

El uso de presfuerzo no adherido en la edificación

Luis Rocha Marhén

(Primera parte)

A principios de 2008 la Asociación Nacional de la Industria de Prefabricación y Presfuerzo (ANIPPAC) y la Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, (SMIE), organizaron el Segundo Simposio sobre Prefabricación y Presfuerzo. En esa ocasión nuestro invitado presentó el tema "Uso del presfuerzo no adherido en Edificación", donde explicó los conceptos básicos del tema, lo referente a los estados límites de seguridad y servicio, las ventajas de su uso y el desempeño de las estructuras construidas con el sistema bajo la acción de solicitaciones sísmicas.

En este documento están las conclusiones más relevantes del tema obtenidas del estudio de varios artículos técnicos publicados en el mundo.

Por ello, considerando que la acción sísmica sobre este tipo de estructuras es uno de los puntos más importantes y poco difundidos en el mundo estructural, decidí hacer este resumen enfocado exclusivamente al tema.

Es ampliamente conocido que el concreto presenta gran resistencia a la compresión y baja resistencia a la tensión, y que el presfuerzo comprime al concreto ofreciéndole la oportunidad de desarrollar toda su capacidad desde el punto de vista de resistencia.

Las cargas exteriores, al desarrollar esfuerzos de tensión en las piezas éstos son anulados por la compresión transmitida por el presfuerzo al concreto teniendo como consecuencia un mayor aprovechamiento del material, de ahí la necesidad de una menor sección la cual, inversamente a lo que sucede en el concreto reforzado convencional, es aprovechada en su totalidad. Por lo anterior se puede decir que presfuerzo significa ejercer mediante un tratamiento mecánico consistente en aplicar de manera artificial y voluntaria (controlada) una fuerza que comprime las secciones de concreto, que sumado a los esfuerzos creados por las solicitaciones exteriores futuras, la sección de concreto permanece comprimida dentro de los límites permisibles del material.



Fotos: Cortesía Luis Rocha

Introducción

El estudio del comportamiento de sistemas estructurales y de los elementos que los componen sujetos al efecto de una excitación del tipo sísmico, en el caso de edificaciones en las que se emplean elementos de concreto reforzado y presforzado es un tema relativamente nuevo.

Durante mucho tiempo se ha considerado que las edificaciones constituidas con elementos presforzados o postensados, no presentarán desempeños adecuados ante un sismo. Ambas aseveraciones son incorrectas: Las estructuras prefabricadas o postensadas, al igual que las totalmente coladas en sitio, adecuadamente diseñadas no presentan comportamientos anómalos ante sismos.

Durante las últimas décadas y producto de la necesidad de tener mayor control de calidad en la construcción, aunado a la necesidad de poder cubrir grandes claros con reducción en los costos de construcción, se han usado con mayor frecuencia sistemas con elementos postensados no adheridos. El aumento en el uso de este tipo de sistemas estructurales se ha presentado aún en zonas de sismicidad media a alta, como es el caso de la costa del Pacífico de los países de Norteamérica, Japón y Nueva Zelanda.

La escasez de información generada de resultados de investigaciones experimentales ha propiciado que la normatividad en este rubro de la ingeniería estructural resulte de poco acceso al profesional. Al respecto se pueden mencionar algunos documentos normativos o de recomendaciones específicas para el diseño y construcción de estructuras presforzadas, todos de los países mencionados. Sin

embargo y desafortunadamente, en el caso de México no se ha desarrollado investigación y, por lo tanto, no existe ninguna normatividad, ni recomendaciones para un diseño adecuado. Por esto, este escrito pretende exponer de manera sencilla y clara una parte de la información que se logró identificar a partir de la revisión documental.

Investigaciones previas

En la parte final de la década de los setentas, el profesor neozelandés Robert Park hizo una apología sobre el comportamiento y criterios de diseño para estructuras de marcos de concreto en regiones de alta sismicidad con elementos parcialmente presforzados; es decir, elementos con la combinación del presfuerzo, trabajando conjuntamente con el acero de refuerzo tradicional. En ese trabajo pionero, Park menciona las características de las relaciones carga–desplazamiento esperadas para este tipo de elementos, las cuales resultan similares con las obtenidas en trabajos experimentales realizados en un periodo de casi cuarenta años. Además, en ese trabajo, el autor menciona qué elementos de este tipo pueden ser usados para conformar marcos resistentes al momento en regiones de alta sismicidad. Cabe decir que lo mencionado por Park también había sido tratado ya por Mugeruma y Okamoto en Japón, en la misma década.

En los trabajos de Okamoto –sustentados en investigación experimental– se menciona la capacidad de disipación de energía por daño que presentan los elementos estructurales “parcialmente presforzados”; incluso

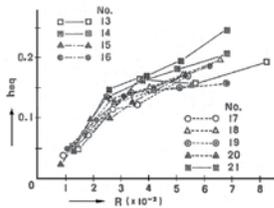


Nuestro invitado

Luis Rocha Marthén es ingeniero civil egresado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (1979). Obtuvo el certificado de estudios superiores en estructuras de L'Ecole Nationale des Travaux Publics de L'Etat, en Lyon, Francia, donde sostuvo su tesis sobre el efecto de la no adherencia de los cables de presfuerzo sobre el momento resistente de las trabes postensadas del puente de L'Azergues, de la autopista París-Lyon. Posteriormente, obtuvo el diploma de especialización en estructuras reforzadas y presforzadas en el Centre des Hautes Etudes de la Construction. Tiene 26 años de experiencia en el proyecto y ejecución de estructuras postensadas. Es socio fundador de Postensados Mexicanos, empresa especializada en la aplicación del presfuerzo en la edificación.

muestra una gráfica donde se manifiesta que este tipo de elementos alcanzaron valores del amortiguamiento viscoso equivalente del orden del 10% para desplazamientos relativos del elemento de 2%. (Valor similar al que se considera como mínimo aceptable para estructuras de concreto reforzado según algunos códigos. Otani, 1981).

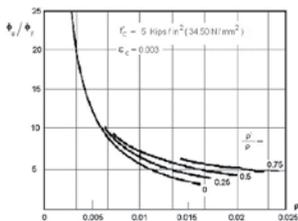
Valor del factor de amortiguamiento viscoso equivalente para estructuras parcialmente presfzadas. (Extraída de Okamoto, 1976).



Entre los años setenta y los ochenta, A. Naaman desarrolló un trabajo experimental y analítico en elementos presfzados y parcialmente presfzados, llegando a la conclusión de que el comportamiento de este tipo de elementos resulta "emulatoria" del comportamiento de elementos similares de concreto reforzado, lo que se puede observar en las gráficas que presentan la relación entre ductilidad seccional e índice de acero de refuerzo para estructuras parcialmente presfzadas. (Ver. Fig. 2. A, Naaman, M. H

Figura 1

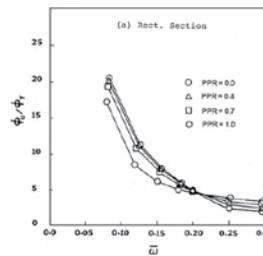
Relación ductilidad-índice de refuerzo longitudinal para elementos de concreto reforzado.



Harajli et J.K.Wight. *PCI Journal*, 1986) y para estructuras de concreto reforzado (Fig. 1. Park y Paulay, 1991).

Figura 2

Relación ductilidad-índice de refuerzo longitudinal para elementos parcialmente presfzados.

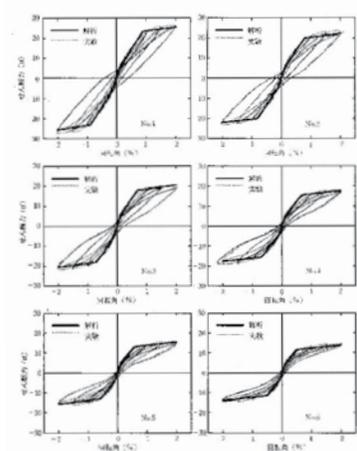


En los años noventa surgió el proyecto PRESS para el estudio de estructuras precoladas y presfzadas. El proyecto lo conformaban principalmente investigadores y profesionales de la ingeniería de estructuras de Estados Unidos de América, Nueva Zelanda y Japón.

Figura 3

Resumen del trabajo de investigación experimental en elementos parcialmente presfzados presentado por Hayashi (1995).

試験番号	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6
断面	□	□	□	□	□	□
配筋	●	○	○	○	○	○
配筋率	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
圧縮強度	3.213	3.213	3.213	3.213	3.213	3.213
引張強度	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
注	1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8. 9. 10. 11. 12. 13. 14. 15. 16. 17. 18. 19. 20. 21. 22. 23. 24. 25. 26. 27. 28. 29. 30. 31. 32. 33. 34. 35. 36. 37. 38. 39. 40. 41. 42. 43. 44. 45. 46. 47. 48. 49. 50. 51. 52. 53. 54. 55. 56. 57. 58. 59. 60. 61. 62. 63. 64. 65. 66. 67. 68. 69. 70. 71. 72. 73. 74. 75. 76. 77. 78. 79. 80. 81. 82. 83. 84. 85. 86. 87. 88. 89. 90. 91. 92. 93. 94. 95. 96. 97. 98. 99. 100.					



Dentro de los grupos de trabajo japoneses se ejecutaron dos proyectos concluyentes. El primero, presentado por Hayashi, et. Al., 1995, brinda las características de desempeño carga-desplazamiento de elementos parcialmente presfzados, en los que la variable fue el porcentaje de resistencia a la flexión proporcionada por el acero de refuerzo.

Un resumen del trabajo del grupo encabezado por Hayashi se presenta en la Figura 3. Lo que reporta como conclusión de este trabajo es el desempeño dúctil con nula degradación de resistencia de todos los modelos, desde el presfzado, hasta el parcialmente presfzado en el que el 50% de la resistencia a flexión la proporciona el acero de refuerzo. Además, se observan características adecuadas de disipación de energía por histéresis, siendo éstas mayores para los modelos donde el índice de refuerzo por flexión es mayor. También, desde estos trabajos, se identifica que los elementos presfzados sujetos a cargas cíclicas reversibles del tipo sísmico, presentan una deforma-

ción o desplazamiento remanente prácticamente nulo, lo cual puede considerarse como un nivel nulo o bajo de daño residual.

Durante el Congreso Mundial de Ingeniería Sísmica celebrado en el año 2000, H. Kato y colaboradores, presentaron los resultados de una investigación experimental en un modelo escala real de un edificio de 11 niveles con elementos parcialmente presforzados para las traveses de los marcos, sujetando la estructura a un patrón de cargas cíclicas reversibles. De los resultados de esta investigación, principalmente de la gráfica "Cortante basal-desplazamiento de entrepiso del modelo de prueba", se puede entender que el sistema presenta una ductilidad global del orden de cuatro, con tendencia a presentar desplazamientos remanentes muy pequeños. Un resumen gráfico del trabajo experimental presentado por Kato y colaboradores (2000) se muestra en la Fig. 4.

Figura 4

Resumen de los resultados del trabajo de investigación experimental presentado por Kato y colaboradores (2000).

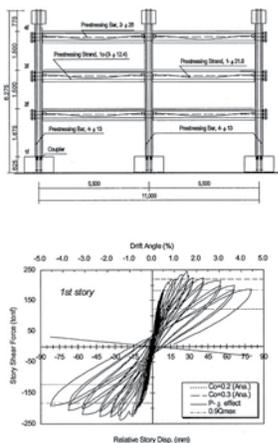
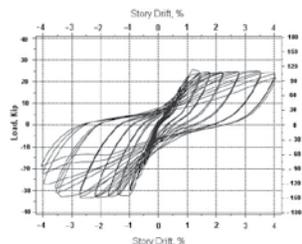
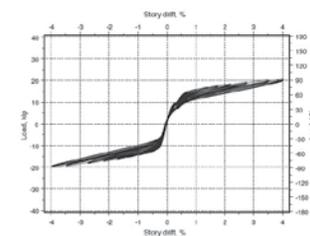


Figura 5

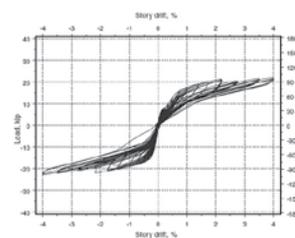
Resumen del trabajo experimental desarrollado por Ozden y colaboradores en el *PCI Journal*, 2007.



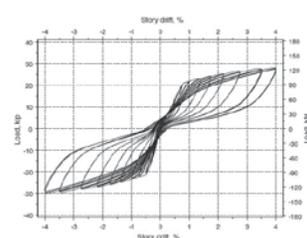
Desplazamiento Relativo versus carga en modelo monolítico.



Gráfica de carga lateral-desplazamiento relativo espécimen con presfuerzo solamente.



Gráfica de carga lateral-desplazamiento relativo, espécimen con presfuerzo y escaso acero de refuerzo.



Gráfica de carga lateral-desplazamiento relativo, espécimen con presfuerzo y mayor contenido de acero de refuerzo.

Recientemente se han presentado trabajos donde se han utilizado torones no adherentes en la unión de vigas y columnas, con diferentes contenidos de acero (S. Ozden y colaboradores, 2007).

De la observación de los resultados experimentales que se resumen en la Figura 5 se identifica que aún el elemento con solamente presfuerzo presenta una relación carga-desplazamiento dúctil. Además, se identifica lo mismo que en trabajos anteriores manifestaron Park, Muguruma y Kato, entre otros, que es el hecho de que el comportamiento carga-desplazamiento tiende a ser "orientado al origen"; es decir, prácticamente sin desplazamientos relativos remanentes, lo que permite considerar que un elemento postensado sin acero de refuerzo presenta un comportamiento similar a los elementos con memoria de forma. En esta pequeña investigación documental,

se coincide con lo observado en la mayoría de los códigos que contemplan a las estructuras presforzadas, en el sentido de que una cuantía de acero comprendido entre el 20% y 30% en elementos postensados con torones no adherentes presentarán un desempeño adecuado en cuanto a resistencia, rigidez, capacidad de deformación, ductilidad seccional, capacidad de disipación de energía por daño y un bajo desplazamiento relativo remanente. Este hecho, nuevamente, es indicativo de un nivel bajo de daño remanente, aunque se pueden alcanzar ductilidades globales del orden de seis. ©

Nota:

El autor expresa su agradecimiento al dr. en Ing. Óscar López Bátiz, por sus valiosos consejos y desinteresados comentarios en la parte de comportamiento sísmico de estructuras parcialmente postensadas. La Bibliografía de este trabajo se presentará en la segunda parte del documento.