Disponible en ScienceDirect
www.sciencedirect.com
www.elsevierciencia.com/hya
Hormigón y Acero. 2014;65(271):5-14
www.e-ache.com

Puente sobre el río Erne en Irlanda

Bridge over River Erne in Ireland

José Emilio Herrero, Juan José Sánchez* y Pablo Loscos

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Ferrovial-Agromán, S.A., Madrid, España

Recibido el 19 de julio de 2013; aceptado el 17 de diciembre de 2013

Resumen

El puente extradosado sobre el río Erne forma parte del proyecto de mejora de la carretera N3 a su paso por el condado irlandés de Cavan. Se trata de un puente de hormigón de tres vanos (36,2 m + 69,5 m + 36,2 m) que combina postesado extradosado y postesado interior adherente en un tablero relativamente esbelto, con sección en forma de vientre de pez y aligeramientos cuadrangulares. El máximo canto es de 1,525 m en el eje, y su ancho total es de 17,1 m. Cada cable extradosado cruza a través del pilono mediante una silla que trabaja por fricción. Ambas mitades del puente se construyen desde su correspondiente ribera sobre una cimbra en una península artificial. El diseño conceptual fue desarrollado por Roughan & O'Donovan para el condado de Cavan y la Autoridad de Carreteras de Irlanda (NRA), y el proyecto de construcción lo ha desarrollado la Dirección Técnica de Ferrovial-Agromán. La normativa de diseño fue el Eurocódigo con el anejo nacional irlandés.
© 2013, Asociación Científico-Técnica del Hormigón Estructural (ACHE). Publicado por Elsevier España, S.L. Todos los derechos reservados.

Palabras clave: Extradosado; Silla; Península; Fatiga; Deslizamiento

Abstract

The extradosed bridge over the River Erne was required as part of the proposed N3 road improvement project in Cavan, Ireland. The structure is a three span concrete continuous bridge (36,2 m + 69,5 m + 36,2 m) with extradosed and bonded prestressing, resulting in a relatively slender deck with a curved soffit and quadratic voids. The maximum depth of the deck is 1,525 m at the centerline, with a total width of 17,1 m. A saddle, by means of friction, allows every extradosed cable to cross through the pylons. Both halves of the bridge were constructed from their corresponding side of the river with the help of a scaffolding over a temporary península. The conceptual design was carried out by Roughan & O'Donovan for the Cavan Council and The National Roads Authority of Ireland, and the detailed design was developed by Ferrovial-Agromán's. The Design Code was the Eurocode with the Irish National Annex.
© 2013, Asociación Científico-Técnica del Hormigón Estructural (ACHE). Published by Elsevier España, S.L. All rights reserved.

Keywords: Extradosed; Saddle; Peninsula; Fatigue; Slip

1. Introducción

El Puente sobre el río Erne forma parte del proyecto de mejora de la carretera N3 a su paso por el condado irlandés de Cavan, situado al norte del país. La solución adoptada para el cruce del río consiste en un puente extradosado de tres vanos de 36,2 + 69,5 + 36,2 metros de luz, que combina los sistemas de extradosado y postesado interior. Las normas de referencia para el desarrollo del proyecto de construcción han sido los Eurocódigos con los documentos de aplicación nacional irlandeses.

2. Descripción de la estructura

2.1. Tipología y encaje general

La creación del concepto y denominación de los puentes extradosados se le atribuye al ingeniero francés Jacques Mathivat, quien en 1988 acuñó por primera vez este término al referirse a la solución que planteó en el concurso del viaducto Arrêt Darré, en el cual los tendones de pretensado sobresalían del canto de la sección por la parte superior del tablero anclándose a una torre de baja altura con el propósito de ganar excentricidad. Aunque esta alternativa suponía un ahorro de materiales frente a soluciones más convencionales, fue rechazada. Sin embargo, la propuesta de Mathivat inspiró a los japoneses quienes en 1994 construyen el puente Odawara Blueway en Japón. Desde entonces se han construido cerca de un centenar de puentes extrado-

*Autor para correspondencia.
Correo electrónico: j.j.sanchez@ferrovial.com (J.J. Sánchez).

0439-5689 © 2013 Asociación Científico-Técnica del Hormigón Estructural (ACHE). Publicado por Elsevier España, S.L. Todos los derechos reservados.

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

sados en todo el mundo, siendo este del Erne el primero de este tipo en Irlanda.

El encaje general de la estructura viene condicionado por la posición de los pilonos, que deben salvar el cauce del río Erne en el nivel correspondiente al período de retorno de los 100 años. Este aspecto da como resultado un vano principal de 69,5 metros. Los vanos laterales, de 36,2 metros, miden poco más de la mitad del vano principal. De esta forma el encaje longitudinal resulta de la repetición de un pilono con tramos simétricos de tablero a ambos lados (fig. 1).

La vía para la que se proyecta este puente dispone de un carril de circulación por sentido y arcén a ambos lados (fig. 2). El trazado es recto en planta y presenta una ligera pendiente longitudinal descendente de 0,193% hacia avance de puntos kilométricos.

2.2. Tablero

El tablero de la estructura presenta una anchura capaz de albergar dos carriles de circulación de 3,65 metros, dos arcenes de 2,50 metros y 0,60 metros reservados a cada lado para el bordillo drenante y la acera, además de sendos voladizos en los que se anclarán los tirantes del sistema extradosado. Por ello, la anchura total alcanza los 17,10 metros (fig. 3).

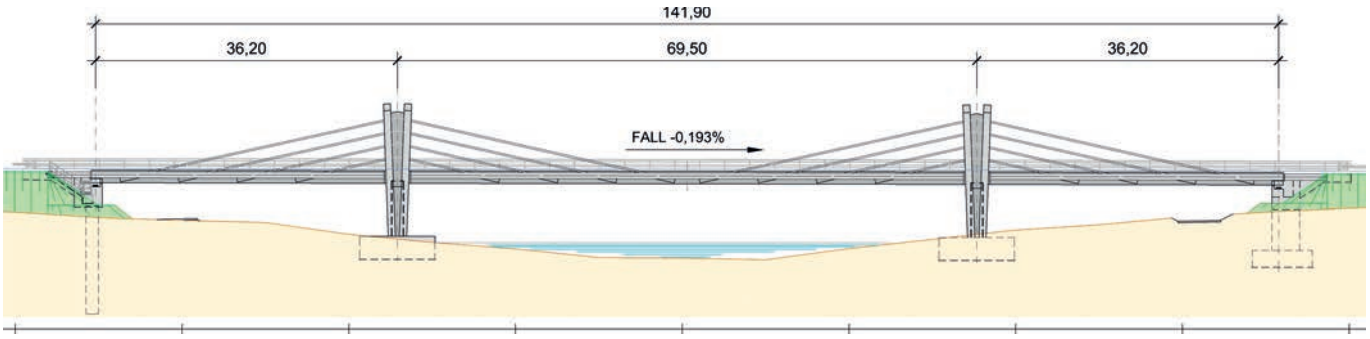

Figura 1. Alzado general.

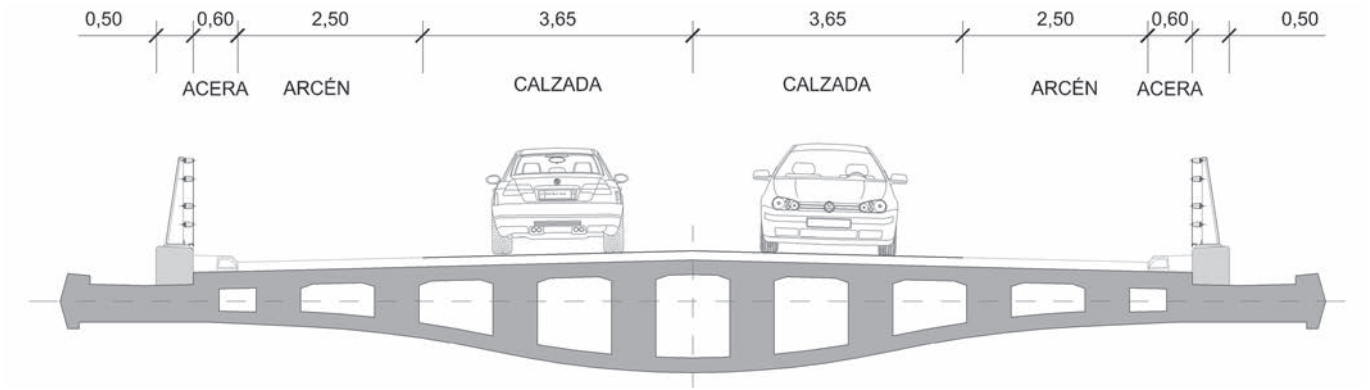

Figura 2. Distribución de la plataforma.

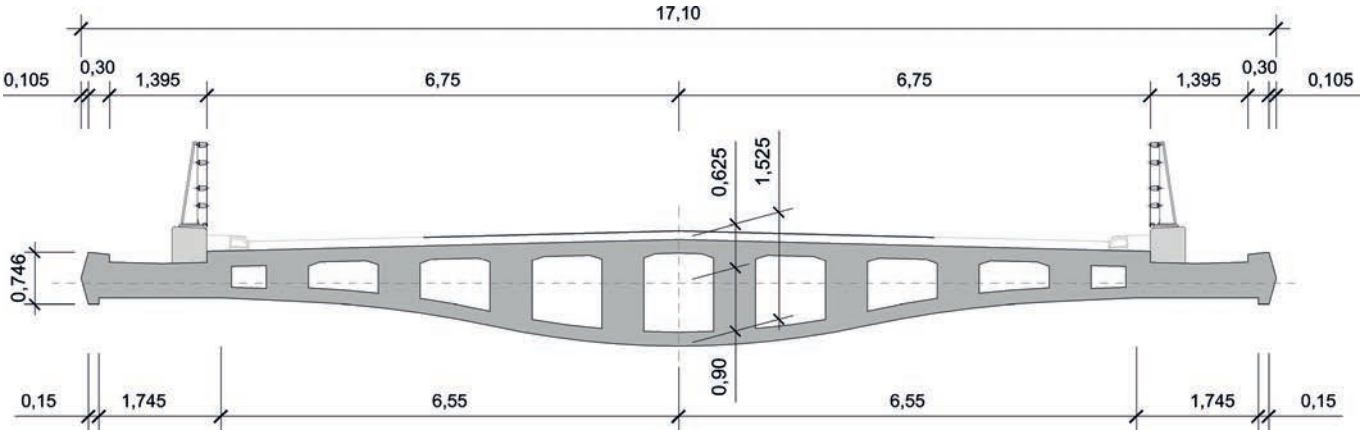

Figura 3. Principales dimensiones de la seccion transversal.

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

Tipológicamente, se trata de una losa aligerada postesada que si bien tiene canto constante en su desarrollo longitudinal, transversalmente tiene canto variable en forma de vientre de pez, que varía de 1,525 metros de canto máximo en el centro de la losa, hasta 50 centímetros en el extremo donde se anclan los tirantes, lo que le confiere al tablero una extraordinaria esbeltez. El postesado interior esta formado por 10 tendones de 31 cordones más 6 tendones de 25 cordones, todos ellos de tipo Y 1860 S7 de 0,62″ de diámetro.

El vano principal presenta nueve aligeramientos longitudinales cuyo canto se adapta al del tablero, respetando espesores de losa superior e inferior de 20 centímetros y almas de 60 centímetros por las que discurre el postesado interior adherente. En los vanos laterales los aligeramientos más pequeños desaparecen, consiguiendo así que el tablero presente un mayor peso por unidad de longitud. De esta manera, el estado estructural de cargas permanentes resulta más equilibrado, ya que al ser la luz de los vanos extremos del orden de la mitad de la luz del vano principal, el tablero tiende a estar estructuralmente desequilibrado hacia el centro.

Esta losa de 141,9 × 17,1 metros está apoyada sobre sendas parejas de apoyos elastoméricos en los estribos, sobre POTs multideslizantes en cada uno de los pilonos, y en dieciséis apoyos elásticos por cada extremo, materializados por el sistema de tirantes del que cuelga.

El hormigón del tablero es C40/50, según nomenclatura recogida en el Eurocódigo 2.

2.3. Sistema de tirantes

Cada uno de los cuatro pilonos es el eje de un sistemas de tirantes que está formado por cuatro tendones de 50 cordones de 0,62″ de diámetro, pasantes a diferentes alturas a través de las correspondientes sillas embebidas en los pilonos, y situados en planos inclinados. Dichas sillas se valen de la fricción de cada cordón dentro de tubos individuales para materializar un punto fijo en los tirantes, y evitar así su deslizamiento dentro de la misma. Para verificar la fatiga se realizaron diferentes ensayos tanto para la silla como del sistema de tirantes de manera que se confirmasen las especificaciones exigidas por el cliente por contrato (figs. 4 y 5).

Los cables presentan inclinación longitudinal de 12,5° respecto a la horizontal, mientras que en dirección transversal presentan inclinación variable respecto a un plano vertical que varía de 7,5° para la pareja superior a 15° para la inferior (fig. 6). Esta inclinación transversal contribuye a recoger las cargas transversales producidas por el viento, que de otra manera solo serían soportadas por los aparatos elastoméricos de los estribos, ya que los apoyos POT de los pilonos son multideslizantes.

2.4. Pilonos

Las dos parejas de pilonos que fijan el paso de los tirantes presentan sección rectangular con rehundidos y caras inclinadas, aligerando de esta manera su apariencia robusta. Tanto la dimensión longitudinal como la transversal son variables en altura, creciendo en ambos casos en sentido ascendente.

Cada pilono está dividido en dos zonas. La zona bajo tablero es en realidad una pila sobre la que se disponen los aparatos de apoyo multideslizantes y que sirve de base para el pilono propiamente dicho. Este arranca desde la pila, por el exterior del tablero, dando continuidad estética y estructural a aquella (fig. 7).

El hormigón de la pila es C50/60, según nomenclatura del Eurocódigo 2.

Durante la ejecución de cada pilono se dejan embebidas las cuatro sillas multitubo para el paso de los tirantes.

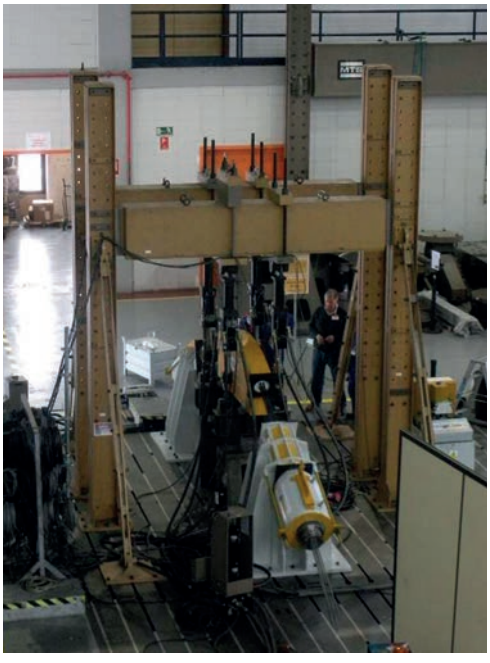

Figura 4. Ensayo de fatiga de la silla.



Figura 5. Ensayo de fatiga y rotura de tirante.

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026



Figura 6. Inclinación de los tirantes.

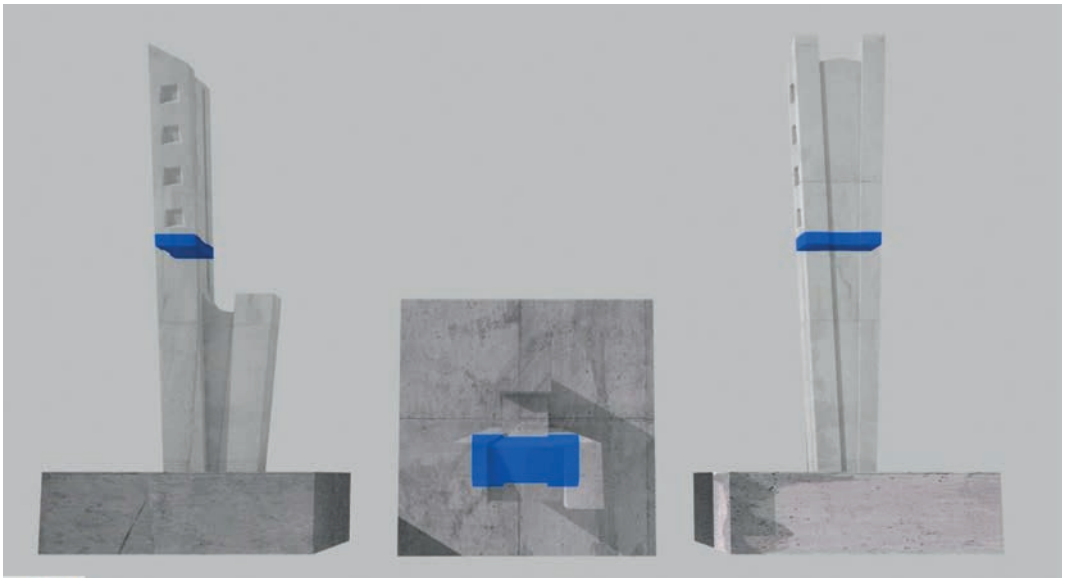

Figura 7. Geometría de los pilonos.

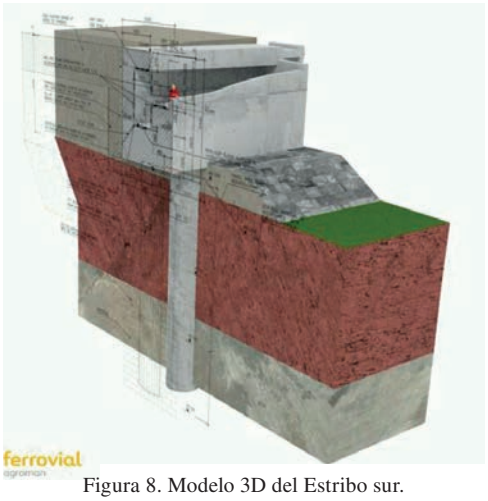

Figura 8. Modelo 3D del Estribo sur.

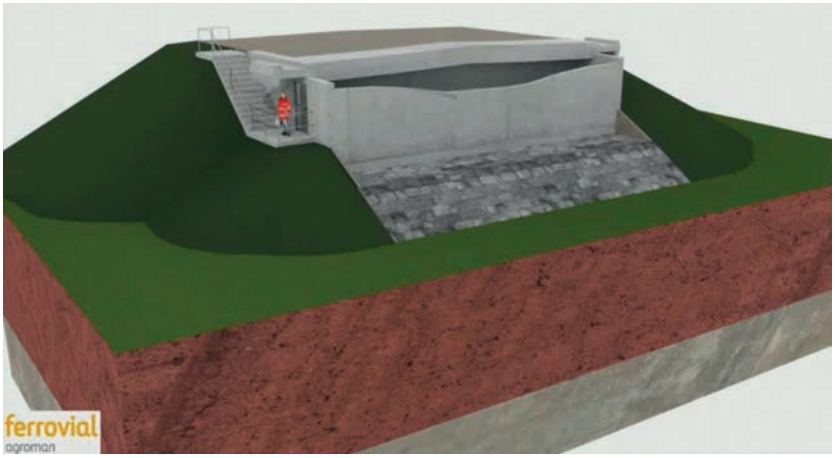

Figura 9. Modelo 3D de estribo con acceso a galería visitable.

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

2.5. Estribos

Los dos estribos están formados por un cargadero con galería visitable y una meseta para los aparatos de apoyo elastoméricos. Presentan un murete frontal con doble misión, estética y de protección, que sigue la forma del tablero por su parte inferior.

El estribo norte es abierto, presenta doble pantalla y cimentación directa sobre roca poco alterada con una tensión admisible de 0,8 MPa, mientras que el sur se ha diseñado con cimentación profunda mediante cuatro pilotes de 1,50 metros de diámetro y unos 12 metros de profundidad, empotrados en el sustrato rocoso al menos 3 metros (fig. 8). Ambos estribos están dotados de una puerta de acceso a la galería visitable y unas escaleras que siguen la caída de tierras por uno de los laterales (fig. 9).

El hormigón empleado para la ejecución de todos los elementos es C32/40 según nomenclatura recogida en el Eurocódigo 2 salvo en los muretes y aletas, que se diseñan con hormigón C35/45 debido a las exigencias de durabilidad de la normativa local. Los aparatos de apoyo son de 600×550 milímetros en planta. Debido al proceso de regulación de tirantes y a los importantes efectos de fluencia debidos al alto nivel de pretensado del tablero, los movimientos horizontales son elevados, de ahí que la altura de goma neta sea de 143 mm.

3. Proceso constructivo

3.1. Condicionantes medioambientales

La decisión sobre el proceso constructivo a emplear estaba condicionada, además de por los aspectos constructivos y económicos, por los cambios estacionales del río Erne por un lado, y por los requerimientos medioambientales recogidos en el contrato por otro. Así, por ejemplo, cualquier ocupación del cauce del río estaba limitada en extensión para garantizar el paso del agua en todo momento, pero también en tiempo limitando los trabajos de extendido de penínsulas provisionales a los meses de mayo y septiembre para no afectar al ciclo vital de los salmones.

La consecuencia de todos estos condicionantes fue un proceso constructivo dividido en dos grandes etapas en cada una de las cuales se construía medio puente, comenzando por el estribo correspondiente, la pareja de pilonos y el tablero hasta el centro del mismo con la ayuda de una cimbra cuajada que se apoyaba en una península artificial unida a una de las riberas del río.



Figura 10. Estribo norte en ejecución.

3.2. Ejecución de estribos

La ejecución de ambos estribos constituyó la primera etapa del proceso constructivo. Así, mientras que en el estribo norte la secuencia constructiva comprendía las fases de excavación, ejecución de cimentaciones y alzados (fig. 10) hasta la cota de apoyos, en el estribo sur se comenzó por la ejecución de los cuatro pilotes y se continuó con la construcción de la meseta de apoyo y la galería visitable.

La última fase de los estribos, constituida por los muretes traseros y aletas, se retrasó hasta el final del proceso constructivo para permitir el tesado del postesado activo adherente del tablero, y un posible tesado de los tendones de reserva en caso de que fuese necesario.

3.3. Penínsulas artificiales

Como se ha comentado, la ejecución de tablero y pilonos requería de la extensión de una península artificial que estrechara el cauce del río, y que se trasladaba de una margen a otra para la ejecución de una y otra mitad de la estructura.

La península consistía en un relleno de gravas arenosas con bajo contenido en finos no plásticos sobre el nivel del agua. Bajo el nivel de agua la naturaleza del relleno era la misma, pero vertido sin compactar. Sobre el relleno se ejecutaba una capa de hormigón de limpieza de espesor variable entre 10 y 30 centímetros para constituir una superficie regular de trabajo. La península presentaba además una escollera perimetral de protección frente a las corrientes de agua (fig. 11).

El traslado de la península de una margen a la otra del río se realizó respetando la zona central de la misma, dando soporte y protección a las pilas provisionales que servían de apoyo temporal al tablero.

3.4. Ejecución de la primera pareja de pilonos y la mitad del tablero

Con la península ya ejecutada, se procedió en primer lugar a excavar y hormigonar las cimentaciones de la pareja de pilonos correspondientes a la mitad norte del puente y, posteriormente, al hormigonado de los alzados de los pilonos mediante encofrado trepante. En una primera trepa se hormigonó la pila que da apoyo al tablero y de la que arranca el pilono propiamente dicho (fig. 12).

El ferrallado y hormigonado de la mitad del tablero se realizó con la ayuda de una cimbra cuajada apoyada en la solera de hormigón de la península artificial sobre la que descansaba el correspondiente encofrado (fig. 13).

Una vez el hormigón alcanzaba la resistencia especificada en los planos de ejecución, se tesaba un primer grupo de tendones de trazado recto, desde los anclajes activos situados en el

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026



Figura 11. Vista de la península del lado norte.

extremo del tablero correspondiente al apoyo en estribo norte (fig. 14). Estos tendones tendrán su continuidad en la mitad sur del tablero a través de acopladores dispuestos en el centro del vano principal.

3.5. Instalación y primera regulación de tirantes

Una vez completado el hormigonado y tesado del pretensado interior de la mitad norte del tablero (fig. 15), se procedió a la



Figura 12. Vista de los pilonos en ejecución.



Figura 13. Vista de cimbra y tablero.

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026



Figura 14. Vista de los anclajes de postesado interior en zona de estribo.



Figura 15. Vista aérea de la construcción del lado norte.

instalación y tesado de primera fase de los tirantes de este lado, lo que permitió retirar la cimbra, dejando la mitad del puente soportada por dichos tirantes, los apoyos definitivos en estribo y pilonos de este lado, y sobre una pareja de pilas temporales ejecutadas en el centro del vano principal sobre la península artificial.

Los tirantes se instalaron según el orden preestablecido, y se tesaron con gato unifilar mediante el procedimiento de igualación. Este procedimiento consistía básicamente en tesar los cordones de cada tirante según una determinada secuencia, igualando la tensión de cada cordón con la lectura de una célula de carga colocada en el primer cordón tesado de ese tirante o cordón patrón, de forma que se conseguía que todos los cordones tuvieran la misma tensión después de tesados todos los cordones de dicho tirante (fig. 16).

El tirante más largo se tesaba solo a un porcentaje de la tensión necesaria, de manera que el tablero no llegase a despegar de las pilas provisionales del centro del vano. El descimbrado permitía que dicha pila aumentara su reacción, pudiendo de esta manera completar el tesado de los tirantes más largos sin llegar a descargar por completo la pila provisional.

3.6. Repetición del proceso para la mitad sur de la estructura

En esa situación, la península se trasladó del lado norte del río al lado sur, para proceder de la misma manera con cimentaciones y alzados de pilonos, instalación de cimbra y encofrados, y hormigonado del tablero. Posteriormente se procedió al tesado del grupo de tendones de trazado recto, acoplados a sus gemelos del lado norte, desde el extremo correspondiente al apoyo en el estribo sur. A continuación se tesaron por ambos extremos el resto de tendones, de trazado parabólico, que discurrían a lo largo de todo el tablero.

Seguidamente se procedió al retesado de los tirantes del lado norte, y a la instalación y primer tesado de los tirantes del lado sur con una secuencia análoga a la diseñada para la

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026



Figura 16. Instalación y tesado de tirantes.

instalación de los tirantes del lado norte. En esta fase el tablero se despegaba ya de las pilas provisionales, y de la práctica totalidad de la cimbra, tal y como estaba previsto. Así, las pilas provisionales, la cimbra y la península podían ser ya retiradas definitivamente.

3.7. Regulación final y acabados

La regulación final poco antes de la apertura al tráfico del puente era necesaria para compensar los efectos diferidos que desequilibran las fuerzas de los tirantes hacia el centro del puente. La barrera y su zócalo de apoyo estaban ya colocados con anterioridad a esta última fase de regulación, mientras que la extensión del pavimento, la ejecución de las aceras y demás operaciones de acabado constituyeron la última etapa de la construcción (figs. 17 y 18).

4. Aspectos más relevantes del cálculo con el Eurocódigo

El proyecto de este puente se ha desarrollado teniendo en cuenta lo recogido en los Eurocódigos junto con los anejos de aplicación nacional irlandeses. También se recogen dentro del contrato de proyecto y ejecución diversas recomendaciones, códigos y guías locales, que eran de obligado cumplimiento.

Las acciones, combinaciones y bases de cálculo se han tomado de los Eurocódigos 0 y 1 con sus correspondientes anejos nacionales. El Eurocódigo 2 [1,2] se ha empleado para el pro-



Figura 17. Capots de protección de anclajes de los tirantes bajo el tablero.

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026



Figura 18. Acabado final del puente.

yecto de las partes de hormigón armado y pretensado, mientras que el Eurocódigo 3 parte 1-11 [3] ha servido de base para diseñar y calcular el sistema de tirantes.

4.1. Criterios para el diseño del postesado

Dentro el Eurocódigo 2 [1,2] se establecen las bases para el proyecto de elementos de hormigón con postesado. Cabe destacar la necesidad de asegurar que la sección se encuente completamente comprimida en cualquier combinación frecuente de acciones en las clases de exposición más habituales.

El eurocódigo indica que el límite de descompresión requiere que todo el hormigón situado a cierta distancia de tendones adherentes o de sus vainas debe permanecer en compresión bajo la carga especificada. La distancia recomendada es 100 milímetros, pero se deja abierto este valor al criterio de cada país.

El anejo de aplicación nacional irlandés recoge que el estado límite de descompresión debe quedar garantizado a toda la sección y para todas las clases de exposición.

4.2. Sistema de tirantes

El Eurocódigo 3, parte 1-11 [3] propone una serie de límites y verificaciones que se deben realizar para diseñar y dimensionar el sistema de tirantes extradosados. Los dos aspectos más destacados son el límite propuesto para la tensión en el acero de los tirantes y la comprobación de la seguridad frente al deslizamiento de los tirantes en su silla.

El Eurocódigo mencionado, en su tabla 7.2, establece que el límite tensional que no deben sobrepasar los tirantes para la combinación característica de acciones es el 45% de la tensión de rotura del acero empleado. Dicho límite se antoja muy restrictivo. Atendiendo a lo expuesto en publicaciones especializadas, como el Boletín 30 de la FIB [4] o las recomendaciones para puentes atirantados del SETRA [5], este límite debe depender del rango de tensiones en el que se mueva el cable en servicio, ya que está relacionado con fenómenos de fatiga en los anclajes. Ambas publicaciones proponen valores o expresiones que relacionan la tensión máxima del acero en combinación característica de acciones con el rango de variación de tensiones que sufre el cable en combinación frecuente de acciones.

En la figura 19 se presenta el estado de los cuatro tirantes representativos del puente sobre el río Erne en una gráfica en la que las abscisas representan el rango de variación de tensión en combinación frecuente, y en ordenadas la tensión máxima alcanzada por el acero de los tirantes en combinación característica. Estos cuatro puntos se comparan con la curva límite que propone el SETRA5.

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

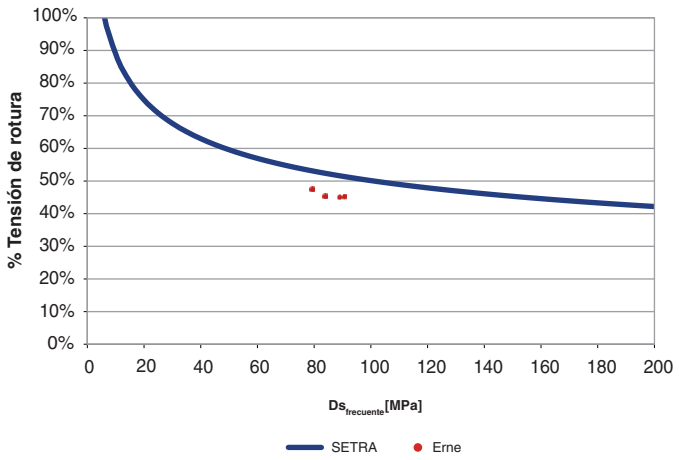

Figura 19. Estado tensional de los tirantes del puente sobre el río Erne.

El deslizamiento de los tirantes en su silla es un tema delicado. Muchas variables afectan a este fenómeno, y a su vez, este afecta de manera decisiva a los tirantes en su dimensionamiento en servicio y en el desarrollo de los procesos de regulación.

La ecuación 6.6 del punto 6.3.2.del Eurocódigo 3 parte 1-11 [3] (ver a continuación),

$$\max\left\{\frac{F_{Ed1}}{F_{Ed2}}\right\} \le e^{\left\{\frac{\mu\alpha}{\gamma_{M,fr}}\right\}}$$

establece una verificación para determinar la seguridad frente a deslizamiento de los tirantes en su silla. Dicha desigualdad relaciona el cociente entre las fuerzas en el tirante a cada lado de la silla con una función exponencial que depende de un coeficiente de seguridad, del rozamiento garantizado en la silla y del ángulo de desvío que se produce en la misma.

Esta comprobación es muy restrictiva, y resulta muy difícil de cumplir en puentes extradosados en los que los cables están muy tendidos.

Al ser el deslizamiento un fenómeno que no conlleva el colapso de la estructura, esta verificación se ha interpretado como una condición suficiente pero no necesaria. Dicho de otro modo, su verificación se considera por sí sola suficiente para garantizar la seguridad del sistema de tirantes frente a deslizamiento, pero su no verificación no conlleva la necesidad de un rediseño, sino que se podrá incluir el deslizamiento como un caso de carga adicional que redistribuye las cargas en los tirantes, obteniendo un nuevo estado de equilibrio compatible con las cargas actuantes y el rozamiento garantizado en las sillas. Dicho caso de carga deberá ser incluido en las combinaciones de estado límite último, para las cuales deberán verificarse las comprobaciones de rotura recogidas en el Eurocódigo 2.

Sí se entiende necesario verificar esta comprobación de no deslizamiento para combinaciones de servicio frecuentes.

El deslizamiento en la silla determinó decisivamente el número de etapas en las que se desarrollaron las regulaciones de tirantes, así como el dimensionamiento del tirante más corto, al ser este el más sensible a los desequilibrios en las cargas a ambos lados de la silla debido a acciones indirectas tales como la temperatura o la fluencia, lo que supuso incluir en el manual de mantenimiento del puente un retesado a los 6 años de la puesta en servicio para compensar los desequilibrios inducidos en ese plazo por retracción y fluencia.

5. Bibliografía

[1] IS EN 1992-1-1:2005, Eurocode 2 (2004). Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings and Irish National Annex (2010).

[2] IS EN 1992-2:2005, Eurocode 2 (2005). Design of concrete structures – Part 2: Concrete bridges – Design and detailing rules and Irish National Annex (2010).

[3] IS EN 1993-1-11:2006, Eurocode 3 (2006). Design of steel structures – Part 1-11 Design of structures with tension components and Irish National Annex (2010).

[4] FIB. Recommendations for the acceptance of stay cable systems using prestressing steels. Fib Bulletin. 2005;30:8.

[5] Haubans: recommandations de la commission interministérielle de la précontrainte. París, Francia: Servicio de estudios técnicos de carreteras y autopistas. SETRA; 2001.

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026