**Métodos de diseño por resistencia última para concreto reforzado aplicados en todo el mundo**

PRESENTACIÓN: Dada la importancia que el método de diseño por resistencia tiene para el diseño de estructuras de concreto reforzado, en este artículo se analizan sus principios a la vez que se comparan las diversas formas en que el concepto es tratado en el reglamento del ACI.

En los 62 años que han transcurrido desde que en el Reglamento 318-56 del American Concrete Institute (ACI) se introdujo el llamado método de diseño por resistencia última, éste se ha convertido en el método principal para el diseño de estructuras de concreto reforzado en Estados Unidos. El concepto de diseño último o de estado límite también ha sido incorporado en reglamentos de construcción de diversos países. Sin embargo, no hay un consenso general entre los códigos acerca de los factores empleados para relacionar las cargas de servicio con las cargas últimas. En estos programas se analizan los principios del método de diseño por resistencia y se compararon el tratamiento del concepto de diseño por resistencia en los reglamentos de México. Los reglamentos que se han comparado son el del ACI y las Normas Técnicas Complementarias “NTC”.

Una de las ventajas del método de diseño por resistencia es que cuenta con una estimación definitiva del factor de seguridad aplicado al diseño que define su reserva estructural. El factor de seguridad total tiene dos componentes: uno está basado en la carga, y el otro en los materiales y fabricación.

Se debe considerar el caso de una estructura más débil que la esperada, sometida a cargas más altas que las estimadas.

Para el componente del factor de seguridad basado en carga, la carga real de trabajo se incrementa por medio de factores recomendados en los reglamentos a fin de simular la carga "última". No todas las cargas se incrementan por un solo factor. En vez de ello, diferentes factores se aplican a distintos tipos de cargas, siendo las principales la carga muerta (DL) y la carga viva (LL). En el reglamento ACI 318-14 la carga última se define como 1.4 veces la carga muerta más 1.7 veces la carga viva. En la NTC la carga última se define como 1.2 veces la carga muerta más 1.6 veces la carga viva.

Debe observarse que cuando en el reglamento ACI 318-56 se introdujo el concepto de diseño por resistencia última, los factores por carga muerta y por carga viva eran de 1.5 y 1.8, respectivamente. Los factores de 1.4 y 1.7 se adoptaron en la versión ACI 318-71 y han permanecido invariables en el reglamento actual. En la figura 1 se ilustra la manera en que los factores de sobrecarga aumentan las cargas de servicio en aproximadamente tres desviaciones estándar, lo cual representa una probabilidad de ocurrencia de carga última de menos de uno en 1/1000.

El segundo componente del factor de seguridad permite la reducción de la resistencia calculada de la sección mediante la aplicación de un factor de subcapacidad o de reducción de resistencia. Este factor toma en cuenta las variaciones en el material y en la fabricación, las aproximaciones en el diseño y la ductilidad e importancia relativa del elemento estructural. Al factor de reducción de resistencia se le conoce comúnmente como un "factor resistente" ya que representa una reducción de la capacidad del miembro para soportar la carga. Al factor de reducción de resistencia se le identifica con el símbolo  en la sección 9.3.2 del reglamento ACI 318-89. Para flexión,  es igual a 0.9; para cortante o torsión tiene un valor de 0.85, y para carga axial varía entre 0.7 y 0.75.

Concreto liviano

El factor de modificación λ se utiliza para tener en cuenta la relación entra la resistencia a tracción y a compresión del concreto de peso liviano en comparación con el concreto de peso normal. Para diseño utilizando concreto liviano, la resistencia a cortante, las propiedades de fricción, la resistencia al hendimiento, la adherencia entre el concreto y el refuerzo y los requisitos de longitud de desarrollo, no se toman como equivalentes al concreto de peso normal de la misma resistencia a compresión. En los casos típicos, el diseñador ignora la dosificación de la combinación de agregados necesarios para logar la resistencia de diseño y la densidad requerida para un proyecto. En la mayoría de los casos, los suministradores locales de concreto y agregados disponen de mezclas estándar de agregados livianos y pueden dar las fracciones volumétricas de agregado liviano y de peso normal necesarias para lograr los valores deseados. Estas fracciones volumétricas pueden utilizarse para determinar el valor de λ, o en la ausencia de esta información, se permite utilizar valores de λ de frontera inferior para el tipo de concreto liviano especificado.

Conclusiones

El concepto de resistencia última de diseño se acepta y se aplica en reglamentos de todo el mundo, pero en los reglamentos de varios países no se ponen de acuerdo si utilizar ya sea los factores de sobrecarga para relacionar las cargas de servicio con las cargas últimas nominales, o si aplicar los factores de reducción de la resistencia para tomar en cuenta las diferencias en los materiales y en la fabricación. Sin embargo, en la comparación final, los resultados son esencialmente idénticos.