

## Sobre cálculo de columnas exteriores en edificios de hormigón armado

El señor Gustavo Sinek L., ingeniero europeo con estudios en el extranjero, ha publicado en los números 2 y 3 de los ANALES, un artículo con el título «El cálculo de los pilares extremos en los edificios y construcciones análogas de hormigón armado». En él critica el Reglamento Chileno y las Normas Alemanas—pretendiendo establecer—mediante la aplicación de las ecuaciones de las fuerzas virtuales de Müller Breslau—que es inaceptable tomar como momento razonablemente aproximado para el extremo exterior de una viga, el que resulta al suponer que los extremos de arriba y de abajo de las columnas superior e inferior que concurren a ese nudo se consideren empotrados, porque—según dice él—al calcular el piso siguiente se admite giro en el mismo nudo que se consideró fijo para calcular el piso vecino.

Para que el lector no crea que hago una mala interpretación del artículo criticado, reproduzco el párrafo final de la página 125 que dice textualmente:

«Según este sistema los pilares unidos con las vigas sobre el piso (p)—véase fig. 2—se consideran perfectamente empotrados en las vigas sobre los pisos (p — 1) y p + 1, en otras palabras, la tangente a la elástica de los pilares queda vertical en los puntos a' y c' y está inclinada en el punto b'. Sin embargo, tratándose del piso (p — 1, la tangente a la elástica en el punto b' se vuelve vertical en el punto c" y aquella trazada en el punto c' se inclina en el punto c". Se establece, pues, una suposición en cierta etapa del cálculo que se anula en la siguiente».

Según esto, no sólo las Normas estarían erradas, sino también el método de Cross, que se basa en que los nudos de las estructuras puedan considerarse fijos y libres alternativamente. Si aceptáramos abrir discusión sobre la opinión expuesta, mucho temo que pondríamos en duda el principio general de superposición de efectos debidos a causas independientes, que es la base de todos los métodos de estabilidad. y entre ellos, el de Müller Breslau, que el autor aplica para sostener su teoría.

Además se cometen algunos errores u omisiones básicas, como son:

1.º El problema de determinar el momento de empotramiento en un nudo sobre el cual concurren tres barras rígidamente unidas, con sus extremos lejanos fijos o articulados, es un problema de un solo grado de indeterminación y, por lo tanto, no es necesario recurrir a dos ecuaciones simultáneas para resolverlo. Basta tomar como incógnita el ángulo de giro de la ecuación de equilibrio del nudo para obtener fácilmente las relaciones establecidas en la Ordenanza que corresponden a la solución exacta del conjunto viga-columnas con extremos lejanos empotrados.

Se llegaría también a las mismas relaciones en el caso en que el grado de empotramiento de los nudos lejanos de las columnas y viga, fuera cualquiera, siempre que el valor del grado de empotramiento fuera el mismo en todos eilos. En tal caso debería reemplazarse el valor  $1/12 q.l^2$  por un valor intermedio entre éste y  $1/8 q.l^2$  valor límite que corresponde al extremo interior de la viga articulado.

Lo dicho anteriormente no significa que no pueda llegarse a una solución correcta recurriendo a Müller Breslau. Sólo significaría que es más rápido, claro y útil trabajar con una sola incógnita y una sola ecuación, evitándose labor que obstaculiza sin objeto las comparaciones que más tarde han de realizarse.

2.º Si los grados de empotramiento de la viga del extremo superior de la columna de arriba, del extremo inferior de la columna de abajo y del extremo inferior de la viga fueran apreciablemente distintos entre sí, como siempre sucede en los pisos superiores de un edificio, se pueden establecer relaciones en extremo sencillas que proporcionan las rigideces verdaderas y con el grado de exactitud que se desee, de los elementos (columnas y viga) que concurren al nudo que se estudia, permitiendo con ellos obtener exactamente los momentos reales sobre vigas y columnas, cualquiera que sean las asimetrías de forma o de sollicitaciones que se presenten. Esta parte fundamental del problema fué olvidado en el artículo en referencia, a pesar de que ella aparece en textos de la literatura norteamericana, y cuyo estudio fué agotado en 1918 por los ingenieros Wilson, Richart y Weiss. (Boletín 108 de la Oficina Experimental de la Universidad de Illinois).

3.º El señor Sinek repite en varias partes de su publicación que es inadecuada la fórmula que da como solución aproximada el artículo 60 de nuestras Normas y para demostrarlo hace variar las alturas de las columnas y no considera para nada las acciones reflejas que producen las cargas de los pisos restantes del edificio. Es decir, olvida que la sollicitación máxima en el extremo exterior de una viga y, de ambas columnas se produce cuando las elásticas de los nudos del piso superior y del piso inferior están sometidas a giros contrarios a los causados por las cargas de la viga que se considera.

Es evidente que no puede justificarse conclusión alguna en pro o en contra de la fórmula de las Normas, sin considerar la distribución más desfavorable de las cargas en el edificio y todos los esfuerzos algebraicos y numéricos que realiza el autor son completamente inútiles para este fin. Así parece haberlo comprendido cuando afirma en la página 125:

«Un marco de pisos con uniones rígidas en todos los nudos forma un sistema con tantas magnitudes hiperestáticas que es prácticamente imposible plantear y resolver las ecuaciones para determinar las incógnitas. Por esto, es indispensable hacer suposiciones simplificadoras».

También son inexactas esas consideraciones. El problema de determinar las verdaderas sollicitaciones en una estructura de numerosos pisos, sea para cargas verticales o para cargas horizontales—acciones provocadas por el viento o por los temblores—ha sido resuelto en la forma más completa y exacta—sin recurrir a simplificaciones de ninguna clase—desde hace muchos años y se encuentran publicadas en manuales de Concreto Armado tan conocidos como el Hool & Johnson, editado en 1918 por McGraw-Hill (ver página 629 y siguientes).

La aplicación del sistema de cálculo allí indicado, no ofrece dificultades y puede decirse, sin la menor exageración, que ha formado parte rutinaria del trabajo profesional de las oficinas de ingeniería estructural. Hoy día disponemos y usamos múltiples e ingeniosas variantes de ese sistema, que permiten evitarse la resolución directa de los sistemas de ecuaciones.

Volviendo al cálculo de las solicitaciones en columnas exteriores de edificios o puentes, no es necesario recalcar que es solo una parte, del cálculo de pórticos y, por esto, no puede presentar dificultades a los profesionales especializados. Por otra parte, bastaría arrastrar hasta el piso considerado las acciones reflejas de las cargas en los pisos superiores e inferiores, calculadas con la fórmula aproximada de las Normas, para verificar rápidamente que éstas arrojan límites prudentes si se desea no recurrir a cálculos exactos. Si así se utilizara la fórmula citada, haría una aplicación del método de Cross que es enseñada por nuestras Universidades entre los elementos de cálculo de estructuras.

Finalmente, puede observarse que el análisis correcto y completo de este problema aparece resuelto en tablas o gráficos en muchos libros del ramo.

El objeto de estas observaciones es dejar en evidencia que la publicación que comento no corresponde al grado de adelanto en que se encuentra nuestra ingeniería estructural.