

Evaluación de la resistencia de estructuras existentes

ACTUALIZACIÓN PARA EL CÓDIGO 2002

Se revisaron los factores de reducción de la resistencia a utilizar para la evaluación analítica de la resistencia de acuerdo con el artículo 20.2.5 para que sean compatibles con los nuevos factores de carga y reducción de la resistencia introducidos en el Capítulo 9. Observar que la carga total de prueba indicada en el artículo 20.3.2 no fue modificada, a pesar del cambio de los factores de carga indicados para el diseño en la sección 9.2.

INTRODUCCIÓN

En 1995 se revisó el Capítulo 20 para resaltar la necesidad de monitorear durante los ensayos de carga no sólo las flechas, sino también las fisuras relacionadas con el corte y/o la adherencia junto con el descascaramiento y aplastamiento del hormigón. En los casos que involucran el deterioro de la estructura, el criterio de aceptación de una construcción se debería basar en un ensayo de carga. Además, la aceptación debería incluir un límite temporal. Se deberían especificar inspecciones y reevaluaciones periódicas de la resistencia, dependiendo de la naturaleza del deterioro. En ACI 318-95 se introdujeron factores de reducción de la resistencia más elevados para la evaluación de la resistencia de estructuras existentes de las cuales se conocen las dimensiones, el tamaño y la ubicación de las armaduras, y las propiedades de los materiales.

La evaluación de la resistencia de una estructura existente exige experiencia y un sólido criterio profesional. El Capítulo 20 contiene una guía para investigar la seguridad de una estructura cuando:

1. Se considera que la calidad de los materiales es deficiente.
2. Hay evidencias que indican fallas de construcción.
3. La construcción se ha deteriorado.
4. Una estructura existente se utilizará para una nueva función.
5. Una construcción o una parte de una construcción no parece satisfacer los requisitos del Código.

Los requisitos del Capítulo 20 no se deben utilizar para la aprobación de sistemas especiales de diseño y métodos constructivos. La aprobación de estos sistemas se trata en la sección 1.4.

Se sugiere consultar las Referencias 28.1 y 28.2 publicadas por el CRSI (Concrete Reinforcing Steel Institute) como guía adicional para la evaluación de la resistencia de las estructuras existentes. La publicación *CRSI Engineering Data Report Number 11*^{28.3} contiene información adicional sobre las armaduras de las estructuras de hormigón armado existentes.

20.1 EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA - REQUISITOS GENERALES

La resistencia de las estructuras existentes se puede evaluar de forma analítica o experimental. La aplicabilidad del procedimiento analítico depende de si el origen de la deficiencia es crítico para la resistencia de la estructura bajo: (1) carga de flexión y/o axial, o (2) corte y/o adherencia. El comportamiento y la resistencia del hormigón estructural solicitado a flexión y/o cargas axiales se puede predecir de forma precisa en base a la hipótesis de conservación de las secciones planas de Navier. Por el contrario, las teorías y modelos disponibles no son tan confiables para predecir el comportamiento y la resistencia al corte y a la adherencia del hormigón estructural. Los requisitos que contiene el Código sobre corte en una y dos direcciones y adherencia son semi-empíricos. Las fallas por corte y por adherencia pueden ser fallas frágiles.

Para determinar que una construcción es aceptable alcanza con realizar una evaluación analítica de la resistencia siempre y cuando se satisfagan dos condiciones (20.1.2). En primer lugar, el origen de la deficiencia debe ser crítica para la resistencia a flexión, carga axial o combinación de flexión y carga axial. No puede ser crítica para la resistencia al corte o la adherencia. En segundo lugar, debe ser posible establecer las dimensiones reales de la construcción, el tamaño y la ubicación de las armaduras y las propiedades de los materiales. Si no se satisfacen estas dos condiciones, la resistencia se debe evaluar mediante un ensayo de carga según lo indicado en la sección 20.3. Si las causas que originan el estudio se relacionan con la flexión o la carga axial pero no resulta posible determinar las propiedades de los materiales, puede que un ensayo físico sea la solución más adecuada. No está prohibido realizar evaluaciones de la resistencia al corte de forma analítica siempre que éstas "se comprendan cabalmente." Si la resistencia al corte o a la adherencia es crítica para la seguridad de una estructura, la solución más eficiente puede consistir en realizar ensayos físicos. Siempre que sea posible y adecuado, se recomienda realizar análisis estructurales que respalden los resultados de los ensayos de carga (R20.1.3).

Si la incertidumbre con respecto a la seguridad se relaciona con el deterioro de la estructura, la resistencia se puede evaluar mediante un ensayo de carga. Si la construcción satisface los criterios de aceptación de la sección 20.5, se debería permitir que la estructura permanezca en servicio durante un periodo de tiempo determinado en función de la naturaleza del deterioro. La resistencia se debería reevaluar periódicamente.

20.2 DETERMINACIÓN DE LAS DIMENSIONES REQUERIDAS Y DE LAS PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

Si la evaluación de la resistencia de una estructura se realiza de forma analítica, es necesario establecer las dimensiones, ubicación de la armadura y propiedades reales de los materiales. Las mediciones se deben realizar en las secciones críticas, en aquellos lugares donde la tensión calculada tendría un valor máximo. Si hay planos de obra disponibles, se deberían realizar verificaciones puntuales para confirmar la ubicación y el tamaño de las barras de armadura indicadas en dichos planos. Existen técnicas de ensayo no destructivas para determinar la ubicación y el tamaño de la armadura, y para estimar la resistencia del hormigón. A menos que se las conozca de antemano, las propiedades reales del acero de las armaduras o de los cables de pretensado se deberían determinar en base a muestras representativas extraídas de la estructura.

Una evaluación analítica de la resistencia requiere utilizar los factores de carga de la sección 9.2 y los factores de reducción de la resistencia del artículo 20.2.5. Una de las razones para utilizar los factores de reducción de la resistencia, ϕ , dada en R9.3.1 es "considerar la probabilidad de la presencia de elementos con una menor resistencia originada en variaciones de la resistencia de los materiales y de las dimensiones." Cuando se conocen las dimensiones reales del elemento, el tamaño y la ubicación de la armadura, y las propiedades del hormigón y del acero de las armaduras, el Capítulo 20 especifica factores de reducción de la resistencia más elevados. La Tabla 28-1 presenta una comparación de los factores de reducción de la resistencia del artículo 20.2.5 con aquellos de la sección 9.3. La última columna de esta tabla muestra la relación entre los factores de los Capítulos 20 y 9. Para la evaluación analítica de columnas y del aplastamiento del hormigón, los factores de reducción de la resistencia, ϕ , de 20.2.5 son aproximadamente 20 por ciento mayores que aquellos de 9.3. Para flexión en vigas y tracción axial el aumento es de 11 por ciento, mientras que para corte y torsión es de 6 por ciento.

Los factores de reducción de la resistencia más elevados, tal como los especificados en el Capítulo 20, aumentan las resistencias calculadas de los elementos. La resistencia nominal a la compresión axial de una columna depende fundamentalmente del producto entre el área de la sección transversal de la columna y la resistencia a la compresión del hormigón. Debido a que la resistencia a la compresión del hormigón es altamente variable, los factores de reducción de la

resistencia del Capítulo 9 son menores para compresión axial que para flexión. Como para evaluar la resistencia de las estructuras existentes es necesario medir la resistencia a la compresión real del hormigón (20.1.2), el artículo 20.2.5 especifica un mayor aumento del factor de reducción de la resistencia, ϕ , para las columnas.

Tabla 28-1 – Comparación de los factores de reducción de la resistencia

	Factor de reducción de la resistencia		
	Cap. 20	Cap. 9	Cap. 20/Cap. 9
Secciones controladas por tracción, de acuerdo con el artículo 10.3.4	1,00	0,90	1,11
Secciones controladas por compresión, de acuerdo con el artículo 10.3.3			
Elementos con armadura en espiral (zunchos) de acuerdo con el artículo 10.9.3	0,85	0,75	1,21
Elementos con otros tipos de armadura	0,80	0,70	1,23
Corte y torsión	0,80	0,75	1,07
Aplastamiento del hormigón	0,80	0,65	1,23

20.3 PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR EL ENSAYO DE CARGA

El número y la distribución de las cargas en los tramos o paneles cargados se debe seleccionar de manera de maximizar las flechas y las tensiones en las regiones críticas de los elementos estructurales cuya resistencia está en duda (20.3.1). Si se anticipa que los elementos adyacentes contribuirán a soportar la carga de prueba, se debe modificar la magnitud o la ubicación de esta carga para compensar esta contribución. Al igual que en ediciones anteriores del Código, la carga de prueba total se especifica como $0,85(1,4D + 1,7L)$, siendo D la sumatoria de las cargas permanentes o los momentos y esfuerzos internos correspondientes a las mismas, y L se define como la sobrecarga o los momentos y esfuerzos internos correspondientes. La carga de prueba total incluye la carga permanente existente (20.3.2). La parte de la estructura a ensayar debe tener como mínimo 56 días de hormigonada, a menos que todas las partes involucradas acuerden realizar el ensayo a una edad más temprana (20.3.3).

Nota: Aunque para esta actualización se revisaron y modificaron los factores de carga y de reducción de la resistencia de las secciones 9.2 y 9.3, respectivamente, se decidió no modificar la intensidad de la carga de prueba especificada en el artículo 20.3.2. El Comité 318 considera que esta carga es adecuada para evaluar la resistencia de los diseños que utilizan los nuevos factores de carga y reducción de la resistencia del Capítulo 9.

20.4 CRITERIOS DE CARGA

Los criterios de carga se especifican en la sección 20.4. A más tardar una hora antes de aplicar la carga se deben obtener y registrar los valores iniciales de todas las magnitudes a ser medidas (flecha, deformación específica, ancho de las fisuras, etc. Si se han de simular cargas uniformemente distribuidas se deberá evitar el "efecto de arco." Este efecto de arco se ilustra en la Figura 28-1.^{28,12} Entre las diferentes líneas verticales de carga debe haber un espacio suficiente para impedir que entren en contacto después de la deformación del elemento cargado y así evitar el efecto de arco; esto también asegura la estabilidad de las cargas de prueba.

La carga total de prueba se debe lograr aplicando como mínimo cuatro incrementos de carga aproximadamente iguales. Se debe obtener y registrar un conjunto de mediciones de las magnitudes seleccionadas después de aplicar cada incremento de carga, y como mínimo durante las 24 horas posteriores a la aplicación de la totalidad de la carga. Veinticuatro horas después de retirar la carga de prueba se debe registrar un conjunto final de mediciones.

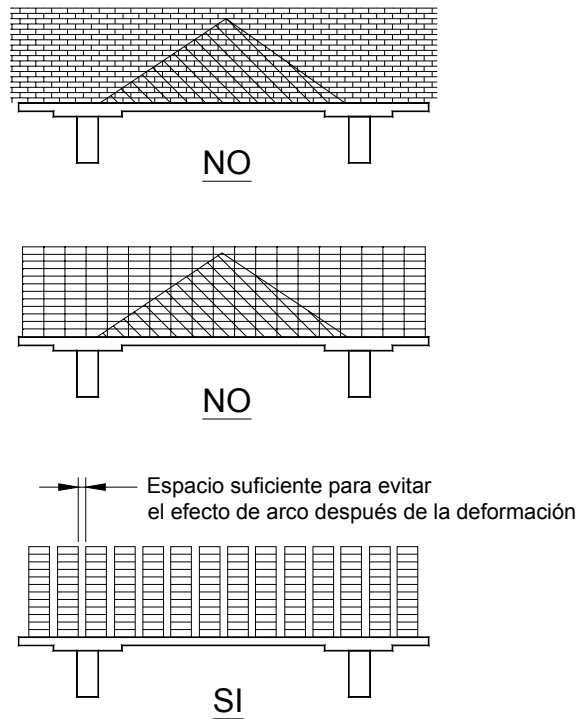


Figura 28-1 – El efecto de arco desvía las cargas aplicadas hacia los extremos de la luz

20.5 CRITERIOS DE ACEPTACIÓN

Las evidencias de falla incluyen el descascaramiento y el aplastamiento del hormigón (20.5.1), las flechas excesivas (20.5.2), las fisuras por corte (20.5.3 y 20.5.4) y las fisuras por adherencia (20.5.5). No es posible desarrollar una regla única y sencilla que sea aplicable a todos los tipos de estructuras y condiciones dadas. Sin embargo, en los elementos que no tienen armadura transversal, se debe monitorear la proyección de las fisuras diagonales (inclinadas) sobre un eje paralelo al eje longitudinal del elemento. Si la proyección de cualquier fisura diagonal es mayor que el espesor del elemento en el punto medio de la fisura, puede que el elemento sea deficiente desde el punto de vista del corte. Si el grado de daño ocurrido es suficiente para considerar que la estructura no verifica los criterios establecidos para el ensayo, no se permite realizar un nuevo ensayo; se considera que los elementos dañados no se deben utilizar ni siquiera para un nivel de cargas de servicio menos elevado.

Las flechas deben satisfacer las siguientes condiciones (20.5.2):

1. Si la flecha máxima es mayor que $\ell_1^2 / (20.000h)$ el porcentaje de recuperación de la flecha debe ser como mínimo 75 por ciento después de 24 horas, siendo

h = espesor total del elemento, in.

ℓ_1 = luz del elemento sometido al ensayo de carga, in. (Menor de las luces en los sistemas de losas en dos direcciones). La luz se define como el menor valor entre (a) la distancia entre los centros de los apoyos, y (b) la distancia libre entre los apoyos más el espesor del elemento, h . Para los voladizos la luz se debe tomar igual al doble de la distancia entre el apoyo y el extremo del voladizo, in.

2. Si la flecha máxima es menor que $\ell_1^2 / (20.000h)$ se puede obviar el requisito sobre la recuperación de la flecha. Las Figuras 28-2 y 28-3 ilustran la aplicación de los criterios de limitación de las flechas para el primer ensayo de carga. En la

Figura 28-2 se grafica la flecha máxima admisible en función del espesor del elemento para una luz de 20 ft. En la Figura 28-3 se grafica la flecha máxima en función de la luz para un elemento de 8 in. de espesor.

3. Para los elementos que no satisfacen el criterio de 75 por ciento de recuperación de la flecha pueden se puede repetir el ensayo de carga.
4. La repetición del ensayo no se puede realizar antes de transcurridas 72 horas desde que se retiran las cargas. Para el segundo ensayo (repetición del ensayo) la recuperación de la flecha debe ser de 80 por ciento.

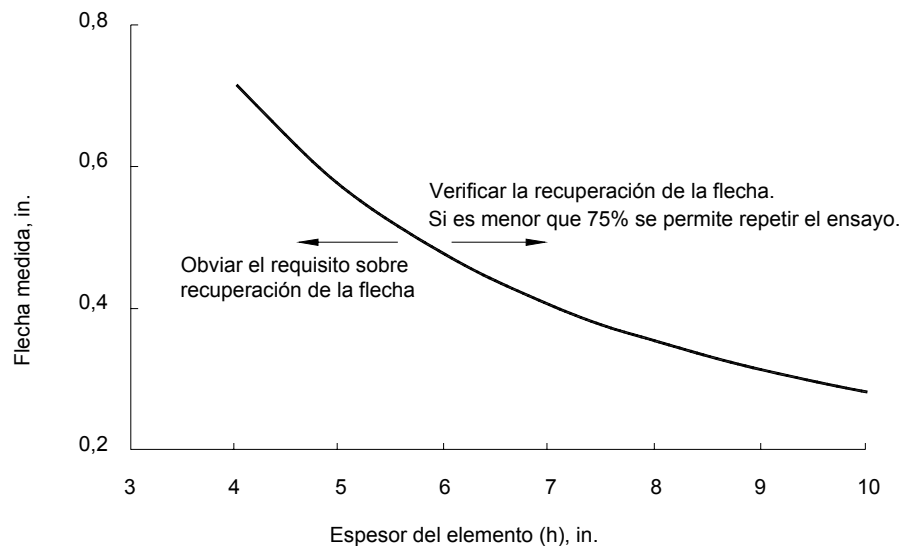


Figura 28-2 – Criterios de aceptación para el ensayo de carga - Elementos con $\ell_t = 20\text{ft}$

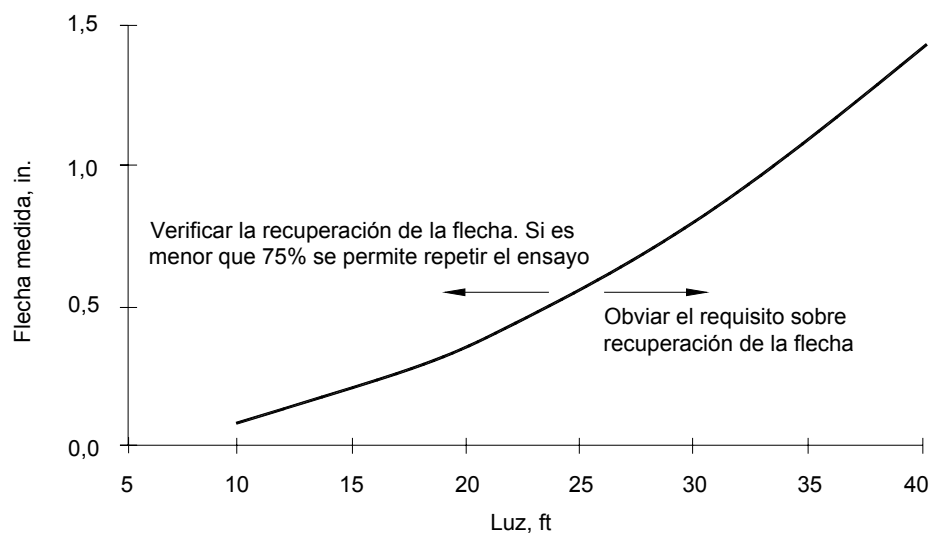


Figura 28-3 – Criterios de aceptación para el ensayo de carga - Elementos con $h = 8\text{ft}$

20.6 APROBACIÓN DE LA ESTRUCTURA PARA CARGAS DISMINUIDAS

Si la evaluación analítica de la resistencia (20.1.2) indica que una estructura no es adecuada, si se superan las flechas indicadas en el artículo 20.5.2, o si no se satisfacen los requisitos referidos a las fisuras del artículo 20.5.3, la estructura se puede utilizar para un nivel de cargas reducido, siempre que la autoridad fiscalizadora así lo apruebe.

20.7 SEGURIDAD

Para garantizar la seguridad, durante los ensayos de carga normalmente se deben apuntalar los elementos cargados. El apuntalamiento no debe interferir con el procedimiento del ensayo ni afectar sus resultados. Durante el ensayo de carga, en ningún momento la estructura deformada debe tocar o apoyarse sobre el apuntalamiento.

REFERENCIAS

- 28.1 *Applications of ACI 318 Load Test Requirements*, Structural Bulletin No. 16, Concrete Reinforcing Steel Institute, Schaumburg, IL, Noviembre 1987.
- 28.2 *Proper Load Tests Protect the Public*, Engineering Data Report No. 27, Concrete Reinforcing Steel Institute, Schaumburg, IL.
- 28.3 *Evaluation of Reinforcing Steel in Old Reinforced Concrete Structures*, Engineering Data Report No. 11, Concrete Reinforcing Steel Institute, Schaumburg, IL.