

LIFE-CYCLE SUSTAINABILITY DESIGN OF POST-TENSIONED BOX-GIRDER BRIDGE OBTAINED BY METAMODEL-ASSISTED OPTIMIZATION AND DECISION-MAKING UNDER UNCERTAINTY

RESUMEN

Actualmente existe una tendencia hacia la sostenibilidad, especialmente en los países desarrollados donde la preocupación de la sociedad por el deterioro ambiental y los problemas sociales ha aumentado. Siguiendo esta tendencia, el sector de la construcción es uno de los sectores que mayor influencia tiene debido a su alto impacto económico, ambiental y social. Al mismo tiempo, existe un incremento en la demanda de transporte que provoca la necesidad de desarrollo y mantenimiento de las infraestructuras necesarias para tal fin. Con todo esto, los puentes se convierten en una estructura clave, y por tanto, la valoración de la sostenibilidad a lo largo de toda su vida es esencial.

El objetivo principal de esta tesis es proponer una metodología que permita valorar la sostenibilidad de un puente bajo condiciones iniciales inciertas (subjektividad del decisor o variabilidad de parámetros iniciales) y optimizar el diseño para obtener puentes óptimos robustos. Para ello, se ha realizado una extensa revisión bibliográfica de todos los trabajos en los que se realiza un análisis de la sostenibilidad mediante la valoración de criterios relacionados con sus pilares principales (económico, medio ambiental o social). En esta revisión, se ha observado que la forma más completa de valorar los pilares medioambientales y sociales es mediante el uso de métodos de análisis de ciclo de vida. Estos métodos permiten llevar a cabo la valoración de la sostenibilidad durante todas las etapas de la vida de los puentes. Todo este procedimiento proporciona información muy valiosa a los decisores para la valoración y selección del puente más sostenible. No obstante, las valoraciones subjetivas de los decisores sobre la importancia de los criterios influyen en la evaluación final de la sostenibilidad. Por esta razón, es necesario crear una metodología que reduzca la incertidumbre asociada y busque soluciones robustas frente a las opiniones de los agentes implicados en la toma de decisiones.

Además, el diseño y toma de decisiones en puentes está condicionado por los parámetros inicialmente definidos. Esto conduce a soluciones que pueden ser sensibles frente a pequeños cambios en dichas condiciones iniciales. El diseño óptimo robusto permite obtener diseños óptimos y estructuralmente estables frente a variaciones de las condiciones iniciales, y también diseños sostenibles y poco influenciados por las preferencias de los decisores que forman parte del proceso de toma de decisión. Así pues, el diseño óptimo robusto se convierte en un proceso de optimización probabilística que requiere un gran coste computacional. Por este motivo, el uso de metamodelos se ha integrado en la metodología propuesta. En concreto, se ha utilizado hipercubo latino para la definición de la muestra inicial y los modelos kriging para la definición de la aproximación matemática. De esta forma, la optimización heurística basada en kriging ha permitido reducir más de un 90% el coste computacional respecto a la optimización heurística convencional obteniendo resultados muy similares.

El estudio del diseño óptimo y estructuralmente estable frente a variaciones de las condiciones iniciales se ha llevado a cabo variando tres parámetros iniciales (módulo de elasticidad, sobrecarga, y fuerza de pretensado). El objetivo del caso de estudio analizado ha sido obtener el diseño más económico y con menor variación de la respuesta estructural. De esta forma, se consigue una frontera de Pareto que permite seleccionar la solución óptima, la solución más robusta o una solución de compromiso entre las dos. Por otro lado, el estudio de diseños sostenibles y poco influenciados por las preferencias de los decisores se ha llevado a cabo generando una gran cantidad de decisores aleatorios para cubrir todas las posibles preferencias

de los interesados. El objetivo del caso de estudio ha sido reducir la participación subjetiva de los decisores. De esta forma, se ha podido reducir todo el abanico de diseños posibles a un número reducido de diseños concretos, y seleccionar aquel diseño con mejor media sostenible o menor variabilidad en la valoración.

Esta tesis proporciona en primer lugar, una amplia revisión bibliográfica, tanto de los criterios utilizados para la valoración de la sostenibilidad en puentes como de los diferentes métodos de análisis de ciclo de vida para obtener un perfil completo de los pilares ambientales y sociales. Posteriormente, se define una metodología para la valoración completa de la sostenibilidad, usando métodos de análisis de ciclo de vida. Asimismo, se propone un enfoque que permite obtener estructuras poco influenciadas por los parámetros estructurales, así como por las preferencias de los diferentes decisores frente a los criterios sostenibles. La metodología proporcionada en esta tesis es aplicable a cualquier otro tipo de estructura.

Palabras clave: *Sostenibilidad, Toma de decisiones, Análisis de ciclo de vida, Métodos de valoración del impacto del análisis de ciclo de vida, ReCiPe, Ecoinvent, SOCA, Metamodelos, Kriging, Diseño óptimo robusto, Puentes.*