

Anchorage Design and Baseplate Rigidity

Q. *We are designing baseplates that will be anchored using anchor rods embedded in a concrete pile cap. Commentary Section R17.2.1 in ACI 318-19¹ states: “If the strength of an anchor group is governed by concrete breakout, the behavior is brittle, and there is limited redistribution of forces between the highly stressed and less stressed anchors. In this case, the theory of elasticity is required to be used, assuming the attachment that distributes loads to the anchors is sufficiently stiff. The forces in the anchors are considered to be proportional to the external load and its distance from the neutral axis of the anchor group.”*

If I use anchor reinforcement instead of the concrete’s breakout strength to keep the anchor group from breaking out, am I still required to provide an “attachment” or baseplate that is “sufficiently stiff” or rigid to ensure that the anchor loads are distributed in an elastic distribution (that is, proportional to the external load and its distance from the neutral axis of the anchor group)? We have some heavily loaded baseplates and are trying to eliminate the need to make them excessively thick.

A. Regardless of how the baseplate is designed, the tension anchors in the connections must resist the overturning bending moment in the column. For design purposes, we can bound the solution.

To size the baseplate, assume a rigid baseplate. This gives the largest distance from the assumed location of the compression reaction to the critical point on the baseplate (shown in Fig. 1(a)). To size the anchors for tension, assume a flexible baseplate. This gives the smallest internal lever arm, and the largest design axial forces in the anchors (shown in Fig. 1(b)). Neglected in Fig. 1 are the effects of axial forces that act on the attachment. The shear force could be

distributed uniformly to all anchors or to a shear lug on the baseplate (not shown).

Note that to evaluate a rigid plate, the compressive force C is assumed to be at the tip of the baseplate (Fig. 1(a)). This provides the lower bound tension forces in the anchors because the internal lever arm is the largest. This assumption also results in the maximum bending moment in the baseplate. For this connection to exhibit ductility, the anchors in tension would be required to be the ductile element. To evaluate a flexible plate, the compressive force C can be assumed to be located at distance x from the column flange (Fig. 1(b)). While x is given by M / C or M_p / C , where M is the bending moment and M_p is the plastic bending moment in the plate, there is no closed-form solution for the value of C . However,

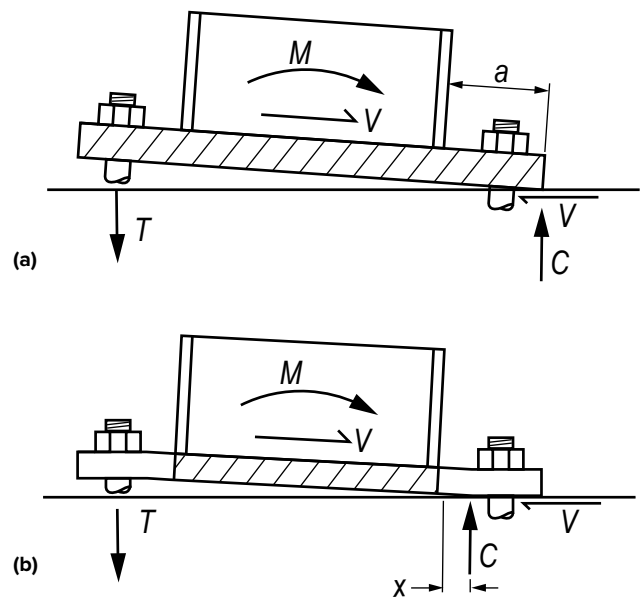


Fig. 1: To bound the solution for design, the baseplate is assumed to be: (a) rigid, and (b) flexible (based on Fig. 2.12 in Reference 2) (Note: M is the bending moment; T is the tensile force; C is the compressive force; V is the shear force)

Questions in this column were asked by users of ACI documents and have been answered by ACI staff or by a member or members of ACI technical committees. The answers do not represent the official position of an ACI committee. Comments should be sent to rex.donahey@concrete.org.

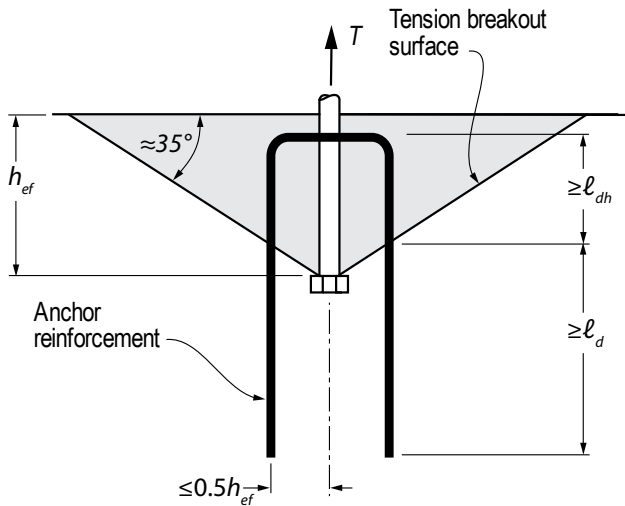


Fig. 2: Anchor reinforcement for tension, where h_{ef} is the effective embedment depth of the anchor (Note: T is the tension force acting on the anchor or anchor group; l_{dh} is the development length in tension of a deformed bar with a standard hook; and l_d is the development length in tension of a deformed bar)

a reasonable assumption for the location of C is $x = t_{pl}$, where t_{pl} is the plate thickness. If the baseplate attains M_p , then the connection may be ductile, which will also depend on the stretching of the tension anchors.

Anchorage reinforcement can be used to mitigate the concrete breakout failure mode (shown in Fig. 2). The anchorage reinforcement must be properly developed per ACI 318 within the concrete failure cone and beyond the concrete failure cone surface. If this reinforcement is provided, then concrete breakout failure mode need not be checked.

References

1. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19) and Commentary (ACI 318R-19)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2019, 623 pp.
2. Cook, R.A., and Klingner, R.E., "Behavior and Design of Ductile Multiple-Anchor Steel-to-Concrete Connections," *Report No. FHWA/TX-89+1126-3*, Texas Department of Transportation, Austin, TX, 1989, 214 pp.

HUNDREDS OF Concrete Standards, Recommended Practices, and Courses Available

The American Concrete Institute has been developing industry-leading resources on concrete for over 100 years. With topics ranging from reinforced concrete design, repair practices, and chemical admixtures to concrete construction practices specific in hot-weather climates and more, visit www.concrete.org for immediate access to ACI's standards, recommended practices, and free online presentations, plus on-demand courses from ACI University.



Diseño de anclajes y rigidez de la placa-base

P. Estamos diseñando placas-base que serán ancladas usando pernos embebidos en un fuste de concreto. En la Sección de Comentarios R17.2.1 del ACI 318-19 se establece lo siguiente: “Si la resistencia de un grupo de anclajes está gobernada por la rotura del concreto, el comportamiento es frágil y, por lo tanto, existe una redistribución limitada de fuerzas entre los anclajes más y menos tensionados del grupo. En este caso, se requiere utilizar la teoría de elasticidad asumiendo que la placa que distribuye las cargas a los anclajes es suficientemente rígida. Las fuerzas en los anclajes son calculadas mediante la proporcionalidad con la carga externa y la distancia desde el eje neutro del grupo de anclajes”.

Sin embargo, si utilizamos el agotamiento de la resistencia de los pernos de anclaje y no la rotura del concreto como mecanismo de falla, ¿es todavía necesario diseñar una placa-base lo “suficientemente rígida” para asegurar que las cargas en los anclajes se distribuyan de acuerdo con una variación elástica (es decir, proporcional a la carga externa y a la distancia desde el eje neutro del grupo de anclajes)? Esta pregunta se origina en el diseño de placas-base fuertemente cargadas para las cuales se trata de evitar dimensionar las mismas con espesores muy grandes.

R. Independientemente de cómo se realice el diseño de la placa-base, los pernos de anclaje traccionados de la conexión deben resistir el momento flector en la columna. A los efectos del diseño es posible considerar dos casos límites para el comportamiento de la placa según estemos diseñando la placa-base o los anclajes traccionados. Para dimensionar la placa-base consideramos la

placa como rígida. Esto nos proporciona la mayor distancia desde la reacción de compresión al punto crítico de la placa-base y, por lo tanto, el máximo momento flector en la placa (Fig. 1(a)). Por su parte, para dimensionar los anclajes a tracción consideramos la placa como flexible. Esto proporciona el brazo interno de momento más pequeño y, por lo tanto, las fuerzas axiales de diseño más grandes en los pernos de anclaje (Fig. 1(b)). En la Fig. 1 se desprecian los efectos de las fuerzas axiales que actúan sobre la placa. La fuerza de corte podría ser distribuida en forma uniforme entre todos los anclajes o a un conector de corte en la placa (no mostrado en la figura). Nótese que cuando se evalúa una placa como rígida, se asume que la fuerza de compresión C está ubicada en la punta de la placa (Fig. 1(a)). Esto proporciona un límite inferior de las fuerzas de tracción en los anclajes ya que el brazo interno es máximo. Esta hipótesis también resulta en el máximo momento flector en la placa. Si se requiere que la conexión tenga un comportamiento dúctil, se necesita que el elemento dúctil esté constituido por los anclajes en tracción.

Por el contrario, cuando se evalúa una placa como flexible, la fuerza de compresión C se puede asumir ubicada a una distancia x del ala de la columna (Fig. 1(b)).

Mientras que x se puede calcular como M/C o M_p/C , donde M es momento flector y M_p el momento plástico de la placa, no existe una solución analítica para el valor de C . Sin embargo, una asunción razonable para la ubicación de C es $x=t_{pl}$, donde t_{pl} es el espesor de la placa. Si la placa alcanza M_p , la conexión podría ser dúctil. Esto depende también de la deformación de los anclajes traccionados.

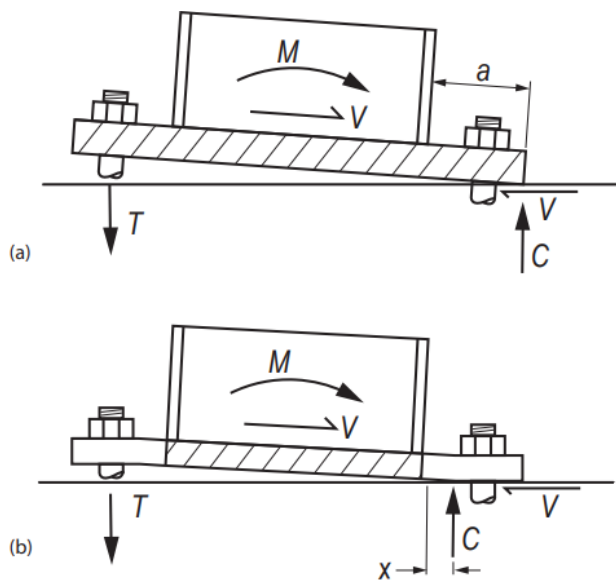


Fig.1: Los siguientes dos casos límites pueden ser considerados para el diseño. Asumir la placa-base: (a) rígida y (b) flexible (basada en la Fig. 2.12 de la Referencia 2).
(Nota: M es el momento flector, T es la fuerza de tracción, C es la fuerza de compresión, V es la fuerza de corte)

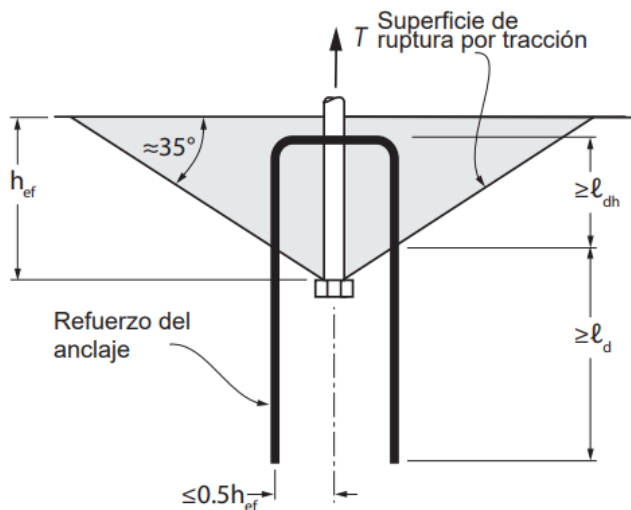


Fig.2: Armadura de anclaje de los esfuerzos de tracción, donde h_{ef} es la profundidad embebida efectiva del perno de anclaje (Nota: T es la fuerza de tracción actuando sobre el anclaje o grupo de anclajes, l_{dh} es la longitud de desarrollo en tracción de una barra con un gancho estándar y l_d es la longitud de desarrollo en tracción de una barra)

Para mitigar el modo de falla por rotura del concreto (mostrado en la Fig.2) se puede utilizar armadura de refuerzo. Esta armadura debe ser desarrollada apropiadamente de acuerdo con el Reglamento ACI 318 dentro del cono de falla del concreto anclándose más allá de la superficie del mencionado cono. Cuando

el diseño se realiza con esta armadura de refuerzo, el modo de falla por rotura del concreto no necesita ser verificado.

Referencias

- 1 ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19) and Commentary (ACI 318R-19)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2019, 623 pp.
2. Cook, R.A., and Klingner, R.E., "Behavior and Design of Ductile Multiple-Anchor Steel-to-Concrete Connections," Report No. FHWA/ TX-89+1126-3, Texas Department of Transportation, Austin, TX, 1989, 214 pp.

La traducción de este artículo correspondió a la Sección Argentina.

Título: Concreto Preguntas y Respuestas
Diseño de anclajes y rigidez de la placa-base.



Traductor y Revisor Técnico:
Dr. Raul Bertero.