

Effective Depth of Section with More Than One Layer of Tension Reinforcement

Q. As stated in ACI CODE-318-19(22),¹ an effective depth of a section d is the distance measured from extreme compression fiber to centroid of longitudinal tension reinforcement. So, in a reinforced concrete beam with multiple layers of reinforcement distributed through its entire depth (that is, top, bottom, and side face bars), is d in reference to all reinforcement that is in tension, even if the bar is close to the neutral axis and has small tensile strain values? Or is the intent of the Code to consider only the “primary” tension steel—bars grouped at the top or bottom of the beam—and ignore any extra bars? If one wants to calculate the flexural and shear capacity by including all the reinforcement in an existing beam (including the side face bars), the d distance used to find shear capacity will be smaller than if one ignores any “supplemental” side face bars. In this case, it seems to make more sense to find the d distance as the distance from the extreme compression fiber to the centroid of tensile force in the flexural reinforcement.

A. Sometimes, the required tension reinforcement cannot be adequately placed in one layer within a member’s cross section. Therefore, reinforcement is provided in two and sometimes in more layers (for example, in bridges and transfer girders).

The Code requires that beams are designed as tension-controlled members per Provision 9.3.3.1 and as shown in Fig. 1 and 2, to be able to use the reduction factor $\phi = 0.9$ listed in Table 1. Bars located higher, but below the neutral axis, have a strain that is usually smaller than the required tension-controlled strain of $\epsilon_{ty} + 0.003$. Thus, with a reduction in steel strength f_s and reduction in d , the increase in nominal moment due to those side face bars is minimal and engineers do not include those bars in the calculation of the cross section’s strength/capacity. The side face bars are usually No. 5 bars to control cracks in beams, especially in deep beams (ACI CODE-318-19(22), Provision 9.7.2.3).

However, there are situations when an engineer may need

additional strength when analyzing an existing structure. Then, he or she can use those side face bars, if existing, in the evaluation. Even so, the corresponding strain/tension strength ($f_s = \epsilon_s \times E_s$, where E_s is the modulus of elasticity of

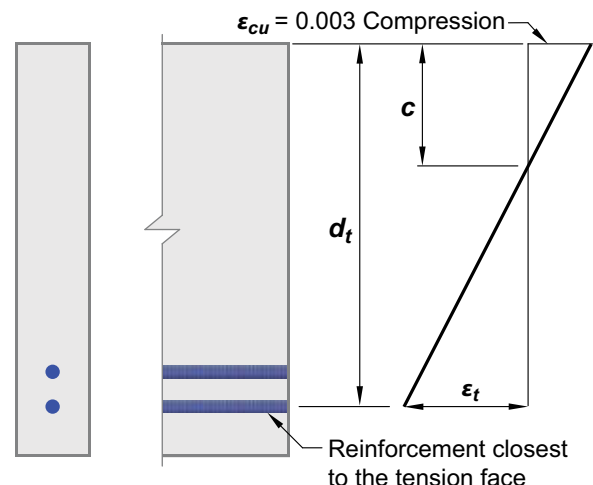


Fig. 1: Strain distribution and net tensile strain in a nonprestressed member (Fig. R21.2.2a in ACI CODE-318-19(22))

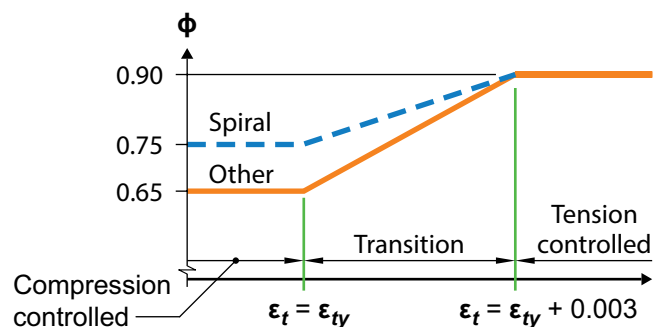


Fig. 2: Variation of ϕ with net tensile strain in extreme tension reinforcement ϵ_t (Fig. R21.2.2b in ACI CODE-318-19(22))

Concrete Q&A

reinforcement) must be calculated to obtain the additional capacity contribution of those bars.

Skin reinforcement is not considered in shear strength calculations.

References

1. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary (ACI CODE-318-19) (Reapproved 2022)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2019, 624 pp.

Table 1:

Strength reduction factor ϕ for moment, axial force, or combined moment and axial force (Table 21.2.2 in ACI CODE-318-19(22))

Net tensile strain ϵ_t	Classification	ϕ			
		Type of transverse reinforcement			
		Spirals conforming to 25.7.3		Other	
$\epsilon_t \leq \epsilon_{ty}$	Compression-controlled	0.75	(a)	0.65	(b)
$\epsilon_{ty} < \epsilon_t < \epsilon_{ty} + 0.003$	Transition*	$0.75 + 0.15 \frac{(\epsilon_t - \epsilon_{ty})}{(0.003)}$	(c)	$0.65 + 0.25 \frac{(\epsilon_t - \epsilon_{ty})}{(0.003)}$	(d)
$\epsilon_t \geq \epsilon_{ty} + 0.003$	Tension-controlled	0.90	(e)	0.90	(f)

*For sections classified as transition, it shall be permitted to use ϕ corresponding to compression-controlled sections

Access to ACI University Learning

ACI Members receive free access to all ACI live webinars and 220+ on-demand courses.

- 12-month subscription available for non-members
- Multi-user options available

Visit www.concrete.org/aciuniversity to view all your access options

aci UNIVERSITY
www.ACIUniversity.com

Preguntas y Respuestas

Las preguntas de esta columna fueron formuladas por usuarios de los documentos de ACI y han sido respondidas por el personal de ACI o por un miembro o miembros de los comités técnicos de ACI. Las respuestas no representan la posición oficial de un comité de ACI. Los comentarios deben enviarse a keith.tosolt@concrete.org.

Profundidad efectiva de secciones con más de una capa de acero de refuerzo a tensión

P Como se indica en El Código ACI CODE-318-19(22)¹ la profundidad efectiva de una sección, d , es la distancia medida desde el extremo de la fibra a compresión hasta el centroide del refuerzo longitudinal a tracción. Entonces, en una viga de concreto con múltiples filas de refuerzo distribuidas a través de toda la altura (es decir, barras en la parte superior, inferior y en las caras laterales), ¿ d se refiere a todo el refuerzo que está en tracción, incluso si la barra está cerca del eje neutro y tiene valores pequeños de deformación por tracción? ¿O la intención del Código es tener en cuenta sólo el acero de tracción "primario" -las barras agrupadas en la parte superior o inferior de la viga- e ignorar las barras adicionales? Si se desea calcular la capacidad a flexión y a cortante, pero incluyendo todo el refuerzo existente de la viga (incluidas las barras en las caras laterales), la distancia d utilizada para hallar la capacidad a cortante será menor que si se ignoran las barras de las caras laterales "suplementarias". En ese caso, parece tener más sentido hallar la distancia d como la distancia desde la fibra de compresión extrema hasta el centroide de la fuerza de tracción en el refuerzo de flexión.

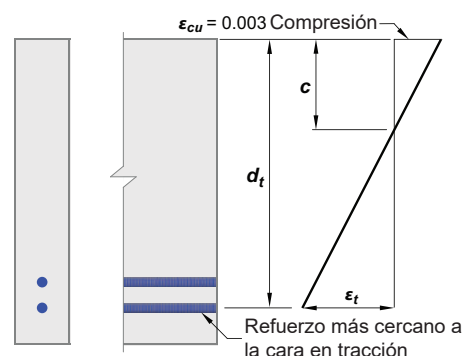


Fig. 1: Distribución de esfuerzos y deformación neta de tracción en un miembro no pre esforzado (Fig. R21.2.2a en ACI CODE-318-19(22)).

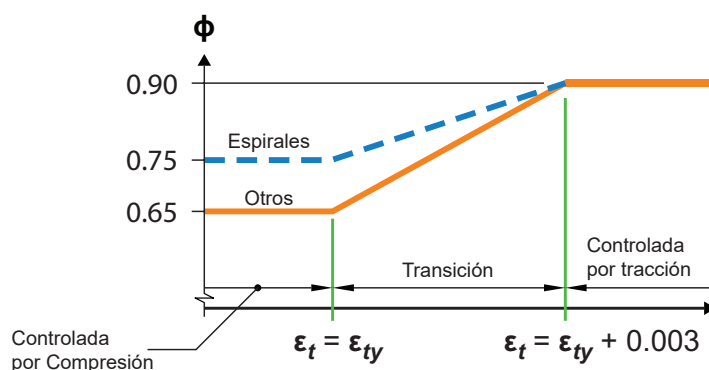


Fig. 2: Variación de ϕ con la deformación unitaria neta de tracción en el acero extremo a tracción ϵ_t (Fig. R21.2.2b en ACI CODE-318-19(22)).

R Algunas veces, el refuerzo a tracción no puede ser adecuadamente ubicado en una sola capa en el ancho de la sección transversal del elemento. Por lo tanto, el refuerzo es distribuido en dos y, a veces, en más filas (por ejemplo, en puentes y vigas de transferencia).

El código requiere que las vigas sean diseñadas como elementos controlados a tracción según las especificaciones del numeral 9.3.3.1 que se muestran en la fig. 1 y 2, para que se pueda usar el factor de reducción $\phi = 0.90$ que se presenta en la tabla 1. Las barras que se localizan más arriba, pero por debajo del eje neutro, tienen una deformación que es usualmente más pequeña que

la requerida en la deformación controlada en tracción de $\epsilon_{ty} + 0.003$. Por lo tanto, con una reducción de la resistencia del acero f_s y una reducción en d , el incremento en el momento nominal debido a esas barras de las caras laterales es mínima y los ingenieros no incluyen esas barras en el cálculo de la resistencia o capacidad de la sección transversal. Las barras de la cara lateral son usualmente de diámetro No. 5 para control de fisuras en vigas, especialmente en vigas altas (ACI CODE-318-19(22), numeral 9.7.2.3).

Tabla 1:
Factor de reducción de resistencia, ϕ , para momento, fuerza axial, o combinación de momento y fuerza axial. (Tabla 21.2.2 en ACI CODE-318-19(22))

Deformación unitaria neta a tracción ϵ_t	Clasificación	ϕ			
		Tipo de refuerzo transversal			
		Espirales que cumplen con 25.7.3		Otro	
$\epsilon_t \leq \epsilon_{ty}$	Controlada por compresión	0.75	(a)	0.65	(b)
$\epsilon_{ty} < \epsilon_t < \epsilon_{ty} + 0.003$	Transición*	$.75 + 0.15 \frac{(\epsilon_t - \epsilon_{ty})}{(0.003)}$	(c)	$0.65 + 0.25 \frac{(\epsilon_t - \epsilon_{ty})}{(0.003)}$	(d)
$\epsilon_t \geq \epsilon_{ty} + 0.003$	Controlada por tracción	0.90	(e)	0.90	(f)

* Para las secciones clasificadas como transición, se permite usar el valor de ϕ correspondiente a secciones controladas por compresión.

Sin embargo, hay situaciones en las que un ingeniero puede requerir de resistencia adicional, al analizar una estructura existente. En esos casos, él o ella pueden usar esas barras de la cara lateral, si existen, en la evaluación. Aún así, se debe calcular la resistencia correspondiente a la deformación en tracción ($f_s = \epsilon_s \times E_s$, donde E_s es el módulo de elasticidad del refuerzo) para obtener la capacidad adicional que aportan dichas barras.

El refuerzo perimetral no se considera en los cálculos de esfuerzos cortantes.

Referencias

1. ACI Committee 318, “Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19) and Commentary (ACI CODE 318R-19) (Reapproved 2022), American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2019, 624 pp.”

La traducción de este artículo correspondió al Capítulo de Colombia

*Título: Preguntas y Respuestas.
 Profundidad efectiva de secciones con más de una capa de acero de refuerzo a tensión.*



Traductora:
 Ing. Jenny Magaly Pira Ruíz



Revisor Técnico:
 PhD. Fabián Augusto Lamus Báez