



Estabilidad de pórticos 2D en régimen elastoplástico



M. Cacho-Pérez^a, P.M. López-Reyes^{b,*}, A. Lorenzana^{a,b} y J.M.G. Terán^a

^a E.I.I., Universidad de Valladolid. Paseo del Cauce 59, 47011. Valladolid, España

^b CARTIF Centro Tecnológico. Parque Tecnológico de Boecillo 205, 47151. Valladolid, España

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historia del artículo:

Recibido el 30 de mayo de 2013

Aceptado el 13 de febrero de 2014

On-line el 3 de diciembre de 2014

Palabras clave:

Pandeo

Colapso

Grandes desplazamientos

Nudos semirrígidos

Keywords:

Buckling

Collapse

Large displacements

Semi-rigid connections

R E S U M E N

En este trabajo se determina el nivel de carga máximo de pórticos metálicos planos constituidos por barras rectas esbeltas. Se realiza un planteamiento analítico basado en un elemento barra con comportamiento elástico en su dominio y posibilidad de comportamiento plástico localizado en sus secciones extremas. La plasticidad se alcanza por combinación de esfuerzos. Se considera que aparece de forma concentrada y súbita y origina desplazamientos relativos acoplados asociados a un único grado de libertad. Este modelo incluye el tradicional de rótula plástica, el cual solo considera giro relativo por plastificación debida al efecto del momento flector. La aparición secuencial de grados de libertad acoplados afecta a la estabilidad del conjunto, la cual se va evaluando numéricamente en cada uno de los instantes representativos de aplicación de la carga marcados por la plastificación de las secciones.

© 2013 CIMNE (Universitat Politècnica de Catalunya). Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

Structural stability in elastoplastic 2D frames

A B S T R A C T

The evaluation of the maximum level of load that any 2D framed structure can undergo, before plastic collapse or buckling, is addressed in this paper. The analytical approach, based on a beam element with elastic behaviour except on its ends, uses an incremental approach to determine when changes appear due to plastic behaviour. When the combination of axial force and bending moment in any cross-section reaches the plastic function, that section is considered to yield suddenly and relative displacements can appear because of the yielding. The model includes the traditional plastic hinge, which only considers relative rotation due to the effect of the bending moment. The sequential loading and yielding reduces the stiffness and stability of the frame, which is computed and compared with the classic plastic methods of analysis.

© 2013 CIMNE (Universitat Politècnica de Catalunya). Published by Elsevier España, S.L.U. All rights reserved.

1. Introducción

Es bien conocida la importancia que tienen los sistemas estructurales de barras en muchos campos de la ingeniería y su capacidad de soportar más carga que aquella para la que fueron diseñados.

Esto se debe, en parte, a que su dimensionamiento se ha realizado en régimen elástico lineal y no se ha considerado la redistribución de tensiones tras la plastificación. Esto supone una reserva de resistencia que permitiría conseguir un diseño más optimizado de la estructura, conocer el factor de seguridad real ante ciertas sobrecargas, realizar una evaluación de su vulnerabilidad ante determinados estados límites últimos o evaluar el daño acumulado y proponer las correspondientes intervenciones. Para ello, resulta imprescindible disponer de modelos numéricos que permitan una adecuada simulación de los complejos fenómenos no lineales que

* Autor para correspondencia.

Correos electrónicos: cacho@eii.uva.es (M. Cacho-Pérez), pablop@cartif.es (P.M. López-Reyes), ali@eii.uva.es (A. Lorenzana), teran@uva.es (J.M.G. Terán).

tienen lugar incluso en régimen estático, a partir de los cuales se pueda conocer y cuantificar el comportamiento límite de estructuras de barras.

La forma más eficiente para llevar a cabo una modelización numérica del comportamiento lineal de las estructuras de barras es mediante elementos monodimensionales [8,10,17]. El uso de estos elementos para problemas en los que existe no linealidad del material está muy limitado, fundamentalmente porque los programas comerciales y las formulaciones utilizadas asumen hipótesis muy simplificadas que no pueden reproducir fielmente el comportamiento plástico real o incluso carecen de elementos monodimensionales, por lo que estos deben aproximarse por elementos tridimensionales discretizados con pocos elementos en las 2 direcciones perpendiculares a la directriz. Ante esta situación, es deseable desarrollar un elemento simple, pero riguroso, que permita abordar eficientemente el estudio numérico de adaptación plástica de las estructuras hasta su colapso, incluyendo el efecto de posibles grandes desplazamientos.

Basándose en el comportamiento plástico a nivel de punto, pero expresado en función de las variables tradicionales del modelo 1D de barra de Navier-Bernoulli, se llega, tras ciertas hipótesis, al concepto de sección agotada por plastificación, como extensión del concepto de rótula plástica, cumpliendo la teoría general de la plasticidad. A este modelo se incorpora la no linealidad geométrica (teoría de segundo orden) que permite realizar un análisis de estabilidad [1,5] y conocer la carga crítica correspondiente a estados de carga para los que ya se han agotado una o más secciones del pórtico.

De forma resumida y desde el punto de vista teórico, el comportamiento elastoplástico de un determinado elemento finito normalmente viene descrito por la matriz de rigidez elastoplástica tangente [3,11], e intervienen la matriz de rigidez y las derivadas de la función de plastificación con respecto a las tensiones. La extensión de esta formulación al caso de barras lleva a una expresión similar en la que juega un papel fundamental la función de plastificación y sus derivadas con respecto a los esfuerzos [2,6]. Esta función expresa la combinación de esfuerzos que llevan a la plastificación completa de la sección. Para casos simples en los que se considere que esta función depende solo del momento flector, y tomando equilibrio en la configuración indeformada, la formulación lleva estrictamente al modelo tradicional de rótula plástica. Sin embargo, si de manera adicional se impone el equilibrio en la configuración deformada y se considera la influencia de los esfuerzos axial y/o cortante, los desarrollos son más complejos y aparecen fenómenos de acoplamiento entre esfuerzos y desplazamientos [8,13-16], siendo este el objeto del presente estudio.

2. Modelo barra 2D

A las limitaciones tradicionales del modelo de barra de Navier-Bernoulli aplicado al estudio de pórticos planos se añade la hipótesis de estado proporcional de cargas aceptada usualmente en los métodos de cálculo plástico.

2.1. Equilibrio, compatibilidad y comportamiento

Para el elemento barra de la figura 1, bajo un estado genérico de cargas y vinculaciones en sus secciones extremas, las ecuaciones de equilibrio son [1,5]:

$$\begin{cases} N'_s(s) + q_s(s) = 0 \\ V'_y(s) + q_y(s) = 0 \\ M'_z(s) + V_y(s) = 0 \end{cases} \quad (1)$$

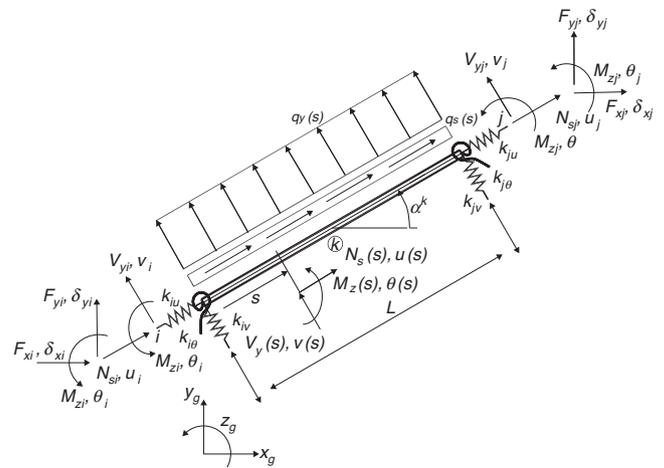


Figura 1. Modelo barra 2D.

donde las variables con notación prima indican derivada respecto a la coordenada espacial (s). Los esfuerzos y los grados de libertad, en coordenadas locales en los extremos de la barra, se definen como:

$$\begin{cases} \underline{E}_i^k = (N_{si}, V_{yi}, M_{zi})^T = (N_s(0), V_y(0), M_z(0))^T \\ \underline{E}_j^k = (N_{sj}, V_{yj}, M_{zj})^T = (N_s(L), V_y(L), M_z(L))^T \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} \underline{u}_i^k = (u_i, v_i, \theta_i)^T = (u(0), v(0), \theta(0))^T \\ \underline{u}_j^k = (u_j, v_j, \theta_j)^T = (u(L), v(L), \theta(L))^T \end{cases} \quad (3)$$

mientras que en coordenadas globales (x_g, y_g, z_g) se expresan como:

$$\underline{Q}_l^k = (F_{xl}, F_{yl}, M_{zl})^T = (\underline{L}^k)^T \underline{E}_l^k; \quad l = i, j \quad (4)$$

$$\underline{\delta}_l^k = (\underline{L}^k)^T \left(\underline{u}_l^k + \left(\underline{K}_l^k \right)^{-1} \left(\underline{E}_l^k - \underline{F}_l^k \right) \right); \quad l = i, j \quad (5)$$

donde (F_l^k) es la sollicitación de tipo concentrado/puntual en el extremo (l) de la barra (k), K_l^k son las rigideces en el extremo de cada barra en el sistema de coordenadas local y L^k es la correspondiente matriz de cambio de base.

Por tanto, este modelo de barra 2D considera en sus secciones extremas nudos semirrígidos de rigidez longitudinal, transversal y rotacional dada. Se ha optado por este tipo de elemento en lugar del clásico de nudos rígidos porque permite incluir de forma sencilla cualquier tipo de libertad entre barras de la estructura.

2.2. No linealidad geométrica

Debido a que un análisis de estabilidad requiere que el equilibrio se plantee en la configuración real, es decir, en la deformada, se hace necesario fijar el sistema de referencia en el que expresar los desplazamientos y los esfuerzos de la barra. Para ello, se considera un sistema de referencia cartesiano de orientación fija para cada barra independiente de su deformación, denotado por (s, y, z). Del equilibrio de fuerzas según los ejes (s, y) y de momentos según (z), resulta el siguiente sistema de ecuaciones diferenciales:

$$\begin{cases} N'(s) + q_s(s) = 0 \\ V'(s) + q_y(s) = 0 \\ M'(s) - N(s)\theta(s) + V(s) = 0 \end{cases} \quad (6)$$

donde theta(s) = v'(s) y las variables con notación prima indican derivada respecto a la coordenada espacial (s) y donde se ha aproximado

Download English Version:

<https://daneshyari.com/en/article/1702499>

Download Persian Version:

<https://daneshyari.com/article/1702499>

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