENTE DE LOS SANTOS

Introducción

El Puente de Los Santos es una estructura formada por 5 vanos de luces de 75m + 3x150m + 75m y un vano adicional de 12 metros que salva un camino. Situado en el norte de España en la frontera entre las Comunidades Autónomas de Galicia y Asturias sobre la ría del Eo.



Figura 59: Vista general del Puente de Los Santos sobre la Ría del Eo.

El puente, cuya longitud total es de 612 metros, fue construido por la técnica de voladizos sucesivos a principios de los años 80 sin considerar ningún tipo de ampliación futura como por ejemplo en el Arco de la Regenta. La ampliación consistió en una vez reformado duplicar su capacidad. Una de las mayores dificultades del proyecto vino dada por la necesidad de mantener el tráfico durante la construcción, puesto que no existían otras alternativas de cruce de la ría razonables.^[14] (Corres Peiretti, Pérez Caldentey, Romo Martín, Prieto Aguilera, & Sanchez Delgado)

Características principales

El tablero está formado por una sección cajón monocelular de hormigón pretensado de canto variable entre 7,50 metros en las secciones de pilas a 3,00 metros en centros de vanos y estribos. El ancho del núcleo inferior de la sección transversal es de 6,50 m en tanto que la losa superior tiene una anchura de 12 metros. Las almas son verticales de espesor constante e igual a 0,48 metros.

La losa inferior posee canto constante en dirección transversal, disponiendo de cartelas en el encuentro con las almas. Longitudinalmente su espesor varía de forma lineal entre 0,20 m en el centro del vano y 1,25 m en los apoyos.

Las cuatro pilas están formadas por dos pantallas cada una de sección rectangular rematadas por biseles triangulares, de 7 metros de ancho por 2 metros de canto. La separación entre pantallas es de 8,00 metros a ejes.

Las dos pilas centrales están cimentadas sobre encepados de 12 pilotes de 2,00 metros de diámetro cuyas dimensiones son de 21×15×3 metros. Las pilas laterales por su parte, se diseñaron con una cimentación directa mediante zapata de unas dimensiones de 20×12×3 metros. En el caso de pila 4 sin embargo, se dispusieron finalmente 12 pilotes cortos apoyados en un macizo de suelo inyectado con cemento debido a problemas detectados durante la construcción, manteniendo las dimensiones en planta y aumentando el canto de 3 a 3,25 m.^[14]



Figura 60: Vista general anterior al proceso de ampliación. [13] (Pantaleón Prieto, Ramos Gutiérrez, & Martínez García)



Figura 61: Vista de la magnitud del cajón central y de las dobles pilas en sección rectangular.

Antes de iniciar los trabajos de ampliación, se llevó a cabo un estudio preliminar para determinar las condiciones relativas a la durabilidad de la estructura con objeto de valorar la viabilidad de la operación de ampliación. Los resultados de este estudio fueron satisfactorios y se concluyó que la vida útil remanente del puente era adecuada para seguir apostando por dicha estructura e invertir dinero y recursos en una ampliación.

Descripción de la ampliación

El proyecto da respuesta a la necesidad de ampliar el ancho del tablero de esta estructura de 12,00 a 24,60 metros, 6,30 metros a cada lado sin recurrir a una estructura

independiente. La idea fundamental que subyace detrás de este proyecto es la de aprovechar la estructura existente suministrando el mínimo refuerzo necesario. Esta idea ha permitido unos ahorros muy importantes en términos de coste material, y ha supuesto un gran reto desde el punto de vista del diseño estructural.

Se plantearon refuerzos:

- Pretensado exterior situado en el interior del cajón.
- Estructura mixta en forma de cajón metálico relleno de hormigón.
- Adición de una tercera alma situada en el eje de simetría del interior del cajón para soportar las nuevas cargas.
- Jabalones metálicos para aliviar la flexión transversal de la losa.
- Un cajón metálico longitudinal adosado a la cara inferior del tablero y conectado a la tercera alma mediante barras pretensadas y armadura pasiva.
- Refuerzos de las riostras de pilas mediante barras pretensadas.
- Aumento del canto de las cimentaciones.

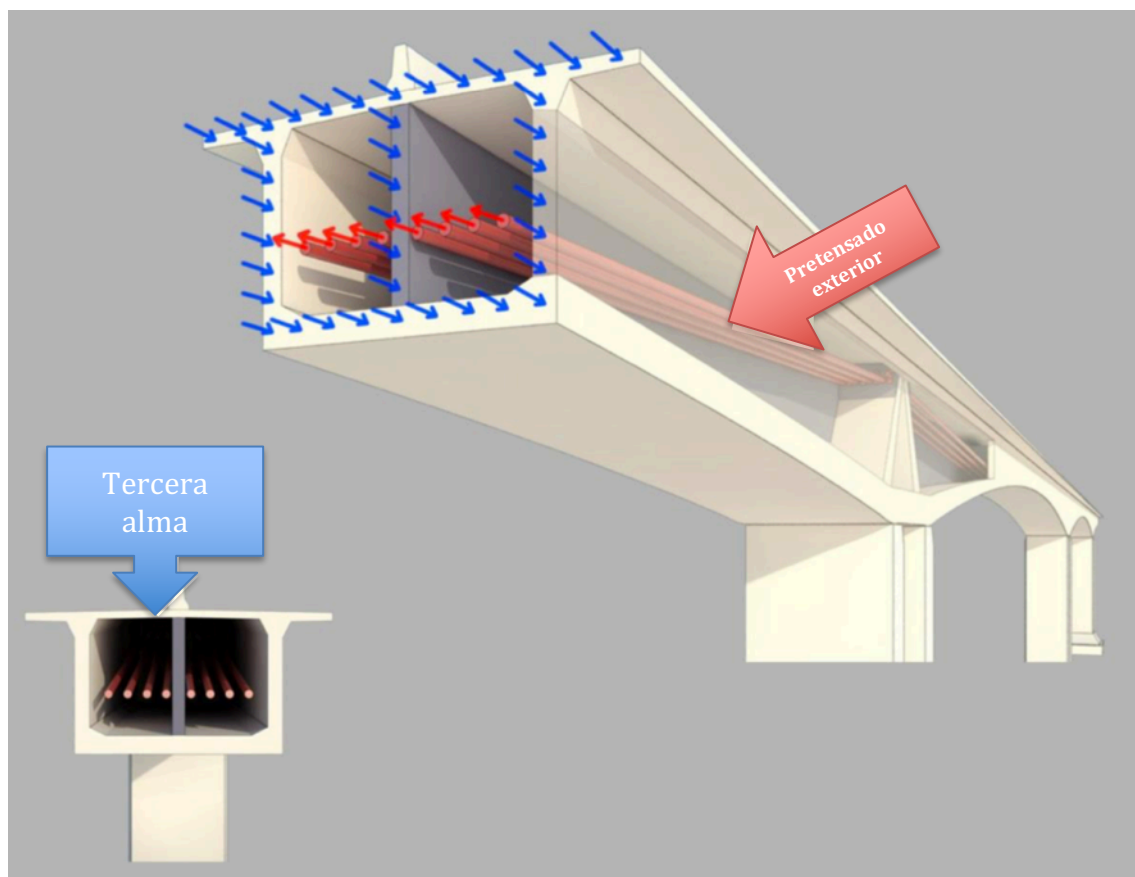


Figura 62: Adición de una tercera alma central y de un pretensado exterior para soportar las nuevas cargas. ^[15] (Sanchez Delgado)

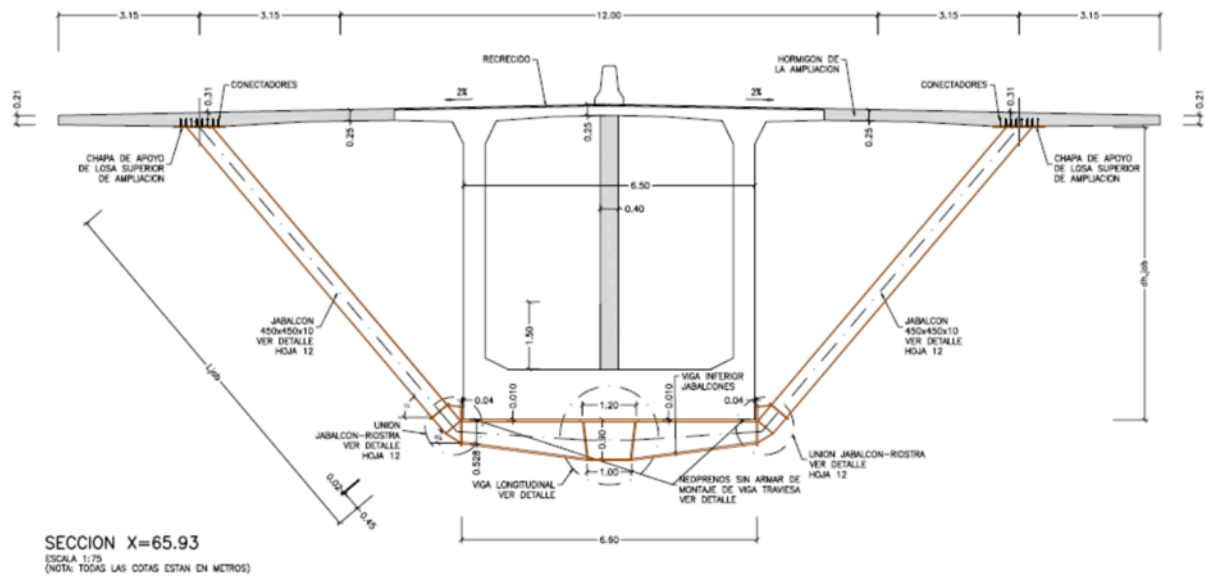


Figura 63: Sección tipo una vez realizada la ampliación mediante jabalcones metálicos que arriostran la nueva losa de hormigón.

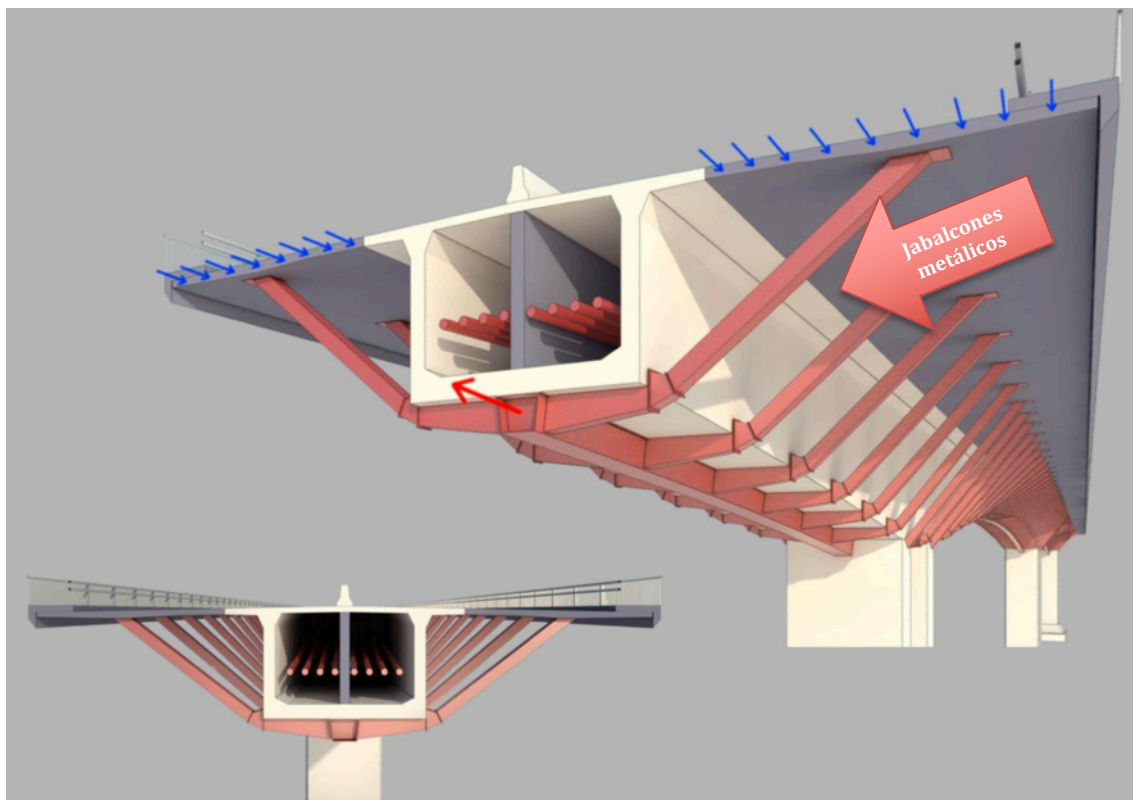


Figura 64: Animación 3D de la colocación de jabalcones metálicos y vista transversal y longitudinal del puente una vez realizada la ampliación. [15] (Sanchez Delgado)

Proceso constructivo

- Inspección y auscultación.
- Refuerzo de cimentaciones.
- Demolición de las aceras laterales.
- Construcción del alma central previa hidrodemolición de los huecos de conexión.

- Diafragmas y pretensado exterior.
- Colocación del cajón metálico inferior y de la viga transversal.
- Demolición de los voladizos del tablero pre-existente.
- Colocación de los tornapuntas y hormigonado de los voladizos.
- Demolición del recubrimiento de 3 cm de la zona central. Colocación de la armadura de refuerzo y hormigonado de 6 cm.
- Ejecución de remates y acabados.

Refuerzo de cimentaciones

Las dos pilas centrales están cimentadas sobre pilotes profundos mientras que las dos exteriores se cimentan a menor profundidad sobre el lecho rocoso. Desde el punto de vista de las condiciones portantes del suelo, las prospecciones geotécnicas demostraron que el subsuelo tenía suficiente capacidad para absorber las cargas adicionales debidas a la ampliación de los voladizos del tablero y los nuevos carriles de tráfico. Sin embargo, era necesario reforzar las zapatas y los encepados ya que su capacidad resultaba estricta para la condición de cargas previa a la ampliación.

Mediante un simple aumento del canto de las cimentaciones a través de el hormigonado de un sobre-espesor que permitiría a la armadura existente, trabajando con el canto



Figura 65: Recinto metálico estanco para desarrollar los trabajos de recrecido de la cimentación.

total absorber las nuevas cargas. Se verificó la capacidad de la interfaz hormigón existente/hormigón de refuerzo para confirmar la posibilidad de transmitir las nuevas cargas mediante un mecanismo de cohesión/fricción.

Los trabajos se desarrollaron con ayuda de una estructura metálica correspondiente a un recinto estanco que permitió trabajar en las cimentaciones y las pilas sin influencia de las aguas.

La primera idea de limitar el refuerzo de las pilas a un recrecido de las zapatas/encepados tuvo que ser abandonada en el caso de las pilas 1 y 4 debido a que la inspección submarina de las mismas reveló que el hormigón se había deteriorado seriamente debido a una mala ejecución en la cual se utilizó una técnica, novedosa en la época de construcción, pero insuficientemente contrastada. Esta circunstancia llevó a un rediseño del refuerzo de las pilas laterales mientras que la idea inicial se mantuvo en las centrales. En el primer caso se proyectó una zapata de 3 metros de canto diseñada para resistir la totalidad de las solicitaciones hormigonada por encima de las zapatas existentes y conectada a la pila mediante pretensado. Para materializar esta conexión, fue necesario ejecutar 5 taladros en los fustes de las pilas existentes.

Refuerzos finales

- Zapata 1: Terreno Asturiano, recrecido 3 metros de hormigón armado con pretensado longitudinal mediante 12 cordones.
- Encepados 2 y 3: Ría de Eo, recrecido de hormigón armado de las cimentaciones profundas.
- Zapata 4: Terreno Gallego, recrecido 3 metros de hormigón armado con pretensado longitudinal mediante 12 cordones.

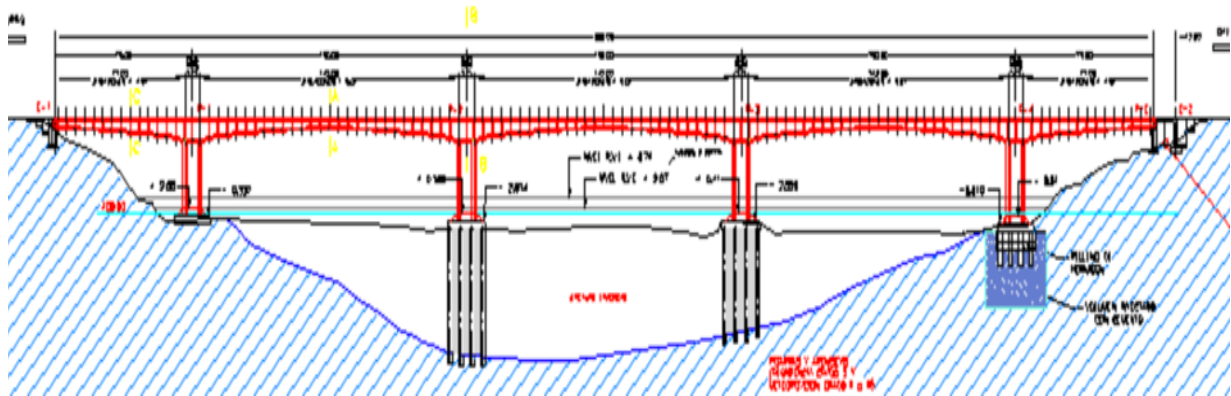
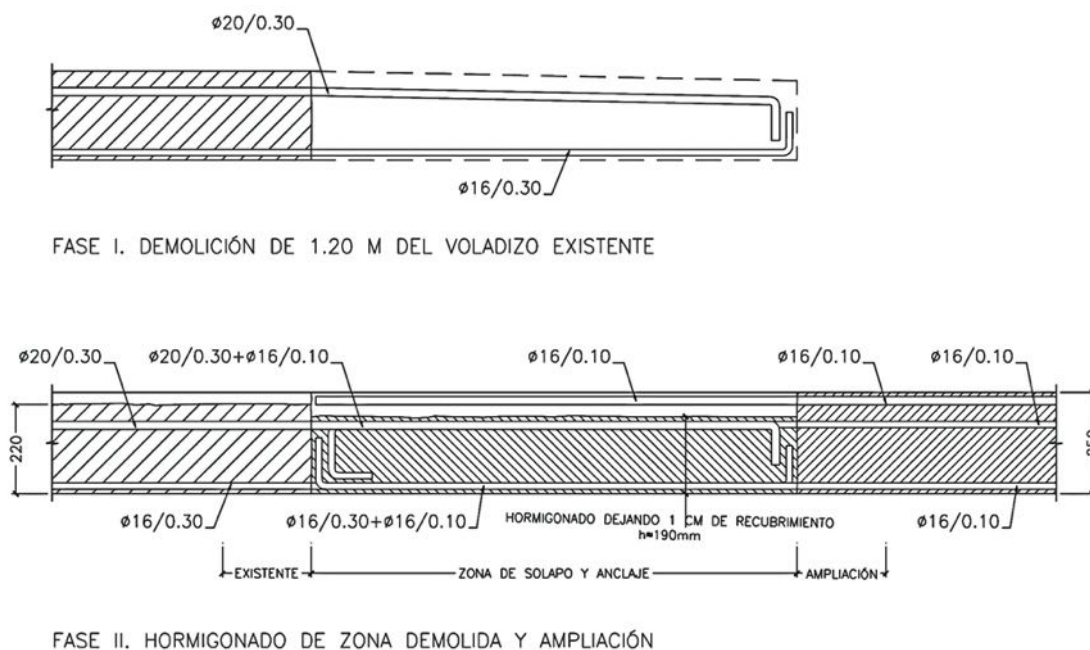
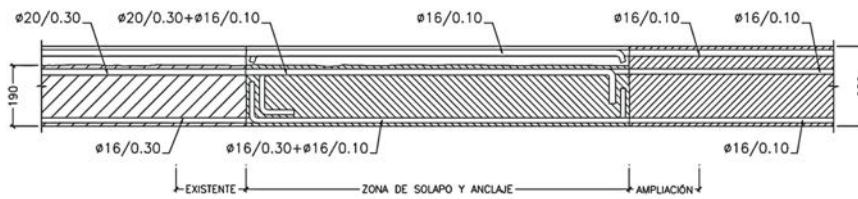


Figura 66: Esquema de los refuerzos en la cimentación de cada una de las 4 pilas. [15] (Sanchez Delgado)

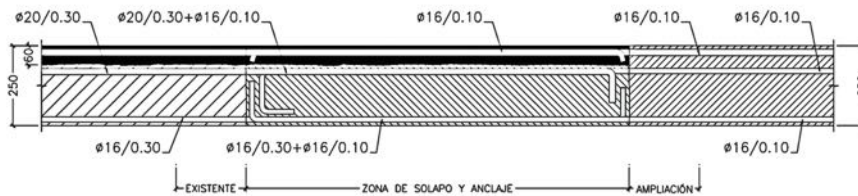
Ampliación y refuerzo del tablero

Fue necesario reforzar el tablero existente para poder resistir las cargas adicionales del nuevo tráfico. El refuerzo propuesto se concreta en tres elementos: hormigonado de un alma adicional en el interior del tablero, conexión de esta alma a una sección mixta situada en la cara inferior del tablero y refuerzo del tablero mediante la ejecución de un pretensado exterior situado dentro del cajón.





FASE III. DEMOLICIÓN DE 3 CM DE RECUBRIMIENTO EN LOSA EXISTENTE Y COLOCACIÓN DE REFUERZO DE ARMADURA TRANSVERSAL



FASE IV. HORMIGONADO DE 6 CM SOBRE ESTRUCTURA EXISTENTE Y ZONA DE SOLAPO

Figura 67: Fases de construcción de la conexión de la losa existente y la losa del voladizo ampliado.

La ampliación del tablero se lleva a cabo mediante una losa de hormigón armado que se ejecuta in situ y se conecta a la losa existente. Esta losa se apoya sobre un jабalcón metálico de sección tubular cuadrada cuya carga se transmite, mediante traviesas metálicas a la nueva alma hormigonada en el interior del tablero.

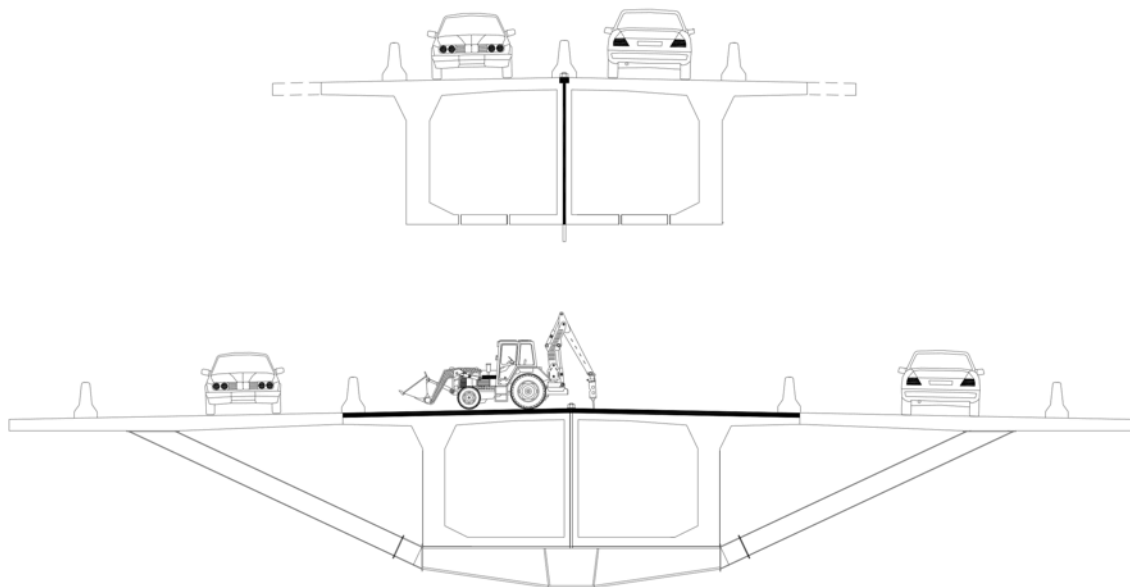


Figura 68: Construcción de la tercera alma de hormigón para la adición de la estructura metálica que da soporte a los jабalcónes metálicos que sustentan la nueva losa de hormigón ampliado.



Figura 69: Vista inferior del cajón, detalles de la unión de la estructura metálica al cajón de hormigón original con ayuda de una tercera alma.

Para conectar la losa nueva con la ya existente, se propone el siguiente procedimiento. El tráfico se limita a un carril estrecho por sentido dejando una zona de trabajo libre en la parte central en primer lugar y, posteriormente en la zona de borde de los voladizos. Ello permite ejecutar los taladros verticales en las losas superior e inferior que permiten disponer la armadura de la nueva alma y los anclajes de las traviesas y, a continuación, demoler 1,20 metros de la losa existente en la zona final de los voladizos. La nueva losa del voladizo se hormigona con un espesor de 0,25 m, excepto en la zona de solape donde su espesor se reduce en esta fase a 0,19 m. Una vez ejecutada la ampliación de los voladizos, el tráfico se traslada a esta zona. Se trata de una situación crítica puesto que el talero debe resistir la componente de tracción horizontal, que generan los jabalcones y que alcanza su valor máximo debido a la situación de los carriles de tráfico provisionales, con la armadura original de la estructura. Ello sólo es posible si esta componente horizontal se puede distribuir en un ancho de tablero importante. A estos efectos se ha propuesto un modelo de bielas y tirantes. La idea es que la fuerza horizontal del jabalcón se difunda en primer lugar hacia el extremo del voladizo y se equilibre mediante la armadura situada en un ancho de losa importante. Para que este modelo funcione adecuadamente, es necesario disponer una armadura longitudinal suficiente en el extremo del voladizo.

El paso del tráfico por el nuevo voladizo es necesario en esta fase con objeto de poder terminar la ejecución de la conexión entre los hormigones de la estructura existente y de la ampliación. En esta fase se demuelen 3 cm de la parte superior del tablero existente, se dispone una armadura de refuerzo y se hormigona una nueva capa de 6 cm de espesor correspondientes a los 3 cm demolidos más 3 cm de aumento en el canto de la losa. Para compensar este aumento en el peso, en la ampliación de los voladizos se utiliza un hormigón de tipo ligero.

Para la puesta en obra de la estructura metálica y el hormigonado de la nueva losa resulta necesario un encofrado móvil dispuesto sobre el tablero.

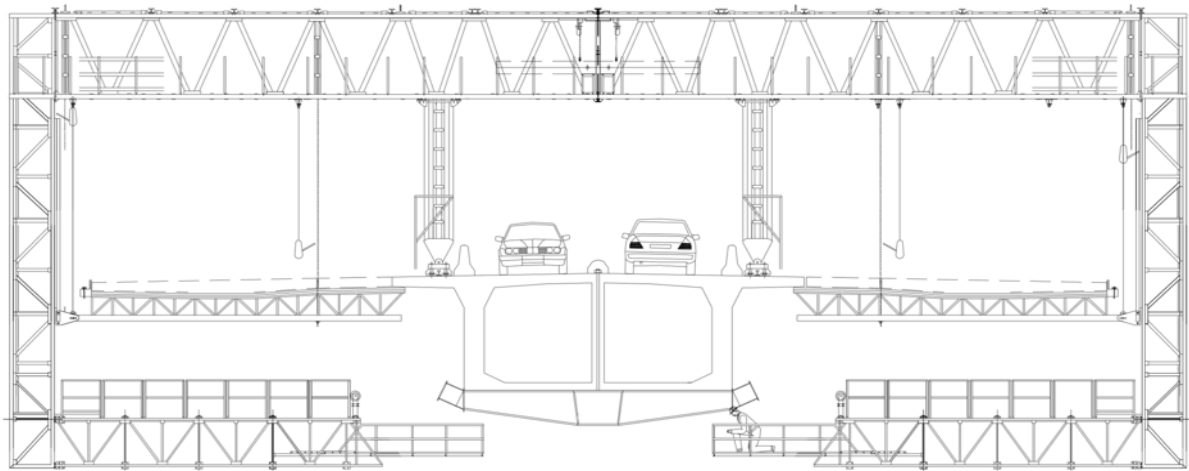


Figura 70: FASE 1- Encofrado móvil dispuesto sobre el tablero para la colocación de la estructura metálica y el hormigonado de la nueva losa.

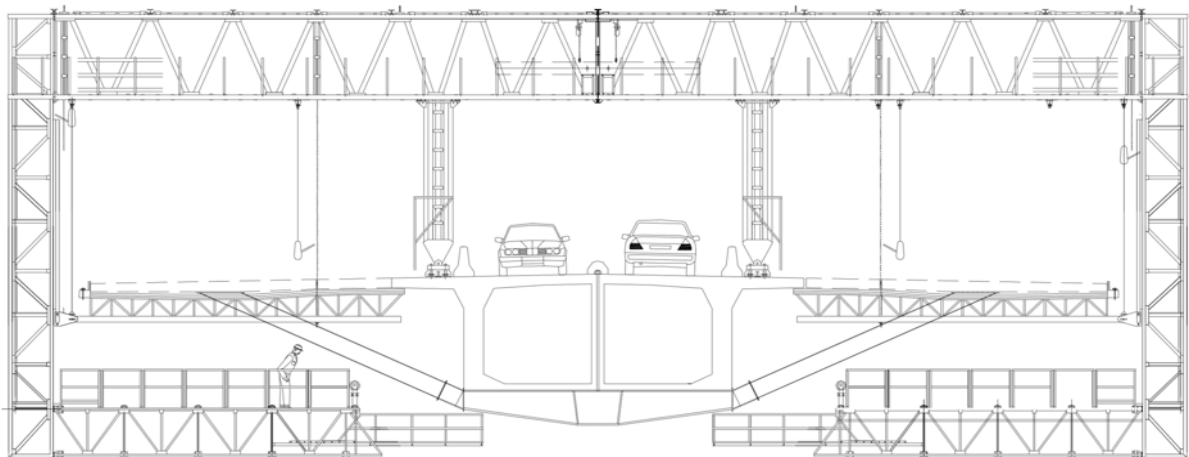


Figura 71: FASE 2- Encofrado móvil dispuesto sobre el tablero, estructura metálica colocada en su posición, le continuara una FASE 3- Hormigonado de la losa.



Figura 72: Vista real de la estructura móvil para la colocación de jabalcones metálicos y hormigonado de la losa superior del tablero.

Pretensado exterior

Uno de los aspectos más delicados del proyecto corresponde al diseño del anclaje del pretensado exterior en los diafragmas de pilas existentes. Ello es debido a que la ejecución de los taladros necesarios en los diagramas triangulares de las pilas para pasar el pretensado exterior supone dañar de forma muy importante la armadura dispuesta en las células triangulares. Esta armadura es, por otra parte, necesaria para transmitir las fuerzas debidas a cargas desequilibradas aplicadas sobre el tablero a los fustes de las pilas.



Figura 73: Pretensado exterior entre diafragmas.

Con objeto de compensar esta pérdida de capacidad resistente se proyectó un pretensado vertical muy potente situado sobre el alma central, como se muestra en la siguiente imagen.

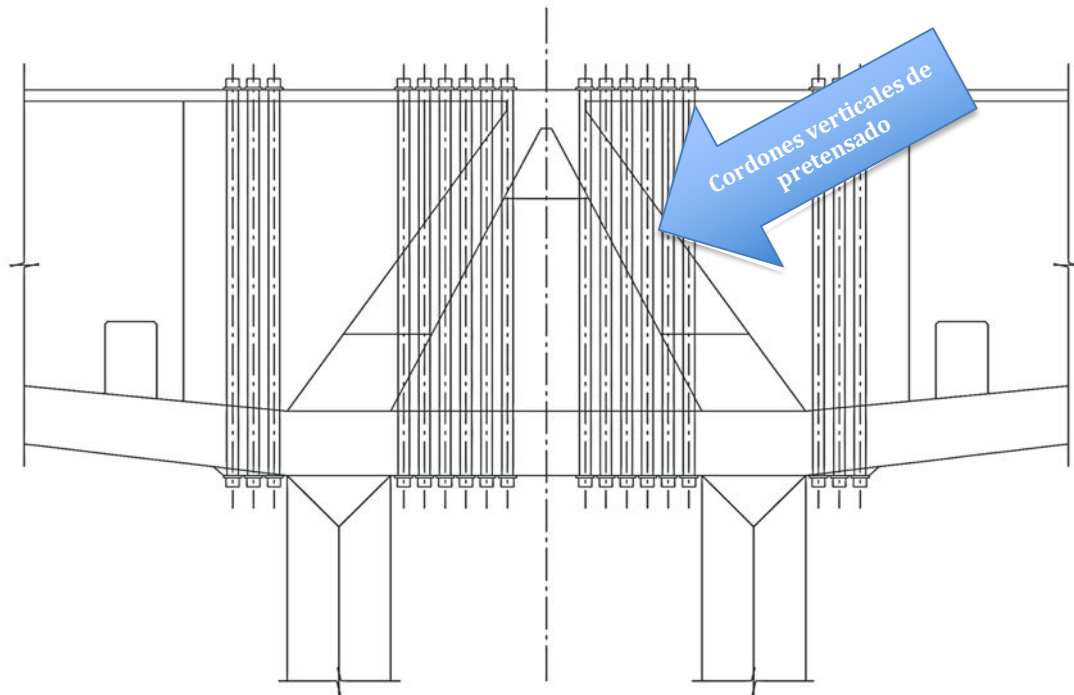


Figura 74: Pretensado vertical en los diafragmas, en el encuentro entre las pilas y el cajón debido al debilitamiento de la zona por el pretensado exterior.

Puente tras la ampliación

Una vez realizada la ampliación de 2 carriles, uno por sentido a 2+2, dos carriles por sentido de circulación se establece esta estructura como obra de paso de la Autovía del Cantábrico conocida como A-8, concretamente el tramo entre las comunidades Autónomas colindantes de Asturias y Galicia sobrepasando una ría de difícil comunicación entre ambos márgenes sin dicha estructura.

A continuación, se muestran unas imágenes del aspecto de la obra una vez terminados los trabajos de ensanche de la plataforma.



Figura 75: Vista de la calzada ampliada del puente a 2+2 carriles.



Figura 76: Vista general del puente una vez finalizada la ampliación (se observa el recrecido en la cimentación y la estructura metálica con los nuevos jalcones).

3.5 AMPLIACIÓN DEL PRIMER PUENTE ATIRANTADO EN EL MUNDO. RANDE.



Figura 77: Vista general del Puente de Rande (AP-9) antes de acometerse la ampliación.

Características principales

Desde la puesta en servicio en 1981 del tramo Pontevedra-Vigo de la autopista del Atlántico (AP-9), eje norte-sur que enlaza seis de las ocho mayores ciudades de Galicia, la reducción del tiempo de viaje entre ambas ciudades y el crecimiento residencial en la península, debido principalmente a la mejora viaria en la zona, han incrementado notablemente el tráfico y reducido la fluidez en el recorrido, mermando la funcionalidad de la autopista y poniéndola al límite de su capacidad (60.000 vehículos/día en el año 2010). Ante esta situación, el Ministerio de Fomento y la concesionaria Audasa acordaron ampliar la capacidad del tramo.

Como resultado de la ampliación, la nueva sección de autopista entre ambos enlaces ha aumentado de dos a tres carriles por sentido. Con ello se ha elevado la capacidad de la infraestructura, incluido el puente de Rande, al incrementarse la intensidad media de tráfico que soporta el puente con un nivel de servicio adecuado, pasando de 4.500 a 6.400 vehículos/hora (un 42% más), lo que mejora tanto el nivel de servicio como las condiciones de seguridad y comodidad para los usuarios. ^[16] (Ventosa)

Ampliación del Puente de Rande

La ampliación del icónico puente de Rande que cruza la ría de Vigo a través de una estructura atirantada de 704 metros de longitud y 400 metros de luz principal, es por su complejidad técnica la obra más singular del tramo de la AP-9 O Morrazo-Teis, habiendo condicionado todo el proyecto y absorbido buena parte de su presupuesto 105,5 millones de euros. La solución planteada, una vez descartada por costosa la construcción de un nuevo puente, se basa en el máximo aprovechamiento de la capacidad portante del puente existente, finalizado en el año 1977 y con una vida residual prospera. Consiste en la adición de un nuevo carril por sentido de circulación a cada uno de los lados exteriores de la plataforma, ampliando así la capacidad del puente de dos a tres carriles

por sentido. Las nuevas calzadas se sostienen mediante una nueva familia de cables anclados en las pilas por una pieza metálica especial.

Para llegar a esta solución se realizaron estudios previos sobre el estado de las cimentaciones, las pilas de hormigón, el tablero metálico y los tirantes del puente encaminados a determinar su estado de conservación y su capacidad portante, así como ensayos de laboratorio para verificar el comportamiento de la estructura frente al viento, entre otros.

Como se ha mencionado, el proyecto aprovecha el tablero existente del puente para adosar, a cada uno de los dos lados exteriores de las pilas principales y a la distancia necesaria para salvar el ancho de sus fustes, un nuevo tablero que se apoya en el existente. Este tablero, separado 6,75 metros de la plataforma, está formado por un cajón y una celosía exterior metálicos y una losa superior de hormigón armado, uniéndose al tablero existente mediante celosías interiores metálicas espaciadas entre sí cada 10 metros en sentido longitudinal. La zona de circulación sobre el tablero (calzada y arcén) se ha diseñado con una anchura libre de 4,70 metros. Para sustentar los nuevos tableros se ha empleado un sistema de atirantamiento análogo al existente (80 nuevos



Figura 78: Modelo 3D de el aspecto del puente con la ampliación proyectada de adosar dos carriles laterales.

tirantes por carril, cada uno de ellos formado por haces de cables de acero de entre 44 y 91 cordones), con los nuevos tirantes anclados al tablero en un extremo y en la coronación de las pilas principales en el otro. Como medida de seguridad, en la zona central del puente y cerca de las pilas se han dispuesto tres zonas de conexión por sentido de la circulación entre los carriles de ampliación y la plataforma existente, de 21 metros de anchura, que permitirán, en caso de emergencia, evacuar el tráfico existente entre las vías laterales y la central.

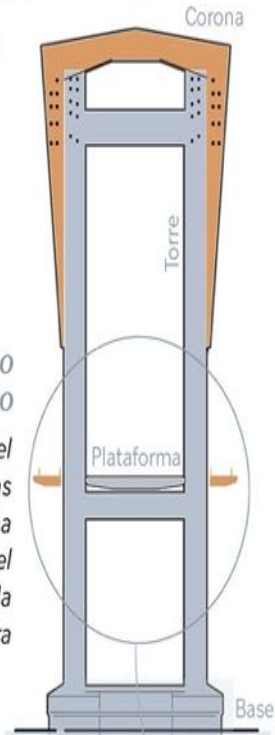


El nuevo Rande

La ampliación del puente de Rande ha sido un reto técnico de varias empresas punteras en este ámbito. Los nuevos carriles exteriores permitirán desahogar el tráfico en este punto

Nuevo diseño

Para soportar el peso de las nuevas plataformas se ha transformado el diseño de toda la estructura



2017
1979

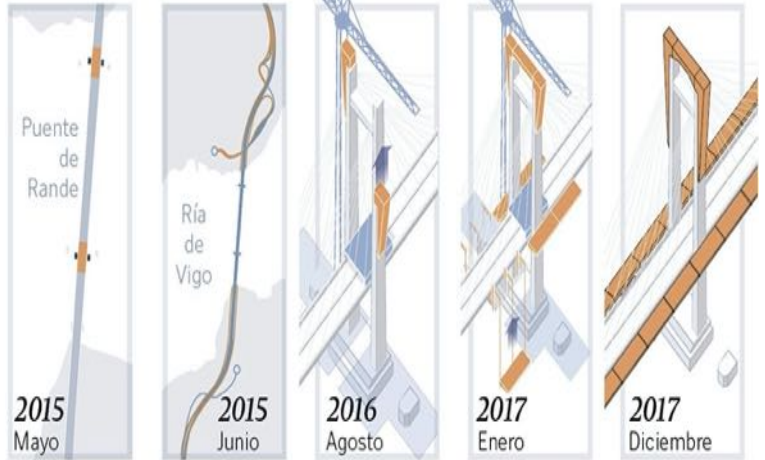
Dos coronas

Una estructura metálica corona la parte superior de cada pilar abrazando las dos torres para soportar el peso mediante un sistema atirantado

160 tirantes

Para soportar las dos nuevas plataformas se ha recurrido al mismo sistema utilizado cuando se construyó el puente en 1979. Cada uno de los 89 nuevos tirantes están compuestos por 90 cables de acero

1.000 días de obras



Pórtico

Comienzan las obras con el montaje de dos pórticos de seguridad sobre la plataforma de carriles

Viales

Obras de acondicionamiento de las calzadas de acceso al puente en ambos lados de la ría

Coronas

lizado de las cabezas de los pilares. La estructura soportará parte del peso de las nuevas calzadas exteriores

Calzada

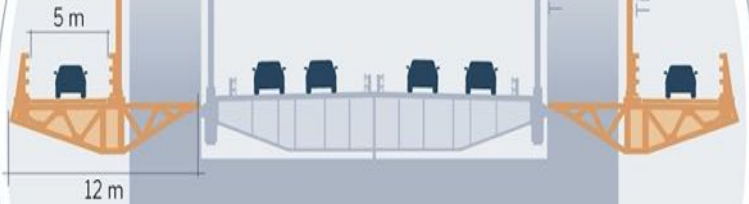
Empiezan a colocar los carriles exteriores. Están compuestos por 76 tramos o dovelas

Peso

Las pruebas de carga supusieron la conclusión de la ampliación. Se abrirá al tráfico a partir del lunes

Las nuevas plataformas

Los dos nuevos carriles acogerán solo al tráfico gratuito que circula entre Vigo y O Morrazo



Los nuevos carriles están separados unos 6 metros de la plataforma central, pero unido a ella por unas costillas metálicas, proporcionando la máxima estabilidad

La estructura está preparada para soportar vientos de 180 km por hora antes de que la plataforma empiece a «bailar», aunque esto no supondría peligro

Además de la estructura colgante, el acondicionamiento de los accesos ha supuesto más de 15 meses de trabajos



Figura 79: EL NUEVO RANDE, esquema-resumen de la ampliación llevada a cabo sobre dicha estructura. [17] (Ayerre)

Proceso constructivo

Puente de Rande	
Características técnicas	
Longitud	704,71 m
Luz principal	400,17 m
Luz vanos laterales	147,46-147,48 m
Anchura del tablero existente	23,46 m
Anchura ampliación del tablero 2x7,35 m	14,70 m
Anchura calzadas existentes	15 m
Anchura carril ampliado	4,70 m
Altura de pilas desde cimentación	119,89 m
Unidades de obra	
Pavimento asfáltico	3.493 t
Acero en tirantes	925.412 kg
Acero en tablero	6.131.363 kg
Acero en elementos de fijación de tirantes	1.584.251 kg

De la misma forma que la solución para ampliar el puente es inédita, el proceso de construcción presenta singularidades en procedimientos, medios técnicos y escenarios de trabajo (a nivel del mar y a 120 metros de altura sobre la ría) lo que hacen este reto único. Este proceso, se ha completado en 18 meses, ha estado condicionado por las tres grandes premisas del proyecto: la nula afección medioambiental a la ría, ecosistema de gran riqueza biológica, la mínima afección a la circulación en la AP-9 y la máxima seguridad, tanto para los trabajadores como para el tráfico de la autopista.

Figura 80: Características Puente de Rande. [16]

Los trabajos iniciales comprendieron el despliegue de la infraestructura básica de obra, como las plataformas de trabajo metálicas en la base de las dos pilas principales, a nivel del tablero y en cabeza de cada pila para ejecutar las distintas tareas del proyecto, además de una grúa torre y un ascensor arriostrados a cada pareja de pilonas para permitir el acceso del personal y el manejo del material necesario. Adicionalmente, y para proteger las calzadas de la caída accidental de objetos desde la zona elevada, se construyeron sobre el tablero y junto a cada pareja de pilonos sendos pórticos de protección del tráfico de unos 60 metros de longitud.

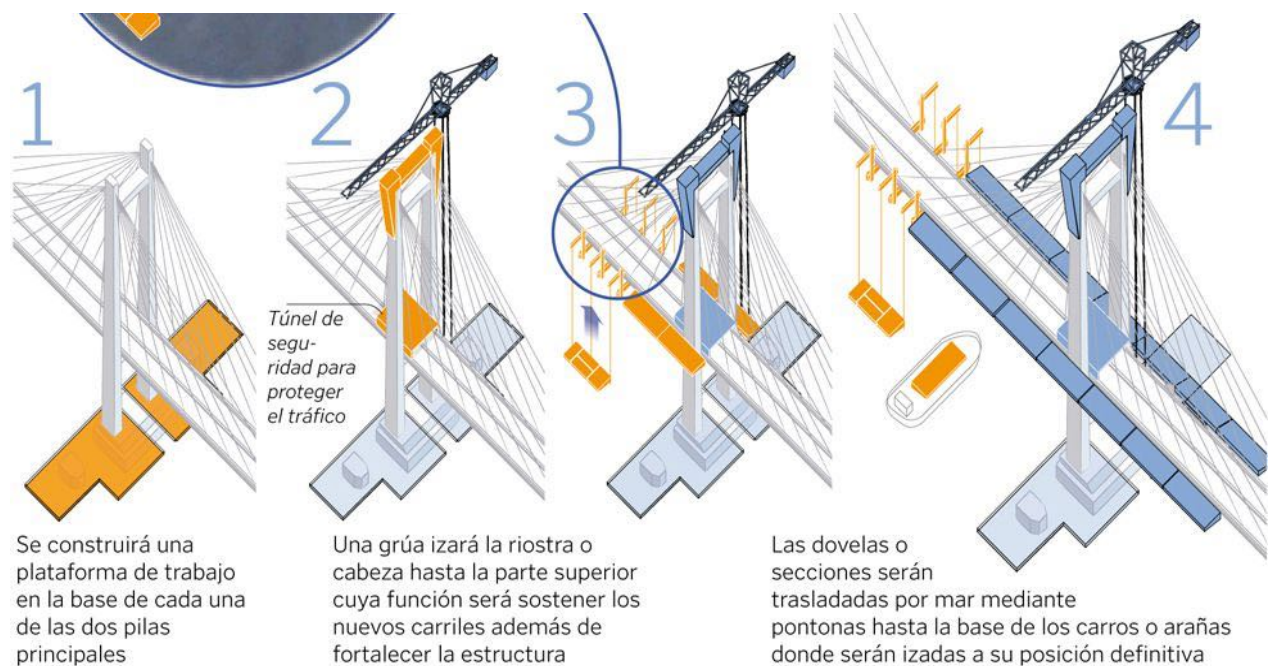


Figura 81: Esquema del proceso constructivo por fases. [17] (Ayerre)

Con la infraestructura básica terminada arrancó la primera fase constructiva, consistente en la disposición de una nueva estructura metálica en forma de U invertida destinada al anclaje de los tirantes de sujeción de los nuevos tableros. Para ello se dispuso un sistema de izado formado por dos grupos de gatos de elevación hidráulicos sobre un pórtico metálico montado en las cabezas de cada pareja de pilonos. Mediante este sistema, las piezas metálicas de la estructura, trasladadas en pontonas desde los talleres de fabricación en la ría hasta la base de las pilas. Primero se izaron los elementos centrales de los cabeceros metálicos, comenzando con las piezas que forman la riostra superior para a continuación izar las dos grandes piezas laterales, con forma de L, de unas 300 toneladas de peso y 20 metros de longitud. Tras su ensamblaje definitivo se izaron los elementos inferiores, de menor tamaño, hasta completar la estructura metálica, cuyo color blanco contrasta con el hormigonado grisáceo de los pilonos. Esta fase, una de las más complejas y vistosas de la obra, se desarrolló casi simultáneamente en ambos pilonos y se monitorizó mediante sistemas de instrumentación y control.

La segunda fase correspondió a la ejecución y colocación de las dovelas que forman los tableros de ampliación, realizándose con el apoyo de cuatro carros de montaje anclados a la parte inferior del tablero del puente y ocho carros superiores ubicados en cada uno de los extremos en voladizo de los tableros ampliados. Estos carros se encargaron de izar las dovelas desde las pontonas y colocarlas con precisión en su posición definitiva, como paso previo a su ensamblaje con la dovela contigua, la fijación al tablero mediante celosías metálicas y el tesado de los cables de los tirantes, avanzando luego hacia una nueva posición para realizar el montaje de una nueva dovela tras el hormigonado de la losa de la dovela precedente. El proceso se inició en el mes de abril con el montaje de las cuatro dovelas cero, de 180 toneladas de peso y 47 metros de longitud cada una, y culminó en octubre con el montaje de las dos dovelas de cierre. En total, se han montado 62 dovelas. Una vez cerrados los tableros se procedió al asfaltado y seguidamente se desarrollaron las labores de acabado y señalización, así como la retirada de elementos auxiliares y de protección empleados en la obra.



Figura 82: Vista inferior del Puente en fase de finalización de las obras de ampliación.



Para finalizar se realizaron las correspondientes pruebas de carga a los nuevos tableros del puente de Rande, tanto las estáticas como las dinámicas y de confort de los usuarios, para verificar la resistencia de los nuevos carriles y el comportamiento del puente una vez ampliado. La superación con resultados satisfactorios de estas pruebas, indicadas en la normativa aplicable al diseño de puentes de carreteras y en las recomendaciones del Ministerio de Fomento, permitió la puesta en servicio del puente ampliado el penúltimo día de 2017. En los primeros meses de 2018 continuó la ejecución de las actuaciones correspondientes al repintado de la estructura metálica y a la rehabilitación del firme e impermeabilización del puente antiguo. Todas estas actuaciones mejoraron la imagen y el nivel de servicio de este icono de Vigo ya convertido en todo un hito mundial.



4 CONCLUSIONES

Según el estudio realizado sobre las diversas formas de ampliación y sustitución de tableros de las estructuras anteriormente comentadas, puede finalizarse este trabajo planteando algunas conclusiones.

1. Necesidad e importancia de ampliar.

La primera conclusión que se obtiene de la elaboración de este trabajo final de grado es la necesidad e importancia de ampliar las estructuras existentes Vs. nueva construcción. Son muchas las estructuras existentes y un gran número de ellas presentan buenas condiciones para realizar ampliaciones o ensanchamientos de su tablero.

2. Numerosos puentes en países desarrollados se encuentran en la fase final de su vida útil.

España, Francia, Alemania, Europa en general, los EE.UU, tienen en común que son países desarrollados y cuentan con medios para invertir en infraestructuras. La segunda conclusión que nos proporciona el haber realizado este estudio sobre posibles ampliaciones es la escasa vida residual de muchas de las estructuras construidas en estos lugares durante los años 30, 40, 50, 60..., la edad media de éstas ronda los 80 años, por lo tanto, es vital la rehabilitación de dichas estructuras.

3. Necesidad de poner a punto una metodología de inspección y evaluación.

Como consecuencia a la elaboración de este trabajo, surgen algunas dudas sobre las metodologías que se llevan a cabo, no tanto para la inspección, pero sí para la evaluación de la capacidad portante y de la vida útil de estructuras como paso previo a cualquier operación de rehabilitación y ampliación. Por esta razón es muy interesante asentar las bases de una metodología a seguir para evaluar una estructura y decidir sobre sus posibilidades o no de ampliación.

4. No siempre es posible ampliar.

En gran parte de este trabajo se comentan proyectos de ampliación de estructuras de mayor o menor envergadura. No por esto debe asumirse que toda estructura es ampliable, en algunos casos no es viable técnica u económicamente.

En el transcurso de elaboración del estudio se desecharon puentes los cuales no pudieron ser ensanchados por distintos motivos.

5. Existen diversos procedimientos/alternativas para ampliar.

Adentrándonos mas en el desarrollo de este estudio, diferenciamos cuatro grandes grupos de estructuras que a su vez diferenciamos en distintos procedimientos/alternativas para acometer la ampliación.

Mantener los puentes en servicio, la llamada “no afección al tráfico”, puede conseguirse de distintas formas en función de las características de la estructura.



Se estudian desde las actuaciones mas sencillas hasta los viaductos mas grandes y complejos.

Respecto a esto, en este trabajo final de grado se han desarrollado las siguientes metodologías.

➤ **PEQUEÑAS OBRAS DE FÁBRICA Y HORMIGÓN ARMADO**

○ LOSA PREFABRICADA CON ZUNCHOS DE CONEXIÓN

Losas prefabricadas unidas a la subestructura mediante zunchos de conexión rellenos de hormigón.

○ LOSA IN SITU Y VIGAS DE ATADO

Losa hormigonada in situ, solidarizada a la subestructura a través de vigas de atado longitudinales en ambas zonas exteriores del tablero que sustentan y comprimen el relleno del tablero.

○ AMPLIACIÓN CON VIGAS PREFABRICADAS DE HORMIGÓN PRETENSADO

Ensanchamiento mediante la adición de vigas prefabricadas de hormigón pretensado isostáticas que apoyan en diafragmas de pila.

○ LOSA ARMADA CON MICROPILOTES EN PILAS Y VOLADIZOS CON PRELOSAS

Se refuerzan las pilas desde el tablero con la ayuda de micropilotes, además de reforzar las pilas, el micropilotado sirve como elemento de unión entre los viejos estribos y la nueva losa armada que se ejecutara in situ.

○ LOSA HORMIGONADA IN SITU

Necesario colocar los elementos auxiliares dependiendo del tipo de puente a ampliar, encofrados, vigas metálicas, refuerzos, disponer las armaduras en sus posiciones correspondientes antes de proceder al hormigonado de la losa in situ.

○ SUSTITUCIÓN COMPLETA DE TABLERO DE HORMIGÓN ARMADO EXISTENTE POR UN TABLERO MIXTO

Un tablero mixto consiste en la adición de vigas metálicas y hormigón armado, constituyendo un todo en uno con la resistencia propia de ambos materiales. En este tipo de metodología se aprovecha la subestructura original existente.

➤ **PUENTES HISTÓRICOS**

○ PUENTE DE MARÍA CRISTINA, SAN SEBASTIÁN (ESPAÑA)

Se demolieron las viejas bóvedas y se sustituyeron por un conjunto de quince arcos tímpano (cinco en cada vano) prefabricados en hormigón armado. Se completan con placas prefabricadas curvas de intradós y losas también prefabricadas de tablero superior bajo las que se han dispuesto nervios prefabricados transversales.

○ PUENTE SOBRE EL RÍO ESLA, VALENCIA DE DON JUAN (ESPAÑA)

La propuesta consistió en montar una nueva superestructura mixta (acero/hormigón) sobre la subestructura existente. Solución basada en vigas metálicas laterales, desarrolladas en acero tipo corten, combinadas con una



nueva losa superior de hormigón que apoya directamente en ellas sin transmitir cargas de ningún tipo a las viejas bóvedas que se encuentran inferiormente.

➤ **PUENTES DE VIGAS DOBLE "T": HORMIGÓN PRETENSADO Y METÁLICOS**

- AMPLIACIÓN DE LA AUTOPISTA SH-183 DALLAS-TARRANT COUNTY, (EE.UU)

Se propone la construcción de multicolumns de dos pilas de sección circular y bents rectangulares sobre los que se apoyan las nuevas vigas Tx54.

- LBJ BRIDGE 85, TEXAS (EE.UU)

En el caso del LBJ Bridge 85 se plantea una solución basada en la redistribución de luces de un puente existente para poder ampliar las carreteras que salvaba inicialmente y que se amplían.

- AMPLIACIÓN Y REHABILITACIÓN DE VARIOS PUENTES EN LA AUTOPISTA INDIANA TOLL ROAD, (EE.UU)

El caso del puente Broadway se basa en el refuerzo de la estructura existente y su ampliación. Los puentes están formados por vanos isostáticos y vigas metálicas y hormigón.

➤ **GRANDES VIADUCTOS**

- AMPLIACIÓN PUENTE PINTOR FIERROS. ARCO DE LA REGENTA

Se ha ampliado la sección transversal del tablero del viaducto a una anchura total de 22 m (4 carriles de circulación de 3,50 m de anchura, arcones de 2,50 m y mediana de 3,00 m). Se ha mantenido invariable la anchura de la viga metálica en 6,50 m. De esta forma, la ampliación está soportada en su totalidad por la colocación de unos voladizos metálicos que sirven de soporte a la nueva losa. Estos voladizos, con una longitud de 7,75 m, se han dispuesto en las secciones del tablero donde ya existen marcos cerrados, y soldados a las almas laterales de la viga metálica. Igualmente, se ha construido una viga-cajón metálica longitudinal en el borde del tablero, soldada al extremo de los voladizos metálicos. Esta viga posteriormente queda solidarizada con la losa de hormigón, materializándose una viga mixta que contribuye a mejorar la respuesta del tablero frente a cargas excéntricas. El arco y la subestructura apenas se ven afectadas ya que en su construcción original se proyectó la posibilidad de una ampliación.

- AMPLIACIÓN DEL PUENTE DE LOS SANTOS

El proyecto da respuesta a la necesidad de ampliar el ancho del tablero de 12,00 a 24,60 metros, 6,30 metros a cada lado sin recurrir a una estructura independiente. La idea fundamental es aprovechar la estructura existente suministrando el mínimo refuerzo necesario. Esta idea ha permitido unos ahorros muy importantes en términos de coste material, y ha supuesto un gran reto desde el punto de vista del diseño estructural.



Se plantearon refuerzos:

- *Pretensado exterior situado en el interior del cajón.*
- *Estructura mixta en forma de cajón metálico relleno de hormigón.*
- *Adición de una tercera alma situada en el eje de simetría del interior del cajón para soportar las nuevas cargas.*
- *Jabalones metálicos para aliviar la flexión transversal de la losa.*
- *Un cajón metálico longitudinal adosado a la cara inferior del tablero y conectado a la tercera alma mediante barras pretensadas y armadura pasiva.*
- *Refuerzos de las riostras de pilas mediante barras pretensadas.*
- *Aumento del canto de las cimentaciones.*

➤ **AMPLIACIÓN DEL PRIMER PUENTE ATIRANTADO EN EL MUNDO. RANDE**

Adición de un nuevo carril por sentido de circulación a cada uno de los lados exteriores de la plataforma, ampliando así la capacidad del puente de dos a tres carriles por sentido. Las nuevas calzadas se sostienen mediante una nueva familia de tirantes (80 nuevos por carril) anclados en las pilas por una pieza metálica especial.



5 FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO

- ***Redactar una guía de metodologías a seguir para ampliar estructuras.***

Es un tema muy interesante que queda en el aire, se deberá estudiar cada tipo de estructura y recoger los trabajos a realizar para poder ampliarla.
- ***Refuerzo de subestructura (pilas y cimentación).***

En este trabajo nos hemos centrado fundamentalmente en el estudio de la superestructura, tablero principalmente con puntuales actuaciones en pilas y cimentación.

El refuerzo de la subestructura un tema que da para mucho, estudiarla y conocer su capacidad, tanto como las mejoras posibles sobre cimentación o sobre el propio terreno. Recopilar y estudiar nuevos materiales, nuevas técnicas de trabajo, maquinaria, etc.
- ***Cuantificación medioambiental de las ventajas de ampliar estructuras existentes frenando la construcción de obras nuevas.***

En los tiempos en los que vivimos, el cambio climático debido a las emisiones es un echo real e innegable. Es una buena e interesante línea de trabajo la realización de un estudio sobre el impacto medioambiental que genera la ampliación de una estructura existente frente la construcción desde cero. Deberán estudiarse factores tales como huella de carbono, impacto paisajístico, coste material, etc.
- ***Sustitución de tirantes y cables.***

Se trata de un aspecto muy importante, condiciona el mantenimiento en servicio de una estructura. La evaluación de la vida residual de un tirante o un cable y la sustitución de estos es un tema que da para desarrollar un largo trabajo. El ministerio de fomento español, plantea una actuación de tal tipo en el *Puente del Centenario, Sevilla*. Sería interesante realizar un estudio sobre dicho proyecto de sustitución o posibles alternativas para una posible mejora.



6 REFERENCIAS

- **[1]** Martos, E. (5 de diciembre de 2018). *Fomento dice ahora que la ampliación del puente del Centenario de Sevilla es solo una posibilidad.* ABC Sevilla.
- **[2]** Vigo, F. d. (2 de enero de 2018). *Así se construyó la ampliación del puente de Rande.* Faro de Vigo.
- **[3]** Cavia, N. (20 de mayo de 2019). *La ampliación del puente de Cartes obliga a regular el tráfico dos semanas.* El diario Montañés.
- **[4]** Anexo: Carreteras Nacionales de España. (s.f.). Obtenido de Wikipedia: es.wikipedia.org
- **[5]** Fomento, M. d. (s.f.). *Red General de Carreteras.* Obtenido de <http://www.fomento.es>
- **[6]** Fomento, M. d. *Guía para la realización de inspecciones principales de obras de paso en la Red de Carreteras del Estado.* Madrid, España.
- **[7]** Grattesat, G. *Vida útil de puentes. Professeur á l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris.*
- **[8]** Montani, R. *La carbonatación, enemigo olvidado del concreto.* Director de producto ingeniería en Sika Corp, Lyndhurst.
- **[9]** Cobo, A. *Corrosión de armaduras en estructuras de hormigón armado: Causas y procedimientos de rehabilitación.* Fundación Escuela de la Edificación.
- **[10]** EAE, I. *Estado límite de Fatiga (Vol. XI).*
- **[11]** Palencia, D. d. *Refuerzo y mejora del Puente de Polentinos sobre el embalse de Requejada.*
- **[12]** Puentes, C. (s.f.). *Cazando Puentes.* Obtenido de <http://www.loboquirce.blogspot.com>
- **[13]** Pantaleón Prieto, M., Ramos Gutiérrez, Ó. R., & Martínez García, J. M. *Ampliación del viaducto Pintor Fierros (Arco de la Regenta).* APIA XXI, Departamento de Estructuras. *Obras y proyectos de actualidad.*
- **[14]** Corres Peiretti, H., Pérez Caldentey, A., Romo Martín, J., Prieto Aguilera, F., & Sánchez Delgado, J. *La ampliación del Puente de Los Santos sobre la ría del EO.* F H E C O R Ingenieros Consultores, Estructuras, Madrid.
- **[15]** Sánchez Delgado, J. *Ampliación y rehabilitación del Puente de Los Santos.* F H E C O R Ingenieros consultores. Madrid: Jornadas técnicas ARLITA.



- **[16]** Ventosa, J. (s.f.). *Hito mundial en la Ría de Vigo. Carreteras.*
- **[17]** Ayerre, O. (s.f.). *El nuevo Rande. La voz de Galicia.*
- **[18]** Imagen cortesía, Francisco Cambrónero Barrientos.
- **[19]** Imagen cortesía, APIA XXI, Santander.