

## Diseño automático de tableros óptimos de puentes de carretera de vigas artesa prefabricadas mediante algoritmos meméticos híbridos

J.V. Martí<sup>a</sup>, V. Yepes<sup>a,\*</sup>, F. González-Vidosa<sup>a</sup> y A. Luz<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Instituto de Ciencia y Tecnología del Hormigón (ICITECH), Universitat Politècnica de València, Campus de Vera, 46022 Valencia, España

<sup>b</sup> Departamento de Ingeniería de la Construcción, Universitat Politècnica de València, Campus de Vera, 46022 Valencia, España

### INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

#### Historia del artículo:

Recibido el 20 de enero de 2012

Aceptado el 12 de abril de 2013

On-line el 28 de octubre de 2013

#### Palabras clave:

Hormigón estructural  
Optimización heurística  
Vigas prefabricadas  
Estructuras pretensadas  
Algoritmos meméticos  
Diseño estructural  
Puentes

#### Keywords:

Concrete structures  
Heuristic optimization  
Precast beams  
Prestressed concrete structures  
Memetic algorithms  
Structural design  
Bridges

### R E S U M E N

Este artículo se ocupa del diseño automático de tableros de puentes de vigas artesa pretensadas prefabricadas de coste mínimo, empleando para ello un algoritmo memético híbrido que combina la búsqueda poblacional de soluciones mediante algoritmos genéticos y una búsqueda por entornos variable. Este algoritmo se aplica a un puente formado por 2 vigas isostáticas con luces entre apoyos de entre 20 y 40 m y una losa de 12 m de ancho. La estructura analizada consta de 40 variables discretas. El módulo de la evaluación considera los estados límite último y de servicio que se aplican habitualmente para estas estructuras: flexión, cortante, torsor, fisuración, flechas, etc. El uso del algoritmo memético requiere previamente su calibración. Cada una de las heurísticas se procesa 12 veces, obteniéndose información estadística sobre el valor mínimo, el medio y las desviaciones. El estudio paramétrico muestra una buena correlación del coste, del número de torones y de las cuantías de acero pasivo y hormigón de la viga con la luz. Se han comprobado ahorros de entre el 8 y el 50% respecto a otras estructuras realmente ejecutadas. El procedimiento presentado permite la aplicación práctica al diseño real y su adaptación al proceso de prefabricación.

© 2012 CIMNE (Universitat Politècnica de Catalunya). Publicado por Elsevier España, S.L. Todos los derechos reservados.

### Automated design of prestressed concrete precast road bridges with hybrid memetic algorithms

#### A B S T R A C T

This paper deals with the minimum cost automatic design of precast bridge decks made of U-beams and an upper slab. It uses a hybrid memetic algorithm that combines the population search of solutions by genetic algorithms and a search by variable neighborhood. This algorithm is applied to a bridge made of two isostatic U-beams of 20–40 m of span and a width of 12 m. This example has 40 discrete variables. The evaluation module takes into account the service and ultimate limit states usually considered for these structures, i.e. flexure, shear, torsion, cracking, deflections, etc. The use of the memetic algorithm requires its previous calibration. Each of the heuristics is run 12 times, obtaining information about the minimum and average values, as well as the scatter. The parametric study showed a good correlation for the cost, the number of strands and the steel and concrete quantities with the span length. Savings have been found between 8 and 50% compared to other structures really executed. The presented procedure allows the practical application to the real design and its adaptation to the precast process.

© 2012 CIMNE (Universitat Politècnica de Catalunya). Published by Elsevier España, S.L. All rights reserved.

### 1. Introducción

La construcción con hormigón prefabricado presenta claras ventajas económicas cuando se fabrican en taller piezas en grandes series. El ahorro en material y en mano de obra, la elevada calidad en el producto y el rápido montaje son razones que justifican, por sí solas, el uso de la construcción prefabricada. Sin embargo, tal y

\* Autor para correspondencia.

Correos electrónicos: [jvmartia@upv.es](mailto:jvmartia@upv.es) (J.V. Martí), [vyepesp@upv.es](mailto:vyepesp@upv.es) (V. Yepes), [fgonzale@upv.es](mailto:fgonzale@upv.es) (F. González-Vidosa), [alluiv@upvnet.upv.es](mailto:alluiv@upvnet.upv.es) (A. Luz).

como indica Yee [1], hoy en día existen motivos adicionales basados en beneficios sociales y medioambientales que justifican la adopción de la tecnología del hormigón prefabricado. A este respecto, Billington [2] proporciona una perspectiva histórica del desarrollo del hormigón pretensado (HP). Asimismo, los proyectistas han tomado buena nota de las ventajas del prefabricado cuando se trata de construir puentes con luces moderadas, de 10 a 40 m [3]. En estos casos, la disminución del peso resulta fundamental para reducir los costes de elevación y transporte de las piezas. En este contexto, la optimización estructural del coste necesario para construir un puente de vigas prefabricadas constituye un área de gran interés, especialmente cuando se realizan grandes series de piezas.

Si bien los aspectos básicos relacionados con la optimización matemática se establecieron en los siglos XVIII y XIX con los trabajos de Lagrange o Euler, hay que esperar hasta los años cuarenta del siglo XX para que Kantorovich y Dantzing desarrollaran plenamente los principios de la programación matemática. Se puede consultar una revisión de las técnicas de optimización más importantes en la recopilación de Caballero y Grossmann [4]. Es a partir de la revolución informática de los años setenta cuando estas herramientas empezaron a ser empleadas de forma habitual en numerosas aplicaciones en las ciencias, las ingenierías y los negocios. Sin embargo, el progreso de técnicas de optimización que no requieran derivadas y que se generen a través de reglas heurísticas ha supuesto una auténtica revolución en el campo de la optimización de los problemas reales. En efecto, los métodos aproximados pueden utilizarse allí donde el elevado número de variables en juego impide la resolución de los problemas, mediante la programación matemática, en un tiempo de cálculo razonable. A estos algoritmos de optimización aproximada, cuando su uso no está restringido a un solo tipo de problemas, la comunidad científica en el ámbito de la inteligencia artificial y de la investigación operativa les ha dado el nombre de metaheurísticas [5]. Este grupo incluye una amplia variedad de procedimientos inspirados en algunos fenómenos naturales, tales como los algoritmos genéticos [6], el recocido simulado [7] o la optimización por movimientos de enjambres [8]. Liao et al. [9] presentan una revisión reciente de la aplicación de los métodos heurísticos en el campo de la gestión del proyecto y de la construcción.

En relación con la optimización de las estructuras, si bien la información más antigua hay que buscarla en el siglo XV con los trabajos de Leonardo da Vinci y de Galileo Galilei sobre la disminución del peso de estructuras de madera, hay que esperar al siglo XIX, con Maxwell y Levy, y a comienzos del siglo XX, con Mitchell, para ver las primeras aportaciones en el diseño de mínimo peso de estructuras de arcos y cerchas metálicas. En 1994, Cohn y Dinovitzer [10] realizaron una amplia revisión de los métodos empleados en la optimización de estructuras, comprobando que la inmensa mayoría de las investigaciones llevadas a cabo hasta entonces se basaban en la programación matemática y en problemas más bien teóricos, con una preponderancia abrumadora de las estructuras metálicas frente a las estructuras de hormigón. Así, la aplicación de métodos heurísticos a la ingeniería estructural se remonta a los años setenta y ochenta [11–13], siendo la computación evolutiva —y en especial los algoritmos genéticos— los métodos que más se han utilizado. La revisión de Kicinger et al. [14] proporciona un completo estado de la cuestión de los métodos evolutivos aplicados al diseño estructural. Por otro lado, nuestro grupo de investigación ha presentado trabajos recientes de diseño automático y optimización de estructuras de hormigón armado con algoritmos genéticos [15] y con otras técnicas heurísticas [16–21], así como trabajos de optimización con HP [22,23].

En relación con la optimización de puentes, la revisión mencionada de Cohn y Dinovitzer [10] ya apuntaba la gran escasez de artículos publicados en esta materia. El diseño óptimo de vigas pretensadas, en especial la disposición de los tendones, es un problema

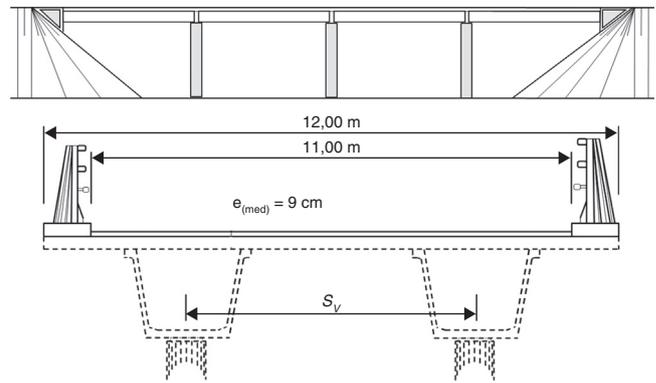


Figura 1. Esquema longitudinal del puente y sección transversal del tablero.

clásico planteado desde hace años [24,25]. Aparicio et al. [26] presentaron un sistema de diseño asistido por ordenador de puentes de HP para carreteras, identificando cuáles eran las tipologías estructurales más eficaces. Hassanain y Loov [27] presentan una revisión del estado de la cuestión de las técnicas de optimización de puentes de hormigón. Sin embargo, tal y como apuntan Hernández et al. [28], existe cierto vacío en la investigación que se ocupe específicamente de la optimización y el diseño completo de los puentes reales. En este sentido, el trabajo de Martí y González-Vidosa [22] implicó el diseño integral y automatizado de una pasarela para peatones formada por una viga prefabricada de HP.

Siguiendo esta línea de investigación, el presente artículo se centra en el diseño automatizado de puentes de vigas artesas de HP prefabricadas empleados como pasos superiores sobre vías de comunicación. Las luces vienen impuestas por las dimensiones de la vía inferior, con rangos habituales que oscilan entre los 20 y los 40 m. Estos puentes consisten en vigas de HP con forma de U con losa superior colaborante (figs. 1 y 2) y un tablero de hormigón, parcialmente prefabricado o construido in situ. Esta tipología cuenta a su favor, entre otras, con las ventajas derivadas de la prefabricación, como por ejemplo la construcción industrializada, los moldes reutilizables, los plazos reducidos de ejecución en obra y la baja interferencia con el tráfico inferior. La solución de viga en U permite eliminar completamente los poco agraciados cabezales sobre pila de los tableros de viga en doble T. La estructura que aquí es objeto de optimización está compuesta por 2 vigas de HP prefabricadas que integran en la parte superior una losa de HA para el tráfico de vehículos de 12 m de anchura, siendo su tablero isotático en sentido longitudinal (fig. 2). El método para realizar la optimización se ha basado en el cálculo del coste de cada una de las soluciones evaluadas, en función de las variables geométricas, los materiales y los refuerzos activo y pasivo. A continuación se ha implementado un módulo que valora todos los estados límites relevantes, y posteriormente se ha desarrollado, de modo específico para este trabajo, un algoritmo memético híbrido capaz de

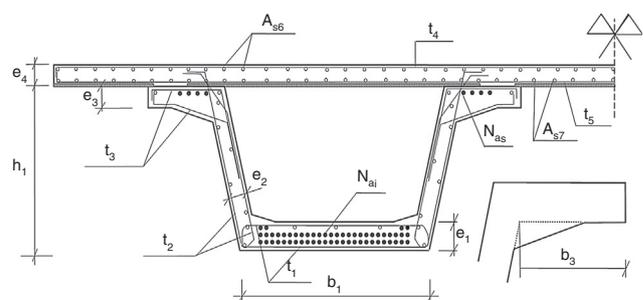


Figura 2. Variables geométricas y armaduras activa y pasiva.

Download English Version:

<https://daneshyari.com/en/article/1702545>

Download Persian Version:

<https://daneshyari.com/article/1702545>

[Daneshyari.com](https://daneshyari.com)