

1 **Diseño paramétrico de ruedas trianguladas de radios traccionados con**  
2 **perfil biconvexo para estructuras de cubierta sobre graderíos de**  
3 **estadios con planta elíptica**

4 *Parametric design of triangulated tensile spoke-wheels with bi-convex*  
5 *profile for roof structures on elliptical stadium stands*

6 Rodrigo Martín-Sáiz<sup>a\*</sup>, Blas Herrera<sup>b</sup>

7 <sup>a</sup>*Dr. Arquitecto, Profesor Asociado, Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Universitat Rovira i*  
8 *Virgili, Reus. Orcid: 0000-0002-5232-3886. rodrigo.martin@urv.cat*

9 <sup>b</sup>*Dr. en Matemáticas, Profesor Titular, Departamento de Ingeniería Informática y Matemáticas,*  
10 *Universitat Rovira i Virgili, Tarragona. Orcid: 0000-0003-2924-9195. blas.herrera@urv.cat*

11 \*Autor de correspondencia: Av. de la Universitat, 43204 Reus, Tarragona;  
12 rodrigo.martin@urv.cat

13 **Resumen:** En este artículo, desarrollamos analíticamente el paso a paso de un  
14 procedimiento de diseño paramétrico de ruedas trianguladas de radios  
15 traccionados de perfil biconvexo para estructuras de cubierta sobre graderíos de  
16 estadios con planta elíptica. A través de este procedimiento, es posible definir la  
17 forma geométrica y la distribución de fuerzas de pretensado necesarias para  
18 conseguir unas condiciones óptimas de dimensionado de la sección transversal  
19 del anillo exterior, atendiendo a su no-circularidad. Estas condiciones óptimas se  
20 consiguen cuando, en situación de carga permanente, la rueda se deforma  
21 homotéticamente en planta. En cada paso del procedimiento formulamos los  
22 sistemas de ecuaciones que describen la relación entre la forma geométrica y el  
23 comportamiento mecánico, y definimos los métodos numéricos para resolverlos.  
24 A partir de la forma en planta de diversos anfiteatros romanos, desarrollamos  
25 ejemplos de aplicación y mostramos los límites geométricos razonables del  
26 procedimiento de diseño. Por último, en un modelo de análisis comprobamos  
27 cómo, efectivamente, una estructura diseñada según este procedimiento se  
28 deforma homotéticamente en planta en situación de cargas permanentes.

29 **Palabras clave:** diseño paramétrico; cubiertas de estadios, ruedas trianguladas de  
30 radios traccionados; perfil biconvexo; planta elíptica

31        **Abstract:** In this article, we make an analytical development of the step-by-step  
32        process of a parametric design procedure for triangulated tensile spoke-wheels  
33        with bi-convex profile for roof structures on elliptical stadium stands. Through  
34        this procedure it is possible to define the geometric shape and the distribution of  
35        the pre-stressing forces necessary to achieve optimal conditions for the cross-  
36        section sizing of the outer ring, while considering its non-circularity. These  
37        optimal conditions are achieved when, under permanent loads, an in-plane  
38        homothetic deformation occurs. In each step of the procedure we formulate  
39        system of equations that describe the relationship between geometric shape and  
40        mechanical behavior, and we define the numerical methods to solve them. From  
41        the ground plan shape of several Roman amphitheatres, we develop application  
42        examples and we show the reasonable geometric limits of the design procedure.  
43        Finally, in an analysis model, we verify how, in fact, a structure designed  
44        according to this procedure deforms homothetically in plan under permanent  
45        loads.

46        **Keywords:** parametric design; stadium roofs, triangulated tensile spoke-wheels;  
47        bi-convex profile, elliptical ground plan

## 48    **1 Introducción**

49    En las últimas décadas, la rueda de radios traccionados (RRT) se ha convertido en la  
50    tipología estructural más recurrente para cubrir los graderíos de grandes estadios [1- 3].  
51    Esta tipología es mucho más eficiente que cualquier otra a partir de los 35 m de  
52    voladizo [4, 5].

53        Las RRT, además de ser muy ligeras, no transmiten empujes ni momentos  
54    flectores. Esto simplifica el diseño de los soportes y de sus cimentaciones, y permite  
55    optimizar su dimensionado. Las RRT son especialmente interesantes para cubrir  
56    construcciones históricas [6, 7] porque no generan alteraciones significativas en el  
57    estado tensional de sus muros.

58        Las RRT están formadas por anillos de compresión en el perímetro exterior,  
59    radios y anillos de tracción en el perímetro interior. El anillo exterior es el elemento que