

Este último requisito de los anclajes es más crítico para los sistemas no adheridos, donde la fuerza del postensado se pierde si los anclajes fallan, a diferencia de los sistemas adheridos donde después de la inyección el torón se une al concreto en toda su longitud. Además, ya que los mismos anclajes adheridos se utilizan generalmente en los puentes, éstos son probados para pasar cargas cíclicas más rigurosas como se define en la norma AASHTO y aprobaciones europeas ETAG.

Un último requisito establece que el postensado tiene que garantizar la no adherencia en la zona de rótula plástica, limitando de esta manera el diseño a deformaciones en el acero de PT a 1%. Según el ACI318, los torones de siete cables deben cumplir con la norma ASTM416 que exige una deformación mínima última de 3.5%.

CCL especifica una deformación última mínima de 4.5% para todos los proyectos que se encuentran en altas zonas sísmicas, incluyendo el Perú. Esto pone un margen adicional para evitar que el torón llegue a su capacidad de rotura.

Es importante tener en cuenta que los requisitos del postensado para el sistema PEM se basan en varios estudios de investigación no necesariamente de concreto vaciado in situ. Dada la situación del mercado de Estados Unidos, la mayoría de investigaciones en sistemas adheridos se basan en elementos prefabricados pretensados.

Una de las investigaciones realizadas por el Instituto Nacional Americano de Estándares y Tecnología (NIST) que investigó el híbrido de pórticos (reforzado y post tensado) fue hecho con conexiones pre-fabricadas y concluyó que se debería tener una parte no adherida del postensado, así como parcialmente adherido el refuerzo tradicional en la conexión de viga-columna. Se sabe que en el prefabricado la acción inelástica se concentra en la conexión mientras que en las estructuras vaciadas in situ, la región plástica se distribuye sobre una longitud de porción de la viga a cada lado de la columna.

La idea detrás de la diferencia del comportamiento entre los sistemas de postensado adherido y no adherido es que el sistema adherido contribuye a la disipación de energía que se asemeja a la del concreto armado, siempre y cuando la deformación en el torón no alcance la capacidad de rotura; mientras que el sistema no adherido se mantiene en el rango elástico y, por lo tanto, no disipa la energía sísmica pero tiene un efecto que se centra nuevamente. Para las estructuras que dependen de gran disipación de energía, el ingeniero debe evaluar cuidadosamente la idoneidad de cada sistema, dar mecanismos de disipación de energía y examinar los niveles de deformación.

Para evaluar el comportamiento del sistema adherido vaciado in situ, se recomienda que se revisen los códigos en mercados con sistemas predominantemente adheridos. Un importante estudio referenciado por el ACI318

actualizado y publicado por Thompson¹ que se realizó en concreto vaciado in situ del sistema postensado adherido es la esencia de la actual norma de Nueva Zelanda NZS: 3101².

La norma NZS especifica en detalle los requisitos de diseño para el postensado, el cual difiere de los requisitos de ACI318 en algunos aspectos; el más perceptible en este es que el sistema no requiere una longitud de no adherencia, pero sí que el postensado esté más cercano al centro de gravedad de la sección para limitar las deformaciones en los torones.

Experiencia de diseño

Con el fin de realizar un diseño confiable, los ingenieros buscan concebir a la estructura en forma global y no a cada elemento por separado. El ingeniero responsable tiene que llevar con cuidado el diseño y entender el proyecto y las particularidades del sistema, junto con la base detrás de las exigencias de la norma.

Las estructuras postensadas han sido probadas a través de los años a servicio, durabilidad, seguridad y la resistencia contra sismos, incluyendo el efecto de terremotos severos como el acontecido en Chile en el 2010, Nueva Zelanda-Christchurch en el 2011 y el terremoto de Northridge de California, en 1994. Ya sea que se trate de una estructura de concreto armado o de una estructura post-tensada, en el caso del Perú y dado que el ACI tiene requisitos más estrictos sobre la idoneidad de los sistemas a usarse PIM frente al PEM, el ingeniero estructural tiene que definir el uso adecuado de los sistemas Dual tipo I y Dual tipo II para vigas y columnas primero, y luego observar las necesidades individuales. ■

Vista aérea de una losa postensada adherida



(*) Ph. D. Civil Engineering, Johns Hopkins University, Maryland, Estados Unidos; M.Sc. Civil Engineering, Johns Hopkins MBA, Ecole Supérieure des Affaires, Beirut, Líbano; Structural Engineering Degree, ESIB; Lebanon Professional member of Post Tensioning Institute; Professional and consulting member of ACI Chapter 23; Professional member of American Society of Civil Engineer con 17 años de experiencia local e internacional en el diseño de estructuras pretensadas y postensadas (edificios, puentes, tanques).

¹ Kevin Thompson and Robert Park, "Ductility of Prestressed and Partially Prestressed Concrete Beam Sections." PCI Journal, March-April 1980.

² New Zealand Standards - Concrete Structures Standard NZS 3101:Part 1:2006.