

# Constructability of Anchor Bolts (Rods) in Foundations

Select nominal bolt length as the design embedment length plus 2 in. for constructability

by James E. Klinger, Eamonn F. Connolly, Charles D. Charlson, Oscar R. Antommattei, and Bruce A. Suprenant

Section 5.2.1 of ACI 355.1R-91(97)<sup>1</sup> recommends specifying anchor bolt projection and embedment length with respect to the finished concrete grade in the shop drawings. ACI 117-10(15),<sup>2</sup> however, does not have tolerances with respect to those two dimensions. American Institute of Steel Construction (AISC) Steel Design Guide 1<sup>3</sup> recommends specifying the length (Section 2.7) and the top elevation of the anchor rod (Section 2.8) (anchor rods are commonly termed “bolts” in the concrete industry). There are specified tolerances for those items. The actual bolt projection and embedment length are a combination of three tolerances: bolt fabrication, bolt placement, and concrete placement. At the extreme tolerances, and if all were additive, the resulting decrease in embedment length is 3-1/2 in. (89 mm). The question is: Does the design adequately account for this construction?

## AISC Recommendations for Specifying Anchor Rods

ANSI/AISC 303-22, Section 7.5.1,<sup>4</sup> elevation tolerance for top of anchor rod is  $\pm 1/2$  in. (13 mm), refer to Fig. 1, which matches that in ACI 117-10(15), Section 2.3.4.1. Section 2.5

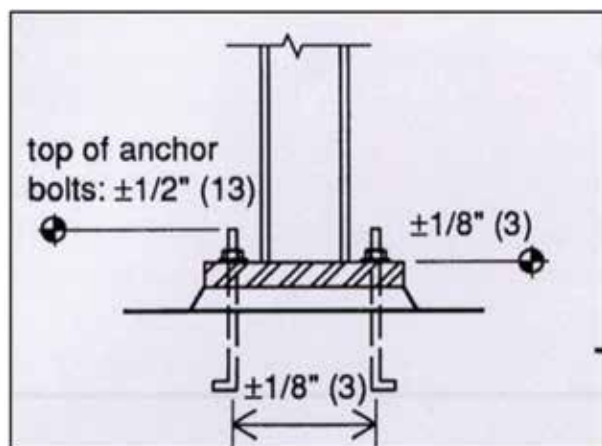


Fig. 1: Example of an anchor bolt with elevation tolerances

of AISC Steel Design Guide 1 indicates that ASTM F1554<sup>5</sup> is the preferred, and most common, material specification for anchor rods. The ASTM F1554 specification has a tolerance for rod (bolt) length in Section 10.4.1: “The overall length of straight anchor bolts, or to the inside of the hook, shall be the specified length  $\pm 1/2$  in. for lengths 24 in. or less, and  $\pm 1$  in. for longer bolts.” AISC Steel Design Guide 1, Section 3.2.2, provides a user note to see ACI 318 for embedment length design.

## ACI Recommendations for Specifying Anchor Bolts

As previously mentioned, ACI 355.1R-91(97), Section 5.2.1, recommends that shop drawings indicate bolt projection and embedment with respect to the finished concrete grade. Figure 2 illustrates typical details provided in project structural drawings for anchor bolts (rods). Note that these details do not include the bolt length or specified elevation of top of bolt as recommended by AISC Steel Design Guide 1. ACI 117-10(15), Section 2.3.4, has two anchor bolt tolerances: 1)  $\pm 1/2$  in. vertical deviation for the top of the anchor bolt from specified elevation; and 2) deviation of the centerline of individual anchor bolts from a specified location that varies from  $\pm 1/4$  to  $\pm 1/2$  in. (6 to 13 mm) depending on the size of bolts.

Although ACI 117-10(15) provides some tolerances for anchor bolts, what’s important is the tolerances the document does not provide, such as: 1) bolt projection; and 2) embedment, which are the two items that ACI 355.1R-91(97) recommends be included in the shop drawings. In other words, there is a serious disconnect between what the designer specifies and what is, or can be, checked during construction.

## Tolerances for Bolt Projection and Embedment

There is a simple reason that ACI 117-10(15) does not have a tolerance on embedment—it can’t be measured. Before concrete is placed, the bottom of the anchor bolt can’t be measured to a concrete surface that doesn’t exist. After

concrete is placed, the top surface is known, but the bottom of the anchor bolt is buried in concrete. Neither approach is appropriate for a tolerance measurement.

There is also a simple reason that AISC Steel Design Guide 1 specifies top of bolt elevation—if the bolt projection is specified from the top of finished concrete, then the top bolt elevation varies based on the foundation elevation, which is +1/2 in. and -2 in. (50 mm). Thus, there isn't a consistent top bolt elevation as it's based on the concrete surface, which varies with each foundation. Steel erectors do not like varying anchor bolt elevations. Concrete contractors don't like getting backcharged by the general contractor because the steel erector incurs costs for bolts that are too high or too low. Thus, concrete contractors construct based on top of bolt elevations and tolerances rather than bolt projection above the concrete surface. And of course, when the contractor is setting the anchor bolt, the bolt projection can't be measured because the concrete surface isn't in place.

### Concrete Placement and Bolt Elevation and Embedment Length

Figure 3 illustrates construction activities and tolerances that determine the final anchor bolt elevation and embedment length. The three tolerances that affect the top of bolt elevation and embedment length are:

- **Bolt fabrication:** The length tolerance is set by ASTM F1554 as ±1/2 in. for bolts equal to or less than 24 in. (610 mm) and ±1 in. for bolts greater than 24 in.;
- **Foundation edge form:** The elevation of the edge forms is set to provide a final concrete surface within +1/2 in. and -2 in. of the specified top of foundation elevation; and
- **Bolt placement:** The bolt placement is set based on its specified elevation with a ±1/2 in. tolerance.

If the anchor bolt is fabricated 1 in. short, the top of bolt placed 1/2 in. high, and the foundation top surface placed 2 in. low, all within tolerances, the embedment length is 3-1/2 in. (89 mm) shorter than anticipated. If the bolt projection is placed perfectly, 4-1/2 in. (114 mm) above the foundation top surface, but the surface elevation varies within tolerances, the top of bolt from high to low varies by 2-1/2 in. (64 mm). AISC Steel Design Guide 1, Section 2.7, recommends, whenever possible, to specify threaded lengths “at least 3 in. greater than required, to allow for variations in setting elevation.”<sup>3</sup>

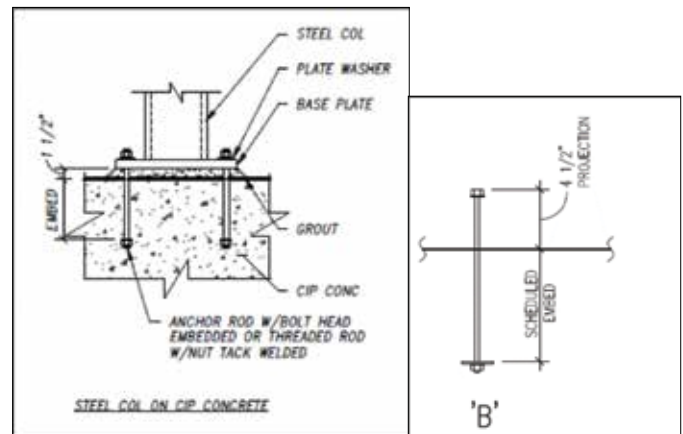
The reduction in embedment length of 3-1/2 in. is a combination of three extreme events. Each tolerance can be treated as an independent random normal variable consisting of 99.9% (three distributions) and combined by using a square root of the sum of the squares (SRSS) approach. For that case, the calculated reduction in embedment length would be 1.67 in. (42 mm).

Note that ASTM F1554 does not

have a straightness tolerance on the overall bolt length. One bolt supplier commented that most of the bolt length is embedded into the concrete; thus, in practical terms, the only portion that needs to be reasonably straight is the threaded end projecting out of the concrete. If, however, bolt straightness is critical, the project engineer must specify the required straightness values.

### Embedment Length Design

Two examples are considered—Grade 36, 3/4 in. (19 mm) diameter and Grade 55, 1 in. diameter, for an individual anchor bolt with the design strength requirements for: a) steel strength in tension  $\phi N_{sa}$ ; b) concrete breakout strength in tension  $\phi N_{cb}$ ; and c) pullout strength in tension  $\phi N_{pm}$ . Failure modes are illustrated in Fig. 4. The design strength requirements are based on Chapter 17, Anchoring to Concrete, in ACI 318-19(22).<sup>6</sup>



ANCHOR ROD REQUIREMENTS					
ANCHOR ROD $\phi$ (IN)	MAX HOLE $\phi$ (IN)	MIN WASHER SIZE (IN)	MIN WASHER THICKNESS (IN)	MIN EMBED (IN)	EDGE DISTANCE "c" (IN)
3/4	1 5/16	2	1/4	9	1 1/2
7/8	1 9/16	2 1/2	5/16	10	2
1	1 13/16	3	3/8	12	2 1/2
1 1/2	2 5/16	3 1/2	1/2	18	2 1/2

ALL ANCHOR ROD MATERIAL IS F1554 GRADE 55 WITH SUPPLEMENT S1, UNO

Fig. 2: Typical anchor bolt (rod) requirements included in contract documents

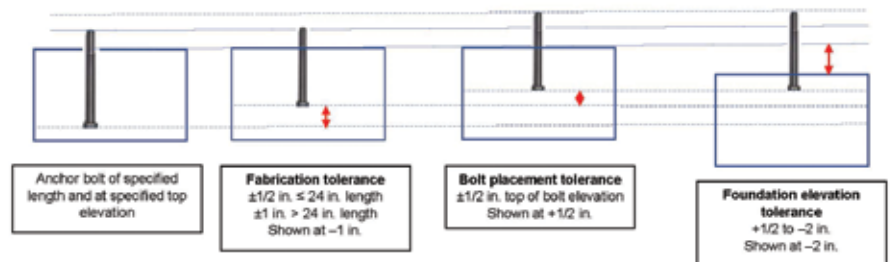


Fig. 3: Illustration of the tolerances (marked with red arrows) for fabrication, bolt elevation placement, and foundation elevation placement. These tolerances are combined to determine the embedded bolt length

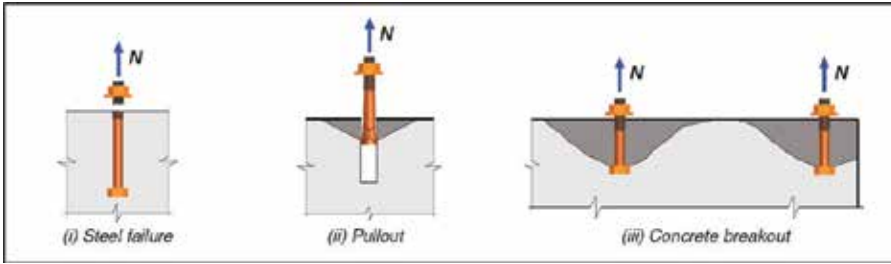


Fig. 4: Failure modes for an individual anchor per ACI 318-19(22), Fig. R17.5.1.2<sup>6</sup>

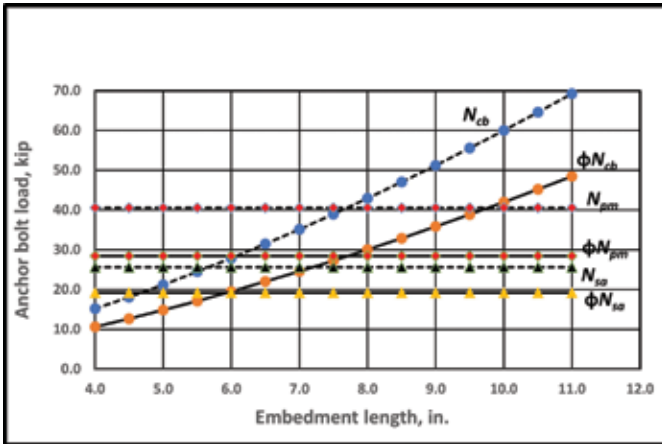


Fig. 5: Strength chart for 3/4 in. diameter, ASTM F1554 Grade 36, anchor bolt (rod) (Note: 1 kip = 4.4 kN; 1 in. = 25 mm)

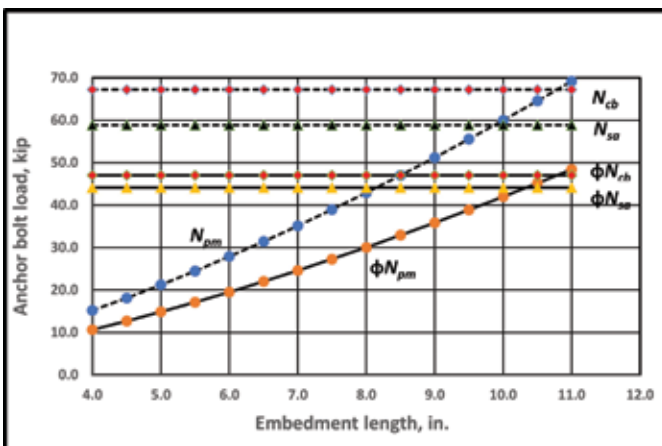


Fig. 6: Strength chart for ASTM F1554 Grade 55, 1 in. diameter anchor bolt (rod) (Note: 1 kip = 4.4 kN; 1 in. = 25 mm)

ASTM F1554 Grade 36, 3/4 in. diameter anchor bolt (Fig. 5), was chosen to correspond to Example 4.1 in AISC Steel Design Guide 1. ASTM F1554 Grade 55, 1 in. diameter anchor bolt (Fig. 6), was chosen to represent a larger column load. Figure 5 shows that  $\phi N_{cb}$  controls for short embedment lengths up to 6 in. Once the anchor length exceeds 6 in., the anchor load is controlled by steel failure, so the strength is defined by  $\phi N_{sa}$  of the Grade 36 bolt. As expected, once the anchor failure mode is controlled by the steel failure, the load is independent of the embedment length.

What is the load capacity if the embedment length changes from 6.0 to 4.5 in. (152 to 114 mm)? The concrete breakout strength at 6 in. is 19.5 kip (87 kN) and at 4.5 in. is 12.7 kip (56 kN), a reduction of 6.8 kip (30 kN) or 45%. The ultimate breakout strength, not considering the 0.7 strength reduction factor, at an embedment of 4.5 in. is 18.1 kip (81 kN). This anchor would fail with

an embedment length of 4.5 in. if the design load was 19.5 kip. Figure 6 also illustrates that the Grade 55, 1 in. diameter anchor bolt would also fail if the embedment length were 1.5 in. less than the design.

ACI 318-19(22), Commentary Section R21.1.1, states: “The purposes of strength reduction factors  $\phi$  are: (1) to account for the probability of under-strength members due to variations in material strengths and dimensions; (2) to account for inaccuracies in the design equations; (3) to reflect the available ductility and required reliability of the member under the load effects being considered; and (4) to reflect the importance of the member in the structure.” Our example accounted for only “variations in dimensions,” but the strength reduction factor of 0.7 was not sufficient to account for fabrication and construction tolerances. Thus, it would appear to be prudent to add an extra 2 in. to the calculated embedment length.

### What is the Cost of an Extra Inch?

We reached out to a couple of anchor bolt suppliers for the cost of an extra inch of bolt length. Their response was:

- ASTM F1554 Grade 36, 3/4 in. diameter bolt, from 18 to 19 in. (457 to 483 mm) length—about 0.35 USD extra;
- ASTM F1554 Grade 55, 1-1/2 in. diameter bolt, from 24 to 25 in. (610 to 635 mm)—about 2.50 USD extra; and
- ASTM F1554 Grade 105, 2-1/2 in. diameter bolt, from 30 to 31 in. (762 to 78 mm)—about 15.50 USD extra.

This is an inexpensive solution to a potentially dangerous situation.

### Recommendations

We strongly encourage designers to add 2 in. to the calculated design embedment length and specify the elevation of the top of the anchor bolt. As a final reminder, there is no tolerance for bolt projection or embedment length in ACI 117-10(15).

### References

1. ACI Committee 355, “State-of-the-Art Report on Anchorage to Concrete (ACI 355.1R-91) (Reapproved 1997),” American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1991, 71 pp.
2. ACI Committee 117, “Specification for Tolerances for Concrete Construction and Materials (ACI 117-10) and Commentary (Reapproved 2015),” American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2010, 76 pp.

3. Fisher, J.M., and Kloiber, L.A., "Steel Design Guide 1: Base Plate and Anchor Rod Design," second edition, American Institute of Steel Construction, Chicago, IL, 2006, 61 pp.

4. "Code of Standard Practice for Steel Buildings and Bridges (ANSI/AISC 303-22)," American Institute of Steel Construction, Chicago, IL, 2022, 79 pp.

5. ASTM F1554-20, "Standard Specification for Anchor Bolts,

Steel, 36, 55, and 105-ksi Yield Strength," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2020, 8 pp.

6. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19) (Reapproved 2022)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2019, 623 pp.

Selected for reader interest by the editors.



ACI member **James E. Klinger** is a Concrete Construction Specialist for the American Society of Concrete Contractors (ASCC), St. Louis, MO, USA. He is a member of ACI Committees 134, Concrete Constructability, and 318, Structural Concrete Building Code; Joint ACI-ASCC Committee 117, Tolerances; and ACI Subcommittee 318-A, General, Concrete, and Construction. He was the recipient of the 2020 ACI Construction Award and the 2022 ACI Roger H. Corbetta Concrete Constructor Award. Klinger received his master's degree in structural engineering from the University of Maryland, College Park, MD, USA.



ACI member **Eamonn F. Connolly** is the Director of Engineering at James McHugh Construction Co., Chicago, IL, USA. He has over 20 years of extensive and wide-ranging experience as a structural engineer and manager in the design and construction of numerous high-rise buildings and infrastructure projects. He is past Chair of ACI Committee

309, Consolidation of Concrete, and a member of Joint ACI-ASCC Committee 117, Tolerances, as well as ACI Committees 134, Concrete Constructability; 347, Formwork for Concrete; and 435, Deflection of Concrete Building Structures; and ACI Subcommittees 301-I, Post-Tensioned Concrete - Section 9, and 318-A, General, Concrete, and Construction. He received his BS in civil engineering from the Illinois Institute of Technology, Chicago, IL, and his Master of Philosophy in Engineering from University of Aberdeen, Aberdeen, UK. He is a licensed structural engineer in Illinois and a licensed professional engineer in eight states.



ACI member **Charles D. Charlson** is the Director of Structural Engineering at GCM Contracting Solutions, Fort Myers and Naples, FL, USA. He has over 34 years of structural engineering design experience. In 2005, Charlson founded CRC & Associates, LLC, a structural engineering consulting firm, and remains

the managing principal for the firm. Anchoring to concrete is one of his areas of expertise, and he has provided consulting services for this type of work to several large A/E firms in the Midwest and Eastern parts of the United States. He received his BS in civil and environmental engineering, with a dual major in structural engineering and geotechnical engineering, from the University of Cincinnati, Cincinnati, OH, USA. After working as a professional engineer for 14 years, Charlson returned to the University of Cincinnati to complete his master's degree in structural engineering. He is a licensed professional and structural engineer.



**Oscar R. Antommattei**, FACI, is Chief Concrete Engineer and Director of Engineering with Kiewit Engineering Group, Inc., Lone Tree, CO, USA. He has over 20 years of industry experience in concrete materials with focuses that range from technical support to infrastructure design and heavy-civil construction projects. He is Chair of the

TAC Construction Standards Committee and TAC Productivity-Constructability Subcommittee, and a member of several technical committees including ACI Committees 321, Concrete Durability Code; and 323, Low-Carbon Concrete Code; and ACI Subcommittee 301-H, Mass Concrete-Section 8.



**Bruce A. Suprenant**, FACI, is Chair of ACI Subcommittee 117-M, Movements Affecting Tolerances, and Vice Chair of Joint ACI-ASCC Committee 117, Tolerances, as well as a member of ACI Committees 134, Concrete Constructability; and 302, Construction of Concrete Floors. His honors include the 2022 ACI *Concrete International* Award, the 2021 ACI Arthur R. Anderson

Medal, the 2020 ACI Construction Award, the 2013 ACI Certification Award, the 2010 ACI Roger H. Corbetta Concrete Constructor Award, and the 2010 ACI Construction Award.

# 02

## Capacidad de Construcción de Pernos para Anclaje (Varillas) en Cimentaciones

Selección de la longitud nominal del perno como la longitud de empotramiento de diseño más 2 pulgadas (5.08 cm) para la constructibilidad.

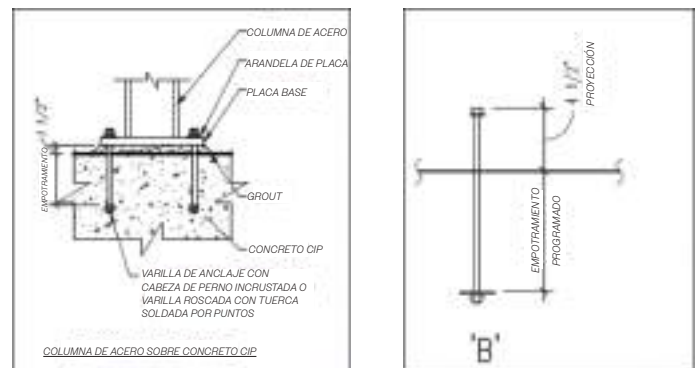
Por James E. Klinger, Eamonn F. Connolly, Charles D. Charlson, Oscar R. Antommattei y Bruce A. Suprenant

El apartado 5.2.1 del ACI 355.1R-91(97)<sup>1</sup> recomienda especificar en los planos de obra la proyección de los pernos de anclaje y la longitud de empotramiento con respecto a la rasante del concreto terminado. Sin embargo, ACI 117-10(15)<sup>2</sup>, no contiene las tolerancias con respecto a esas dos dimensiones. La Guía de Diseño de Acero 1<sup>3</sup> del Instituto Americano de Construcción en Acero (AISC, por sus siglas en inglés), recomienda especificar la longitud (Sección 2.7) y la elevación superior de la varilla de anclaje (Sección 2.8) (las varillas de anclaje se denominan comúnmente “pernos” en la industria del concreto). Existen tolerancias especificadas para estos elementos. La proyección real del perno y la longitud de empotramiento son una combinación de tres tolerancias: fabricación del perno, colocación del perno y colocación del concreto. En las tolerancias extremas, y si todas fueran aditivas, la disminución resultante de la longitud de empotramiento es de 89 mm (3-1/2 pulg.). La cuestión es: ¿El diseño contempla adecuadamente esta construcción?

## Recomendaciones AISC para la especificación de varillas de anclaje

La tolerancia para la elevación para la parte superior de la varilla de anclaje es de  $\pm 13$  mm (1/2 pulg.), ANSI/AISC 303-22, Sección 7.5.1<sup>4</sup>, se refiere a la Fig. 1, la cual coincide con la del ACI 117-10(15), Sección 2.3.4.1. La Sección 2.5 de la Guía de Diseño de Acero 1 del AISC indica que la ASTM F1554<sup>5</sup> es la especificación del material más común y preferida para las varillas de anclaje. La especificación ASTM F1554 tiene una tolerancia para la longitud de la varilla (perno) en la Sección 10.4.1: “La longitud total de los pernos de anclaje rectos, o hasta el interior del gancho, será la longitud especificada  $\pm 1/2$  pulg., para longitudes de 24 pulg. o menos, y  $\pm 1$  pulg. para pernos más largos”. La Guía de Diseño de Acero AISC 1, Sección 3.2.2, incluye una nota para el usuario en la que se indica que consulte el ACI 318 para el diseño de la longitud de empotramiento.

## Recomendaciones del ACI para la especificación de pernos de anclaje



REQUERIMIENTOS DE LAS VARILLAS DE ANCLAJE					
Ø VARILLA DE ANCLAJE (PULG.)	Ø MAX. DEL HUECO (PULG.)	TAMAÑO MIN. DE ARANDELA (PULG.)	GROSOR MIN. DE ARANDELA (PULG.)	EMPOTRAMIENTO MÍNIMO (PULG.)	DISTANCIA AL BORDE "C" (PULG.)
3/4	1 5/16	2	1/4	8	1 1/2
7/8	1 8/16	2 1/2	5/16	10	2
1	1 11/16	3	3/8	12	2 1/2
1 1/2	2 5/16	3 1/2	1/2	18	2 1/2

TODO EL MATERIAL DE LA VARILLA DE ANCLAJE ES F1554 GRADO 55 CON SUPLEMENTO SI, UNO

Fig. 2: Requisitos típicos para los pernos de anclaje (varillas) incluidos en los contratos.

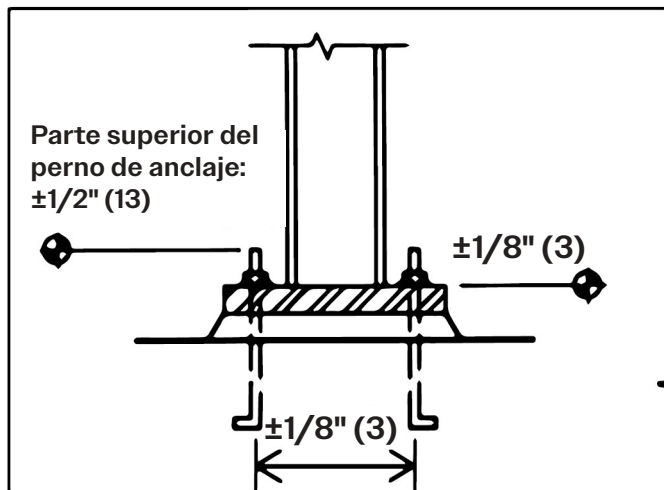


Fig. 1: Ejemplo de un perno de anclaje con tolerancias de elevación.

Como se ha mencionado anteriormente, el ACI 355.1R-91(97), Sección 5.2.1, recomienda que los planos de obra indiquen la proyección y el empotramiento de los pernos con respecto a la rasante del concreto terminado. La Figura 2 ilustra los detalles típicos proporcionados en los planos estructurales del proyecto para los pernos de anclaje (varillas). Obsérvese que estos detalles no incluyen la longitud del perno, ni la elevación especificada de la parte superior del mismo, tal como recomienda la

Guía de Diseño de Acero 1 del AISC. ACI 117-10(15), Sección 2.3.4, tiene dos tolerancias para los pernos de anclaje: 1)  $\pm 1/2$  pulg. de desviación vertical para la parte superior del perno de anclaje, respecto a la elevación especificada; y 2) desviación de la línea central de pernos de anclaje individuales, desde una ubicación especificada que varía de  $\pm 1/4$  a  $\pm 1/2$  pulg. (6 a 13 mm), dependiendo del tamaño de los pernos.

Aunque el ACI 117-10(15) establece algunas tolerancias para los pernos de anclaje, lo importante son las tolerancias que el documento no proporciona, como: 1) proyección del perno; y 2) empotramiento, que son los dos elementos que el ACI 355.1R- 91(97) recomienda incluir en los planos de obra. En otras palabras, existe una grave desconexión entre lo que especifica el diseñador y lo que es, o puede comprobarse, durante la construcción.

## Tolerancias de proyección y empotramiento para los pernos

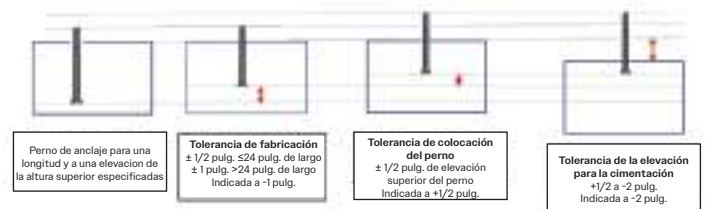
Hay una sencilla razón por la que el ACI 117-10(15) no establece una tolerancia para el empotramiento: no se puede medir. Antes de colocar el concreto, la parte inferior del perno de anclaje no puede medirse en una superficie de concreto que no existe. Una vez colocado el concreto, se conoce la superficie superior, pero la parte inferior del perno de anclaje está enterrada en el concreto. Ninguno de estos dos enfoques es apropiado para una medición de las tolerancias.

También existe una sencilla razón por la que la Guía de Diseño de Acero 1 del AISC especifica la elevación de la parte superior del perno: si la proyección del perno se especifica desde la parte superior del concreto terminado, entonces la elevación de la parte superior del perno varía en función de la elevación de la cimentación, que es de 50 mm (+1/2 pulg.) y -2 pulg. (50 mm). Por lo tanto, no existe una elevación constante del perno superior, ya que se basa en la superficie de concreto, que varía con cada cimentación. A los instaladores de acero no les gusta que varíen las elevaciones de los pernos de anclaje. A los concreteros no les gusta que el contratista general les cobre de vuelta porque el montador de acero incurre en gastos por pernos demasiado altos o demasiado bajos. Por tanto, los contratistas construyen basándose en las elevaciones y en las tolerancias de la parte superior del perno y no en la proyección del perno por encima de la superficie de concreto. Y, por supuesto, cuando el contratista está colocando el perno de anclaje, la proyección del perno no se puede medir porque la superficie de concreto no está en su lugar.

## Colocación del concreto, elevación y longitud de empotramiento de los pernos

La Figura 3 ilustra las actividades de construcción y las tolerancias que determinan la elevación final del perno de anclaje y la longitud de empotramiento. Las tres tolerancias que afectan a la elevación de la parte superior del perno y la longitud de empotramiento son:

- **Fabricación del perno:** La tolerancia de longitud está establecida por ASTM F1554 como  $\pm 1/2$  pulg. para pernos iguales o inferiores a 610 mm (24 pulg.) y  $\pm 1$  pulg. para pernos superiores a 610 mm (24 pulg.);
- **Cimbra para el borde de la cimentación:** La elevación de las cimbras del borde se establece para proporcionar una superficie final de concreto dentro de +1/2 pulg. y -2 pulg. de la elevación especificada para la parte superior de la cimentación; y
- **Colocación del perno:** La colocación del perno se establece en base a su elevación especificada con una tolerancia de  $\pm 1/2$  pulg.



**Fig. 3: Ilustración de las tolerancias (marcadas con flechas rojas) para la fabricación, la colocación de la elevación del perno y la colocación de la elevación de la cimentación. Estas tolerancias se combinan para determinar la longitud del perno empotrado.**

Si el perno de anclaje se fabrica 1 pulg. más corto, la parte superior del perno se coloca 1/2 pulg. más alto y la superficie superior de la cimentación se coloca 2 pulg. más baja, todo dentro de las tolerancias, la longitud de empotramiento es 3-1/2 pulg. (89 mm) más corta de lo previsto. Si la proyección del perno se coloca perfectamente, a 114 mm (4-1/2 pulg.) por encima de la superficie superior de la cimentación, pero la elevación de la superficie varía dentro de las tolerancias, la parte superior del perno desde la parte superior a la parte inferior varía en 64 mm (2-1/2 pulg.). La Guía de Diseño de Acero 1 del AISC, Sección 2.7, recomienda, siempre que sea posible, especificar longitudes roscadas "al menos 3 pulg. mayores que las requeridas, para permitir variaciones en la elevación de ajuste"<sup>3</sup>

La reducción de la longitud de empotramiento de 3-1/2 pulg. es una combinación de tres sucesos extremos. Cada tolerancia puede tratarse como una variable aleatoria normal independiente compuesta al 99.9% (tres distribuciones) y combinarse utilizando un enfoque de raíz cuadrada de la suma de los cuadrados (SRSS, por sus siglas en inglés). Para ese caso, la reducción calculada de la longitud de empotramiento sería de 42 mm (1.67 pulg.).

Obsérvese que la norma ASTM F1554 no establece una tolerancia de linealidad en la longitud total del perno. Un proveedor de pernos comentó que la mayor parte de la longitud del perno se incrusta en el concreto; por lo tanto, en términos prácticos, la única parte que debe ser razonablemente recta es el extremo roscado que sobresale del concreto. Sin embargo, si la linealidad de los pernos es crítica, el ingeniero del proyecto debe especificar los valores de linealidad requeridos.

## Diseño de la longitud de empotramiento

Se consideran dos ejemplos: Grado 36, de 3/4 pulg. (19 mm) de diámetro y Grado 55, de 1 pulg. de diámetro, para un perno de anclaje individual con los requisitos de resistencia de diseño para: a) resistencia del acero en tensión  $\phi N_{sa}$ ; b) resistencia a la ruptura del concreto a tensión  $\phi N_{cb}$ ; y c) resistencia al arrancamiento bajo tensión  $\phi N_{pm}$ . Los modelos de falla se ilustran en la Fig. 4. Los requisitos para la resistencia de diseño se basan en el Capítulo 17 del ACI 318-19(22)<sup>6</sup>, Anclaje al Concreto.

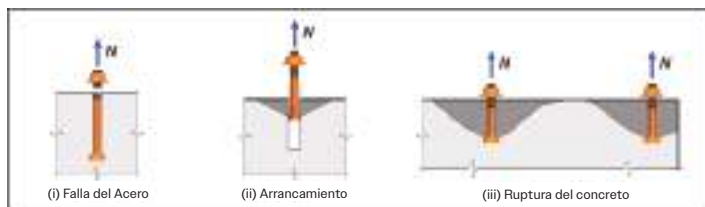


Fig. 4: Tipos de falla para un anclaje individual, según el ACI 318-19(22), Fig. R17.5.1.2<sup>6</sup>.

Se eligió el perno ASTM F1554 Grado 36 (Fig. 5), de 3/4 pulg. de diámetro para que correspondiera al Ejemplo 4.1 de la Guía de Diseño de Acero 1 de la AISC. Se eligió el perno de anclaje ASTM F1554 Grado 55, de 1 pulgada de diámetro (Fig. 6), para representar una carga mayor en una columna. La Figura 5 muestra que  $\phi N_{cb}$  rige para longitudes de empotramiento cortas hasta de 6 pulg. Una vez que la longitud del anclaje supera las 6 pulg., la carga del anclaje está controlada por la falla del acero, por lo que la resistencia viene definida por  $\phi N_{sa}$  del perno de Grado 36. Como era de esperar, una vez que el modo de falla del anclaje está controlado por la falla

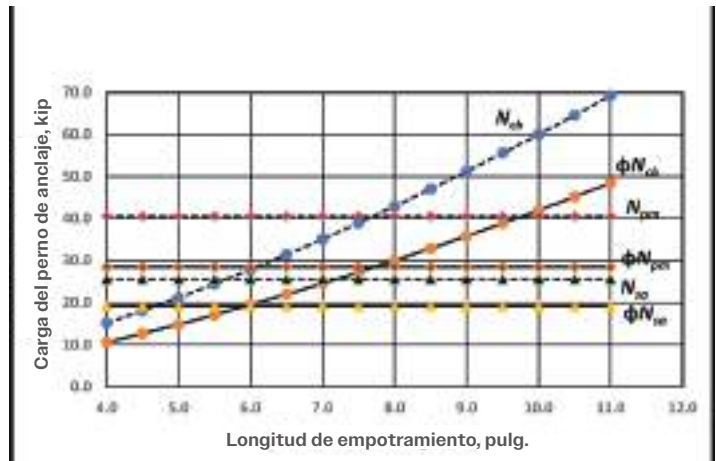


Fig. 5: Resistencia para un perno de anclaje (varilla) de 3/4 pulg. de diámetro, ASTM F1554 Grado 36. (Nota: 1 kip = 4.4 kN; 1 pulg. = 25 mm)

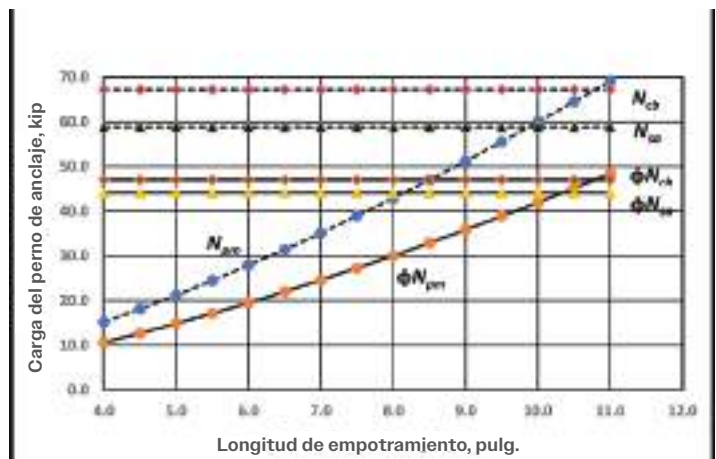


Fig. 6: Resistencia para un perno de anclaje (varilla) de 1 pulg. de diámetro ASTM F1554 Grado 55. (Nota: 1 kip = 4.4 kN; 1 pulg. = 25 mm).

del acero, la carga es independiente de la longitud de empotramiento.

¿Cuál es la capacidad de carga si la longitud de empotramiento cambia de 152 a 114 mm (6.0 a 4.5 pulg.)? La resistencia a la ruptura del concreto a 6 pulg. es de 19.5 kip (87 kN) y a 4.5 pulg. es de 12.7 kip (56 kN), una reducción de 6.8 kip (30 kN) o 45%. La resistencia última a la ruptura, sin considerar el factor de reducción de la resistencia de 0.7, con un empotramiento de 4.5 pulg. es de 18.1 kip (81 kN). Este anclaje fallaría con una longitud de empotramiento de 4.5 pulg. si la carga de diseño fuera de 19.5 kip. La Figura 6 también ilustra que el perno de anclaje de grado 55 y 1 pulg. de diámetro, también fallaría si la longitud de empotramiento fuera 1.5 pulg. inferior a la de diseño.

El ACI 318-19(22), en su Sección de Comentarios R21.1.1, establece: “Los propósitos de los factores de reducción de resistencia  $\phi$  son: (1) tener en cuenta la probabilidad de elementos con resistencia insuficiente, debido a variaciones en las resistencias y en las dimensiones de los materiales; (2) tener

en cuenta las imprecisiones en las ecuaciones de cálculo; (3) para reflejar la ductilidad disponible y la confiabilidad requerida del elemento bajo los efectos de carga considerados; y (4) para reflejar la importancia del elemento en la estructura". Nuestro ejemplo sólo tenía en cuenta las "variaciones en las dimensiones", pero el factor de reducción de la resistencia de 0,7 no era suficiente para tener en cuenta las tolerancias de fabricación y construcción. Por lo tanto, parece prudente añadir 2 pulg. adicionales a la longitud de empotramiento calculada.

## ¿Cuál es el costo de una pulgada extra?

Preguntamos a un par de proveedores de pernos de anclaje por el costo de una pulgada más de perno. Su respuesta fue:

- Perno ASTM F1554 Grado 36, de 3/4 pulg. de diámetro, de 457 a 483 mm (18 a 19 pulg.) de longitud - unos 0.35 dólares extra;
- Perno ASTM F1554 Grado 55, de 1-1/2 pulg. de diámetro, de 610 a 635 mm (24 a 25 pulg.) - unos 2.50 dólares extra; y
- Perno ASTM F1554 Grado 105, de 2-1/2 pulg. de diámetro, de 762 a 78 mm (30 a 31 pulg.) - unos 15.50 dólares extra.

Esta es una solución económica para una situación potencialmente peligrosa.

## Recomendaciones

Recomendamos ampliamente a los diseñadores añadir 2 pulg. al diseño de la longitud de empotramiento calculada y especifiquen la elevación de la parte superior del perno de anclaje. Como recordatorio final, en el ACI 117-10(15) no se indica una tolerancia para la proyección del perno o para la longitud de empotramiento.

## Referencias

1. ACI Committee 355, "State-of-the-Art Report on Anchorage to Concrete (ACI 355.1R-91) (Reapproved 1997)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1991, 71 pp.
2. ACI Committee 117, "Specification for Tolerances for Concrete Construction and Materials (ACI 117-10) and Commentary (Reapproved 2015)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2010, 76 pp
3. Fisher, J.M., and Kloiber, L.A., "Steel Design Guide 1: Base Plate and Anchor Rod Design," second edition, American Institute of Steel Construction, Chicago, IL, 2006, 61 pp.
4. "Code of Standard Practice for Steel Buildings and Bridges (ANSI/AISC 303-22)," American Institute of Steel Construction, Chicago, IL, 2022, 79 pp.

5. ASTM F1554-20, "Standard Specification for Anchor Bolts, Steel, 36, 55, and 105-ksi Yield Strength," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2020, 8 pp.
6. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19) (Reapproved 2022)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2019, 623 pp.

**James E. Klinger**, miembro de ACI, es Especialista en Construcción de Concreto de la Sociedad Americana de Contratistas de Concreto (ASCC), St. Louis, MO, EE.UU. Es miembro de los Comités ACI 134, Constructibilidad del Concreto, y 318, Código de Construcción de Concreto Estructural; del Comité Conjunto ACI-ASCC 117, Tolerancias; y del Subcomité ACI 318-A, General, Concreto y Construcción. Ha recibido el Premio ACI de la Construcción 2020 y el Premio ACI Roger H. Corbetta al Constructor de Concreto 2022. Klinger obtuvo su máster en Ingeniería Estructural en la Universidad de Maryland, College Park, MD, EE.UU.



**Eamonn F. Connolly**, miembro de ACI, es Director de Ingeniería en James McHugh Construction Co., Chicago, IL, EE.UU. Cuenta con más de 20 años de amplia experiencia como ingeniero estructural y gerente en el diseño y construcción de numerosos edificios de gran altura y proyectos de infraestructuras. Ha sido Presidente del Comité 309 de ACI, Consolidación del Concreto, y miembro del Comité Conjunto 117 de ACI/ASCC, Tolerancias, así como de los Comités 134 de ACI, Constructibilidad del Concreto; 347, Cimbras para el Concreto; y 435, Deflexión de Estructuras de Construcción de Concreto; y de los Subcomités 301-I de ACI, Concreto Postensado - Sección 9, y 318-A, General, Concreto y Construcción. Obtuvo su licenciatura en ingeniería civil en el Instituto de Tecnología de Illinois, Chicago, IL, y su máster en ingeniería en la Universidad de Aberdeen, Aberdeen, Reino Unido. Es ingeniero de estructuras autorizado en Illinois e ingeniero profesional autorizado en ocho estados.





**Charles D. Charlson**, miembro de ACI, es Director de Ingeniería Estructural en GCM Contracting Solutions, Fort Myers y Naples, FL, EE.UU. Cuenta con más de 34 años de experiencia en diseño de ingeniería estructural. En 2005, Charlson fundó CRC & Associates, LLC, una empresa de consultoría de ingeniería estructural, y sigue siendo el director gerente de la empresa. El anclaje al concreto es una de sus áreas de especialización, y ha prestado servicios de consultoría para este tipo de trabajos a varias grandes empresas de ingeniería y construcción del medio oeste y del este de Estados Unidos. Se licenció en Ingeniería Civil y Medioambiental, con una doble especialización en Ingeniería Estructural e Ingeniería Geotécnica, por la Universidad de Cincinnati, Cincinnati, OH, EE UU. Tras trabajar como ingeniero profesional durante 14 años, Charlson regresó a la Universidad de Cincinnati para completar su máster en ingeniería estructural. Tiene licencia profesional y es ingeniero estructural.



**Oscar R. Antommattei**, FCI, es Jefe de Ingeniería de Concreto y Director de Ingeniería de Kiewit Engineering Group, Inc. en Lone Tree, CO, EE.UU. Cuenta con más de 20 años de experiencia en el sector de los materiales de concreto, desde el apoyo técnico hasta el diseño de infraestructuras y proyectos de construcción civil pesada. Es Presidente del Comité de Normas de Construcción del TAC y del Subcomité de Productividad y Constructibilidad del TAC, y miembro de varios comités técnicos, como los Comités 321, Código de Durabilidad del Concreto, y 323, Código de Concreto de Bajo Carbono, y el Subcomité 301-H, Concreto Masivo - Sección 8 del ACI.



**Bruce A. Suprenant**, FCI, es Presidente del Subcomité 117-M de ACI, Movimientos que Afectan a las Tolerancias, y Vicepresidente del Comité Conjunto 117 de ACI-ASCC, Tolerancias, así como miembro de los Comités 134 de ACI, Constructibilidad del Concreto; y 302, Construcción de Pisos de Concreto. Entre sus galardones se incluyen el Premio Internacional del Concreto del ACI 2022, la Medalla Arthur R. Anderson del ACI 2021, el Premio a la Construcción del ACI 2020, el Premio a la Certificación del ACI 2013, el Premio al Constructor de Concreto Roger H. Corbetta del ACI 2010 y el Premio a la Construcción del ACI 2010.



Título original en inglés:  
Constructability of Anchor  
Bolts (Rods) in Foundations.  
Select nominal bolt length as the  
design embedment length plus  
2 in. for constructability

**La traducción de este artículo  
correspondió al Capítulo  
Noreste de México**



*Traductora:*  
**Lic. Iliana M. Garza  
Gutiérrez**



*Revisor Técnico:*  
**Dr. Alejandro Durán  
Herrera**