

Anclaje en Hormigón

ACTUALIZACIÓN PARA EL CÓDIGO 2002

El Apéndice D, Anclaje en Hormigón, aparece por primera vez en el Código ACI 318-02. Este apéndice contiene requisitos para el diseño de anclajes en hormigón, tanto para anclajes hormigonados in situ como para anclajes incorporados posteriormente en un elemento de hormigón endurecido.

INTRODUCCIÓN

A continuación presentamos un breve resumen del proceso desarrollo y publicación del Apéndice D de ACI 318-02. Hasta fines de la década del 90 tanto el Código ACI 318 como las Especificaciones para el diseño por factores de carga y resistencia y por tensiones admisibles del AISC (American Institute of Steel Construction) se mantuvieron en silencio con respecto al diseño de los anclajes en hormigón. El Apéndice B de ACI 349-85 (Referencia 34.1) y el Manual de Diseño PCI (Referencia 34.2) constituían las principales fuentes de información para el diseño de los anclajes hormigonados in situ. El diseño de los anclajes incorporados al hormigón endurecido tradicionalmente se ha basado en la información proporcionada por los diferentes fabricantes de anclajes.

Durante estos últimos años el Comité ACI 318 tomó la delantera en el desarrollo de requisitos codificados para el diseño de anclajes mecánicos tanto hormigonados in situ como incorporados al hormigón endurecido. El Comité 318 contó con la colaboración del Comité ACI 355, Anclaje en Hormigón, y del Comité ACI 349, Estructuras Nucleares de Hormigón. Simultáneamente con los esfuerzos del Comité ACI 318 por desarrollar requisitos de diseño, el Comité ACI 355 se involucró en el desarrollo de un método de ensayo para evaluar el comportamiento de los anclajes mecánicos incorporados al hormigón endurecido. Durante el ciclo de trabajo que culminó con la publicación de ACI 318-99, el Comité ACI 318 aprobó un Apéndice D que fue propuesto para tratar el diseño de los anclajes mecánicos hormigonados in situ o incorporados al hormigón endurecido. La adopción final del apéndice propuesto dependía de la aprobación por parte del Comité ACI 355 de un método de ensayo que sirviera para evaluar el comportamiento de los anclajes mecánicos incorporados al hormigón endurecido, aprobación que exigía el procedimiento de consenso por el cual se rige la ACI.

Como el Comité ACI 355 no pudo completar el método de ensayo para evaluar los anclajes mecánicos incorporados al hormigón endurecido en los plazos que exigía la publicación del Código ACI 318-99, se intentó procesar un Apéndice D de alcance reducido, limitado exclusivamente a los anclajes hormigonados in situ (es decir, excluyendo los anclajes mecánicos incorporados al hormigón endurecido). Sin embargo, el tiempo disponible no alcanzó para satisfacer las fechas límites establecidas por el ICC (International Code Council) para presentar la norma ACI 318-99 ya publicada a fin de ser incluida en

el IBC 2000 (Referencia 34.3). En consecuencia, los requisitos para los anclajes en hormigón que inicialmente iban a constituir el Apéndice D de ACI 318-99 (excluyendo los requisitos para anclajes mecánicos incorporados al hormigón endurecido) fueron presentados y aprobados para ser incorporados en el Artículo 1913 del IBC 2000. Ahora que ya se han publicado el Apéndice D de ACI 318-02, Anclaje en Hormigón, el cual contiene requisitos de diseño para anclajes mecánicos tanto hormigonados in situ como incorporados al hormigón endurecido, y la norma ACI 355.2, Evaluación del Comportamiento de los Anclajes Mecánicos Incorporados al Hormigón Endurecido (Referencia 34.4), se anticipa que el Artículo 1913 del IBC será reemplazado por una referencia al Apéndice D de ACI 318-02.

Se debe observar que el Apéndice D de ACI 318-02 no contempla los anclajes con adhesivos ni los anclajes inyectados con mortero. En base a los resultados de las investigaciones realizadas durante la década del 90, se anticipa que el Código ACI 318-05 incorporará requisitos para anclajes adhesivos e inyectados con mortero.

ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LOS MÉTODOS DE DISEÑO

El método del cono de desprendimiento a 45 grados usado en el Apéndice B de ACI 349 (Referencia 34.1) y el Manual de Diseño PCI (Referencia 34.2) fue desarrollado a mediados de la década del 70. En la década del 80, en la Universidad de Stuttgart se realizaron numerosos ensayos sobre diferentes tipos de anclajes, usando diferentes longitudes de empotramiento, distancias a los bordes y efectos de grupo, tanto en hormigón no fisurado como en hormigón fisurado. Los resultados de los ensayos realizados en Stuttgart permitieron desarrollar el método Kappa (K) que fue introducido en ACI 349 y ACI 355 a partir de finales de la década del 80. A principios de los años 90, en la Universidad de Texas, Austin, se mejoró el método K intentando simplificar su aplicación. El resultado de este esfuerzo fue el Método de Diseño del Hormigón por Capacidad (Método CCD, según sus siglas en Inglés). Durante este mismo período se armó una base de datos internacional. A mediados de la década del 90 la mayor parte del trabajo de los Comités ACI 349 y 355 se centró en evaluar el método CCD y el método del cono de 45 grados en base los resultados obtenidos de la base de datos internacional. Los Comités ACI 318, 349 y 355 procedieron a implementar el método CCD. Los requisitos de diseño del Apéndice D de ACI 318-02 y el Apéndice B de ACI 349-01 (Referencia 34.5) se basan en el método CCD. A continuación se discuten las diferencias entre el método CCD y el método del cono de desprendimiento de 45 grados.

CONSIDERACIONES GENERALES

El diseño de los anclajes en hormigón se debe ocupar tanto de la resistencia del acero de los anclajes como de aquella asociada con la porción de los anclajes que está empotrada. La menor de estas dos resistencias será la que determine el diseño.

La resistencia del acero de un anclaje depende de las propiedades del acero y del tamaño del anclaje. La resistencia de la porción empotrada del anclaje depende de su longitud de empotramiento, de la resistencia del hormigón, de la proximidad de otros anclajes, de la distancia a los bordes libres, y de las características del extremo empotrado del anclaje (anclaje con cabeza, con gancho, de expansión, rebajado, etc.).

La principal diferencia entre los requisitos del Apéndice D de ACI 318-02 y los requisitos del método del cono de desprendimiento de 45 grados radica en el cálculo de la resistencia al desprendimiento del hormigón (es decir, la falla del hormigón en forma de cono). En el método del cono de 45 grados el cálculo de la resistencia al desprendimiento del hormigón se basa en un modelo de falla del hormigón en forma de un cono de desprendimiento de 45 grados, con lo cual se obtiene una ecuación en función del cuadrado de la longitud de empotramiento (h_{ef}^2). Los requisitos del Apéndice D de ACI 318-02 consideran la mecánica de la fractura, con lo cual para la resistencia al desprendimiento del hormigón se obtiene una ecuación en función de la longitud de empotramiento elevada a la potencia 1,5 ($h_{ef}^{1.5}$). Aunque el modelo de falla en forma de cono de 45 grados permite obtener resultados conservadores para los anclajes en los cuales $h_{ef} \leq 6$ in., se ha demostrado que los requisitos del Apéndice D de ACI 318-02 permiten predecir con mayor precisión las longitudes de empotramiento tanto para los anclajes individuales como para los anclajes afectados por los efectos de borde y de grupo.

Además de permitir una mejor predicción de la resistencia al desprendimiento del hormigón, los requisitos del Apéndice D de ACI 318-02 simplifican el cálculo de los efectos de un grupo de anclajes y los efectos de la proximidad a los bordes, ya que utilizan un área rectangular con sus lados ubicados a una distancia de $1,5h_{ef}$ del anclaje, y no las áreas circulares típicamente empleadas en el método del cono a 45 grados.

DISCUSIÓN DE LOS REQUISITOS DE DISEÑO

A continuación presentamos una discusión sección por sección de los requisitos del Apéndice D de ACI 318-02. Los números asignados a las secciones, ecuaciones y figuras tanto en la discusión como en los ejemplos siguientes se refieren a los utilizados en el Apéndice D de ACI 318-02.

D.0 SIMBOLOGÍA Y D.1 DEFINICIONES

En general la simbología y las definiciones no requieren explicaciones adicionales, y además las figuras del Apéndice D permiten una mejor comprensión de las mismas. Las siguientes tablas se incluyen para ayudarle al diseñador a determinar el valor de muchas de las variables.

Tabla 34-1 – Propiedades de los materiales usados para los anclajes hormigonados in situ

Norma aplicable al material ¹	Grado o tipo	Diámetro (in.)	Resistencia a la tracción, para el diseño, f_{ut} (ksi)	Resistencia a la tracción, mín. (ksi)	Tensión de fluencia, mín.		Alargamiento, mín		Reducción del área, mín. (%)
					ksi	método	%	longitud	
AWS D1.1 ²	B	1/2 - 1	60	60	50	0,2 %	20	2 in.	50
ASTM A 307 ³	A	≤ 4	60	60	–	–	18	2 in.	–
	C	≤ 4	58	58-80	36	–	23	2 in.	–
ASTM A 354 ⁴	BC	≤ 4	125	125	109	0,2 %	16	2 in.	50
	BD	≤ 4	125	150	130	0,2 %	14	2 in.	40
ASTM A 449 ⁵	1	≤ 1	120	120	92	0,2 %	14	4D	35
		1 – 1-1/2	105	105	81	0,2 %	14	4D	35
		> 1-1/2	90	90	58	0,2 %	14	4D	35
ASTM F 1554 ⁶	36	≤ 2	58	58-80	36	0,2 %	23	2 in.	40
	55	≤ 2	75	75-95	55	0,2 %	21	2 in.	30
	105	≤ 2	125	125-150	105	0,2 %	15	2 in.	45

Notas:

- Los materiales listados son los que habitualmente se utilizan para los anclajes en hormigón. Aunque se pueden utilizar otros materiales (por ejemplo, acero ASTM A 193 para aplicaciones de alta temperatura, acero ASTM A 320 para aplicaciones de baja temperatura), para las aplicaciones normales se prefieren los materiales listados. Los materiales para bulones de acero estructural, tales como los aceros ASTM A 325 y ASTM A 490, normalmente no se consiguen en las longitudes que se requieren en las aplicaciones para anclaje en hormigón.
- AWS D1.1-00 Structural Welding Code - Steel*. Esta especificación abarca los pernos con cabeza soldados o los pernos con gancho soldados (sin rosca). Ninguna de las otras especificaciones listadas abarca los pernos soldados.
- ASTM A 307-00 Standard Specification for Carbon Steel Bolts and Studs, 60.000 psi Tensile Strength*. Este es un material habitualmente utilizado para los anclajes en hormigón. El Grado A corresponde a los bulones y pernos con cabeza. El Grado C corresponde a los bulones (pernos) sin cabeza, ya sea rectos o doblados, y equivale al acero ASTM A 36. Observar que aunque no hay un requisito sobre la reducción del área, se puede considerar que el acero ASTM A 307 es un elemento de acero dúctil. La definición de "Elemento de acero dúctil" de la sección D.1. del código dice: "Los elementos de acero que satisface los requisitos de ASTM A 307 se deben considerar dúctiles."
- ASTM A 354-01 Standard Specification for Quenched and Tempered Alloy Steel Bolts, Studs, and Other Externally Threaded Fasteners*. La resistencia del Grado BD equivale a la del ASTM A 490.
- ASTM A 449-00 Standard Specification for Quenched and Tempered Steel Bolts and Studs*. ASTM A 325 hace referencia a esta especificación para los bulones de anclaje "equivalentes."
- ASTM F 1554-99 Standard Specification for Anchor Bolts*. Esta especificación abarca los bulones de anclaje rectos y doblados, con y sin cabeza, de tres grados diferentes de resistencia. Se pueden conseguir anclajes con diámetros menores que 4 in., pero los requisitos sobre reducción del área varían para los anclajes de menos de 2 in.

Tabla 34-1: Esta tabla contiene información sobre los materiales que típicamente se especifican para las aplicaciones en las cuales se utilizan anclajes hormigonados in situ. La tabla presenta valores correspondientes a la resistencia a la tracción especificada, f_{ut} , y a la tensión de fluencia especificada, f_y , además de los requisitos de alargamiento y reducción del área necesarios para determinar si un material se debe considerar como un elemento de acero frágil o como un elemento de acero dúctil. Como se puede observar en la Tabla 34-1, todos los materiales que habitualmente se usan para los anclajes satisfacen los requisitos correspondientes a elementos dúctiles indicados en D.1. Si se han de utilizar anclajes hormigonados in situ de materiales que no están incluidos en la Tabla 34-1, el diseñador deberá consultar las especificaciones correspondientes al material en cuestión para verificar que el material esté comprendido dentro de la definición de elemento de acero dúctil. Es posible que algunos materiales de alta resistencia no satisfagan estos requisitos, y que por lo tanto deban ser considerados como elementos de acero frágil.

Tabla 34-2: Esta tabla contiene información sobre el área de la sección transversal efectiva, A_{se} , y el área de apoyo, A_{brg} , para anclajes roscados hormigonados in situ de hasta 2 in. de diámetro.

Tabla 34-2 – Propiedades dimensionales de los anclajes roscados hormigonados in situ

Diámetro del anclaje (d_o) (in.)	Área bruta del anclaje (in.^2)	Área efectiva del anclaje (A_{se}) (in.^2)	Superficie de apoyo de las cabezas y tuercas (A_{brg}) (in.^2)			
			Cuadrada	Cuadrada pesada	Hexagonal	Hexagonal pesada
0,250	0,049	0,032	0,142	0,201	0,117	0,167
0,375	0,110	0,078	0,280	0,362	0,164	0,299
0,500	0,196	0,142	0,464	0,569	0,291	0,467
0,625	0,307	0,226	0,693	0,822	0,454	0,671
0,750	0,442	0,334	0,824	1,121	0,654	0,911
0,875	0,601	0,462	1,121	1,465	0,891	1,188
1,000	0,785	0,606	1,465	1,855	1,163	1,501
1,125	0,994	0,763	1,854	2,291	1,472	1,851
1,250	1,227	0,969	2,228	2,773	1,817	2,237
1,375	1,485	1,160	2,769	3,300	2,199	2,659
1,500	1,767	1,410	3,295	3,873	2,617	3,118
1,750	2,405	1,900	--	--	--	4,144
2,000	3,142	2,500	--	--	--	5,316

Tabla 34-3: Esta tabla muestra datos correspondientes a un ejemplo ficticio de anclajes mecánicos incorporados al hormigón endurecido que han sido ensayados de acuerdo con ACI 355.2. Los fabricantes que ensayan sus productos de acuerdo con ACI 355.2 pueden entregar tipo de informe. La tabla contiene los valores de todos los parámetros necesarios para diseñar un determinado anclaje mecánico incorporado al hormigón endurecido. El diseño de los anclajes mecánicos incorporados al hormigón endurecido se debe basar en este tipo de informe, a menos que los valores supuestos en el diseño estén especificados en la documentación técnica del proyecto (por ejemplo, la resistencia al arrancamiento por tracción, N_p).

A modo de comentario adicional sobre el percentil cinco especificado en la sección D.1 – Definiciones, el percentil cinco se utiliza para determinar la resistencia nominal del anclaje que depende del empotramiento. Representa un valor tal que si se ensayan 100 anclajes, existe una confianza del 90% de que 95 anclajes tendrán resistencias mayores que el valor correspondiente al percentil cinco. El uso del percentil cinco es análogo al uso de f_c para calcular la resistencia del hormigón y al uso de f_y para calcular la resistencia del acero en otras partes del Código. Por ejemplo, la sección 5.3 de ACI 318 requiere que la resistencia a la compresión promedio requerida del hormigón sea estadísticamente mayor que el valor especificado usado en los cálculos de diseño. En el caso del acero f_y representa la tensión de fluencia especificada del material. Debido a que las especificaciones ASTM dan la tensión de fluencia mínima especificada, el valor de f_y usado para el diseño es en realidad el

valor correspondiente al percentil cero (es decir, el diseñador se asegura que el acero utilizado tendrá un valor de fluencia mayor que el valor mínimo especificado). Todos los cálculos de la resistencia que depende del empotramiento indicados en el Apéndice D se basan en una resistencia nominal calculada usando valores correspondientes al percentil 5 (es decir, los valores de k usados para calcular la resistencia básica al desprendimiento del hormigón se basan en el percentil 5).

Tabla 34-3 – Ejemplo de una planilla correspondiente a un informe de los ensayos realizados de acuerdo con ACI 355.2 para anclajes mecánicos incorporados al hormigón endurecido

Datos correspondientes a un anclaje rebajado -- Ejemplo						
Parámetro	Símbolo	Unidades	Diámetro			
			Diam. 3/8 in.	Diam. 1/2 in.	Diam. 5/8 in.	Diam. 3/4 in.
Profundidad efectiva de empotramiento	h_{ef}	in.	4	5	7-1/2	9-7/8
Diámetro exterior	d_o	in.	0,748	0,827	1,142	1,420
Área efectiva de la sección transversal del anclaje - tracción	A_{se}	in. ²	0,090	0,131	0,243	0,380
Capacidad de corte del acero - valor promedio	V_s	lb	21.640	29.140	49.700	70.400
Tensión de fluencia mínima especificada del anclaje	f_y	lb/in. ²	92.800	92.800	92.800	92.800
Resistencia a la tracción especificada del anclaje	f_{ut}	lb/in. ²	116.000	116.000	116.000	116.000
Área de la sección transversal de la camisa del anclaje	A_{sl}	in. ²	0,304	0,346	0,690	1,047
Resistencia a la tracción de la camisa del anclaje	f_{utsi}	lb/in. ²	123.300	123.300	101.500	79.800
Separación mínima	s_{min}	in.	4	5	7,5	9-7/8
Torque de instalación	T_{min}	ft-lb	37	59	88	221
Distancia crítica a un borde - tracción	c_{cr}	in.	6	7,5	11-1/4	14-3/4
Distancia mínima a un borde - tracción	c_{min}	in.	3,2	4	6	7-7/8
Espesor mínimo del elemento en el cual se incorpora un anclaje	h_{min}	in.	5-1/2	6-5/8	9-7/8	15
Categoría del anclaje	--	--	1	1	1	1
Factor de efectividad	k	--	24	24	24	24
Resistencia al arrancamiento - obtenida de ensayos - valor característico calculado	N_p	lb	9100	12.730	23.390	35.530
Resistencia sísmica obtenida de ensayos - tracción	N_{eq}	lb	5280	7977	14.310	22.872
Resistencia sísmica obtenida de ensayos - corte	V_{eq}	lb	10.820	14.570	24.850	35.200

D.2 CAMPO DE VALIDEZ

Estos requisitos se aplican a los anclajes mecánicos hormigonados in situ e incorporados en hormigón endurecido (como los ilustrados en la Figura RD.0) que se utilizan para transmitir cargas estructurales entre diferentes elementos estructurales o entre los dispositivos relacionados con la seguridad y los elementos estructurales. El campo de validez incluye los pernos con cabeza, los bulones con cabeza y las barras con gancho (barras en J o en L) hormigonados in situ, y los anclajes mecánicos incorporados al hormigón endurecido que han satisfecho los requisitos de evaluación establecidos en ACI 355.4.⁴ Actualmente el campo de validez del Apéndice D excluye otros tipos de anclajes hormigonados in situ (por ejemplo los insertos especializados) y otros tipos de anclajes incorporados al hormigón endurecido (por ejemplo los anclajes adhesivos, los anclajes rellenados con mortero y los clavos o bulones neumáticos); también excluye los anclajes mecánicos incorporados al hormigón endurecido que no satisfacen los requisitos de evaluación de ACI 355.2.⁴ Como se observa en D.2.4, estos requisitos de diseño no se aplican a los anclajes solicitados por elevadas cargas cíclicas de fatiga o por cargas de impacto.

D.3 REQUISITOS GENERALES

Los métodos de análisis especificados en D.3 para determinar las cargas que actúan sobre cada anclaje individual en las aplicaciones con múltiples anclajes dependen del tipo de carga, de la rigidez de la placa de fijación y de la profundidad de empotramiento de los anclajes.

En las conexiones con múltiples anclajes cargadas de forma concéntrica solicitadas a tracción pura, la carga de tracción aplicada se puede suponer uniformemente distribuida entre los anclajes, siempre que la placa de fijación ha sido diseñada de manera que no llegue a la fluencia.

En las conexiones con múltiples anclajes solicitadas a momentos o tracciones excéntricas, la distribución de las cargas entre los anclajes individuales se debe determinar utilizando la teoría de la elasticidad, a menos que los cálculos indiquen que en el empotramiento de los anclajes existe ductilidad suficiente para permitir la redistribución de la carga entre los anclajes individuales. Si se provee ductilidad suficiente se puede utilizar un enfoque de diseño basado en la teoría de la plasticidad. El enfoque de diseño plástico requiere que los anclajes sean de acero dúctil y que tengan una profundidad de empotramiento suficiente, de modo que no se produzca una falla del hormigón antes de la falla dúctil del acero. El enfoque de diseño plástico asume que la carga de tracción (ya sea debida a una carga de tracción excéntrica o a un momento) se distribuye uniformemente entre los anclajes traccionados. Para las conexiones solicitadas a momento, el enfoque de diseño plástico es análogo al caso de múltiples capas de armadura de flexión en una viga de hormigón armado. Si las múltiples capas de acero están ancladas adecuadamente y están ubicadas a una distancia suficiente del eje neutro del elemento, se puede considerar que estas capas han llegado a la fluencia.

Tanto para el análisis elástico como para el análisis plástico de las conexiones con múltiples anclajes solicitadas a momento, no es posible determinar con exactitud la ubicación de la resultante de compresión usando los métodos de análisis tradicionales para vigas de hormigón. Esto es válido tanto para el método de las áreas transformadas como para el método del diagrama de tensiones de ACI 318 ya que no se verifica la hipótesis de las secciones planas (es decir las secciones planas no permanecen planas). Para los fines del diseño, la resultante de compresión del momento aplicado se puede suponer ubicada a una distancia igual al espesor de la placa de fijación a partir del componente comprimido del elemento fijado, a menos que se coloquen rigidizadores en la placa de fijación. Cuando se colocan rigidizadores en la placa de fijación se puede asumir que la resultante de compresión está ubicada en el borde de la placa de fijación.

Los artículos D.3.3.1 a D.3.3.5 contienen requisitos especiales para el diseño de anclajes solicitados a cargas sísmicas. El Apéndice D no se debe utilizar para diseñar anclajes ubicados en zonas de formación de rótulas plásticas en las cuales se anticipa que los movimientos sísmicos provocarán elevados niveles de fisuración y descascaramiento. Los requisitos de diseño del Apéndice D y los criterios para la evaluación de los anclajes de ACI 355.2 se basan en las fisuras típicas que se producen en el hormigón bajo condiciones normales (los ensayos en hormigón fisurado y los ensayos de simulación sísmica de ACI 355.2 se basan en el comportamiento de los anclajes con fisuras de 0,012 in. a 0,020 in.). En las regiones de peligrosidad sísmica moderada o elevada, o en las estructuras para las cuales se requiere un nivel de comportamiento o diseño sismorresistente intermedio o elevado, todos los valores para ϕN_n y ϕV_n se deben reducir aplicando un factor adicional igual a 0,75. Además, la resistencia de la conexión debe ser controlada por la resistencia de los elementos de acero dúctil y no por la resistencia del empotramiento ni por la resistencia de los elementos de acero frágil, a menos que la conexión estructural haya sido diseñada para llegar a la fluencia con una carga menor o igual que la resistencia de diseño de los anclajes, reducida por el factor 0,75. El artículo RD.3.3 discute estos requisitos de forma detallada.

D.4 REQUISITOS GENERALES PARA LA RESISTENCIA DE LOS ANCLAJES

Esta sección presenta una discusión general sobre los modos de falla que se deben considerar para el diseño de los anclajes en hormigón. Esta sección también contiene factores de reducción de la resistencia, ϕ , para cada modo de falla. Los modos de falla que se deben considerar incluyen aquellos relacionados con la resistencia del acero y aquellos relacionados con la resistencia del empotramiento.

Los modos de falla relacionados con la resistencia del acero son simplemente la falla por tracción [Figura RD.4.1(a)(i)] y la falla por corte [Figura RD.4.1(b)(i)] del acero del anclaje. La resistencia del acero del anclaje es relativamente fácil de calcular pero rara vez controla el diseño de una conexión, a menos que haya un requisito específico que indique que el diseño debe ser controlado por la resistencia de los elementos de acero dúctil.

En la Figura RD.4.1 del Apéndice D se ilustran los modos de falla que se deben considerar además de los relacionados con la resistencia del acero. Estos modos de falla incluyen:

- Desprendimiento del hormigón de un anclaje - Falla de un cono de hormigón que comienza en el extremo empotrado de un anclaje solicitado a tracción [Figura RD.4.1(a)(iii)], o en el punto donde un anclaje solicitado a corte ubicado cerca de un borde ingresa al hormigón [Figura RD.4.1(b)(iii)].
- Arrancamiento de un anclaje por tracción - Arrancamiento de un anclaje como el que se podría producir en el caso de un anclaje con cabeza pequeña [Figura RD.4.1(a)(ii)].
- Descascaramiento del recubrimiento lateral de hormigón de un anclaje traccionado - Descascaramiento que se produce en la cabeza empotrada de un anclaje ubicado cerca de un borde libre [Figura RD.4.1(a)(iv)].
- Arrancamiento del hormigón de un anclaje por corte - Modo de falla por corte que se produce cuando un anclaje corto arranca una cuña de hormigón de la parte posterior del anclaje [Figura RD.4.1(b)(ii)].
- Hendimiento - Modo de falla por tracción que se relaciona con los anclajes colocados en elementos de hormigón de relativamente poco espesor [Figura RD.4.1(a)(v)].

Como se observa en D.4.2, la sección "Requisitos Generales" también permite utilizar cualquier modelo de diseño que permita predecir resistencias que concuerden sustancialmente con los resultados de ensayos. Si considera que el método del cono de 45 grados o cualquier otro método satisface este requisito, el diseñador podrá usar dicho método. Caso contrario se deben utilizar los requisitos de diseño indicados en las demás secciones del Apéndice D, siempre que el diámetro de los anclajes sea menor o igual que 2 in. y que la longitud de empotramiento sea menor o igual que 25 in. Estas restricciones representan el límite superior de la base de datos en base a la cual se desarrollaron los requisitos de diseño del Apéndice D.

En cuanto a la selección de los factores ϕ adecuados para estos modos de falla, la presencia de armadura suplementaria diseñada para "fijar" el prisma de falla al elemento estructural determina si se debe aplicar el factor ϕ correspondiente a la Condición A o el factor ϕ correspondiente a la Condición B. Para el caso de los anclajes hormigonados in situ solicitados a corte dirigido hacia un extremo libre, la armadura suplementaria requerida para la Condición A se podría materializar utilizando armadura en forma de horquillas. Se debe observar que para determinar la resistencia al arrancamiento de un anclaje por tracción y la resistencia al arrancamiento del hormigón del anclaje por corte, N_{pn} o V_{cp} , respectivamente, D.4 indica que en todos los casos se aplica la Condición B, independientemente de la presencia o ausencia de armadura suplementaria. Para los anclajes incorporados al hormigón endurecido es poco probable que se coloque este tipo de armadura, y por lo tanto normalmente se aplicará la Condición B. La selección de ϕ para los anclajes incorporados al hormigón endurecido también depende de la categoría del anclaje determinada en base a los ensayos de evaluación de productos de ACI 355.2. Entre los ensayos de evaluación del producto de ACI 355.2 se realizan ensayos de confiabilidad del producto (por ejemplo, sensibilidad a las variables de la instalación), y los resultados se utilizan para establecer la categoría del anclaje. Como cada anclaje mecánico incorporado al hormigón endurecido puede ser asignado a una categoría diferente, se recomienda utilizar informes que contengan datos sobre el producto obtenidos mediante ensayos conforme a ACI 355.2. En la Tabla 34-3 se ilustra una planilla correspondiente a un modelo de informe.

La Tabla 34-4 resume los factores de reducción de la resistencia, ϕ , que se deben utilizar con las diferentes condiciones determinantes, ya sea para las combinaciones de carga de 9.2 o del Apéndice C.

D.5 REQUISITOS DE DISEÑO PARA CARGAS DE TRACCIÓN

Esta sección contiene métodos para determinar la resistencia nominal a la tracción controlada por la resistencia del acero y por las diferentes resistencias relacionadas con el anclaje en sí. La resistencia nominal a la tracción del acero se basa en la resistencia a la tracción especificada del acero, Ecuación (D-3). La resistencia nominal a la tracción del anclaje se basa en (1) la resistencia al desprendimiento del hormigón de un anclaje traccionado, Ecuación (D-4) para anclajes individuales o Ecuación (D-5) para grupos de anclajes; (2) la resistencia al arrancamiento de un anclaje por tracción, Ecuación (D-12); o (3) la resistencia al descascaramiento del recubrimiento lateral de hormigón de un anclaje traccionado, Ecuación (D-15) para anclajes individuales o Ecuación (D-16) para grupos de anclajes. Al combinar estas resistencias con los factores de reducción de la resistencia de D.4.4 o D.4.5, la menor de estas resistencias será la que determine la resistencia a tracción de diseño del anclaje.

Tabla 34-4 – Factores de reducción de la resistencia a utilizar con el Apéndice D

Resistencia determinada por	Factor de reducción de la resistencia, ϕ , a utilizar con las combinaciones de cargas de:			
	Sección 9.2		Apéndice C	
Elemento de acero dúctil				
Tracción, N_s	0,75		0,80	
Corte, V_s	0,65		0,75	
Elemento de acero frágil				
Tracción, N_s	0,65		0,70	
Corte, V_s	0,60		0,65	
Hormigón	Condición		Condición	
	A	B	A	B
Corte				
Desprendimiento del hormigón, V_{cb} y V_{cbg}	0,75	0,70	0,85	0,75
Arrancamiento del hormigón, V_{cp}	0,70	0,70	0,75	0,75
Tracción				
Pernos con cabeza, bulones con cabeza o bulones con gancho				
Desprendimiento del hormigón y descascamiento del recubrimiento lateral de hormigón, N_{cb} , N_{cbg} , N_{sb} y N_{sbg}	0,75	0,70	0,85	0,75
Arrancamiento del anclaje, N_{pn}	0,70	0,70	0,75	0,75
Anclajes incorporados al hormigón endurecido, clasificados de acuerdo con ACI 355.2 en las siguientes categorías:				
Categoría 1 (Baja sensibilidad a la incorporación al hormigón y elevada confiabilidad)				
Desprendimiento del hormigón y descascamiento del recubrimiento lateral de hormigón, N_{cb} , N_{cbg} , N_{sb} y N_{sbg}	0,75	0,65	0,85	0,75
Arrancamiento del anclaje, N_{pn}	0,65	0,65	0,75	0,75
Categoría 2 (Mediana sensibilidad a la incorporación al hormigón y mediana confiabilidad)				
Desprendimiento del hormigón y descascamiento del recubrimiento lateral de hormigón, N_{cb} , N_{cbg} , N_{sb} y N_{sbg}	0,65	0,55	0,75	0,65
Arrancamiento del anclaje, N_{pn}	0,55	0,55	0,65	0,65
Categoría 3 (Elevada sensibilidad a la incorporación al hormigón y baja confiabilidad)				
Desprendimiento del hormigón y descascamiento del recubrimiento lateral de hormigón, N_{cb} , N_{cbg} , N_{sb} y N_{sbg}	0,55	0,45	0,65	0,55
Arrancamiento del anclaje, N_{pn}	0,45	0,45	0,55	0,55

D.5.1 Resistencia a la tracción del acero de los anclajes

La resistencia a la tracción del acero se determina en base a la Ecuación (D-3), usando el área efectiva de la sección transversal del anclaje, A_{se} , y la resistencia a la tracción especificada del acero del anclaje, f_{ut} .

Para los anclajes hormigonados in situ (es decir para los anclajes roscados, pernos con cabeza y barras con gancho) el área efectiva de la sección transversal del anclaje, A_{se} , es el área neta traccionada (anclajes roscados) o el área bruta traccionada (pernos con rosca soldados a una placa de fijación). Estas áreas se indican en la Tabla 34-2. Para los anclajes de geometría no habitual la resistencia nominal del acero se puede tomar como el percentil 5 inferior obtenido de los resultados de ensayo. Para los anclajes mecánicos incorporados al hormigón endurecido, el área efectiva de la sección transversal del anclaje, A_{se} , se debe determinar a partir de los resultados de los ensayos de evaluación de productos de ACI 355.2. La Tabla 34-3 muestra un ejemplo.

Hay una limitación que establece que el valor de f_{ut} utilizado en la Ecuación (D-3) debe ser menor o igual que $1,9f_y$ ó 125.000 psi. La intención del límite de $1,9f_y$ impuesto a f_{ut} es asegurar que, bajo condiciones de carga de servicio, el anclaje no supere la

tensión de fluencia, y típicamente sólo es aplicable al acero inoxidable. El límite de 125.000 psi se fundamenta en la base de datos utilizada para desarrollar los requisitos del Apéndice D. La Tabla 34-1 contiene valores de f_y y f_{ut} correspondientes a los materiales típicamente utilizados para los anclajes. Observar que ninguna de las limitaciones se aplica a los materiales típicos incluidos en la Tabla 34-1. Para los anclajes fabricados conforme a especificaciones para los cuales se indica no un único valor sino un rango de resistencia a la tracción especificada f_{ut} (por ejemplo, ASTM F 1554), para calcular la resistencia de diseño se debe utilizar el valor límite inferior. Para los anclajes incorporados al hormigón endurecido, tanto f_y como f_{ut} se deben determinar en base a los resultados de los ensayos de evaluación de productos de ACI 355.2. La Tabla 34-3 muestra un ejemplo.

D.5.2 Resistencia al desprendimiento del hormigón de los anclajes traccionados

La Figura RD.4.1(a)(iii) ilustra una típica falla por desprendimiento del hormigón de un anclaje traccionado (falla de un cono de hormigón) correspondiente a un único anclaje con cabeza hormigonado in situ solicitado a tracción. La Ecuación (D-4) da la resistencia al desprendimiento del hormigón para un único anclaje, mientras que la Ecuación (D-5) da la resistencia al desprendimiento del hormigón para un grupo de anclajes traccionados.

A continuación discutimos cada uno de los términos de las Ecuaciones (D-4) y (D-5).

N_b = La resistencia básica al desprendimiento del hormigón de un anclaje traccionado, correspondiente a un anclaje individual alejado de los bordes y de otros anclajes (N_b) está dada por las Ecuaciones (D-7) o (D-8). Como se mencionó anteriormente, la principal diferencia entre estas dos ecuaciones y las del método del cono de 45 grados es el uso de $h_{ef}^{1.5}$ en la Ecuación (D-7) [o alternativamente $h_{ef}^{5/3}$ para los anclajes en los cuales $h_{ef} \geq 11$ in. en la Ecuación (D-8)] en lugar de h_{ef}^2 . El uso de $h_{ef}^{1.5}$ considera los principios de la mecánica de fractura, y se puede interpretar de la siguiente manera:

$$N_b = \frac{k \sqrt{f'_c} h_{ef}^2}{h_{ef}^{0.5}} \left[\frac{\text{ecuación general del método del cono de } 45^\circ}{\text{factor de modificación que considera la mecánica de fractura}} \right]$$

Con lo cual se obtiene

$$N_b = k \sqrt{f'_c} h_{ef}^{1.5} \quad \text{Ec. (D-7)}$$

El enfoque de la mecánica de fractura considera las elevadas tensiones de tracción que existen en el extremo empotrado del anclaje, mientras que otros enfoques (tales como el método del cono de 45 grados) asumen que las tensiones se distribuyen uniformemente sobre la superficie de falla supuesta.

La constante numérica k igual a 24 en la Ecuación (D-7) (o k igual a 16 en la Ecuación (D-8) si $h_{ef} \geq 11$ in.) se basa en el percentil 5 de los resultados obtenidos para anclajes con cabeza hormigonados in situ en hormigón fisurado. Se deben utilizar estos valores de k , a menos que mediante ensayos especiales se demuestre que se pueden aplicar valores de k más elevados. Observar que el ancho de fisura usado en los ensayos para establecer estos valores fue de 0,012 in. Si se anticipa la formación de fisuras de mayor ancho se debería colocar armadura de confinamiento para limitar el ancho de las fisuras a aproximadamente 0,012 in., o bien se deberían realizar ensayos especiales con fisuras de mayor ancho.

$\frac{A_N}{A_{No}}$ = Este factor toma en cuenta la presencia de anclajes adyacentes y/o la proximidad a los bordes libres. Para un anclaje

individual alejado de los bordes el término A_{No} es la proyección rectilínea de una superficie de falla a 35 grados sobre la superficie de hormigón, con sus lados a una distancia de $1,5h_{ef}$ de la línea de centro del anclaje [Figura RD.5.2.1(a)]. El término A_N es la proyección rectilínea de la superficie de falla a 35 grados sobre la superficie de hormigón, con sus lados a una distancia de $1,5h_{ef}$ de la línea de centro del anclaje o grupo de anclajes, o limitada por los anclajes adyacentes y/o los bordes libres. En la Figura RD.5.2.1(b) se ilustra la definición de A_N . Para un anclaje individual ubicado a una distancia mayor o igual que $1,5h_{ef}$ del borde libre más próximo A_N es igual a A_{No} .

Si para incrementar la superficie de apoyo de la cabeza de un anclaje se utiliza una placa o una arandela, el valor $1,5h_{ef}$ se puede medir a partir del perímetro efectivo de la placa o arandela. Este perímetro efectivo se define en D.5.2.7. Si se utiliza una placa o arandela, la superficie proyectada A_N se puede calcular proyectando la superficie de falla $1,5h_{ef}$ hacia afuera a partir del perímetro efectivo de la placa o arandela. Ver la Figura 34-1.

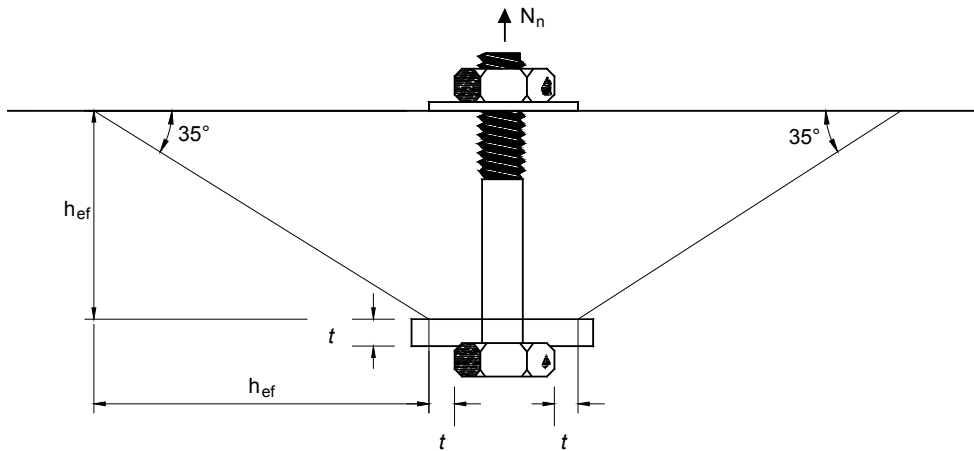


Figura 34-1 – Efecto de una arandela sobre la superficie de falla proyectada para el desprendimiento del hormigón por tracción

- ψ_1 = Este factor se aplica cuando hay múltiples filas de anclajes traccionados y se utiliza el enfoque de diseño elástico. En este caso se supone que cada fila individual de anclajes traccionados soporta diferentes niveles de carga con la resultante de la tracción aplicada con una excentricidad (e_n') respecto del baricentro de los anclajes traccionados. Si se utiliza el enfoque de diseño plástico se supone que todos los anclajes soportan la misma carga y el factor de excentricidad, ψ_1 , se toma igual a 1,0.
- ψ_2 = Este factor considera la distribución no uniforme de las tensiones para los anclajes ubicados próximos a un borde libre de hormigón.
- ψ_3 = Este factor se toma igual a 1,0 cuando el anclaje está ubicado en una zona de un elemento donde un análisis indica que es probable que haya fisuración. Si el análisis indica que no es probable que bajo cargas de servicio se produzca fisuración ($f_t < f_r$), ψ_3 se puede tomar igual a 1,25 para los anclajes hormigonados in situ o como 1,4 para los anclajes incorporados al hormigón endurecido.

D.5.3 Resistencia al arrancamiento de los anclajes por tracción

En la Figura RD.4.1(a)(ii) se ilustra un esquema del modo de falla por arrancamiento de un anclaje por tracción. La resistencia al arrancamiento de los anclajes hormigonados in situ se relaciona con la superficie de apoyo en el extremo empotrado, A_{brg} , y con las propiedades de los ganchos empotrados (e_h y d_o) para los anclajes en forma de J y los anclajes en forma de L. Obviamente, si un anclaje no tiene cabeza ni gancho, éste será arrancado del hormigón y no será capaz de desarrollar la resistencia al desprendimiento del hormigón en forma de cono (D.5.2). La Ecuación (D-12) indica el requisito general para la resistencia al arrancamiento de un anclaje por tracción, mientras que las Ecuaciones (D-13) y (D-14) indican los requisitos específicos para anclajes con cabeza y con gancho, respectivamente.

En el caso de los anclajes con cabeza, la superficie de apoyo de la cabeza empotrada (A_{brg}) es el área bruta de la cabeza menos el área bruta del vástago del anclaje (es decir, no es el área de la cabeza empotrada). Para aumentar la superficie de apoyo, A_{brg} , se pueden utilizar arandelas o placas cuya área sea mayor que la de la cabeza del anclaje; de este modo también aumentará la resistencia al arrancamiento del anclaje por tracción (ver D.5.2.7). En las regiones de peligrosidad sísmica moderada o elevada, o en las estructuras para las cuales se requiere un nivel de comportamiento o diseño sismorresistente intermedio o elevado, cuando un bulón con cabeza se diseña como un elemento de acero dúctil de acuerdo con D.3.3.4, puede ser necesario utilizar un bulón con una cabeza más grande o bien una arandela para aumentar la resistencia al arrancamiento de diseño, ϕN_{pn} , y asegurar

que el acero falle antes que falle la porción empotrada del anclaje. La Tabla 34-2 contiene valores de A_{brg} correspondientes a los bulones con cabeza, las tuercas y las arandelas más habituales. Las Tablas 34-5A, B y C se pueden utilizar para determinar rápidamente situaciones en las cuales un anclaje no proveerá una resistencia al arrancamiento adecuada, en cuyo caso se deberá aumentar el tamaño del anclaje.

Para los anclajes en J o en L, la longitud mínima del gancho medida desde la superficie interna del vástago del anclaje es $3d_o$, mientras que la longitud máxima para calcular la resistencia al arrancamiento del anclaje mediante la Ecuación (D-14) es $4,5d_o$. Excepto para los hormigones de alta resistencia, es difícil lograr para los anclajes con gancho una resistencia al arrancamiento de diseño que sea mayor o igual que la resistencia a la tracción de diseño del acero. Por ejemplo, un bulón con gancho de 1/2 in. de diámetro con la longitud máxima de gancho ($4,5d_o$) permitida para evaluar la resistencia al arrancamiento mediante la Ecuación (D-14) requiere una f_c como mínimo igual a 8700 psi para desarrollar la resistencia a la tracción de diseño de un anclaje ASTM A 307, Grado C, o ASTM F 1554, Grado 36 ($f_{ut} = 58$ ksi). Esto básicamente excluye el uso de anclajes con gancho en numerosas aplicaciones en las cuales hay cargas de tracción de origen sísmico, debido a las limitaciones de D.3.3.4 que establecen que la resistencia de una conexión debe ser controlada por la resistencia de los elementos de acero dúctil.

Para los anclajes incorporados al hormigón endurecido, el valor de la resistencia al arrancamiento de un anclaje por tracción, N_p , se debe determinar a partir de los resultados de los ensayos de evaluación de productos de ACI 355.2. Ver Tabla 34-3.

D.5.4 Descascaramiento del recubrimiento lateral de hormigón de los anclajes traccionados

La resistencia al descascaramiento del recubrimiento lateral de hormigón de un anclaje traccionado se relaciona con la presión lateral que se desarrolla alrededor de la cabeza empotrada de un anclaje cuando éste está solicitado a tracción. Si para un anclaje individual con cabeza la mínima distancia a un borde libre es menor que $0,4h_{ef}$, se debe considerar el descascaramiento del recubrimiento lateral de hormigón usando la Ecuación (D-15). Si el anclaje está ubicado de manera que la distancia a un borde libre perpendicular al borde libre más próximo es menor que tres veces la distancia entre el anclaje y el borde más próximo, a la Ecuación (D-15) se le debe aplicar un factor de reducción adicional igual a $[(1 + c_2)/c]/4$, siendo c la distancia al borde más próximo y c_2 la distancia al borde ortogonal.

La resistencia al descascaramiento del recubrimiento lateral de hormigón de un grupo de anclajes traccionados se puede calcular usando la Ecuación (D-15), siempre que la separación paralela a un borde libre entre los anclajes individuales sea mayor o igual que seis veces la distancia al borde. Si la separación de los anclajes es menor que seis veces la distancia al borde libre se debe utilizar la Ecuación (D-16).

D.6 REQUISITOS DE DISEÑO PARA CARGAS DE CORTE

En la sección D.6 se especifican métodos para determinar la resistencia nominal al corte controlada por la resistencia del acero y por las diferentes resistencias relacionadas con los anclajes en sí. La resistencia nominal al corte del acero se basa en la resistencia a la tracción especificada del acero, usando la Ecuación (D-17) para los pernos con cabeza, la Ecuación (D-18) para los bulones con cabeza y los bulones con gancho, y la Ecuación (D-19) para los anclajes incorporados al hormigón endurecido. La resistencia nominal al arrancamiento por corte del hormigón de un anclaje se basa en la resistencia al desprendimiento del hormigón de un anclaje por tracción [Ecuación (D-20) para los anclajes individuales o Ecuación (D-21) para los grupos de anclajes] o bien en la resistencia al arrancamiento del hormigón por corte [Ecuación (D-28)]. Al combinar estas resistencias con los factores de reducción de la resistencia de D.4.4, la menor de estas resistencias será la que determine la resistencia al corte de diseño del anclaje.

D.6.1 Resistencia al corte del acero de los anclajes

Para los anclajes hormigonados in situ la resistencia al corte del acero se determina mediante la Ecuación (D-17) si se trata de pernos con cabeza o mediante la Ecuación (D-18) si se trata de bulones con cabeza o bulones con gancho, usando el área efectiva de la sección transversal del anclaje, A_{se} , y la resistencia a tracción especificada del acero del anclaje, f_{ut} . Para los anclajes mecánicos incorporados al hormigón endurecido la resistencia al corte del acero se determina mediante la Ecuación (D-19) usando el área efectiva de la sección transversal del anclaje, A_{se} , y la resistencia a tracción especificada del acero del anclaje, f_{ut} . Si el anclaje mecánico incorporado al hormigón endurecido es un anclaje con camisa, y si la camisa atraviesa el

plano de corte, se puede utilizar un término adicional provisto en la Ecuación (D-19) que utiliza el área de la camisa, A_{sl} y la resistencia a la tracción especificada de la camisa, f_{utsl} .

Para los anclajes hormigonados in situ (es decir, para los anclajes con cabeza, los pernos con cabeza y las barras con gancho) el área efectiva de la sección transversal del anclaje (A_{se}) es el área neta traccionada (anclajes roscados) o el área bruta traccionada (pernos con cabeza soldados a una placa de fijación). Estas áreas se indican en la Tabla 34-2. Si los filetes de la rosca de un anclaje con cabeza están ubicados bastante por encima del plano de corte (como mínimo dos diámetros), para el corte se puede utilizar el área bruta del anclaje. Para los anclajes de geometría no habitual la resistencia nominal del acero se puede tomar como el percentil 5 inferior obtenido de los resultados de ensayo. Para los anclajes mecánicos incorporados al hormigón endurecido, el área efectiva de la sección transversal del anclaje, A_{se} , y el área efectiva de la sección transversal de la camisa, A_{sl} , se deben determinar a partir de los resultados de los ensayos de evaluación de productos de ACI 355.2. La Tabla 34-3 muestra un ejemplo.

Hay una limitación que establece que el valor de f_{ut} utilizado en las Ecuaciones (D-17), (D-18) y (D-19) debe ser menor o igual que $1.9f_y$ ó 125.000 psi. La intención del límite de $1.9f_y$ impuesto a f_{ut} es asegurar que, bajo condiciones de carga de servicio, el anclaje no supere la tensión de fluencia, y típicamente sólo es aplicable al acero inoxidable. El límite de 125.000 psi se fundamenta en la base de datos utilizada para desarrollar los requisitos del Apéndice D. La Tabla 34-1 contiene valores de f_y y f_{ut} correspondientes a los materiales típicamente utilizados para los anclajes. Observar que ninguna de las limitaciones se aplica a los materiales típicos incluidos en la Tabla 34-1. Para los anclajes fabricados conforme a especificaciones para los cuales se indica no un único valor sino un rango de resistencia a la tracción especificada f_{ut} (por ejemplo, ASTM F 1554), para calcular la resistencia de diseño se debe utilizar el valor límite inferior. Para los anclajes incorporados al hormigón endurecido, tanto f_y como f_{ut} y f_{utsl} se deben determinar en base a los resultados de los ensayos de evaluación de productos de ACI 355.2. La Tabla 34-3 muestra un ejemplo.

Si se utilizan asientos de mortero colocado en capas, los valores de la resistencia nominal al corte dados por las Ecuaciones (D-17), (D-18) y (D-19) se deben reducir un 20% para tomar en cuenta las tensiones de flexión que se desarrollan en el anclaje si el mortero se fractura al aplicar la carga de corte.

D.6.2 Resistencia al desprendimiento del hormigón de los anclajes por corte

La Figura RD.4.1(b)(iii) ilustra fallas típicas por desprendimiento del hormigón correspondientes a anclajes solicitados a un esfuerzo de corte dirigido hacia un borde libre. La Ecuación (D-20) da la resistencia al desprendimiento del hormigón para anclajes individuales, mientras que la Ecuación (D-21) corresponde a grupos de anclajes solicitados a corte. En aquellos casos en los cuales la dirección del esfuerzo de corte se aleja del borde libre no es necesario considerar la resistencia al desprendimiento del hormigón.

A continuación discutimos cada uno de los términos de las Ecuaciones (D-20) y (D-21).

V_b : La resistencia básica al desprendimiento del hormigón correspondiente a un único anclaje en hormigón fisurado solicitado a un esfuerzo de corte dirigido hacia un borde libre (V_b) que no tiene otros bordes libres adyacentes se calcula mediante la Ecuación (D-23) si se trata de una típica unión abulonada, o mediante la Ecuación (D-24) si se trata de una unión con pernos u otros anclajes soldados a una placa de fijación. La principal diferencia entre estas ecuaciones y las correspondientes al método del cono de 45 grados radica en el uso de $c_1^{1.5}$ en lugar de c_1^2 . El uso de $c_1^{1.5}$ considera los principios de la mecánica de fractura del mismo modo que lo hace $h_{ef}^{1.5}$ en el caso de los anclajes traccionados. El enfoque de la mecánica de fractura considera las elevadas tensiones de tracción que existen en el hormigón en el punto en el cual el anclaje ingresa al hormigón.

$\ell_1 d_o$: Los términos de las Ecuaciones (D-23) y (D-24) que contienen ℓ y d_o se relacionan con la rigidez al corte del anclaje. Los anclajes rígidos pueden distribuir la carga de corte aplicada mejor que los anclajes flexibles.

$\frac{A_v}{A_{v0}}$: Este factor toma en cuenta la presencia de anclajes adyacentes, el espesor del hormigón y los bordes libres. Para un único anclaje en un elemento de hormigón de gran espesor solicitado a corte dirigido hacia un borde libre, el término A_{v0} es la superficie proyectada, sobre el lado del elemento correspondiente al borde libre, de un plano de falla a 35 grados que comienza en el punto en el cual el anclaje ingresa al hormigón y se extiende hacia el borde libre [ver Figura

RD.6.2.1(a)]. El término A_v es la proyección rectilínea de la superficie del plano de falla a 35 grados, sobre el lado correspondiente al borde libre del elemento, que tiene sus lados a una distancia de $1,5h_{ef}$ del partir del punto donde el anclaje ingresa al hormigón, con las limitaciones impuestas por los anclajes adyacentes, el espesor del hormigón y los bordes libres. La Figura RD.6.2.1(b) ilustra la definición de A_v .

- ψ_5 : Este factor se aplica cuando la carga de corte aplicada no actúa en el baricentro de los anclajes solicitados a corte (carga excéntrica) [ver Figura RD.6.2.5].
- ψ_6 : Este factor toma en cuenta la distribución no uniforme de las tensiones en los anclajes ubicados en una esquina [ver Figura RD.6.2.1(d)].
- ψ_7 : Este factor se toma igual a 1,0 si el anclaje está ubicado en una zona de un elemento donde es probable que haya fisuración y no se ha dispuesto armadura suplementaria. Si el análisis indica que no es probable que se produzca fisuración ($f_t < f_r$ bajo cargas de servicio), ψ_7 se puede tomar igual a 1,4. Se pueden usar valores de $\psi_7 > 1,0$ aunque sea probable que haya fisuración bajo cargas de servicio, siempre y cuando se coloque armadura de borde consistente en barras No. 4 (ver D.6.2.7).

D.6.3 Resistencia al arrancamiento del hormigón de los anclajes por corte

La resistencia al arrancamiento del hormigón de un anclaje por corte puede ser determinante en el caso de los anclajes cortos y relativamente rígidos. La Figura RD.4.1(b)(ii) ilustra este modo de falla. Este modo de falla se puede visualizar si pensamos en una barra No. 8 que tiene 2 in. empotradas en el hormigón y 3 ft sobresaliendo del hormigón. Una leve presión en la parte superior de la barra hará que la barra "arranque" el hormigón.

D.7 INTERACCIÓN DE LOS ESFUERZOS DE TRACCIÓN Y CORTE

Los requisitos para la interacción entre los esfuerzos de tracción y corte se basan en una aproximación trilineal de la siguiente ecuación de interacción (ver Figura RD.7):

$$\left[\frac{N_u}{\phi N_n} \right]^{\frac{5}{3}} + \left[\frac{V_u}{\phi V_n} \right]^{\frac{5}{3}} = 1$$

En la simplificación trilineal, el artículo D.7.1 permite considerar la totalidad de ϕN_n si se verifica $V_u \leq 0,2\phi V_n$; el artículo D.7.2 permite considerar la totalidad de ϕV_n si se verifica $N_u \leq 0,2\phi N_n$. Si no se satisfacen estas condiciones se debe utilizar la ecuación de interacción lineal (D-29).

El aspecto más importante de los requisitos para la interacción entre los esfuerzos de tracción y corte es que tanto ϕN_n como ϕV_n se deben tomar como la menor de las resistencias del anclaje, ya sea de aquellas controladas por la resistencia del acero o de aquellas relacionadas con el hormigón. Ensayos realizados han demostrado que la relación de interacción es válida cualquiera sea la resistencia que controla los valores de ϕN_n o ϕV_n .

D.8 DISTANCIAS A LOS BORDES, SEPARACIONES Y ESPESORES REQUERIDOS PARA IMPEDIR LA FALLA POR HENDIMIENTO

La sección D.8 contiene requisitos sobre distancias mínimas a los bordes, separaciones mínimas y espesores mínimos de los elementos cuyo objetivo es impedir la potencial falla por hendimiento de los elementos estructurales. Para los anclajes hormigonados in situ no sometidos a torque (por ejemplo para los pernos con cabeza o los bulones con cabeza que no se someten a una precarga elevada después de instalar el dispositivo de fijación), la distancia mínima a los bordes y el espesor del elemento se deben establecer en base a los requisitos de recubrimiento de hormigón especificados en la sección 7.7, y la mínima separación de los anclajes es de $4d_b$. Para los anclajes hormigonados in situ sometidos a torque (por ejemplo para los

bulones con cabeza que se someten a una precarga elevada una vez que el dispositivo de fijación está instalado), la distancia mínima a los bordes y la separación mínima son de $6d_o$, y el espesor mínimo del elemento se debe determinar en base a los requisitos de recubrimiento de hormigón especificados en la sección 7.7.

Durante su instalación los anclajes mecánicos incorporados al hormigón endurecido pueden ejercer grandes presiones laterales sobre el dispositivo de expansión empotrado, y estas presiones pueden provocar una falla por hendimiento. En el caso de los anclajes mecánicos incorporados al hormigón endurecido, las distancias mínimas a los bordes, las separaciones mínimas y el espesor mínimo del elemento se deben determinar en base a los resultados de ensayos específicos de cada producto desarrollados de acuerdo con los ensayos de evaluación de productos especificados en ACI 355.2. En la Tabla 34-3 se ilustra un ejemplo. Si no se dispone de resultados de ensayos específicos para el producto considerado se deberían utilizar los siguientes valores: una separación mínima para los anclajes de $6d_o$; una distancia mínima a los bordes de $6d_o$ para los anclajes rebajados, $8d_o$ para los anclajes controlados por el torque, y $10d_o$ para los anclajes controlados por el desplazamiento; y un espesor mínimo del elemento igual a $1.5h_{ef}$, aunque no es necesario que este valor sea mayor que h_{ef} más 4 in. La norma ACI 355.2 (Referencia 34.4) contiene ejemplos de cada uno de estos tipos de anclajes. En todos los casos la distancia mínima a los bordes y el espesor del elemento deben satisfacer los requisitos de recubrimiento mínimo de hormigón indicados en 7.7.

Para los anclajes no sometidos a torque, D.8.4 presenta un método que permite utilizar un anclaje de gran diámetro próximo a un borde, o anclajes con una separación menor que la requerida por los artículos D.8.1 a D.8.3. En este caso, para evaluar la resistencia del anclaje y para determinar la mínima distancia a los bordes y la separación mínima requerida, se utiliza un diámetro de anclaje ficticio, d'_o .

D.9 INSTALACIÓN DE LOS ANCLAJES

Los anclajes hormigonados in situ se deben instalar de acuerdo con la documentación de obra. Para los anclajes roscados se debería utilizar una plantilla de metal o madera colocada sobre la superficie de hormigón, con tuercas a cada lado, para así sostener a los anclajes en la posición correcta mientras se coloca el hormigón, se lo compacta y endurece. Las especificaciones del proyecto deberían exigir que los anclajes incorporados al hormigón endurecido se instalen de acuerdo con las instrucciones del fabricante. Como se observa en la sección RD.9, los ensayos para la evaluación de productos de acuerdo con ACI 355.2 se basan en las instrucciones de instalación del fabricante. Entre los ensayos de evaluación de productos de ACI 355.2 se realizan ensayos de confiabilidad (por ejemplo, sensibilidad a las variables de la instalación), y estos resultados se utilizan para establecer la categoría de los anclajes. En base a esta categoría se selecciona el factor ϕ (D.4.4).

TABLAS DE DISEÑO PARA ANCLAJES INDIVIDUALES HORMIGONADOS IN SITU

Incluimos algunas tablas que servirán de ayuda para diseñar anclajes individuales solicitados a cargas de tracción o de corte. Las Tablas 34-5A, B y C dan las resistencias a la tracción de diseño, ϕN_n , para anclajes individuales en hormigón con f'_c de 2500, 4000 y 6000 psi, respectivamente. Las Tablas 34-6A, B y C dan las resistencias al corte de diseño, ϕV_n , para anclajes individuales con f'_c de 2500, 4000 y 6000 psi, respectivamente. También se incluyen algunas resistencias a la tracción especificadas del acero, f_{ut} , que abarcan la mayor parte de los materiales que se utilizan en la actualidad. Cada grupo de tablas viene acompañado por notas que explican las hipótesis utilizadas para desarrollar las tablas y cómo ajustar los valores para condiciones que difieren de las supuestas.

De acuerdo con D.8.2, las distancias mínimas a los bordes para los anclajes con cabeza hormigonados in situ no sometidos a torque se deben basar en el recubrimiento mínimo de hormigón indicado en la sección 7.7. Por lo tanto, técnicamente el recubrimiento de hormigón puede ser de muy poco espesor, hasta 3/4 in. Si el recubrimiento sobre vástago del anclaje es así de pequeño, la cabeza del anclaje terminará teniendo un recubrimiento menor que 3/4 in. Por motivos de protección contra la corrosión y para considerar las tolerancias de la instalación (ubicación y alineación) de los anclajes, se recomienda proveer para los anclajes hormigonados in situ un recubrimiento mínimo de hormigón de 1-1/2 in. Las Tablas 34-5 y 34-6 incluyen las resistencias de diseño para anclajes hormigonados in situ que tienen un recubrimiento mínimo de 1-1/2 in.

NOTAS PARA LAS TABLAS 34-5A, B y C

NP – No practicable. Con la distancia a los bordes resultante, c , se obtiene un recubrimiento de menos de 3/4 in.

Toda la Simbología es igual a la utilizada en la sección D.0 del Apéndice D de ACI 318-02.

1. Las resistencias de diseño indicadas en las tablas corresponden a un anclaje individual hormigonado in situ, que solamente está próximo a un borde. Los valores no se aplican si la distancia entre anclajes adyacentes es menor que $3h_{ef}$, o si la distancia perpendicular, c_2 , a la distancia al borde considerada, c_1 , es menor que $1,5h_{ef}$.
2. En las regiones de peligrosidad sísmica moderada o elevada (Zonas 2, 3 ó 4, de acuerdo con el UBC), o en las estructuras para las cuales se requiere un nivel de comportamiento o diseño sismorresistente intermedio o elevado (Categorías C, D, E o F, de acuerdo con el IBC), las resistencias de diseño de las tablas se deben reducir un 25%. Además, el anclaje se debe diseñar de manera que su resistencia sea gobernada por un elemento de acero dúctil, a menos que se satisfaga el artículo D.3.3.5. Por lo tanto, las resistencias de diseño basadas en los tres modos de falla del hormigón, ϕN_{cb} , ϕN_{pn} y ϕN_{sb} , deben ser mayores o iguales que la resistencia de diseño del acero a tracción, ϕN_s . Este requisito prohíbe usar bulones de anclaje con ganchos en las zonas sísmicas mencionadas.
3. Para los fines del diseño la resistencia a la tracción del acero del anclaje, f_{ut} , debe ser menor o igual que $1,9f_y$ ó 125.000 psi.
4. Las resistencias de diseño indicadas en las tablas se basan en el factor de reducción de la resistencia, ϕ , de la sección D.4.4. La carga de tracción mayorada N_u se debe calcular usando las combinaciones de cargas especificadas en 9.2. Las resistencias de diseño para el desprendimiento del hormigón de un anclaje, ϕN_{cb} , arrancamiento del anclaje, ϕN_{pn} , y descascaramiento del recubrimiento lateral de hormigón, ϕN_{sb} , se basan en la Condición B. Si se dispone armadura suplementaria para satisfacer la Condición A, las resistencias de diseño para ϕN_{cb} y ϕN_{sb} se pueden incrementar 7,1% para considerar que el factor de reducción de la resistencia se incrementa de 0,70 a 0,75. Este incremento no se aplica a la resistencia al arrancamiento del anclaje, ϕN_{pn} .
5. Las resistencias de diseño para el desprendimiento del hormigón por tracción, ϕN_{cb} , se basan en N_b determinado de acuerdo con la Ecuación (D-7), y se aplican para anclajes con cabeza y con gancho. Para determinar la resistencia de diseño de los bulones con cabeza para los cuales la longitud de empotramiento, h_{ef} , es mayor que 11 in. de acuerdo con la Ecuación (D-8), multiplicar el valor tabulado por $[2 (h_{ef}^{5/3})] / [3 (h_{ef}^{1,5})]$.
6. Si un análisis indica que bajo cargas de servicio no habrá fisuración en la región del anclaje ($f_t < f_r$), las resistencias de diseño para el desprendimiento del hormigón por tracción, ϕN_{cb} , se pueden aumentar un 25%.
7. Las resistencias de diseño para el arrancamiento del anclaje por tracción, ϕN_{pn} , correspondientes a bulones con cabeza cuyo diámetro, d_o , es menor que 1-3/4 in. se basan en bulones con cabeza hexagonal regular. Las resistencias de diseño correspondientes a los bulones de 1-3/4 y 2 in. se basan en bulones con cabeza hexagonal pesada. En el caso de los bulones en los cuales d_o es menor que 1-3/4 in. y cuyas cabezas tienen una superficie de apoyo, A_{brg} , mayor que la supuesta, las resistencias de diseño se pueden incrementar multiplicando por la superficie de apoyo real de la cabeza y luego dividiendo por la superficie de apoyo de la cabeza hexagonal regular.
8. Las resistencias de diseño para el arrancamiento del anclaje por tracción, ϕN_{pn} , correspondiente a bulones con gancho en los cuales la longitud del gancho, e_h , está comprendida entre 3 y 4,5 veces el diámetro, d_o , se pueden determinar por interpolación.
9. Si un análisis indica que bajo cargas de servicio no habrá fisuración en la región del anclaje ($f_t < f_r$), las resistencias de diseño para el arrancamiento del anclaje por tracción, ϕN_{pn} , se pueden aumentar un 40%.
10. Las resistencias de diseño para el descascaramiento del recubrimiento lateral de hormigón por tracción, ϕN_{sb} , se aplican a los bulones con cabeza solamente cuando la distancia al borde, c , es menor que $0,4h_{ef}$. Los valores correspondientes a $0,4h_{ef}$ solamente se incluyen para permitir la interpolación. Las resistencias de diseño correspondientes a los bulones en los cuales el diámetro, d_o , es menor que 1-3/4 in. se basan en bulones con cabeza hexagonal regular. Las resistencias de diseño correspondientes a los bulones de 1-3/4 y 2 in. se basan en bulones con cabeza hexagonal pesada. En el caso de los bulones en los cuales d_o es menor que 1-3/4 in. y cuyas cabezas tienen una superficie de apoyo, A_{brg} , mayor que la supuesta, las resistencias de diseño se pueden incrementar multiplicando por la raíz cuadrada del cociente que resulta de dividir la superficie de apoyo real de la cabeza por la superficie de apoyo de la cabeza hexagonal regular ($\sqrt{A_{brg2} / A_{brg1}}$).

NOTAS PARA LAS TABLAS 34-6A, B y C

NP – No practicable. Con la distancia a los bordes resultante, c , se obtiene un recubrimiento de menos de 3/4 in.

Toda la Simbología es igual a la utilizada en la sección D.0 del Apéndice D de ACI 318-02.

1. Las resistencias de diseño indicadas en las tablas corresponden a anclajes individuales hormigonados in situ, que solamente están próximos a un borde. Los valores no se aplican si la distancia a un borde medida de forma perpendicular a c_1 es menor que $1,5c_1$. Ver Nota 9.

Los valores no se aplican si la distancia entre anclajes adyacentes es menor que $3c_1$, siendo c_1 la distancia entre el centro del anclaje y el borde en la dirección del corte aplicado.

2. En las regiones de peligrosidad sísmica moderada o elevada (Zonas 2, 3 ó 4, de acuerdo con el UBC), o en las estructuras para las cuales se requiere un nivel de comportamiento o diseño sismorresistente intermedio o elevado (Categorías C, D, E o F, de acuerdo con el IBC), las resistencias de diseño de las tablas se deben reducir un 25%. Además, el anclaje se debe diseñar de manera que la falla sea iniciada por un elemento de acero dúctil, a menos que se satisfaga el artículo D.3.3.5. Esto significa que todas las resistencias de diseño basadas en los dos modos de falla del hormigón, ϕV_{cb} y ϕV_{cp} , deben ser mayores o iguales que la resistencia de diseño del acero al corte, ϕV_s .
3. La resistencia al arrancamiento del hormigón del anclaje por corte, ϕV_{cp} , se debe tomar igual a la resistencia al desprendimiento del hormigón por tracción, ϕN_{cb} , cuando h_{ef} es menor que 2,5 in., e igual a dos veces ϕN_{cb} cuando h_{ef} es mayor o igual que 2,5 in. Se debe suponer la Condición B (ver D.4.4) aún cuando haya armadura suplementaria que permita calificar para la Condición A (es decir, el factor de reducción de la resistencia, ϕ , se debe tomar igual a 0,70).
4. Para los fines del diseño la resistencia a la tracción del acero del anclaje, f_{ut} , debe ser menor o igual que $1,9f_y$ ó 125.000 psi.
5. Las resistencias de diseño indicadas en las tablas se basan en el factor de reducción de la resistencia, ϕ , de la sección D.4.4. Las cargas de corte mayoradas se deben calcular usando las combinaciones de cargas de 9.2. Las resistencias de diseño para el desprendimiento del hormigón del anclaje, V_{cb} , se basan en la Condición B. Si se coloca armadura suplementaria de manera de satisfacer la Condición A, las resistencias de diseño se pueden incrementar 7,1% para considerar que el factor de reducción de la resistencia se incrementa de 0,70 a 0,75.
6. Si un análisis indica que bajo cargas de servicio no habrá fisuración en la región del anclaje ($f_t < f_r$), las resistencias de diseño para el desprendimiento del hormigón en corte, ϕV_{cb} , se puede aumentar un 40%.
7. En las regiones de un elemento donde un análisis indica que bajo cargas de servicio habrá fisuración, las resistencias dadas para la resistencia al desprendimiento del hormigón, ϕV_{cb} , se puede incrementar de acuerdo con los factores especificados en el artículo D.6.2.7, siempre que se disponga armadura de borde de acuerdo con dicho artículo.
8. Las resistencias de diseño para el desprendimiento del hormigón, ϕV_{cb} , se basan en una carga de corte aplicada de forma perpendicular al borde. Si la carga se aplica de forma paralela al borde las resistencias se pueden incrementar un 100%.
9. Si el anclaje está ubicado cerca de una esquina y la distancia al borde perpendicular a la dirección del corte, c_2 , es menor que $1,5c_1$, las resistencias de diseño para el desprendimiento del hormigón, ϕV_{cb} , se deben reducir multiplicándolas por el factor de modificación ψ_6 determinado de la Ecuación (D-27). Los valores calculados en la tabla no se aplican si hay dos distancias a los bordes perpendiculares a la dirección del corte, c_2 , menores que $1,5c_1$. Ver D.6.2.4.
10. Este valor del espesor, h , no es posible porque la cabeza o el gancho se proyectarían por debajo de la superficie inferior del hormigón. Fue elegido para facilitar el cálculo mental de la distancia real al borde, c_1 , ya que el valor usado en los cálculos, c_1 , depende de la longitud de empotramiento, h_{ef} .
11. Está permitido interpolar linealmente para obtener valores intermedios de la distancia a los bordes, c_1 . Interpolar linealmente entre los valores de la longitud de empotramiento, h_{ef} , es una práctica no conservadora.
12. Para un recubrimiento de hormigón de 3/4 in. y para $c_1 = 0,25h_{ef}$ y $0,50h_{ef}$, ver la parte de la tabla correspondiente a $h = h_{ef}$.
13. Para un recubrimiento de hormigón de 3/4 in. y para $c_1 = 0,25h_{ef}$ y $0,50h_{ef}$, ver la parte de la tabla correspondiente a $h = h_{ef}$. Para $c_1 = h_{ef}$, ver la parte de la tabla correspondiente a $h = 1,5h_{ef}$.

Tabla 34-5A. Resistencias de diseño para anclajes individuales hormigonados in situ solicitados a cargas de tracción ($f_c = 2500$ psi)^{1,2,4}
(Las Notas referidas a esta tabla se encuentran en la página 34-15)

d _o in.	h _{ef} in.	ϕN _s – Resistencia a la tracción del anclaje							ϕN _{cb} – Desprendimiento del hormigón por tracción ^{4,5,6}					ϕN _{pn} – Arrancamiento del anclaje ⁹			ϕN _{ab} – Descascaramiento lateral ^{4,10}		
		f _{ut} – para los fines del diseño ³ - psi							c – Distancia a los bordes - in.					Cabeza ⁷	Gancho en "J" o "L" ⁸		c – Distancia a los bordes - in.		
		58.000	60.000	75.000	90.000	105.000	120.000	125.000	Recubr. 1-1/2-in.	0,25h _{ef}	0,5h _{ef}	h _{ef}	≥1,5h _{ef}		e _h = 3d _o	e _h = 4,5d _o	Recubrimiento 1-1/2-in.	0,25 h _{ef}	0,4 h _{ef}
1/4	2	1.392	1.440	1.800	2.160	2.520	2.880	3.000	1.580	NP	NP	1.782	2.376	1.638	295	443	3.113	NP	NP
	3	1.392	1.440	1.800	2.160	2.520	2.880	3.000	2.401	NP	NP	3.274	4.365	1.638	295	443	3.113	NP	NP
	4	1.392	1.440	1.800	2.160	2.520	2.880	3.000	3.336	NP	3.584	5.040	6.720	1.638	295	443	3.113	NP	NP
	5	1.392	1.140	1.800	2.160	2.520	2.880	3.000	4.371	NP	5.009	7.044	9.391	1.638	295	443	3.113	NP	3.831
	6	1.392	1.440	1.800	2.160	2.520	2.880	3.000	5.496	NP	6.584	9.259	12.345	1.638	295	443	3.113	NP	4.597
3/8	2	3.393	3.510	4.388	5.265	6.143	7.020	7.313	1.613	NP	NP	1.782	2.376	2.296	664	997	3.827	NP	NP
	3	3.393	3.510	4.388	5.265	6.143	7.020	7.313	2.438	NP	NP	3.274	4.365	2.296	664	997	3.827	NP	NP
	4	3.393	3.510	4.388	5.265	6.143	7.020	7.313	3.377	NP	3.584	5.040	6.720	2.296	664	997	3.827	NP	NP
	5	3.393	3.510	4.338	5.265	6.143	7.020	7.313	4.415	NP	5.009	7.044	9.391	2.296	664	997	3.827	NP	4.536
	6	3.393	3.510	4.388	5.265	6.143	7.020	7.313	5.543	NP	6.584	9.259	12.345	2.296	664	997	3.827	NP	5.443
1/2	2	6.177	6.390	7.988	9.585	11.183	12.780	13.313	1.646	NP	NP	1.782	2.376	4.074	1.181	1.772	5.287	NP	NP
	3	6.177	6.390	7.988	9.585	11.183	12.780	13.313	2.475	NP	NP	3.274	4.365	4.074	1.181	1.772	5.287	NP	NP
	4	6.177	6.390	7.988	9.585	11.183	12.780	13.313	3.418	NP	3.584	5.040	6.720	4.074	1.181	1.772	5.287	NP	NP
	5	6.177	6.390	7.988	9.585	11.183	12.780	13.313	4.459	NP	5.009	7.044	9.391	4.074	1.181	1.772	5.287	NP	6.042
	6	6.177	6.390	7.988	9.585	11.183	12.780	13.313	5.591	NP	6.584	9.259	12.345	4.074	1.181	1.772	5.287	NP	7.250
	7	6.177	6.390	7.988	9.585	11.183	12.780	13.313	6.806	6.806	8.297	11.668	15.557	4.074	1.181	1.772	5.287	5.287	8.458
5/8	8	6.177	6.390	7.988	9.585	11.183	12.780	13.313	8.099	8.316	10.137	14.255	19.007	4.074	1.181	1.772	5.287	6.042	9.667
	3	9.831	10.170	12.713	15.255	17.798	20.340	21.188	2.513	NP	NP	3.274	4.365	6.356	1.846	2.769	6.839	NP	NP
	4	9.831	10.170	12.713	15.255	17.798	20.340	21.188	3.459	NP	3.584	5.040	6.720	6.356	1.846	2.769	6.839	NP	NP
	5	9.831	10.170	12.713	15.255	17.798	20.340	21.188	4.504	NP	5.009	7.044	9.391	6.356	1.846	2.769	6.839	NP	7.547
	6	9.831	10.170	12.713	15.255	17.798	20.340	21.188	5.639	NP	6.584	9.259	12.345	6.356	1.846	2.769	6.839	NP	9.056
	7	9.831	10.170	12.713	15.255	17.798	20.340	21.188	6.857	NP	8.297	11.668	15.557	6.356	1.846	2.769	6.839	NP	10.565
	8	9.831	10.170	12.713	15.255	17.798	20.340	21.188	8.153	8.316	10.137	14.255	19.007	6.356	1.846	2.769	6.839	7.547	12.074
	9	9.831	10.170	12.713	15.255	17.798	20.340	21.188	9.522	9.923	12.096	17.010	22.680	6.356	1.846	2.769	6.839	8.490	13.584
3/4	10	9.831	10.170	12.713	15.255	17.798	20.340	21.188	10.960	11.621	14.167	19.922	26.563	6.356	1.846	2.769	6.839	9.433	15.093
	4	14.529	15.030	18.788	22.545	26.303	30.060	31.313	3.500	NP	3.584	5.040	6.720	9.156	2.658	3.987	8.491	NP	NP
	5	14.529	15.030	18.788	22.545	26.303	30.060	31.313	4.549	NP	5.009	7.044	9.391	9.156	2.658	3.987	8.491	NP	9.057
	6	14.529	15.030	18.788	22.545	26.303	30.060	31.313	5.687	NP	6.584	9.259	12.345	9.156	2.658	3.987	8.491	NP	10.869
	7	14.529	15.030	18.788	22.545	26.303	30.060	31.313	6.908	NP	8.297	11.668	15.557	9.156	2.658	3.987	8.491	NP	12.680
	8	14.529	15.030	18.788	22.545	26.303	30.060	31.313	8.207	8.316	10.137	14.255	19.007	9.156	2.658	3.987	8.491	9.057	14.492
	9	14.529	15.030	18.788	22.545	26.303	30.060	31.313	9.579	9.923	12.096	17.010	22.680	9.156	2.658	3.987	8.491	10.190	16.303
7/8	10	14.529	15.030	18.788	22.545	26.303	30.060	31.313	11.020	11.621	14.167	19.922	26.563	9.156	2.658	3.987	8.491	11.322	18.115
	12	14.529	15.030	18.788	22.545	26.303	30.060	31.313	14.097	15.277	18.623	26.189	34.918	9.156	2.658	3.987	8.491	13.586	21.738
	4	14.529	15.030	18.788	22.545	26.303	30.060	31.313	3.500	NP	3.584	5.040	6.720	9.156	2.658	3.987	8.491	NP	NP
	6	20.097	20.790	25.988	31.185	36.383	41.580	43.313	3.736	NP	6.584	9.259	12.345	12.474	3.618	5.426	10.242	NP	12.686
	8	20.097	20.790	25.988	31.185	36.383	41.580	43.313	8.261	8.316	10.137	14.255	19.007	12.474	3.618	5.426	10.242	10.572	16.915
	12	20.097	20.790	25.988	31.185	36.383	41.580	43.313	14.161	15.277	18.623	26.189	34.918	12.474	3.618	5.426	10.242	15.858	25.573
	15	20.097	20.790	25.988	31.185	36.383	41.580	43.313	19.235	21.350	26.026	36.600	48.800	12.474	3.618	5.426	10.242	19.822	31.716
1	18	20.097	20.790	25.988	31.185	36.383	41.580	43.313	24.803	28.065	34.213	48.112	64.149	12.474	3.618	5.426	10.242	23.787	38.059
	25																		
1	6	6.361	27.270	34.088	40.905	47.723	54.540	56.813	5.784	NP	6.584	9.259	12.345	16.282	4.725	7.088	12.078	NP	14.494
	9	26.361	27.270	34.088	40.905	47.723	54.540	56.813	9.963	9.923	12.096	17.010	22.680	16.282	4.725	7.088	12.078	13.588	21.741

d _o in.	h _{ef} in.	φN _s – Resistencia a la tracción del anclaje							φN _{cb} – Desprendimiento del hormigón por tracción ^{4,5,6}					φN _{pn} – Arrancamiento del anclaje ⁹			φN _{ab} – Descascaramiento lateral ^{4,10}		
		f _{ut} – para los fines del diseño ³ - psi							c – Distancia a los bordes - in.					Gancho en "J" o "L" ⁸			c – Distancia a los bordes - in.		
		58.000	60.000	75.000	90.000	105.000	120.000	125.000	Recubr. 1-1/2-in.	0,25h _{ef}	0,5h _{ef}	h _{ef}	≥1,5h _{ef}	Cabeza ⁷	e _h = 3d _o	e _h = 4,5d _o	Recubrimiento 1-1/2-in.	0,25 h _{ef}	0,4 h _{ef}
	12	26.361	27.270	34.088	40.905	47.723	54.540	56.813	14.226	15.277	18.623	26.189	34.918	16.282	4.725	7.088	12.078	18.118	28.988
	15	26.361	27.270	34.088	40.905	47.723	54.540	56.813	19.307	21.350	26.026	36.600	48.800	16.282	4.725	7.088	12.078	22.647	36.235
	18	26.361	27.270	34.088	40.905	47.723	54.540	56.813	24.881	28.065	34.213	48.112	64.149	16.282	4.725	7.088	12.078	27.176	43.482
	21	26.361	27.270	34.088	40.905	47.723	54.540	56.813	30.908	35.366	43.113	60.627	80.837	16.282	4.725	7.088	12.078	31.706	50.729
	25	26.361	27.270	34.088	40.905	47.723	54.540	56.813	39.595	45.938	56.000	78.750	105.000	16.282	4.725	7.088	12.078	37.745	60.392
1-1/8	6	33.191	34.335	42.919	51.503	60.086	68.670	71.531	5.833	NP	6.584	9.259	12.345	20.608	5.980	8.970	14.013	NP	16.306
	9	33.191	34.335	42.919	51.503	60.086	68.670	71.531	9.750	9.923	12.096	17.010	22.680	20.608	5.980	8.970	14.013	15.287	24.459
	12	33.191	34.335	42.919	51.503	60.086	68.670	71.531	14.291	15.277	18.623	26.189	34.918	20.608	5.980	8.970	14.013	20.383	32.612
	15	33.191	34.335	42.919	51.503	60.086	68.670	71.531	19.378	21.350	26.026	36.600	48.800	20.608	5.980	8.970	14.013	25.478	40.766
	18	33.191	34.335	42.919	51.503	60.086	68.670	71.531	24.958	28.065	34.213	48.112	64.149	20.608	5.980	8.970	14.013	30.574	48.919
	21	33.191	34.335	42.919	51.503	60.086	68.670	71.531	30.991	35.366	43.113	60.627	80.837	20.608	5.980	8.970	14.013	35.670	57.072
1-1/4	6	42.152	43.605	54.506	65.408	76.309	87.210	90.844	5.882	NP	6.584	9.259	12.345	25.438	7.383	11.074	16.041	NP	18.117
	9	42.152	43.605	54.506	65.408	76.309	87.210	90.844	9.807	9.923	12.096	17.010	22.680	25.438	7.383	11.074	16.041	16.984	27.175
	12	42.152	43.605	54.506	65.408	76.309	87.210	90.844	14.355	15.277	18.623	26.189	34.918	25.438	7.383	11.074	16.041	22.646	36.233
	15	42.152	43.605	54.506	65.408	76.309	87.210	90.844	19.450	21.350	26.026	36.600	48.800	25.438	7.383	11.074	16.041	28.307	45.292
	18	42.152	43.605	54.506	65.408	76.309	87.210	90.844	25.036	28.065	34.213	48.112	64.149	25.438	7.383	11.074	16.041	33.969	54.350
	21	42.152	43.605	54.506	65.408	76.309	87.210	90.844	31.075	35.366	43.113	60.627	80.837	25.438	7.383	11.074	16.041	39.630	63.408
1-3/8	6	50.460	52.200	65.250	78.300	91.350	104.400	108.750	5.931	NP	6.584	9.259	12.345	30.786	8.933	13.400	18.166	NP	19.930
	9	50.460	52.200	65.250	78.300	91.350	104.400	108.750	9.865	9.923	12.096	17.010	22.680	30.786	8.933	13.400	18.166	18.685	29.895
	12	50.460	52.200	65.250	78.300	91.350	104.400	108.750	14.420	15.277	18.623	26.189	34.918	30.786	8.933	13.400	18.166	24.913	39.860
	15	50.460	52.200	65.250	78.300	91.350	104.400	108.750	19.521	21.350	26.026	36.600	48.800	30.786	8.933	13.400	18.166	31.141	49.826
	18	50.460	52.200	65.250	78.300	91.350	104.400	108.750	25.114	28.065	34.213	48.112	64.149	30.786	8.933	13.400	18.166	37.369	59.791
	21	50.460	52.200	65.250	78.300	91.350	104.400	108.750	31.158	35.366	43.113	60.627	80.837	30.786	8.933	13.400	18.166	43.597	69.756
1-1/2	6	50.460	52.200	65.250	78.300	91.350	104.400	108.750	39.866	45.938	56.000	78.750	105.000	30.786	8.933	13.400	18.166	51.902	83.043
	12	61.335	63.450	79.313	95.175	111.308	126.900	132.188	14.486	15.277	18.623	26.189	34.918	36.638	10.631	15.947	20.383	27.178	43.484
	15	61.335	63.450	79.313	95.175	111.308	126.900	132.188	19.593	21.350	26.026	36.600	48.800	36.638	10.631	15.947	20.383	33.972	54.355
	18	61.335	63.450	79.313	95.175	111.308	126.900	132.188	25.192	28.065	34.213	48.112	64.149	36.638	10.631	15.947	20.383	40.766	65.226
	21	61.335	63.450	79.313	95.175	111.308	126.900	132.188	31.242	35.366	43.113	60.627	80.837	36.638	10.631	15.947	20.383	47.561	76.097
1-3/4	6	61.335	63.450	79.313	95.175	111.308	126.900	132.188	39.957	45.938	56.000	78.750	105.000	36.638	10.631	15.947	20.383	56.620	90.592
	12	82.650	85.500	106.875	128.250	149.625	171.000	178.125	14.616	15.277	18.623	26.189	34.918	58.016	14.470	21.705	27.075	34.199	54.719
	15	82.650	85.500	106.875	128.250	149.625	171.000	178.125	19.737	21.350	26.026	36.600	48.800	58.016	14.470	21.705	27.075	42.749	68.399
	18	82.650	85.500	106.875	128.250	149.625	171.000	178.125	25.348	28.065	34.213	48.112	64.149	58.016	14.470	21.705	27.075	51.299	82.079
	21	82.650	85.500	106.875	128.250	149.625	171.000	178.125	31.409	35.366	43.113	60.627	80.837	58.016	14.470	21.705	27.075	59.849	95.758
2	6	82.650	85.500	106.875	128.250	149.625	171.000	178.125	40.138	45.938	56.000	78.750	105.000	58.016	14.470	21.705	27.075	71.249	113.998
	12	108.750	112.500	140.625	168.750	196.875	225.000	234.375	14.747	15.277	18.623	26.189	34.918	74.424	18.900	28.350	32.279	38.735	61.976
	15	108.750	112.500	140.625	168.750	196.875	225.000	234.375	19.881	21.350	26.026	36.600	48.800	74.424	18.900	28.350	32.279	48.419	77.470
	18	108.750	112.500	140.625	168.750	196.875	225.000	234.375	25.504	28.065	34.213	48.112	65.149	74.424	18.900	28.350	32.279	58.102	92.964
	21																		
	25																		

Tabla 34-5B. Resistencias de diseño para anclajes individuales hormigonados in situ solicitados a cargas de tracción ($f_c = 4000$ psi)^{1,2,4}
(Las Notas referidas a esta tabla se encuentran en la página 34-15)

d_o in.	h_{ef} in.	ϕN_s – Resistencia a la tracción del anclaje							ϕN_{cb} – Desprendimiento del hormigón por tracción ^{4,5,6}					ϕN_{pr} – Arrancamiento del anclaje ⁹			ϕN_{ab} – Descascaramiento lateral ^{4,10}		
		f_{ud} – para los fines del diseño ³ - psi							c – Distancia a los bordes - in.					Cabeza ⁷	Gancho en "J" o "L" ⁸		c – Distancia a los bordes - in.		
		58.000	60.000	75.000	90.000	105.000	120.000	125.000	Recubr. 1-1/2-in.	0,25 h_{ef}	0,5 h_{ef}	h_{ef}	$\geq 1,5h_{ef}$		$e_h = 3d_o$	$e_h = 4,5d_o$	Recubrimiento 1-1/2 in.	0,25 h_{ef}	0,4 h_{ef}
1/4	2	1.392	1.440	1.800	2.160	2.520	2.880	3.000	1.998	NP	NP	2.254	3.005	2.621	473	709	3.937	NP	NP
	3	1.392	1.440	1.800	2.160	2.520	2.880	3.000	3.037	NP	NP	4.141	5.521	2.621	473	709	3.937	NP	NP
	4	1.392	1.440	1.800	2.160	2.520	2.880	3.000	4.220	NP	4.533	6.375	8.500	2.621	473	709	3.937	NP	NP
	5	1.392	1.140	1.800	2.160	2.520	2.880	3.000	5.528	NP	6.336	8.910	11.879	2.621	473	709	3.937	NP	4.846
	6	1.392	1.440	1.800	2.160	2.520	2.880	3.000	6.952	NP	8.328	11.712	15.616	2.621	473	709	3.937	NP	5.815
3/8	2	3.393	3.510	4.388	5.265	6.143	7.020	7.313	2.040	NP	NP	2.254	3.005	3.674	1.063	1595	4.841	NP	NP
	3	3.393	3.510	4.388	5.265	6.143	7.020	7.313	3.084	NP	NP	4.141	5.521	3.674	1.063	1595	4.841	NP	NP
	4	3.393	3.510	4.388	5.265	6.143	7.020	7.313	4.271	NP	4.533	6.375	8.500	3.674	1.063	1595	4.841	NP	NP
	5	3.393	3.510	4.338	5.265	6.143	7.020	7.313	5.584	NP	6.336	8.910	6.879	3.674	1.063	1595	4.841	NP	5.737
	6	3.393	3.510	4.388	5.265	6.143	7.020	7.313	7.012	NP	8.328	11.712	15.616	3.674	1.063	1595	4.841	NP	6.885
1/2	2	6.177	6.390	7.988	9.585	11.183	12.780	13.313	2.082	NP	NP	2.254	3.005	6.518	1.890	2.835	6.687	NP	NP
	3	6.177	6.390	7.988	9.585	11.183	12.780	13.313	3.131	NP	NP	4.141	5.521	6.518	1.890	2.835	6.687	NP	NP
	4	6.177	6.390	7.988	9.585	11.183	12.780	13.313	4.323	NP	4.533	6.375	8.500	6.518	1.890	2.835	6.687	NP	NP
	5	6.177	6.390	7.988	9.585	11.183	12.780	13.313	5.641	NP	6.336	8.910	11.879	6.518	1.890	2.835	6.687	NP	7.642
	6	6.177	6.390	7.988	9.585	11.183	12.780	13.313	7.072	NP	8.328	11.712	15.616	6.518	1.890	2.835	6.687	NP	9.171
	7	6.177	6.390	7.988	9.585	11.183	12.780	13.313	8.609	8.609	10.495	14.759	19.678	6.518	1.890	2.835	6.687	6.687	10.699
	8	6.177	6.390	7.988	9.585	11.183	12.780	13.313	10.245	10.518	12.823	18.032	24.042	6.518	1.890	2.835	6.687	7.642	12.228
5/8	3	9.831	10.170	12.713	15.255	17.798	20.340	21.188	3.179	NP	NP	4.141	5.521	10.170	2.953	4.430	8.651	NP	NP
	4	9.831	10.170	12.713	15.255	17.798	20.340	21.188	4.375	NP	4.533	6.375	8.500	10.170	2.953	4.430	8.651	NP	NP
	5	9.831	10.170	12.713	15.255	17.798	20.340	21.188	5.697	NP	6.336	8.910	11.879	10.170	2.953	4.430	8.651	NP	9.546
	6	9.831	10.170	12.713	15.255	17.798	20.340	21.188	7.133	NP	8.328	11.712	15.616	10.170	2.953	4.430	8.651	NP	11.455
	7	9.831	10.170	12.713	15.255	17.798	20.340	21.188	8.674	NP	10.495	14.759	19.678	10.170	2.953	4.430	8.651	NP	13.364
	8	9.831	10.170	12.713	15.255	17.798	20.340	21.188	10.313	10.518	12.823	18.032	24.042	10.170	2.953	4.430	8.651	9.546	15.273
	9	9.831	10.170	12.713	15.255	17.798	20.340	21.188	12.044	12.551	15.300	21.516	28.688	10.170	2.953	4.430	8.651	10.739	17.182
	10	9.831	10.170	12.713	15.255	17.798	20.340	21.188	13.864	14.700	17.920	25.200	33.600	10.170	2.953	4.430	8.651	11.932	19.091
3/4	4	14.529	15.030	18.788	22.545	26.303	30.060	31.313	4.428	NP	4.533	6.375	8.500	14.650	4.253	6.379	10.741	NP	NP
	5	14.529	15.030	18.788	22.545	26.303	30.060	31.313	5.754	NP	6.336	8.910	11.879	14.650	4.253	6.379	10.741	NP	11.457
	6	14.529	15.030	18.788	22.545	26.303	30.060	31.313	7.194	NP	8.328	11.712	15.616	14.650	4.253	6.379	10.741	NP	13.748
	7	14.529	15.030	18.788	22.545	26.303	30.060	31.313	8.738	NP	10.495	14.759	19.678	14.650	4.253	6.379	10.741	NP	16.040
	8	14.529	15.030	18.788	22.545	26.303	30.060	31.313	10.381	10.518	12.823	18.032	24.042	14.650	4.253	6.379	10.741	11.457	18.331
	9	14.529	15.030	18.788	22.545	26.303	30.060	31.313	12.116	12.551	15.300	21.516	28.688	14.650	4.253	6.379	10.741	12.889	20.622
	10	14.529	15.030	18.788	22.545	26.303	30.060	31.313	13.939	14.700	17.920	25.200	33.600	14.650	4.253	6.379	10.741	14.321	22.914
7/8	12	14.529	15.030	18.788	22.545	26.303	30.060	31.313	17.831	19.324	23.556	33.126	44.168	14.650	4.253	6.379	10.741	17.185	27.497
	4	14.529	15.030	18.788	22.545	26.303	30.060	31.313	4.428	NP	4.533	6.375	8.500	14.650	4.253	6.379	10.741	NP	NP
	6	20.097	20.790	25.988	31.185	36.383	41.580	43.313	7.255	NP	8.328	11.712	15.616	19.958	5.788	8.682	12.955	NP	16.047
	8	20.097	20.790	25.988	31.185	36.383	41.580	43.313	10.450	10.518	12.823	18.032	24.042	19.958	5.788	8.682	12.955	13.373	21.396
	12	20.097	20.790	25.988	31.185	36.383	41.580	43.313	17.913	19.324	23.556	33.126	44.168	19.958	5.788	8.682	12.955	20.059	32.094
	15	20.097	20.790	25.988	31.185	36.383	41.580	43.313	24.331	27.006	32.921	46.295	61.727	19.958	5.788	8.682	12.955	25.074	40.118
	18	20.097	20.790	25.988	31.185	36.383	41.580	43.313	31.374	35.500	43.276	60.857	81.142	19.958	5.788	8.682	12.955	30.088	48.141
1	25	20.097	20.790	25.988	31.185	36.383	41.580	43.313	49.970	58.017	70.835	99.612	132.816	19.958	5.788	8.682	12.955	41.789	66.863
	6	26.361	27.270	34.088	40.905	47.723	54.540	56.813	7.316	NP	8.328	11.712	15.616	26.051	7.560	11.340	15.278	NP	18.334
	9	26.361	27.270	34.088	40.905	47.723	54.540	56.813	12.260	12.551	15.300	21.516	28.688	26.051	7.560	11.340	15.278	17.188	27.500
	12	26.361	27.270	34.088	40.905	47.723	54.540	56.813	17.995	19.324	23.556	33.126	44.168	26.051	7.560	11.340	15.278	22.197	36.667
	15	26.361	27.270	34.088	40.905	47.723	54.540	56.813	24.421	27.006	32.921	46.295	61.727	26.051	7.560	11.340	15.278	28.646	45.834

d _o in.	h _{ef} in.	φN _s – Resistencia a la tracción del anclaje							φN _{cb} – Desprendimiento del hormigón por tracción ^{4,5,6}					φN _{pn} – Arrancamiento del anclaje ⁹			φN _{ab} – Descascaramiento lateral ^{4,10}		
		f _{ut} – para los fines del diseño ³ - psi							c – Distancia a los bordes - in.					Gancho en "J" o "L" ⁸			c – Distancia a los bordes - in.		
		58.000	60.000	75.000	90.000	105.000	120.000	125.000	Recubr. 1-1/2 in.	0,25h _{ef}	0,5h _{ef}	h _{ef}	≥1,5h _{ef}	Cabeza ⁷	e _h = 3d _o	e _h = 4,5d _o	Recubrimiento 1-1/2 in.	0,25 h _{ef}	0,4 h _{ef}
	18	26.361	27.270	34.088	40.905	47.723	54.540	56.813	31.472	35.500	43.276	60.857	81.142	26.051	7.560	11.340	15.278	34.376	55.001
	21	26.361	27.270	34.088	40.905	47.723	54.540	56.813	39.096	44.735	54.534	76.688	102.251	26.051	7.560	11.340	15.278	10.105	64.168
	25	26.361	27.270	34.088	40.905	47.723	54.540	56.813	50.084	58.107	70.835	99.612	132.816	26.051	7.560	11.340	15.278	47.744	76.390
	6	33.191	34.335	42.919	51.503	60.086	68.670	71.531	7.378	NP	8.328	11.712	15.616	32.973	9.568	14.352	17.725	NP	20.626
1-1/8	9	33.191	34.335	42.919	51.503	60.086	68.670	71.531	12.333	12.551	15.300	21.516	28.688	32.973	9.568	14.352	17.725	19.337	30.939
	12	33.191	34.335	42.919	51.503	60.086	68.670	71.531	18.076	19.324	23.556	33.126	44.168	32.973	9.568	14.352	17.725	25.782	41.252
	15	33.191	34.335	42.919	51.503	60.086	68.670	71.531	24.511	27.006	32.921	46.295	61.727	32.973	9.568	14.352	17.725	32.228	51.565
	18	33.191	34.335	42.919	51.503	60.086	68.670	71.531	31.570	35.500	43.276	60.857	81.142	32.973	9.568	14.352	17.725	38.674	61.878
	21	33.191	34.335	42.919	51.503	60.086	68.670	71.531	39.201	44.735	54.534	76.688	102.251	32.973	9.568	14.352	17.725	45.119	72.191
	25	33.191	34.335	42.919	51.503	60.086	68.670	71.531	50.198	58.107	70.835	99.612	132.816	32.973	9.568	14.352	17.725	53.713	85.941
	6	42.152	43.605	54.506	65.408	76.309	87.210	90.844	7.440	NP	8.328	11.712	15.616	40.701	11.813	17.719	20.290	NP	22.916
1-1/4	9	42.152	43.605	54.506	65.408	76.309	87.210	90.844	12.405	12.551	15.300	21.516	28.688	40.701	11.813	17.719	20.290	21.484	34.374
	12	42.152	43.605	54.506	65.408	76.309	87.210	90.844	18.158	19.324	23.556	33.126	44.168	40.701	11.813	17.719	20.290	28.645	45.832
	15	42.152	43.605	54.506	65.408	76.309	87.210	90.844	24.602	27.006	32.921	46.295	61.727	40.701	11.813	17.719	20.290	35.806	57.290
	18	42.152	43.605	54.506	65.408	76.309	87.210	90.844	31.668	35.500	43.276	60.857	81.142	40.701	11.813	17.719	20.290	42.967	68.748
	21	42.152	43.605	54.506	65.408	76.309	87.210	90.844	39.307	44.375	54.534	76.688	102.251	40.701	11.813	17.719	20.290	50.129	80.206
	25	42.152	43.605	54.506	65.408	76.309	87.210	90.844	50.133	58.107	70.835	99.612	132.816	40.701	11.813	17.719	20.290	59.667	95.483
1-3/8	6	50.460	52.200	65.250	78.300	91.350	104.400	108.750	7.502	NP	8.328	11.712	15.616	49.258	14.293	21.440	22.978	NP	25.210
	9	50.460	52.200	65.250	78.300	91.350	104.400	108.750	12.478	12.551	15.300	21.516	28.688	49.258	14.293	21.440	22.978	23.634	37.815
	12	50.460	52.200	65.250	78.300	91.350	104.400	108.750	18.241	19.324	23.556	33.126	44.168	49.258	14.293	21.440	22.978	31.512	50.420
	15	50.460	52.200	65.250	78.300	91.350	104.400	108.750	24.693	27.006	32.921	46.295	61.727	49.258	14.293	21.440	22.978	39.391	63.025
	18	50.460	52.200	65.250	78.300	91.350	104.400	108.750	31.767	35.500	43.276	60.857	81.142	49.258	14.293	21.440	22.978	47.269	75.630
	21	50.460	52.200	65.250	78.300	91.350	104.400	108.750	39.412	44.375	54.534	76.688	102.251	49.258	14.293	21.440	22.978	55.147	80.235
	25	50.460	52.200	65.250	78.300	91.350	104.400	108.750	50.427	58.107	70.835	99.612	132.816	49.258	14.293	21.440	22.978	65.651	105.041
1-1/2	12	61.335	63.450	79.313	95.175	111.308	126.900	132.188	48.323	19.324	23.556	33.126	44.168	58.621	17.010	25.515	25.783	34.377	55.004
	15	61.335	63.450	79.313	95.175	111.308	126.900	132.188	24.783	27.006	32.921	46.295	61.727	58.621	17.010	25.515	25.783	42.972	68.755
	18	61.335	63.450	79.313	95.175	111.308	126.900	132.188	31.865	35.500	43.276	60.857	81.142	58.621	17.010	25.515	25.783	51.566	82.505
	21	61.335	63.450	79.313	95.175	111.308	126.900	132.188	39.518	44.375	54.534	76.688	102.251	58.621	17.010	25.515	25.783	60.160	96.256
	25	61.335	63.450	79.313	95.175	111.308	126.900	132.188	50.542	58.107	70.835	99.612	132.816	58.621	17.010	25.515	25.783	71.619	114.591
1-3/4	12	82.650	85.500	106.875	128.250	149.625	171.000	178.125	18.488	19.324	23.556	33.126	44.168	92.826	23.153	34.729	34.247	43.259	69.215
	15	82.650	85.500	106.875	128.250	149.625	171.000	178.125	24.965	27.006	32.921	46.295	61.727	92.826	23.153	34.729	34.247	54.074	86.519
	18	82.650	85.500	106.875	128.250	149.625	171.000	178.125	32.063	35.500	43.276	60.857	81.142	92.826	23.153	34.729	34.247	64.089	103.822
	21	82.650	85.500	106.875	128.250	149.625	171.000	178.125	39.730	44.375	54.534	76.688	102.251	92.826	23.153	34.729	34.247	75.704	121.126
	25	82.650	85.500	106.875	128.250	149.625	171.000	178.125	50.771	58.107	70.835	99.612	132.816	92.826	23.153	34.729	34.247	90.123	144.198
2	12	108.750	112.500	140.625	168.750	196.875	225.000	234.375	18.654	19.324	23.556	33.126	44.168	119.078	30.240	45.360	40.830	48.996	78.394
	15	108.750	112.500	140.625	168.750	196.875	225.000	234.375	25.148	27.006	32.921	46.295	61.727	119.078	30.240	45.360	40.830	61.245	97.992
	18	108.750	112.500	140.625	168.750	196.875	225.000	234.375	32.261	35.500	43.276	60.857	81.142	119.078	30.240	45.360	40.830	73.494	117.591
	21	108.750	112.500	140.625	168.750	196.875	225.000	234.375	39.942	44.375	54.534	76.688	102.251	119.078	30.240	45.360	40.830	85.743	137.189
	25	108.750	112.500	140.625	168.750	196.875	225.000	234.375	51.001	58.107	70.835	99.612	132.816	119.078	30.240	45.360	40.830	102.075	163.320

Tabla 34-5C. Resistencias de diseño para anclajes individuales hormigonados in situ solicitados a cargas de tracción ($f'_c = 6000$ psi)^{1,2,4}
(Las Notas referidas a esta tabla se encuentran en la página 34-15)

d _o in.	h _{ef} in.	φN _s – Resistencia a la tracción del anclaje							φN _{cb} – Desprendimiento del hormigón por tracción ^{4,5,6}					φN _{pr} – Arrancamiento del anclaje ⁹			φN _{ab} – Descascaramiento lateral ^{4,10}		
		f _{ut} – para los fines del diseño ³ - psi							c – Distancia a los bordes - in.					Cabeza ⁷	Gancho en "J" o "L" ⁸		c – Distancia a los bordes - in.		
		58.000	60.000	75.000	90.000	105.000	120.000	125.000	Recubr. 1-1/2-in.	0,25h _{ef}	0,5h _{ef}	h _{ef}	≥ 1,5h _{ef}		e _h = 3d _o	e _h = 4,5d _o	Recubrimiento 1-1/2 in.	0,25 h _{ef}	0,4 h _{ef}
1/4	2	1.392	1.440	1.800	2.160	2.520	2.880	3.000	2.447	NP	NP	2.761	3.681	3.931	709	1.063	4.822	NP	NP
	3	1.392	1.440	1.800	2.160	2.520	2.880	3.000	3.720	NP	NP	5.071	6.762	3.931	709	1.063	4.822	NP	NP
	4	1.392	1.440	1.800	2.160	2.520	2.880	3.000	5.168	NP	5.552	7.808	10.411	3.931	709	1.063	4.822	NP	NP
	5	1.392	1.140	1.800	2.160	2.520	2.880	3.000	6.771	NP	7.760	10.912	14.549	3.931	709	1.063	4.822	NP	5.935
	6	1.392	1.440	1.800	2.160	2.520	2.880	3.000	8.514	NP	10.200	14.344	19.125	3.931	709	1.063	4.822	NP	7.122
3/8	2	3.393	3.510	4.388	5.265	6.143	7.020	7.313	2.498	NP	NP	2.761	3.681	5.510	1.595	2.392	5.929	NP	NP
	3	3.393	3.510	4.388	5.265	6.143	7.020	7.313	3.777	NP	NP	5.071	6.762	5.510	1.595	2.392	5.929	NP	NP
	4	3.393	3.510	4.388	5.265	6.143	7.020	7.313	5.231	NP	5.552	7.808	10.411	5.510	1.595	2.392	5.929	NP	NP
	5	3.393	3.510	4.388	5.265	6.143	7.020	7.313	6.840	NP	7.760	10.912	14.549	5.510	1.595	2.392	5.929	NP	7.027
	6	3.393	3.510	4.388	5.265	6.143	7.020	7.313	8.588	NP	10.200	14.344	19.125	5.510	1.595	2.392	5.929	NP	8.432
1/2	2	6.177	6.390	7.988	9.585	11.183	12.780	13.313	2.550	NP	NP	2.761	3.681	9.778	2.835	4.253	8.190	NP	NP
	3	6.177	6.390	7.988	9.585	11.183	12.780	13.313	3.835	NP	NP	5.071	6.762	9.778	2.835	4.253	8.190	NP	NP
	4	6.177	6.390	7.988	9.585	11.183	12.780	13.313	5.295	NP	5.552	7.808	10.411	9.778	2.835	4.253	8.190	NP	NP
	5	6.177	6.390	7.988	9.585	11.183	12.780	13.313	6.908	NP	7.760	10.912	14.549	9.778	2.835	4.253	8.190	NP	9.360
	6	6.177	6.390	7.988	9.585	11.183	12.780	13.313	8.662	NP	10.200	14.344	19.125	9.778	2.835	4.253	8.190	NP	11.232
	7	6.177	6.390	7.988	9.585	11.183	12.780	13.313	10.544	10.544	12.854	18.076	24.101	9.778	2.835	4.253	8.190	8.190	13.104
	8	6.177	6.390	7.988	9.585	11.183	12.780	13.313	12.547	12.882	15.704	22.084	29.446	9.778	2.835	4.253	8.190	9.360	14.976
5/8	3	9.831	10.170	12.713	15.255	17.798	20.340	21.188	3.893	NP	NP	5.071	6.762	15.254	4.430	6.645	10.595	NP	NP
	4	9.831	10.170	12.713	15.255	17.798	20.340	21.188	5.359	NP	5.552	7.808	10.411	15.254	4.430	6.645	10.595	NP	NP
	5	9.831	10.170	12.713	15.255	17.798	20.340	21.188	6.978	NP	7.760	10.912	14.549	15.254	4.430	6.645	10.595	NP	11.691
	6	9.831	10.170	12.713	15.255	17.798	20.340	21.188	8.736	NP	10.200	14.344	19.125	15.254	4.430	6.645	10.595	NP	14.029
	7	9.831	10.170	12.713	15.255	17.798	20.340	21.188	10.623	NP	12.854	18.076	24.101	15.254	4.430	6.645	10.595	NP	16.367
	8	9.831	10.170	12.713	15.255	17.798	20.340	21.188	12.630	12.882	15.704	22.084	29.446	15.254	4.430	6.645	10.595	11.691	18.706
	9	9.831	10.170	12.713	15.255	17.798	20.340	21.188	14.751	15.372	18.739	26.352	35.136	15.254	4.430	6.645	10.595	13.152	21.044
3/4	10	9.831	10.170	12.713	15.255	17.798	20.340	21.188	16.979	18.004	21.947	30.864	41.151	15.254	4.430	6.645	10.595	14.614	23.382
	4	14.529	15.030	18.788	22.545	26.303	30.060	31.313	5.423	NP	5.552	7.808	10.411	21.974	6.379	9.568	13.155	NP	NP
	5	14.529	15.030	18.788	22.545	26.303	30.060	31.313	7.047	NP	7.760	10.912	14.549	21.974	6.379	9.568	13.155	NP	14.032
	6	14.529	15.030	18.788	22.545	26.303	30.060	31.313	8.811	NP	10.200	14.344	19.125	21.974	6.379	9.568	13.155	NP	16.838
	7	14.529	15.030	18.788	22.545	26.303	30.060	31.313	10.702	NP	12.854	18.076	24.101	21.974	6.379	9.568	13.155	NP	19.644
	8	14.529	15.030	18.788	22.545	26.303	30.060	31.313	12.714	12.882	15.704	22.084	29.446	21.974	6.379	9.568	13.155	14.032	22.451
	9	14.529	15.030	18.788	22.545	26.303	30.060	31.313	14.839	15.372	18.739	26.352	35.136	21.974	6.379	9.568	13.155	15.786	25.257
7/8	10	14.529	15.030	18.788	22.545	26.303	30.060	31.313	17.071	18.004	21.947	30.864	41.151	21.974	6.379	9.568	13.155	17.540	28.064
	12	14.529	15.030	18.788	22.545	26.303	30.060	31.313	21.839	23.667	28.851	40.571	54.095	21.974	6.379	9.568	13.155	21.048	33.676
	4	14.529	15.030	18.788	22.545	26.303	30.060	31.313	5.423	NP	5.552	7.808	10.411	21.974	6.379	9.568	13.155	NP	NP
	6	20.097	20.790	25.988	31.185	36.383	41.580	43.313	8.886	NP	10.200	14.344	19.125	29.938	8.682	13.023	15.866	NP	19.654
	8	20.097	20.790	25.988	31.185	36.383	41.580	43.313	12.798	12.882	15.704	22.084	29.446	29.938	8.682	13.023	15.866	16.378	26.205
	12	20.097	20.790	25.988	31.185	36.383	41.580	43.313	21.939	23.667	28.851	40.571	54.095	29.938	8.682	13.023	15.866	24.567	39.307
	15	20.097	20.790	25.988	31.185	36.383	41.580	43.313	29.799	33.075	40.320	56.700	75.600	29.938	8.682	13.023	15.866	30.079	49.134
1	18	20.097	20.790	25.988	31.185	36.383	41.580	43.313	38.425	43.478	53.002	74.534	99.379	29.938	8.682	13.023	15.866	36.851	58.961
	25	20.097	20.790	25.988	31.185	36.383	41.580	43.313	61.200	71.166	86.755	121.999	162.665	29.938	8.682	13.023	15.866	51.181	81.890
	6	26.361	27.270	34.088	40.905	47.723	54.540	56.813	8.961	NP	10.200	14.344	19.125	39.077	11.340	17.010	18.712	NP	22.454
	9	26.361	27.270	34.088	40.905	47.723	54.540	56.813	15.016	15.372	18.739	26.352	35.136	39.077	11.340	17.010	18.712	21.051	33.681
	12	26.361	27.270	34.088	40.905	47.723	54.540	56.813	22.039	23.667	28.851	40.571	54.095	39.077	11.340	17.010	18.712	28.068	44.908
	15	26.361	27.270	34.088	40.905	47.723	54.540	56.813	29.910	33.075	40.320	56.700	75.600	39.077	11.340	17.010	18.712	35.084	56.135

d _o in.	h _{ef} in.	φN _s – Resistencia a la tracción del anclaje							φN _{cb} – Desprendimiento del hormigón por tracción ^{4,5,6}					φN _{pr} – Arrancamiento del anclaje ⁹			φN _{ab} – Descascaramiento lateral ^{4,10}		
		f _{ut} – para los fines del diseño ² - psi							c – Distancia a los bordes - in.					Gancho en "J" o "L" ⁸			c – Distancia a los bordes - in.		
		58.000	60.000	75.000	90.000	105.000	120.000	125.000	Recubr. 1-1/2-in.	0,25h _{ef}	0,5h _{ef}	h _{ef}	≥ 1,5h _{ef}	Cabeza ⁷	e _h = 3d _o	e _h = 4,5d _o	Recubrimiento 1-1/2 in.	0,25 h _{ef}	0,4 h _{ef}
	18	26.361	27.270	34.088	40.905	47.723	54.540	56.813	38.545	43.478	53.002	74.534	99.379	39.077	11.340	17.010	18.712	42.101	67.362
	21	26.361	27.270	34.088	40.905	47.723	54.540	56.813	47.882	54.789	66.790	93.924	125.232	39.077	11.340	17.010	18.712	49.118	78.589
	25	26.361	27.270	34.088	40.905	47.723	54.540	56.813	61.340	71.166	86.757	121.999	162.665	39.077	11.340	17.010	18.712	58.474	93.559
1-1/8	6	33.191	34.335	42.919	51.503	60.086	68.670	71.531	9.036	NP	10.200	14.344	19.125	49.459	14.352	21.528	21.709	NP	25.621
	9	33.191	34.335	42.919	51.503	60.086	68.670	71.531	15.104	15.372	18.739	26.352	35.136	49.459	14.352	21.528	21.709	23.683	37.892
	12	33.191	34.335	42.919	51.503	60.086	68.670	71.531	22.139	23.667	28.851	40.571	54.095	49.459	14.352	21.528	21.709	31.577	50.523
	15	33.191	34.335	42.919	51.503	60.086	68.670	71.531	30.020	33.075	40.320	56.700	75.600	49.459	14.352	21.528	21.709	39.471	63.154
	18	33.191	34.335	42.919	51.503	60.086	68.670	71.531	38.665	43.478	53.002	74.534	99.379	49.459	14.352	21.528	21.709	47.365	75.784
	21	33.191	34.335	42.919	51.503	60.086	68.670	71.531	48.011	54.789	66.790	93.924	125.232	49.459	14.352	21.528	21.709	55.259	88.415
	25	33.191	34.335	42.919	51.503	60.086	68.670	71.531	61.480	71.166	86.755	121.999	162.665	49.459	14.352	21.528	21.709	65.785	105.256
1-1/4	6	42.152	43.605	54.506	65.408	76.309	87.210	90.844	9.112	NP	10.200	14.344	19.125	61.051	17.719	26.578	24.850	NP	28.066
	9	42.152	43.605	54.506	65.408	76.309	87.210	90.844	15.193	15.372	18.739	26.352	35.136	61.051	17.719	26.578	24.850	26.312	42.099
	12	42.152	43.605	54.506	65.408	76.309	87.210	90.844	22.239	23.667	28.851	40.571	54.095	61.051	17.719	26.578	24.850	35.083	56.132
	15	42.152	43.605	54.506	65.408	76.309	87.210	90.844	30.131	33.075	40.320	56.700	75.600	61.051	17.719	26.578	24.850	43.853	70.165
	18	42.152	43.605	54.506	65.408	76.309	87.210	90.844	38.786	43.478	53.002	74.534	99.379	61.051	17.719	26.578	24.850	52.624	84.198
	21	42.152	43.605	54.506	65.408	76.309	87.210	90.844	48.141	54.789	66.790	93.924	125.232	61.051	17.719	26.578	24.850	61.395	98.231
1-3/8	6	50.460	52.200	65.250	78.300	91.350	104.400	108.750	9.188	NP	10.200	14.344	19.125	73.886	21.440	32.160	28.142	NP	30.876
	9	50.460	52.200	65.250	78.300	91.350	104.400	108.750	15.283	15.372	18.739	26.352	35.136	73.886	21.440	32.160	28.142	28.946	46.314
	12	50.460	52.200	65.250	78.300	91.350	104.400	108.750	22.340	23.667	28.851	40.571	54.095	73.886	21.440	32.160	28.142	38.595	61.751
	15	50.460	52.200	65.250	78.300	91.350	104.400	108.750	30.242	33.075	40.320	56.700	75.600	73.886	21.440	32.160	28.142	48.243	77.189
	18	50.460	52.200	65.250	78.300	91.350	104.400	108.750	38.906	43.478	53.002	74.534	99.379	73.886	21.440	32.160	28.142	57.892	92.627
	21	50.460	52.200	65.250	78.300	91.350	104.400	108.750	48.270	54.789	66.790	93.924	125.232	73.886	21.440	32.160	28.142	67.54	108.065
1-1/2	6	50.460	52.200	65.250	78.300	91.350	104.400	108.750	61.760	71.166	86.757	121.999	162.665	73.886	21.440	32.160	28.142	80.406	128.649
	12	61.335	63.450	79.313	95.175	111.308	126.900	132.188	22.441	23.667	28.851	40.571	54.095	87.931	25.515	38.273	31.578	42.103	67.365
	15	61.335	63.450	79.313	95.175	111.308	126.900	132.188	30.353	33.075	40.320	56.700	75.600	87.931	25.515	38.273	31.578	52.629	84.207
	18	61.335	63.450	79.313	95.175	111.308	126.900	132.188	39.027	43.478	53.002	74.534	99.379	87.931	25.515	38.273	31.578	63.155	101.048
	21	61.335	63.450	79.313	95.175	111.308	126.900	132.188	48.399	54.789	66.790	93.924	125.232	87.931	25.515	38.273	31.578	73.681	117.889
1-3/4	6	61.335	63.450	79.313	95.175	111.308	126.900	132.188	61.901	71.166	86.757	121.999	162.665	87.931	25.515	38.273	31.578	87.715	140.345
	12	82.650	85.500	106.875	128.250	149.625	171.000	178.125	22.643	23.667	28.851	40.571	54.095	139.238	34.729	52.093	41.944	52.982	84.771
	15	82.650	85.500	106.875	128.250	149.625	171.000	178.125	30.576	33.075	40.320	56.700	75.600	139.238	34.729	52.093	41.944	66.227	105.963
	18	82.650	85.500	106.875	128.250	149.625	171.000	178.125	39.269	43.478	53.002	74.534	99.379	139.238	34.729	52.093	41.944	79.472	127.156
	21	82.650	85.500	106.875	128.250	149.625	171.000	178.125	48.659	54.789	66.790	93.924	125.232	139.238	34.729	52.093	41.944	92.718	148.348
2	6	82.650	85.500	106.875	128.250	149.625	171.000	178.125	62.182	71.166	86.757	121.999	162.665	139.238	34.729	52.093	41.944	110.378	176.605
	12	108.750	112.500	140.625	168.750	196.875	225.000	234.375	22.846	23.667	28.851	40.571	54.095	178.618	45.760	68.040	50.006	60.008	96.012
	15	108.750	112.500	140.625	168.750	196.875	225.000	234.375	30.800	33.075	40.320	56.700	75.600	178.618	45.760	68.040	50.006	75.010	120.016
	18	108.750	112.500	140.625	168.750	196.875	225.000	234.375	39.511	43.478	53.002	74.534	99.379	178.618	45.760	68.040	50.006	90.012	144.019
	21	108.750	112.500	140.625	168.750	196.875	225.000	234.375	48.659	54.789	66.790	93.924	125.232	178.618	45.760	68.040	50.006		
	6	108.750	112.500	140.625	168.750	196.875	225.000	234.375											
	12	108.750	112.500	140.625	168.750	196.875	225.000	234.375											
	15	108.750	112.500	140.625	168.750	196.875	225.000	234.375											
	18	108.750	112.500	140.625	168.750	196.875	225.000	234.375											

Tabla 34-6A. Resistencias de diseño para anclajes individuales hormigonados in situ solicitados a cargas de corte ($f'_c = 2500$ psi)^{1,2,3,5}
(Las Notas referidas a esta tabla se encuentran en la página 34-16)

d _o in.	h _{ef} in.	φV _s – Resistencia al corte del anclaje							φV _{cb} – Desprendimiento del hormigón por corte ^{5,6,7,8,9}											
		f _{ut} – para los fines del diseño ⁴ - psi							h = h _{ef} ¹⁰ y c ₁ = ¹¹					h = 1,5h _{ef} y c ₁ = ^{11,12}			h = 2,25h _{ef} y c ₁ = ^{11,13}			
		58.000	60.000	75.000	90.000	105.000	120.000	125.000	Recubrim. 1-1/2 in	0,25h _{ef}	0,5h _{ef}	h _{ef}	1,5h _{ef}	3h _{ef}	h _{ef}	1,5h _{ef}	3h _{ef}	1,5h _{ef}	2h _{ef}	3h _{ef}
1/4	2	724	749	936	1.123	1.310	1.498	1.560	316	NP	NP	350	429	606	525	643	910	965	1.114	1.364
	3	724	749	936	1.123	1.310	1.498	1.560	385	NP	NP	643	788	1.114	965	1.182	1671	1.772	2.047	2.507
	4	724	749	936	1.123	1.310	1.498	1.560	385	NP	525	990	1.213	1.715	1.485	1.819	2.573	2.729	3.151	3.859
	5	724	749	936	1.123	1.310	1.498	1.560	385	NP	734	1.384	1.695	2.397	2.076	2.542	3.596	3.814	4.404	5.393
	6	724	749	936	1.123	1.310	1.498	1.560	385	NP	965	1.819	2.228	3.151	2.729	3.342	4.727	5.013	5.789	7.090
3/8	2	1.764	1.825	2.282	2.738	3.194	3.650	3.803	363	NP	NP	395	484	685	593	726	1.2027	1.090	1.258	1.541
	3	1.764	1.825	2.282	2.738	3.194	3.650	3.803	499	NP	NP	788	965	1.364	1.182	1.447	2.047	2.171	2.507	3.070
	4	1.764	1.825	2.282	2.738	3.194	3.650	3.803	499	NP	643	1.213	1.485	2.101	1.819	2.228	3.151	3.342	3.859	4.727
	5	1.764	1.825	2.282	2.738	3.194	3.650	3.803	499	NP	899	1.695	2.076	2.936	2.542	3.114	4.404	4.671	5.393	6.606
	6	1.764	1.825	2.282	2.738	3.194	3.650	3.803	499	NP	1.182	2.228	2.729	3.859	3.342	4.093	5.789	6.140	7.090	8.683
1/2	2	3.212	3.323	4.154	4.984	5.815	6.646	6.923	403	NP	NP	431	528	747	647	792	1.120	1.188	1.372	1.680
	3	3.212	3.323	4.154	4.984	5.815	6.646	6.923	574	NP	NP	859	1.052	1.487	1.288	1.578	2.231	2.366	2.733	3.347
	4	3.212	3.323	4.154	4.984	5.815	6.646	6.923	608	NP	743	1.400	1.715	2.426	2.101	2.573	3.638	3.859	4.456	5.458
	5	3.212	3.323	4.154	4.984	5.815	6.646	6.923	608	NP	1.038	1.957	2.397	3.390	2.936	3.596	5.085	5.393	6.288	7.627
	6	3.212	3.323	4.154	4.984	5.815	6.646	6.923	608	NP	1.364	2.573	3.151	4.456	3.859	4.727	6.684	7.090	8.177	10.026
	7	3.212	3.323	4.154	4.984	5.815	6.646	6.923	608	608	1.719	3.242	3.971	5.615	4.863	5.956	8.423	8.934	10.316	12.635
	8	3.212	3.323	4.154	4.984	5.815	6.646	6.923	608	743	2.101	3.961	4.851	6.861	5.942	7.277	10.291	10.915	12.604	15.437
5/8	3	5.112	5.288	6.611	7.933	9.255	10.577	11.018	647	NP	NP	918	1.125	1.590	1.377	1.687	2.386	2.530	2.922	3.578
	4	5.112	5.288	6.611	7.933	9.255	10.577	11.018	685	NP	794	1.497	1.834	2.594	2.246	2.751	3.890	4.126	4.765	5.836
	5	5.112	5.288	6.611	7.933	9.255	10.577	11.018	716	NP	1.160	2.188	2.680	3.790	3.282	4.020	5.685	6.030	6.963	8.528
	6	5.112	5.288	6.611	7.933	9.255	10.577	11.018	716	NP	1.525	2.876	3.523	4.982	4.315	5.284	7.473	7.927	9.153	11.210
	7	5.112	5.288	6.611	7.933	9.255	10.577	11.018	716	NP	1.922	3.625	4.439	6.278	5.437	6.659	9.417	9.989	11.534	14.126
	8	5.112	5.288	6.611	7.933	9.255	10.577	11.018	716	830	2.349	4.429	5.424	7.671	6.643	8.136	11.506	12.204	14.092	17.259
	9	5.112	5.288	6.611	7.933	9.255	10.577	11.018	716	991	2.802	5.284	6.472	9.153	7.927	9.708	13.729	14.562	16.815	20.594
3/4	10	5.112	5.288	6.611	7.933	9.255	10.577	11.018	716	1.160	3.282	6.189	7.580	10.720	9.284	11.370	16.080	17.055	19.694	24.120
	4	7.555	7.816	9.770	11.723	13.677	15.631	16.283	761	NP	839	1.582	1.937	2.739	2.372	2.906	4.109	4.358	5.033	6.164
	5	7.555	7.816	9.770	11.723	13.677	15.631	16.283	796	NP	1.226	2.311	2.831	4.003	3.467	4.246	6.005	6.369	7.354	9.007
	6	7.555	7.816	9.770	11.723	13.677	15.631	16.283	826	NP	1.671	3.151	3.859	5.458	4.727	5.789	8.187	8.683	10.026	12.280
	7	7.555	7.816	9.770	11.723	13.677	15.631	16.283	826	NP	2.106	3.971	4.863	6.878	5.956	7.295	10.316	10.942	12.635	15.474
	8	7.555	7.816	9.770	11.723	13.677	15.631	16.283	826	910	2.573	4.851	5.942	8.403	7.277	8.912	12.604	13.369	15.437	18.906
	9	7.555	7.816	9.770	11.723	13.677	15.631	16.283	826	1.085	3.070	5.789	7.090	10.026	8.683	10.635	15.040	15.952	18.420	22.560
7/8	10	7.555	7.816	9.770	11.723	13.677	15.631	16.283	826	1.271	3.596	6.780	8.304	11.743	10.170	12.455	17.615	18.683	21.574	26.422
	12	7.555	7.816	9.770	11.723	13.677	15.631	16.283	826	1.671	4.727	8.912	10.915	15.437	13.369	16.373	23.155	24.560	28.359	34.733
	4	10.450	10.811	13.514	16.216	18.919	21.622	22.523	838	NP	878	1.656	2.029	2.869	2.485	3.043	4.304	4.565	5.271	6.455
	6	10.450	10.811	13.514	16.216	18.919	21.622	22.523	908	NP	1.750	3.300	4.042	5.716	4.950	6.063	8.574	9.094	10.501	12.861
	8	10.450	10.811	13.514	16.216	18.919	21.622	22.523	937	983	2.779	5.240	6.418	9.076	7.860	9.627	13.614	14.440	16.674	20.421
	12	10.450	10.811	13.514	16.216	18.919	21.622	22.523	937	1.805	5.105	9.627	11.790	16.674	14.440	17.685	25.010	26.528	30.631	37.516
	15	10.450	10.811	13.514	16.216	18.919	21.622	22.523	937	2.523	7.135	13.453	16.477	23.302	20.180	24.716	34.953	37.073	42.809	52.430
1	18	10.450	10.811	13.514	16.216	18.919	21.622	22.523	937	3.316	9.379	17.685	21.660	30.631	26.528	32.489	45.947	48.734	56.273	68.921
	25	10.450	10.811	13.514	16.216	18.919	21.622	22.523	937	5.428	15.352	28.947	35.453	50.138	43.421	53.179	75.207	79.769	92.109	112.811
	6	13.708	14.180	17.726	21.271	24.816	28.361	29.543	992	NP	1.822	3.435	4.207	5.950	5.513	6.311	8.924	9.466	10.930	13.387
	9	13.708	14.180	17.726	21.271	24.816	28.361	29.543	1050	1.253	3.545	6.684	8.187	11.578	10.026	12.280	17.366	18.420	21.269	26.050
	12	13.708	14.180	17.726	21.271	24.816	28.361	29.543	1050	1.930	5.458	10.291	12.604	17.825	15.437	18.906	26.737	28.359	32.746	40.106
	15	13.708	14.180	17.726	21.271	24.816	28.361	29.543	1050	2.697	7.627	14.382	17.615	24.911	21.547	26.422	37.366	39.633	45.764	56.050

d _o in.	h _{ef} in.	φV _s – Resistencia al corte del anclaje							φV _{cb} – Desprendimiento del hormigón por corte ^{5,6,7,8,9}											
		f _{ut} – para los fines del diseño ⁴ - psi							h = h _{ef} ¹⁰ y c ₁ = ¹¹						h = 1,5h _{ef} y c ₁ = ^{11,12}			h = 2,25h _{ef} y c ₁ = ^{11,13}		
		58.000	60.000	75.000	90.000	105.000	120.000	125.000	Recubrim. 1-1/2 in	0,25h _{ef}	0,5h _{ef}	h _{ef}	1,5h _{ef}	3h _{ef}	h _{ef}	1,5h _{ef}	3h _{ef}	h _{ef}	1,5h _{ef}	3h _{ef}
	18	13.708	14.180	17.726	21.271	24.816	28.361	29.543	1050	3.545	10.026	18.906	23.155	32.746	28.359	34.733	49.119	52.099	60.159	73.679
	21	13.708	14.180	17.726	21.271	24.816	28.361	29.543	1050	4.467	12.635	23.824	29.179	41.265	35.737	43.768	61.898	65.652	75.809	92.846
	25	13.708	14.180	17.726	21.271	24.816	28.361	29.543	1050	5.802	16.412	30.946	37.901	53.600	46.419	56.851	80.400	85.277	98.469	120.600
	6	17.259	17.854	22.318	26.781	31.245	35.708	37.196	1.076	NP	1.887	3.559	4.3586	6.164	5.366	6.538	9.245	9.806	11.323	13.868
1-1/8	9	17.259	17.854	22.318	26.781	31.245	35.708	37.196	1.167	1.329	3.760	7.090	8.683	12.280	10.635	13.025	18.420	19.537	22.560	27.630
	12	17.259	17.854	22.318	26.781	31.245	35.708	37.196	1.167	2.047	5.789	10.915	13.369	18.906	16.373	20.053	28.359	30.079	34.733	42.539
	15	17.259	17.854	22.318	26.781	31.245	35.708	37.196	1.167	2.860	8.090	15.255	18.683	26.422	22.882	28.025	39.633	42.037	48.540	59.450
	18	17.259	17.854	22.318	26.781	31.245	35.708	37.196	1.167	3.760	10.635	20.053	24.560	34.733	30.079	36.840	52.099	55.259	63.808	78.149
	21	17.259	17.854	22.318	26.781	31.245	35.708	37.196	1.167	4.738	13.401	25.270	30.949	43.768	37.904	46.423	65.652	69.635	80.407	98.478
	25	17.259	17.854	22.318	26.781	31.245	35.708	37.196	1.167	6.154	17.407	32.843	40.200	56.851	49.235	60.300	85.277	90.450	104.442	127.915
1-1/4	6	21.919	22.675	28.343	34.012	39.681	45.349	47.239	1.161	NP	1.948	3.673	4.498	6.362	5.509	6.747	9.542	10.121	11.687	14.314
	9	21.919	22.675	28.343	34.012	39.681	45.349	47.239	1.259	1.372	3.881	7.317	8.962	12.674	10.976	13.443	19.011	20.165	23.284	28.517
	12	21.919	22.675	28.343	34.012	39.681	45.349	47.239	1.286	2.157	6.102	11.506	14.092	19.929	17.259	21.138	29.893	31.706	36.611	44.840
	15	21.919	22.675	28.343	34.012	39.681	45.349	47.239	1.286	3.015	8.528	16.080	19.694	27.851	24.120	29.541	41.777	44.311	51.166	62.665
	18	21.919	22.675	28.343	34.012	39.681	45.349	47.239	1.286	3.963	11.210	21.138	25.888	36.611	31.706	38.832	54.917	58.248	67.260	82.376
	21	21.919	22.675	28.343	34.012	39.681	45.349	47.239	1.286	4.994	14.126	26.636	32.623	46.136	39.955	48.934	69.204	73.401	84.757	103.805
1-3/8	25	21.919	22.675	28.343	34.012	39.681	45.349	47.239	1.286	6.487	18.349	34.599	42.374	59.926	51.898	63.562	89.890	95.342	110.092	134.834
	6	26.239	27.144	33.930	40.716	47.502	54.288	56.550	1.248	NP	2.004	3.779	4.629	6.546	5.669	6.943	9.819	10.415	12.206	14.729
	9	26.239	27.144	33.930	40.716	47.502	54.288	56.550	1.353	1.412	3.993	7.530	9.222	13.042	11.295	13.833	19.563	20.749	23.959	29.344
	12	26.239	27.144	33.930	40.716	47.502	54.288	56.550	1.409	2.263	6.400	12.067	14.780	20.901	18.101	22.169	31.352	33.254	38.398	47.028
	15	26.239	27.144	33.930	40.716	47.502	54.288	56.550	1.409	3.162	8.944	16.865	20.655	29.211	25.297	30.983	43.816	46.474	53.663	65.724
	18	26.239	27.144	33.930	40.716	47.502	54.288	56.550	1.409	4.157	11.757	22.169	27.152	38.398	33.254	40.728	57.598	61.092	70.542	86.396
1-1/2	21	26.239	27.144	33.930	40.716	47.502	54.288	56.550	1.409	5.238	14.816	27.937	34.215	48.388	41.905	51.323	72.581	76.984	88.894	108.872
	25	26.239	27.144	33.930	40.716	47.502	54.288	56.550	1.409	6.804	19.244	36.287	44.443	62.851	54.431	66.664	94.277	99.996	115.465	141.416
	12	31.894	32.994	41.243	49.491	57.740	65.988	68.738	1.535	2.363	6.684	12.604	15.437	21.839	18.906	23.155	32.746	34.733	40.106	49.119
	15	31.894	32.994	41.243	49.491	57.740	65.988	68.738	1.535	3.303	9.342	17.615	21.574	30.510	26.422	32.360	45.764	48.540	56.050	68.647
1-3/4	18	31.894	32.994	41.243	49.491	57.740	65.988	68.738	1.535	4.342	12.280	23.155	28.359	40.106	34.733	42.539	60.159	63.808	73.679	90.238
	21	31.894	32.994	41.243	49.491	57.740	65.988	68.738	1.535	5.471	15.474	29.179	35.737	50.539	43.768	53.605	75.809	80.407	92.846	113.713
	25	31.894	32.994	41.243	49.491	57.740	65.988	68.738	1.535	7.106	20.100	37.901	46.419	65.646	56.851	69.628	98.469	104.442	120.600	147.704
	12	42.978	44.460	55.575	66.690	77.805	88.920	92.625	1.743	2.475	7.001	13.201	16.167	22.864	19.801	24.251	34.296	36.377	42.004	51.444
2	15	42.978	44.460	55.575	66.690	77.805	88.920	92.625	1.798	3.567	10.090	19.026	23.302	32.954	28.539	34.953	49.431	52.430	60.541	74.147
	18	42.978	44.460	55.575	66.690	77.805	88.920	92.625	1.798	4.689	13.264	25.010	30.631	43.319	37.516	45.947	64.979	68.921	79.583	97.468
	21	42.978	44.460	55.575	66.690	77.805	88.920	92.625	1.798	5.909	16.714	31.517	38.600	54.589	47.275	57.900	81.883	86.850	100.286	122.824
	25	42.978	44.460	55.575	66.690	77.805	88.920	92.625	1.798	7.676	21.710	40.938	50.138	70.906	61.406	75.207	106.359	112.811	130.262	159.538
2	12	56.550	58.500	73.125	87.750	102.375	117.000	121.875	1.960	2.576	7.287	13.740	16.828	23.799	20.610	25.242	35.698	37.863	43.721	53.547
	15	56.550	58.500	73.125	87.750	102.375	117.000	121.875	2.049	3.765	10.648	20.079	24.591	34.778	30.118	36.887	52.166	55.331	63.891	78.250
	18	56.550	58.500	73.125	87.750	102.375	117.000	121.875	2.076	5.013	14.180	26.737	32.746	46.310	40.106	49.119	69.465	73.679	85.077	104.198
	21	56.550	58.500	73.125	87.750	102.375	117.000	121.875	2.076	6.317	17.868	33.693	41.265	58.358	50.539	61.898	87.536	92.846	107.210	131.305
2	25	56.550	58.500	73.125	87.750	102.375	117.000	121.875												

Tabla 34-6B. Resistencias de diseño para anclajes individuales hormigonados in situ solicitados a cargas de corte ($f'_c = 4000$ psi)^{1,2,3,5}
(Las Notas referidas a esta tabla se encuentran en la página 34-16)

d _o in.	h _{ef} in.	ϕV_s – Resistencia al corte del anclaje							ϕV_{cb} – Desprendimiento del hormigón por corte ^{5,6,7,8,9}											
		f_{ut} – para los fines del diseño ⁴ - psi							$h = h_{ef}$ ¹⁰ y $c_1 = 11$						$h = 1.5h_{ef}$ y $c_1 = 11,12$			$h = 2.25h_{ef}$ y $c_1 = 11,13$		
		58.000	60.000	75.000	90.000	105.000	120.000	125.000	Recubrim. 1-1/2 in	0,25h _{ef}	0,5h _{ef}	h _{ef}	1,5h _{ef}	3h _{ef}	h _{ef}	1,5h _{ef}	3h _{ef}	1,5h _{ef}	2h _{ef}	3h _{ef}
1/4	2	724	749	936	1.123	1.310	1.498	1.560	399	NP	NP	443	542	767	664	814	1.151	1.220	1.409	1.726
	3	724	749	936	1.123	1.310	1.498	1.560	487	NP	NP	814	996	1.409	1.220	1.495	2.114	2.242	2.589	3.171
	4	724	749	936	1.123	1.310	1.498	1.560	487	NP	664	1.253	1534	2.170	1.879	2.301	3.254	3.452	3.986	4.882
	5	724	749	936	1.123	1.310	1.498	1.560	487	NP	928	1.751	2.144	3.032	2.626	3.216	4.548	4.824	5.570	6.822
	6	724	749	936	1.123	1.310	1.498	1.560	487	NP	1.220	2.301	2.818	3.986	3.452	4.228	5.979	6.341	7.322	8.968
3/8	2	1.764	1.825	2.282	2.738	3.194	3.650	3.803	459	NP	NP	500	613	866	750	919	1.299	1.78	1.591	1.949
	3	1.764	1.825	2.282	2.738	3.194	3.650	3.803	631	NP	NP	996	1.220	1.726	1.495	1.831	2.589	2.746	3.171	3.883
	4	1.764	1.825	2.282	2.738	3.194	3.650	3.803	631	NP	814	1.534	1.878	2.657	2.301	2.818	3.986	4.228	4.882	5.979
	5	1.764	1.825	2.282	2.738	3.194	3.650	3.803	631	NP	1.137	2.144	2.626	3.714	3.216	3.939	5.570	5.908	6.822	8.355
	6	1.764	1.825	2.282	2.738	3.194	3.650	3.803	631	NP	1.495	2.818	3.452	4.882	4.228	5.178	7.322	7.766	8.968	10.983
1/2	2	3.212	3.323	4.154	4.984	5.815	6.646	6.923	510	NP	NP	545	668	944	818	1.002	1.417	1.502	1.735	2.125
	3	3.212	3.323	4.154	4.984	5.815	6.646	6.923	726	NP	NP	1.086	1.330	1.881	1.629	1.996	2.822	2.993	3.456	4.233
	4	3.212	3.323	4.154	4.984	5.815	6.646	6.923	769	NP	939	1.771	2.170	3.068	2.657	3.254	4.602	4.882	5.637	6.904
	5	3.212	3.323	4.154	4.984	5.815	6.646	6.923	769	NP	1.313	2.476	3.032	4.288	3.714	4.548	6.432	6.822	7.878	9.648
	6	3.212	3.323	4.154	4.984	5.815	6.646	6.923	769	NP	1.726	3.254	3.986	5.637	4.882	5.979	8.455	8.968	10.355	12.683
	7	3.212	3.323	4.154	4.984	5.815	6.646	6.923	769	769	2.175	4.101	5.023	7.103	6.151	7.534	10.655	11.301	13.049	15.982
	8	3.212	3.323	4.154	4.984	5.815	6.646	6.923	769	939	2.657	5.010	6.136	8.678	7.516	9.205	13.017	13.807	15.943	19.526
5/8	3	5.112	5.288	6.611	7.933	9.255	10.577	11.018	818	NP	NP	1.161	1.422	2.012	1.742	2.134	3.018	3.201	3.696	4.526
	4	5.112	5.288	6.611	7.933	9.255	10.577	11.018	867	NP	1.004	1.894	2.320	3.281	2.841	3.480	4.921	5.220	6.027	7.381
	5	5.112	5.288	6.611	7.933	9.255	10.577	11.018	906	NP	1.468	2.768	3.390	4.794	4.152	5.085	7.191	7.627	8.807	10.787
	6	5.112	5.288	6.611	7.933	9.255	10.577	11.018	906	NP	1.930	3.638	4.456	6.302	5.458	6.684	9.453	10.026	11.578	14.180
	7	5.112	5.288	6.611	7.933	9.255	10.577	11.018	906	NP	2.432	4.585	5.615	7.941	6.878	8.423	11.912	12.635	14.589	17.868
	8	5.112	5.288	6.611	7.933	9.255	10.577	11.018	906	1.050	2.971	5.602	6.861	9.703	8.403	10.291	14.545	15.437	17.825	21.831
	9	5.112	5.288	6.611	7.933	9.255	10.577	11.018	906	1.253	3.545	6.684	8.187	11.578	10.026	12.280	17.366	18.420	21.269	26.050
	10	5.112	5.288	6.611	7.933	9.255	10.577	11.018	906	1.468	4.152	7.829	9.588	13.560	11.743	14.382	20.340	21.574	24.911	30.510
3/4	4	7.555	7.816	9.770	11.723	13.677	15.631	16.283	963	NP	1.061	2.001	2.450	3.465	3.001	3.675	5.198	5.513	6.366	7.796
	5	7.555	7.816	9.770	11.723	13.677	15.631	16.283	1.007	NP	1.550	2.923	3.591	5.064	4.385	5.371	7.595	8.056	9.303	11.393
	6	7.555	7.816	9.770	11.723	13.677	15.631	16.283	1.044	NP	2.114	3.986	4.882	6.904	5.979	7.322	10.355	10.983	12.683	15.533
	7	7.555	7.816	9.770	11.723	13.677	15.631	16.283	1.044	NP	2.654	5.023	6.151	8.699	7.534	9.227	13.049	13.841	15.982	19.574
	8	7.555	7.816	9.770	11.723	13.677	15.631	16.283	1.044	1.151	3.254	6.136	7.516	10.629	9.205	11.273	15.943	16.910	19.526	23.915
	9	7.555	7.816	9.770	11.723	13.677	15.631	16.283	1.044	1.373	3.883	7.322	8.962	12.683	10.983	13.452	19.024	20.178	23.299	28.536
	10	7.555	7.816	9.770	11.723	13.677	15.631	16.283	1.044	1.608	4.548	8.576	10.503	14.854	12.864	15.755	22.281	23.633	27.289	33.422
7/8	12	7.555	7.816	9.770	11.723	13.677	15.631	16.283	1.044	2.114	5.979	11.273	13.807	19.526	16.910	20.711	29.289	31.066	35.872	43.934
	4	10.450	10.811	13.514	16.216	18.919	21.622	22.523	1.060	NP	1.111	2.095	2.556	3.629	3.143	3.849	5.444	5.774	6.667	8.165
	6	10.450	10.811	13.514	16.216	18.919	21.622	22.523	1.149	NP	2.214	4.174	5.113	7.230	6.262	7.669	10.845	11.503	13.283	16.268
	8	10.450	10.811	13.514	16.216	18.919	21.622	22.523	1.185	1.243	3.515	6.628	8.118	11.480	9.942	12.177	17.220	18.265	21.091	25.831
	12	10.450	10.811	13.514	16.216	18.919	21.622	22.523	1.185	2.283	6.458	12.177	14.913	21.091	18.265	22.370	31.636	33.555	38.746	47.454
	15	10.450	10.811	13.514	16.216	18.919	21.622	22.523	1.185	3.191	9.025	17.017	20.842	29.475	25.526	31.263	44.213	46.894	54.149	66.319
	18	10.450	10.811	13.514	16.216	18.919	21.622	22.523	1.185	4.194	11.863	22.370	27.398	38.746	33.555	41.096	58.119	61.644	71.181	87.178
1	25	10.450	10.811	13.514	16.216	18.919	21.622	22.523	1.185	6.865	19.418	36.616	44.845	63.420	54.923	67.267	95.130	100.901	116.510	142.695
	6	13.708	14.180	17.726	21.271	24.816	28.361	29.543	1.254	NP	2.304	4.345	5.322	7.526	6.518	7.982	11.289	11.973	13.826	16.933
	9	13.708	14.180	17.726	21.271	24.816	28.361	29.543	1.329	1.585	4.484	8.455	10.355	14.645	12.683	15.533	21.967	23.299	26.904	32.950
	12	13.708	14.180	17.726	21.271	24.816	28.361	29.543	1.329	2.441	6.904	13.017	15.943	22.547	19.526	23.915	33.820	35.872	41.421	50.730
	15	13.708	14.180	17.726	21.271	24.816	28.361	29.543	1.329	3.411	9.648	18.192	22.281	31.510	27.289	33.422	47.265	50.132	57.888	70.898

d _o in.	h _{ef} in.	φV _s – Resistencia al corte del anclaje							φV _{cb} – Desprendimiento del hormigón por corte ^{5,6,7,8,9}											
		f _{ut} – para los fines del diseño ⁴ - psi							h = h _{ef} ¹⁰ y c ₁ = ¹¹					h = 1,5h _{ef} y c ₁ = ^{11,12}				h = 2,25h _{ef} y c ₁ = ^{11,13}		
		58.000	60.000	75.000	90.000	105.000	120.000	125.000	Recubrim. 1-1/2 in	0,25h _{ef}	0,5h _{ef}	h _{ef}	1,5h _{ef}	3h _{ef}	h _{ef}	1,5h _{ef}	3h _{ef}	1,5h _{ef}	2h _{ef}	3h _{ef}
	18	13.708	14.180	17.726	21.271	24.816	28.361	29.543	1.329	4.464	12.683	23.915	29.289	41.421	35.872	43.934	62.132	65.901	76.096	93.198
	21	13.708	14.180	17.726	21.271	24.816	28.361	29.543	1.329	5.650	15.982	30.136	36.909	52.197	45.204	55.6363	78.295	83.044	95.891	117.442
	25	13.708	14.180	17.726	21.271	24.816	28.361	29.543	1.329	7.339	20.759	39.144	47.941	67.799	58.716	71.912	101.699	107.868	124.555	152.548
1-1/8	6	17.259	17.854	22.318	26.781	31.245	35.708	37.196	1.361	NP	2.387	4.501	5.513	7.796	6.752	8.269	11.695	12.404	14.323	17.542
	9	17.259	17.854	22.318	26.781	31.245	35.708	37.196	1.476	1.681	4.756	8.968	10.983	15.533	13.452	16.475	23.299	24.713	28.536	34.949
	12	17.259	17.854	22.318	26.781	31.245	35.708	37.196	1.476	2.589	7.322	13.807	16.910	23.915	20.711	25.365	35.872	38.048	43.934	53.808
	15	17.259	17.854	22.318	26.781	31.245	35.708	37.196	1.476	3.618	10.233	19.296	23.633	33.422	28.944	35.449	520.132	53.173	61.399	75.198
	18	17.259	17.854	22.318	26.781	31.245	35.708	37.196	1.476	4.756	13.452	25.365	31.066	43.934	38.048	46.599	65.901	69.898	80.711	98.851
	21	17.259	17.854	22.318	26.781	31.245	35.708	37.196	1.476	5.993	16.951	31.964	39.147	55.36	47.946	58.2711	83.044	88.082	101.708	124.566
	25	17.259	17.854	22.318	26.781	31.245	35.708	37.196	1.476	7.785	22.018	41.518	50.849	71.912	62.277	76.274	107.868	114.411	132.110	161.801
1-1/4	6	21.919	22.675	28.343	34.012	39.681	45.349	47.239	1.469	NP	2.464	4.646	5.690	8.047	6.969	8.535	12.070	12.802	14.783	18.105
	9	21.919	22.675	28.343	34.012	39.681	45.349	47.239	1.593	1.735	4.909	9.256	11.336	16.032	13.884	17.004	24.048	25.506	29.452	36.071
	12	21.919	22.675	28.343	34.012	39.681	45.349	47.239	1.627	2.729	7.718	14.554	17.825	25.208	21.831	26.737	37.812	40.106	46.310	56.718
	15	21.919	22.675	28.343	34.012	39.681	45.349	47.239	1.627	3.814	10.787	20.340	24.911	35.229	30.510	37.366	52.844	56.050	64.721	79.266
	18	21.919	22.675	28.343	34.012	39.681	45.349	47.239	1.627	5.013	14.180	26.737	32.746	46.310	40.106	49.119	69.465	73.679	85.077	104.198
	21	21.919	22.675	28.343	34.012	39.681	45.349	47.239	1.627	6.317	17.868	33.693	41.265	58.358	50.5390	61.898	87.536	92.846	107.210	131.305
	25	21.919	22.675	28.343	34.012	39.681	45.349	47.239	1.627	8.206	23.209	43.764	53.600	75.802	65.646	80.400	11.702	120.600	139.256	170.554
1-3/8	6	26.239	27.144	33.930	40.716	47.502	54.288	56.550	1.579	NP	2.535	4.781	5.855	8.280	7.171	8.783	12.420	13.174	15.212	18.631
	9	26.239	27.144	33.930	40.716	47.502	54.288	56.550	1.712	1.786	5.051	9.524	11.665	16.497	14.287	17.497	24.745	26.246	30.306	37.118
	12	26.239	27.144	33.930	40.716	47.502	54.288	56.550	1.782	2.862	8.095	15.264	18.695	26.438	22.896	28.042	39.658	42.063	48.571	59.487
	15	26.239	27.144	33.930	40.716	47.502	54.288	56.550	1.782	4.000	11.313	21.332	26.127	36.949	31.999	39.190	55.423	58.785	67.879	83.135
	18	26.239	27.144	33.930	40.716	47.502	54.288	56.550	1.782	5.258	14.872	28.042	34.345	48.571	42.063	51.517	72.856	77.275	89.230	109.284
	21	26.239	27.144	33.930	40.716	47.502	54.288	56.550	1.782	6.626	18.740	35.337	43.279	61.206	53.006	64.919	91.809	97.378	112.443	137.713
	25	26.239	27.144	33.930	40.716	47.502	54.288	56.550	1.782	8.606	24.342	45.900	56.216	79.501	68.850	84.324	113.252	126.486	146.053	178.787
1-1/2	12	31.894	32.994	41.243	49.491	57.740	65.988	68.738	1.942	2.989	8.455	15.943	19.526	27.614	23.915	29.289	41.421	43.934	50.730	62.132
	15	31.894	32.994	41.243	49.491	57.740	65.988	68.738	1.942	4.178	11.816	22.281	27.289	38.592	33.422	40.933	57.888	61.399	70.998	86.832
	18	31.894	32.994	41.243	49.491	57.740	65.988	68.738	1.942	5.492	15.533	29.289	35.872	50.730	43.934	53.808	76.096	80.711	93.198	114.143
	21	31.894	32.994	41.243	49.491	57.740	65.988	68.738	1.942	6.920	19.574	36.909	45.204	63.928	55.363	67.805	95.891	101.708	117.442	143.387
	25	31.894	32.994	41.243	49.491	57.740	65.988	68.738	1.942	8.989	25.425	47.941	58.716	83.037	71.912	88.074	124.555	132.110	152.548	186.832
1-3/4	12	42.978	44.460	55.575	66.690	77.805	88.920	92.625	2.205	3.131	8.855	16.698	20.450	28.921	25.046	30.675	43.382	46.013	53.131	65.073
	15	42.978	44.460	55.575	66.690	77.805	88.920	92.625	2.274	4.512	12.763	24.066	29.475	41.684	36.099	44.213	62.526	66.319	76.578	93.789
	18	42.978	44.460	55.575	66.690	77.805	88.920	92.625	2.274	5.932	16.777	31.636	38.746	54.795	47.454	58.119	82.193	87.178	100.665	123.289
	21	42.978	44.460	55.575	66.690	77.805	88.920	92.625	2.274	7.475	21.142	39.866	48.825	69.050	59.799	73.238	103.574	109.857	126.852	155.362
	25	42.978	44.460	55.575	66.690	77.805	88.920	92.625	2.274	9.709	27.462	51.782	63.420	89.690	77.674	95.130	134.535	142.695	164.770	201.802
2	12	56.550	58.500	73.125	87.750	102.375	117.000	121.875	2.479	3.259	9.217	17.380	21.286	30.130	26.070	31.929	45.155	47.894	55.303	67.732
	15	56.550	58.500	73.125	87.750	102.375	117.000	121.875	2.592	4.762	13.469	25.398	31.106	43.991	38.097	46.659	65.986	69.989	80.816	98.979
	18	56.550	58.500	73.125	87.750	102.375	117.000	121.875	2.626	6.341	17.936	33.820	41.421	58.578	50.730	62.132	87.868	93.198	107.615	131.801
	21	56.550	58.500	73.125	87.750	102.375	117.000	121.875	2.626	7.991	22.602	42.618	52.197	73.815	63.928	78.295	110.726	117.442	135.611	166.8089
	25	56.550	58.500	73.125	87.750	102.375	117.000	121.875	2.626	10.380	29.358	55.358	67.799	95.882	83.037	101.699	143.823	152.548	176.147	215.735

Tabla 34-6C. Resistencias de diseño para anclajes individuales hormigonados in situ solicitados a cargas de corte ($f'_c = 6000$ psi)^{1,2,3,5}
(Las Notas referidas a esta tabla se encuentran en la página 34-16)

d _o in.	h _{ef} in.	ϕV _s – Resistencia al corte del anclaje							ϕV _{cb} – Desprendimiento del hormigón por corte ^{5,6,7,8,9}											
		f _{ut} – para los fines del diseño ⁴ - psi							h = h _{ef} ¹⁰ y c ₁ = ¹¹					h = 1,5h _{ef} y c ₁ = ^{11,12}			h = 2,25h _{ef} y c ₁ = ^{11,13}			
		58.000	60.000	75.000	90.000	105.000	120.000	125.000	Recubrim. 1-1/2 in	0,25h _{ef}	0,5h _{ef}	h _{ef}	1,5h _{ef}	3h _{ef}	h _{ef}	1,5h _{ef}	3h _{ef}	1,5h _{ef}	2h _{ef}	3h _{ef}
1/4	2	724	749	936	1.123	1.310	1.498	1.560	489	NP	NP	542	664	939	814	996	1.409	1.495	1.726	2.114
	3	724	749	936	1.123	1.310	1.498	1.560	596	NP	NP	996	1.220	1.726	1.495	1.831	2.589	2.746	3.171	3.883
	4	724	749	936	1.123	1.310	1.498	1.560	596	NP	814	1.534	1.879	2.657	2.301	2.818	3.986	4.228	4.882	5.979
	5	724	749	936	1.123	1.310	1.498	1.560	596	NP	1.137	2.144	2.626	3.714	3.216	3.939	5.570	5.908	6.822	8.335
	6	724	749	936	1.123	1.310	1.498	1.560	596	NP	1.495	2.818	3.452	4.882	4.228	5.178	7.322	7.766	8.968	10.983
3/8	2	1.764	1.825	2.282	2.738	3.194	3.650	3.803	563	NP	NP	613	750	1.061	919	1.125	1.591	1.688	1.949	2.387
	3	1.764	1.825	2.282	2.738	3.194	3.650	3.803	772	NP	NP	1.220	1.495	2.114	1.831	2.242	3.171	3.363	3.883	4.756
	4	1.764	1.825	2.282	2.738	3.194	3.650	3.803	772	NP	996	1.879	2.301	3.254	2.818	3.452	4.882	5.178	5.979	7.322
	5	1.764	1.825	2.282	2.738	3.194	3.650	3.803	772	NP	1.393	2.626	3.216	4.548	3.939	4.824	6.822	7.363	8.355	10.233
	6	1.764	1.825	2.282	2.738	3.194	3.650	3.803	772	NP	1.831	3.452	4.228	5.979	5.178	6.341	8.968	9.512	10.983	13.452
1/2	2	3.212	3.323	4.154	4.984	5.815	6.646	6.923	625	NP	NP	668	818	1.157	1.002	1.227	1.735	1.840	2.125	2.602
	3	3.212	3.323	4.154	4.984	5.815	6.646	6.923	889	NP	NP	1.330	1.629	2.304	1.996	2.444	3.456	3.666	4.233	5.185
	4	3.212	3.323	4.154	4.984	5.815	6.646	6.923	942	NP	1.151	2.170	2.657	3.758	3.254	3.986	5.637	5.979	6.904	8.455
	5	3.212	3.323	4.154	4.984	5.815	6.646	6.923	942	NP	1.608	2.032	3.714	5.252	4.548	5.570	7.878	8.355	9.648	11.816
	6	3.212	3.323	4.154	4.984	5.815	6.646	6.923	942	NP	2.114	3.986	4.882	6.904	5.979	7.322	10.355	10.983	12.683	15.533
	7	3.212	3.323	4.154	4.984	5.815	6.646	6.923	942	942	2.664	5.023	6.151	8.699	7.534	9.227	13.049	13.841	15.982	19.574
	8	3.212	3.323	4.154	4.984	5.815	6.646	6.923	942	1.151	3.254	6.136	7.516	10.629	9.205	11.273	15.943	16.910	19.526	23.915
5/8	3	5.112	5.288	6.611	7.933	9.255	10.577	11.018	1.002	NP	NP	1.422	1.742	2.464	2.134	2.613	3.696	3.920	4.526	5.544
	4	5.112	5.288	6.611	7.933	9.255	10.577	11.018	1.061	NP	1.230	2.320	2.841	4.018	3.480	4.262	6.027	6.393	7.381	9.040
	5	5.112	5.288	6.611	7.933	9.255	10.577	11.018	1.110	NP	1.798	3.390	4.152	5.872	5.085	6.228	8.807	9.342	10.787	13.211
	6	5.112	5.288	6.611	7.933	9.255	10.577	11.018	1.110	NP	2.363	4.456	5.458	7.718	6.684	8.187	11.578	12.280	14.180	17.366
	7	5.112	5.288	6.611	7.933	9.255	10.577	11.018	1.110	NP	2.978	5.615	6.878	9.726	8.423	10.316	14.589	15.474	17.868	21.884
	8	5.112	5.288	6.611	7.933	9.255	10.577	11.018	1.110	1.286	3.638	6.861	8.403	11.883	10.291	12.604	17.825	18.906	21.831	26.737
	9	5.112	5.288	6.611	7.933	9.255	10.577	11.018	1.110	1.535	4.342	8.187	10.026	14.180	12.280	15.040	21.269	22.560	26.050	31.904
	10	5.112	5.288	6.611	7.933	9.255	10.577	11.018	1.110	1.798	5.085	9.588	11.743	16.607	14.382	17.615	24.911	26.422	30.510	37.366
3/4	4	7.555	7.816	9.770	11.723	13.677	15.631	16.283	1.180	NP	1.299	2.450	3.001	4.244	3.675	4.501	6.366	6.752	7.796	9.549
	5	7.555	7.816	9.770	11.723	13.677	15.631	16.283	1.233	NP	1.899	3.581	4.385	6.202	5.371	6.578	9.303	9.867	11.393	13.954
	6	7.555	7.816	9.770	11.723	13.677	15.631	16.283	1.279	NP	2.589	4.882	5.979	8.455	7.322	8.968	12.683	13.452	15.533	19.024
	7	7.555	7.816	9.770	11.723	13.677	15.631	16.283	1.279	NP	3.262	6.151	7.534	10.655	9.227	11.301	15.982	16.951	19.754	23.973
	8	7.555	7.816	9.770	11.723	13.677	15.631	16.283	1.279	1.409	3.986	7.516	9.205	13.017	11.273	13.807	19.526	20.711	23.915	29.289
	9	7.555	7.816	9.770	11.723	13.677	15.631	16.283	1.279	1.681	4.756	8.968	10.983	15.533	13.452	16.475	23.299	24.713	28.536	34.949
	10	7.555	7.816	9.770	11.723	13.677	15.631	16.283	1.279	1.969	5.570	10.503	12.864	18.192	15.755	19.296	27.289	28.944	33.422	40.933
7/8	12	7.555	7.816	9.770	11.723	13.677	15.631	16.283	1.279	2.589	7.322	13.807	16.910	23.915	20.711	25.365	35.872	38.048	43.934	53.808
	4	10.450	10.811	13.514	16.216	18.919	21.622	22.523	1.298	NP	1.361	2.566	3.134	4.445	3.849	4.174	6.667	7.702	8.165	10.001
	6	10.450	10.811	13.514	16.216	18.919	21.622	22.523	1.407	NP	2.711	5.113	6.262	8.855	7.669	9.392	13.283	14.089	16.268	19.924
	8	10.450	10.811	13.514	16.216	18.919	21.622	22.523	1.279	1.522	4.305	8.118	9.942	14.060	12.177	14.913	21.091	22.370	25.831	31.636
	12	10.450	10.811	13.514	16.216	18.919	21.622	22.523	1.279	2.796	7.909	14.913	18.265	25.831	22.370	27.398	38.746	41.096	47.454	58.119
	15	10.450	10.811	13.514	16.216	18.919	21.622	22.523	1.279	3.908	11.053	20.842	25.526	36.099	31.263	38.289	54.149	57.434	66.319	81.224
	18	10.450	10.811	13.514	16.216	18.919	21.622	22.523	1.279	5.137	14.530	27.398	33.555	47.454	41.096	50.332	71.181	75.499	87.178	106.771
1	25	10.450	10.811	13.514	16.216	18.919	21.622	22.523	1.279	8.408	23.783	44.845	54.923	77.674	67.267	82.385	116.510	123.578	142.695	174.765
	6	13.708	14.180	17.726	21.271	24.816	28.361	29.543	1.536	NP	2.822	5.322	6.518	9.217	7.982	9.776	13.826	14.664	16.933	20.739
	9	13.708	14.180	17.726	21.271	24.816	28.361	29.543	1.627	1.942	5.492	10.355	12.683	17.936	15.533	19.024	26.904	28.536	32.950	40.356
	12	13.708	14.180	17.726	21.271	24.816	28.361	29.543	1.627	2.989	8.455	15.943	19.526	27.614	23.915	29.289	41.421	43.934	50.730	62.132
	15	13.708	14.180	17.726	21.271	24.816	28.361	29.543	1.627	4.178	11.816	22.281	27.289	38.592	33.422	40.933	57.888	61.399	70.898	86.832

d _o in.	h _{ef} in.	φV _s – Resistencia al corte del anclaje							φV _{cb} – Desprendimiento del hormigón por corte ^{5,6,7,8,9}											
		f _{ut} – para los fines del diseño ⁴ - psi							h = h _{ef} ¹⁰ y c ₁ = ¹¹					h = 1,5h _{ef} y c ₁ = ^{11,12}				h = 2,25h _{ef} y c ₁ = ^{11,13}		
		58.000	60.000	75.000	90.000	105.000	120.000	125.000	Recubrim. 1-1/2 in	0,25h _{ef}	0,5h _{ef}	h _{ef}	1,5h _{ef}	3h _{ef}	h _{ef}	1,5h _{ef}	3h _{ef}	1,5h _{ef}	2h _{ef}	3h _{ef}
	18	13.708	14.180	17.726	21.271	24.816	28.361	29.543	1.627	5.492	15.533	29.289	35.872	50.730	43.934	53.808	76.096	80.711	93.198	114.143
	21	13.708	14.180	17.726	21.271	24.816	28.361	29.543	1.627	6.920	19.574	36.909	45.204	63.928	55.363	67.805	95.891	101.708	117.442	143.837
	25	13.708	14.180	17.726	21.271	24.816	28.361	29.543	1.627	8.989	25.425	47.941	58.716	83.037	71.912	88.074	124.555	132.110	152.548	186.832
1-1/8	6	17.259	17.854	22.318	26.781	31.245	35.708	37.196	1.667	NP	2.924	5.513	6.752	9.549	8.269	10.128	14.323	15.192	17.542	21.485
	9	17.259	17.854	22.318	26.781	31.245	35.708	37.196	1.807	2.059	5.825	10.983	13.452	19.024	16.475	20.178	28.536	30.267	34.949	42.804
	12	17.259	17.854	22.318	26.781	31.245	35.708	37.196	1.807	3.171	8.968	16.910	20.711	29.289	25.365	31.066	43.934	46.599	53.808	65.901
	15	17.259	17.854	22.318	26.781	31.245	35.708	37.196	1.807	4.431	12.533	23.633	28.944	40.933	35.449	43.416	61.399	65.124	75.198	92.099
	18	17.259	17.854	22.318	26.781	31.245	35.708	37.196	1.807	5.825	16.475	31.066	38.048	53.808	46.599	57.072	80.711	85.607	98.851	121.067
	21	17.259	17.854	22.318	26.781	31.245	35.708	37.196	1.807	7.340	20.761	39.147	47.946	67.805	58.721	71.918	101.708	107.878	124.566	152.562
	25	17.259	17.854	22.318	26.781	31.245	35.708	37.196	1.807	9.534	26.967	50.849	62.277	88.074	76.274	93.416	132.110	140.124	161.801	198.165
1-1/4	6	21.919	22.675	28.343	34.012	39.681	45.349	47.239	1.799	NP	3.018	5.690	6.969	9.855	8.535	10.453	14.783	15.680	18.105	22.174
	9	21.919	22.675	28.343	34.012	39.681	45.349	47.239	1.951	2.126	6.012	11.336	13.884	19.635	17.004	20.826	29.452	31.239	36.071	44.178
	12	21.919	22.675	28.343	34.012	39.681	45.349	47.239	1.992	3.342	9.453	17.825	21.831	30.874	26.737	32.746	46.310	49.119	56.718	69.465
	15	21.919	22.675	28.343	34.012	39.681	45.349	47.239	1.992	4.671	13.211	24.911	30.510	43.147	37.366	45.764	64.721	68.647	79.266	97.081
	18	21.919	22.675	28.343	34.012	39.681	45.349	47.239	1.992	6.140	17.366	32.746	40.106	56.718	49.119	60.159	85.077	90.238	104.198	127.616
	21	21.919	22.675	28.343	34.012	39.681	45.349	47.239	1.992	7.737	21.884	41.265	50.539	71.473	61.898	75.809	107.210	113.713	131.305	160.815
	25	21.919	22.675	28.343	34.012	39.681	45.349	47.239	1.992	10.050	28.426	53.600	65.646	92.838	80.400	98.469	139.256	147.704	170.554	208.885
1-3/8	6	26.239	27.144	33.930	40.716	47.502	54.288	56.550	1.933	NP	3.105	5.855	7.171	10.141	8.783	10.756	15.212	16.135	18.631	22.818
	9	26.239	27.144	33.930	40.716	47.502	54.288	56.550	2.097	2.187	6.186	11.665	14.287	20.204	17.497	21.430	30.306	32.145	37.118	45.460
	12	26.239	27.144	33.930	40.716	47.502	54.288	56.550	2.183	3.505	9.914	18.695	22.896	32.380	28.042	34.345	48.571	51.517	59.487	72.856
	15	26.239	27.144	33.930	40.716	47.502	54.288	56.550	2.183	4.899	13.856	26.127	31.999	45.253	39.190	47.998	67.879	71.997	83.135	101.819
	18	26.239	27.144	33.930	40.716	47.502	54.288	56.550	2.183	6.440	18.214	34.345	42.063	59.487	51.517	63.095	89.230	94.643	109.284	133.845
	21	26.239	27.144	33.930	40.716	47.502	54.288	56.550	2.183	8.115	22.952	43.279	53.006	74.962	64.919	79.509	112.443	119.263	137.713	168.664
	25	26.239	27.144	33.930	40.716	47.502	54.288	56.550	2.183	10.540	29.813	56.216	68.850	97.369	84.324	103.275	146.053	154.913	178.878	219.080
1-1/2	12	31.894	32.994	41.243	49.491	57.740	65.988	68.738	2.378	3.661	10.355	19.526	23.915	33.820	29.289	35.872	50.730	53.808	62.132	76.096
	15	31.894	32.994	41.243	49.491	57.740	65.988	68.738	2.378	5.117	14.472	27.289	33.422	47.265	40.933	50.132	70.898	75.198	86.832	106.347
	18	31.894	32.994	41.243	49.491	57.740	65.988	68.738	2.378	6.726	19.024	35.872	43.934	62.132	53.808	65.901	93.198	98.851	114.143	139.796
	21	31.894	32.994	41.243	49.491	57.740	65.988	68.738	2.378	8.476	23.973	45.204	55.363	78.295	67.805	83.044	117.442	124.566	143.837	176.164
	25	31.894	32.994	41.243	49.491	57.740	65.988	68.738	2.378	11.009	31.139	58.716	71.912	101.699	88.074	107.868	152.548	161.801	186.832	228.822
1-3/4	12	42.978	44.460	55.575	66.690	77.805	88.920	92.625	2.701	3.834	10.845	20.450	25.046	35.421	30.675	37.570	53.131	56.354	65.073	79.697
	15	42.978	44.460	55.575	66.690	77.805	88.920	92.625	2.786	5.527	15.631	29.475	36.099	51.052	44.213	54.149	76.578	81.224	93.789	114.868
	18	42.978	44.460	55.575	66.690	77.805	88.920	92.625	2.786	7.265	20.548	38.746	47.454	67.110	58.119	71.181	100.665	106.771	123.289	150.997
	21	42.978	44.460	55.575	66.690	77.805	88.920	92.625	2.786	9.155	25.894	48.825	59.799	84.568	73.238	89.698	126.852	134.547	155.362	190.278
	25	42.978	44.460	55.575	66.690	77.805	88.920	92.625	2.786	11.891	33.634	63.420	77.674	109.874	95.130	116.510	164.770	174.765	201.802	247.156
2	12	56.550	58.500	73.125	87.750	102.375	117.000	121.875	3.036	3.991	22.289	21.286	26.070	36.869	31.929	39.105	55.303	58.658	67.732	82.955
	15	56.550	58.500	73.125	87.750	102.375	117.000	121.875	3.175	5.832	16.496	31.106	38.097	53.877	46.659	57.145	80.816	85.718	98.979	121.224
	18	56.550	58.500	73.125	87.750	102.375	117.000	121.875	3.216	7.766	21.967	41.421	50.730	71.744	62.132	76.096	107.615	114.143	131.801	161.423
	21	56.550	58.500	73.125	87.750	102.375	117.000	121.875	3.216	9.787	27.681	52.197	63.928	90.407	78.295	95.891	135.611	143.837	166.089	203.416
	25	56.550	58.500	73.125	87.750	102.375	117.000	121.875												

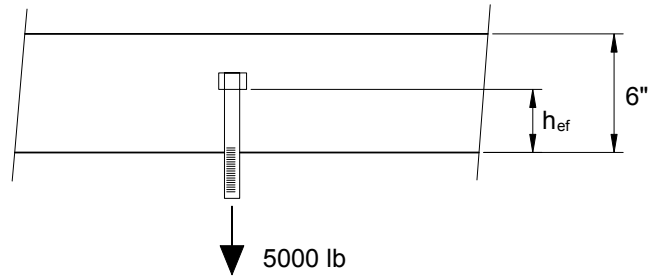
REFERENCIAS

- 35.1 ACI Committee 349, "Code Requirements for Nuclear Safety Related Concrete Structures (ACI 349-85), Appendix B – Steel Embedment," American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan.
- 35.2 PCI Design Handbook, 5° Ed., Precast/Prestressed Concrete Institute, Chicago, 1999.
- 35.3 International Building Code 2000 (IBC 2000), International Building Code Council, Falls Church, Virginia, Mayo 2000.
- 35.4 ACI Committee 355, "Evaluating the Performance of Post-Installed Mechanical Anchors in Concrete (ACI 355.2-01), American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan.
- 35.5 ACI Committee 349, "Code Requirements for Nuclear Safety Related Concrete Structures (ACI 349-01), Appendix B – Steel Embedment," American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan.

Ejemplo 34.1 – Bulón individual con cabeza, alejado de los bordes, solicitado a tracción

Diseñar un bulón individual con cabeza instalado en el fondo de una losa de 6 in. que soportará una carga permanente de servicio de 5000 lb.

$$f'_c = 4000 \text{ psi}$$



Cálculos y discusión	Referencia del Código
----------------------	-----------------------

- Determinar la carga de diseño mayorada (solamente actúa la carga permanente). 9.2

$$N_u = 1,4(5000) = 7000 \text{ lb}$$

- Determinar el diámetro y el material del anclaje. D.5.1

La resistencia de la mayoría de los anclajes probablemente estará controlada por la resistencia del empotramiento y no por la resistencia del acero. En consecuencia, generalmente es más económico diseñar el anclaje usando un acero dulce y no un acero de alta resistencia. La norma ASTM F 1554 "Especificación para Bulones de Anclaje, Acero, Tensión de Fluencia 36, 55 y 105 ksi," abarca los anclajes rectos y con gancho, con cabeza y sin cabeza, de tres grados diferentes de resistencia.

Para este ejemplo vamos a suponer un anclaje de acero ASTM F 1554 Grado 36, con cabeza.

El requisito básico para el acero del anclaje es:

$$\phi N_s \geq N_u \quad \text{Ec. (D-1)}$$

D.4.1.2

donde:

$$\phi = 0,75 \quad \text{D.4.4(a)}$$

De acuerdo con la definición de Elemento de Acero Dúctil dada en la sección D.1, el acero ASTM F 1554 Grado 36 califica como un elemento de acero dúctil (alargamiento mínimo = 23% en 2 in., valor mayor que el 14% requerido; reducción mínima del área = 40%, valor mayor que el 30% requerido; ver Tabla 34-1). Por lo tanto $\phi = 0,75$ mientras que si el acero no satisficiera los requisitos para elementos de acero dúctil sería $\phi = 0,65$.

$$N_s = n A_{se} f_{ut} \quad \text{Ec. (D-3)}$$

Para los fines del diseño, la Ecuación (D-1) se puede combinar con la Ecuación (D-3) de la siguiente manera:

$$A_{se} \geq \frac{N_u}{\phi n f_{ut}}$$

donde:

$$\begin{aligned} N_u &= 7000 \text{ lbs} \\ \phi &= 0,75 \\ n &= 1 \\ f_{ut} &= 58.000 \text{ psi} \end{aligned}$$

De acuerdo con ASTM F 1554, el acero Grado 36 tiene una tensión de fluencia mínima especificada de 36 ksi y una resistencia a la tracción especificada de 58-80 ksi (ver Tabla 34-1). Para los fines de diseño se debe utilizar la resistencia a la tracción mínima, 58 ksi.

Nota: De acuerdo con el artículo D.5.1.2, f_{ut} se debe tomar menor o igual que $1,9f_y$ ó 125.000 psi. Para el acero ASTM F 1554, Grado 36: $1,9f_y = 1,9 (36.000) = 68.400$ psi. Por lo tanto, usamos el valor mínimo de f_{ut} especificado, es decir 58.000 psi.

D.5.1

Reemplazando:

$$A_{se} = \frac{7000}{0,75(1)(58.000)} = 0,161 \text{ in.}^2$$

De acuerdo con la Tabla 34-2, un anclaje roscado de 5/8 in. de diámetro satisfará este requisito ($A_{se} = 0,226 \text{ in.}^2$).

3. Determinar la longitud de empotramiento (h_{ef}) requerida en base al desprendimiento del hormigón del anclaje.

D.5

El requisito básico para un anclaje individual es:

$$\phi N_{cb} \geq N_u$$

Ec. (D-1)

D.4.1.2

donde:

$$\phi = 0,70$$

D.4.4(c)

Se aplica la Condición B, ya que no se ha dispuesto armadura suplementaria para "fijar" al elemento estructural el prisma asociado con el modo de falla por desprendimiento del hormigón del anclaje. Normalmente los anclajes solicitados a tracción que se colocan en una losa no tienen esta armadura suplementaria. La Condición A (con $\phi = 0,75$) suele ser aplicable cuando hay anclajes colocados en elementos de mayor profundidad (tal como una viga o un pedestal), donde hay espacio disponible para instalar armadura suplementaria.

$$N_{cb} = \frac{A_N}{A_{No}} \psi_2 \psi_3 N_b$$

Ec. (D-4)

donde:

$$\frac{A_N}{A_{No}} \text{ y } \psi_2 \text{ son iguales a } 1,0 \text{ para el caso de un anclaje individual alejado de los bordes}$$

$$N_b = 24 \sqrt{f'_c} h_{ef}^{1,5}$$

Ec. (D-7)

Para diseñar un anclaje individual alejado de los bordes la Ecuación (D-1) se puede combinar con las Ecuaciones (D-4) y (D-7) de la siguiente manera:

$$h_{ef} = \left(\frac{N_u}{\phi \psi_3 24 \sqrt{f'_c}} \right)^{\frac{2}{3}}$$

donde:

$\psi_3 = 1,0$ para las regiones en las cuales es probable que el hormigón se fisure (por ejemplo, en el fondo de la losa).

D.5.2.6

Reemplazando:

$$h_{ef} = \left(\frac{7000}{0,70(1,0)24\sqrt{4000}} \right)^{\frac{2}{3}} = 3,51 \text{ in.}$$

Para este anclaje seleccionamos un empotramiento de 4 in.

Nota: El caso de un anclaje individual alejado de los bordes es el único caso en el cual h_{ef} se puede determinar de forma directa. Cuando un anclaje está próximo a dos o más bordes o cuando hay anclajes adyacentes, h_{ef} se obtiene mediante un proceso iterativo.

4. Determinar el tamaño de cabeza requerido para el anclaje.

El requisito básico para la resistencia al arrancamiento de un anclaje (es decir, la resistencia del anclaje que se relaciona con la superficie de apoyo en el extremo empotrado de los anclajes, de modo que el anclaje sea arrancado del hormigón sin que se produzca una falla por desprendimiento del hormigón del anclaje) es:

$$\phi N_{pn} \geq N_u \quad \text{Ec. (D-1)}$$

D.4.1.2

donde:

$$\phi = 0,70 \quad \text{D.4.4(c)}$$

Para la resistencia al arrancamiento del anclaje siempre se aplica la Condición B.

$$N_{pn} = \psi_4 N_p \quad \text{Ec. (D-12)}$$

donde:

$$N_p = A_{brg} 8 f'_c \quad \text{Ec. (D-13)}$$

$\psi_4 = 1,0$ para las regiones en las cuales es probable que el hormigón se fisure (por ejemplo, en el fondo de la losa).

D.5.3.6

Para los fines del diseño la Ecuación (D-1) se puede combinar con las Ecuaciones (D-12) y (D-13) de la siguiente manera:

$$A_{brg} = \frac{N_u}{\phi \psi_4 8 f'_c}$$

Reemplazando:

$$A_{brg} = \frac{7000}{0,70(1,0)(8)(4000)} = 0,313 \text{ in.}^2$$

Como se indica en la Tabla 34-2, para este anclaje de 5/8 in. de diámetro se puede utilizar cualquier tipo de cabeza normal (cuadrada, cuadrada pesada, hexagonal, o hexagonal pesada). ASTM F 1554 especifica que para los bulones de acero Grado 60 de menos de 1-1/2 in. de diámetro se deben utilizar cabezas hexagonales.

5. Evaluar el descascaramiento del recubrimiento lateral del hormigón del anclaje.

D.5.4

Como el anclaje está alejado de los bordes libres del hormigón ($c \geq 0,4h_{ef}$), este modo de falla no es aplicable.

6. Distancias a los bordes, separaciones y espesores requeridos para impedir la falla por hendimiento.

D.8

Como se trata de un anclaje hormigonado in situ alejado de los bordes libres del hormigón, el único requisito es que se deben satisfacer los requisitos de recubrimiento mínimo establecidos en la sección 7.7. Suponiendo que se trata de una losa interior, los requisitos de la sección 7.7 se satisfarán con la longitud de empotramiento de 4 in. más el espesor de la cabeza. El espesor de las tuercas y de las cabezas cuadradas, hexagonales y hexagonales pesadas son como máximo iguales al diámetro del anclaje (ANSI B.18.2.1 y ANSI B.18.2.2 contienen las dimensiones exactas). Esto da por resultado un recubrimiento de hormigón de ~ 1-3/8 in. entre la parte superior de la cabeza del anclaje y la parte superior de la losa.

7. Resumen:

Usar un anclaje de 5/8 in. de diámetro, con cabeza, de acero ASTM F 1554 Grado 36, con una longitud de empotramiento de 4 in.

Diseño alternativo usando la Tabla 34-5B

Nota: Los números de los pasos son iguales a los utilizados en el ejemplo principal anterior, a los cuales se les ha antepuesto el prefijo "A".

Se seleccionó la Tabla 34-5B porque ésta contiene valores de resistencia a la tracción de diseño correspondientes a hormigón con $f'_c = 4000$ psi. La Nota 4 de la tabla indica que los valores tabulados se basan en la Condición B (no hay armadura suplementaria), mientras que las Notas 6 a 10 indican que se supone hormigón fisurado.

A.2 Determinar el diámetro y el material del anclaje.

Tentativamente vamos a probar con un bulón que satisface los requisitos del acero ASTM F 1554, Grado 36, con $f_{ut} = 58.000$ psi. Usando la carga de tracción mayorada obtenida en el Paso 1 del ejemplo anterior (7000 lb) y $f_{ut} = 58.000$ psi, ingresar a la columna correspondiente a 58.000 psi y bajar hasta un tamaño de anclaje que tenga una resistencia a la tracción de diseño, ϕN_s , mayor o igual que 7000 psi. La Tabla 34-6B indica que un bulón de 5/8 in. de diámetro tiene una resistencia a la tracción de diseño igual a:

$$\phi N_s = 9831 \text{ lb} > N_u = 7000 \text{ lb} \quad \text{VERIFICA}$$

Como este valor es mayor que la resistencia requerida, tentativamente usar un bulón de 5/8 in. con cabeza.

A.3 Determinar la longitud de empotramiento (h_{ef}) requerida en base a la resistencia al desprendimiento del hormigón (ϕN_{cb})

Como el anclaje estará alejado de los bordes usamos la columna que lleva por título "> 1,5 h_{ef} ". En este caso "alejado de los bordes " significa que la distancia a un borde, c, debe ser mayor o igual que 1,5 h_{ef} . Un bulón

de 5/8 in. con una longitud de empotramiento de 3 in. tiene una resistencia al desprendimiento por tracción del hormigón de diseño igual a:

$$\phi N_{cb} = 5521 \text{ lb} < N_u = 7000 \text{ lb}$$

Para un bulón de 5/8 in. con una longitud de empotramiento de 4 in.:

$$\phi N_{cb} = 8500 \text{ lb} > N_u = 7000 \text{ lb} \quad \text{VERIFICA}$$

Tentativamente usar un bulón de 5/8 in. con una longitud de empotramiento de 4 in.

- A4. Determinar si el área de apoyo, A_{brg} , de la cabeza del bulón de 5/8 in. es lo suficientemente grande para impedir el arrancamiento del anclaje (ϕN_{pn}).

Los valores de la resistencia de diseño al arrancamiento del anclaje, ϕN_{pn} , indicados en la Tabla 34-6B para los bulones con cabeza cuyo diámetro es menor que 1-3/4 in. se basan en bulones con cabeza hexagonal regular (Nota 7 de la tabla). La columna que lleva por título "cabeza s/ arandela," indica que un bulón de 5/8 in. tiene una resistencia de diseño al arrancamiento del anclaje igual a:

$$\phi N_{pn} = 10.170 \text{ lb} > N_u = 7000 \text{ lb} \quad \text{VERIFICA}$$

- A.5 Determinar si la distancia al borde del anclaje, c , es suficiente para impedir el descascaramiento del recubrimiento lateral de hormigón (ϕN_{sb}).

No es necesario considerar el descascaramiento del recubrimiento lateral de hormigón, ya que la distancia al borde del anclaje es mayor que $0,4h_{ef}$ ($0,4 \times 4 \text{ in.} = 1,6 \text{ in.}$).

- A.6 Distancias a los bordes, separaciones y espesores requeridos para impedir la falla por hendimiento.

Ver Paso 6 del ejemplo anterior.

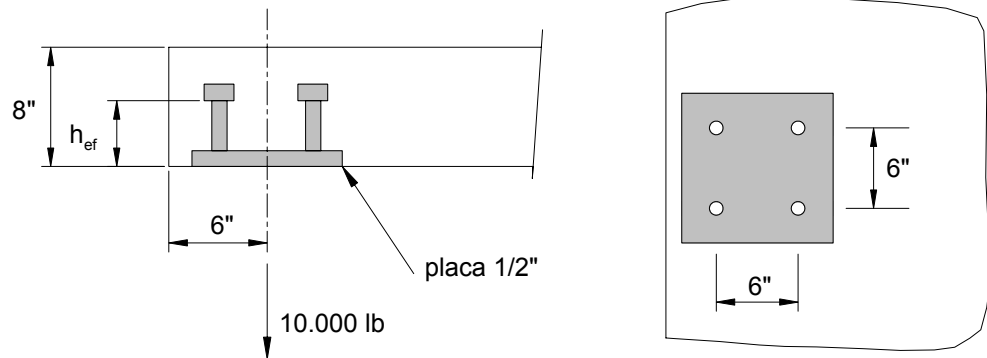
- A.7 Resumen:

Usar un bulón de 5/8 in. de diámetro, con cabeza, de acero ASTM F 1554 Grado 36, con una longitud de empotramiento de 4 in.

Ejemplo 34.2 – Grupo de pernos con cabeza próximos a un borde solicitados a tracción

Diseñar un grupo de cuatro pernos con cabeza soldados, separados entre centros 6 in. en cada dirección, solicitados a una carga permanente de servicio concéntrica de 10.000 lb. El grupo de anclajes se va a instalar en el fondo de una losa de 8 in. de altura, con el eje de la conexión a 6 in. de un borde libre de la losa.

$$f'_c = 4000 \text{ psi}$$



Cálculos y discusión

Referencia del Código

1. Determinar la carga de diseño mayorada.

9.2

$$N_u = 1,4(10.000) = 14.000 \text{ lb}$$

2. Determinar el diámetro de los anclajes.

D.5.1

Suponer pernos soldados, con cabeza, AWS D.1.1 Tipo B.

El requisito básico para el acero del anclaje es:

$$\phi N_s \geq N_u$$

Ec. (D-1)

D.4.1.2

donde:

$$\phi = 0,75$$

D.4.4(a)i

De acuerdo con la definición de Elemento de Acero Dúctil dada en la sección D.1, los pernos AWS D.1.1 Tipo B califican como elementos de acero dúctil (alargamiento mínimo = 20% en 2 in., valor mayor que el 14% requerido; reducción mínima del área = 50%, valor mayor que el 30% requerido; ver Tabla 34-1).

$$N_s = nA_{se}f_{ut}$$

Ec. (D-3)

Para los fines del diseño la Ecuación (D-1) se puede combinar con la Ecuación (D-3) de la siguiente manera:

$$A_{se} = \frac{N_u}{\phi n f_{ut}}$$

donde:

$$N_u = 14.000 \text{ lbs}$$

$$\phi = 0,75$$

$$n = 1$$

$$f_{ut} = 60.000 \text{ psi}$$

Nota: De acuerdo con el artículo D.5.1.2, f_{ut} se debe tomar menor o igual que $1,9f_y$ ó 125.000 psi. Para los pernos AWS D1.1 con cabeza: $1,9f_y = 1,9 (50.000) = 95.000 \text{ psi}$. Por lo tanto, usamos el valor mínimo de f_{ut} especificado, es decir 60.000 psi.

D.5.1

Reemplazando:

$$A_{se} = \frac{14.000}{0,75 (4) (60.000)} = 0,078 \text{ in.}^2$$

De acuerdo con la Tabla 34-2, los pernos de 1/2 in. de diámetro, con cabeza, soldados, satisfarán este requisito ($A_{se} = 0,196 \text{ in.}^2$)

Nota: De acuerdo con la Tabla 7.1 de AWS D1.1, los pernos soldados Tipo B tienen diámetros de 1/2 in., 5/8 in., 3/4 in., 7/8 in. y 1 in. Aunque algunos fabricantes ofrecen pernos de menor diámetro, estos pernos no están cubiertos explícitamente por AWS D1.1.

3. Determinar la longitud de empotramiento (h_{ef}) requerida en base al desprendimiento del hormigón del anclaje.

D.5

Hay dos ecuaciones diferentes para calcular la resistencia al desprendimiento del hormigón de los anclajes traccionados: para los anclajes individuales se aplica la Ecuación (D-4), mientras que para los grupos de anclajes se debe utilizar la Ecuación (D-5). Un "grupo de anclajes" se define como:

"un número de anclajes de aproximadamente igual profundidad de empotramiento efectiva, donde la separación entre uno o más anclajes adyacentes es menor que tres veces su profundidad de empotramiento."

D.1

Como la separación entre los anclajes es de 6 in., si la profundidad de empotramiento es mayor que 2 in. los debemos tratar como un grupo. Aunque no conocemos la profundidad de empotramiento, en este momento asumiremos que se aplicarán los requisitos para grupos de anclajes.

El requisito básico para un grupo de anclajes es:

$$\phi N_{cbg} \geq N_u$$

Ec. (D-1)

D.4.1.2

donde:

$$\phi = 0,70$$

D.4.4(c)

Como no hay armadura suplementaria se aplica la Condición B (por ejemplo, no hay armadura en forma de horquillas rodeando a los anclajes y anclada en el hormigón).

$$N_{cbg} = \frac{A_N}{A_{No}} \psi_1 \psi_2 \psi_3 N_b$$

Ec. (D-5)

Como es probable que esta conexión sea afectada tanto por los efectos del grupo de anclajes como por los efectos de la proximidad al borde, la longitud de empotramiento h_{ef} no se puede determinar a partir de una solución cerrada. Por lo tanto debemos suponer una longitud de empotramiento, determinar la resistencia de la conexión, y luego comparar este valor con la resistencia requerida.

Nota: Los pernos soldados habitualmente se consiguen en ciertas longitudes fijas. Para determinar cuáles son las longitudes disponibles se deberán consultar los catálogos de cada fabricante. Por ejemplo, la página web de Nelson Stud (www.nelsonstud.com) especifica un empotramiento efectivo de 4 in, para sus pernos de anclaje en hormigón de 1/2 in. de diámetro.

Suponer una longitud de empotramiento efectiva $h_{ef} = 4,5$ in.

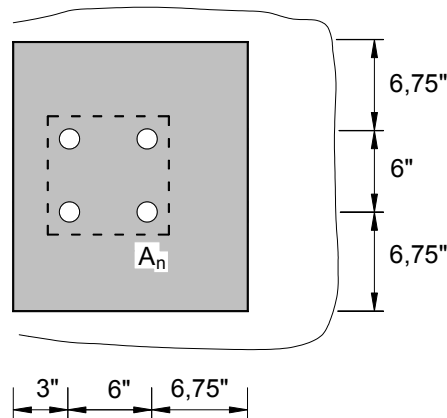
Nota: La longitud de empotramiento efectiva h_{ef} del perno soldado es igual a la longitud de empotramiento efectiva del perno más el espesor de la placa de fijación empotrada.

Evaluar los términos de la ecuación (D-5) con $h_{ef} = 4,5$ in.

Determinar A_N y A_{No} para el anclaje:

D.5.2.1

A_N es el área proyectada de la superficie de falla, la cual se aproxima mediante un rectángulo con sus lados ubicados a una distancia igual a $1,5h_{ef}$ (en este caso $1,5 \times 4,5 = 6,75$ in.) del centro de los anclajes, con las limitaciones impuestas por los bordes libres del hormigón.



$$A_N = (3 + 6 + 6,75)(6,75 + 6 + 6,75) = 307 \text{ in.}^2$$

$$A_{No} = 9h_{ef}^2 = 9(4,5)^2 = 182 \text{ in.}^2$$

Ec. (D-6)

Verificar: $A_N \leq nA_{No}$ $307 < 4(182)$ VERIFICA

Determinar ψ_1 :

D.5.2.4

$\psi_1 = 1,0$ (no hay excentricidad en la conexión)

Determinar ψ_2 ($c < 1,5h_{ef}$):

D.5.2.5

$$\psi_2 = 0,7 + 0,3 \frac{c_{min}}{1,5h_{ef}}$$

Ec. (D-11)

$$\psi_2 = 0,7 + 0,3 \frac{3,0}{1,5(4,5)} = 0,83$$

Determinar ψ_3 :

D.5.2.6

$\psi_3 = 1,0$ (regiones donde es probable que haya fisuración, como por ejemplo el fondo de la losa)

Determinar N_b :

D.5.2.2

$$N_b = 24 \sqrt{f'_c} h_{ef}^{1,5} = 24 \sqrt{4000} (4,5)^{1,5} = 14.490 \text{ lb}$$

Ec. (D-7)

Reemplazando en la Ecuación (D-5):

$$N_{cbg} = \left[\frac{302}{182} \right] (1,0)(0,83)(1,0)(14.490) = 20.287 \text{ lb}$$

La verificación final de la hipótesis considerada ($h_{ef} = 4,5 \text{ in.}$) se satisface si se satisfacen los requisitos de la Ecuación (D-1):

$$(0,70) (20.287) \geq 14.000$$

$$14.201 > 14.000 \quad \text{VERIFICA}$$

Especificamos una longitud de 4 in. para los pernos soldados, con cabeza, con una placa de fijación de 1/2 in. de espesor.

4. Determinar si el tamaño de la cabeza de los pernos soldados es adecuada para el arrancamiento del anclaje. D.5.3

$$\phi N_{pn} \geq N_u$$

Ec. (D-1)

D.4.1.2

donde:

$$\phi = 0,70$$

D.4.4

En todos los casos para la resistencia al arrancamiento del anclaje se aplica la Condición B.

$$N_{pn} = \psi_4 N_p$$

Ec. (D-12)

donde:

$$N_p = A_{brg} 8 f'_c$$

Ec. (D-13)

$\psi_4 = 1,0$ para las regiones en las cuales es probable que el hormigón se fisure (por ejemplo, en el fondo de la losa).

Para los fines del diseño la Ecuación (D-1) se puede combinar con las Ecuaciones (D-12) y (D-13) de la siguiente manera:

$$A_{brg} = \frac{N_u}{\phi \psi_4 8 f'_c}$$

Para el grupo de cuatro pernos la carga de tracción mayorada individual, N_u , que actúa en cada perno es:

$$N_u = \frac{14.000}{4} = 3500 \text{ lb}$$

Reemplazando:

$$A_{brg} = \frac{3500}{0,70(1,0)(8)(4000)} = 0,156 \text{ in.}^2$$

El área de apoyo de los pernos con cabeza soldados se debe determinar en base a los catálogos de cada fabricante. Como se ilustra en la página web de Nelson Stud, el diámetro de la cabeza para un perno de 1/2 in. de diámetro es de 1 in.

$$A_{brg,provista} = \frac{\pi}{4}(1,0^2 - 0,5^2) = 0,589 \text{ in.}^2 > 0,156 \text{ in.}^2 \text{ VERIFICA}$$

5. Evaluar el descascaramiento del recubrimiento lateral de hormigón de los anclajes.

D.5.4

El descascaramiento del recubrimiento lateral del hormigón de los anclajes se debe considerar cuando la distancia entre el centro del anclaje y el borde libre más próximo es menor que $0,4h_{ef}$. Para este ejemplo:

$$0,4h_{ef} = 0,4(4,5) = 1,8 \text{ in.} < 3 \text{ in. (distancia real al borde)} \quad \text{VERIFICA}$$

Por lo tanto el modo de falla por descascaramiento del recubrimiento lateral de hormigón no es aplicable.

6. Distancias a los bordes, separaciones y espesores requeridos para impedir la falla por hendimiento.

Como los anclajes con cabeza soldados no se someten a torque, se aplican los requisitos de recubrimiento mínimo de la sección 7.7.

De acuerdo con la sección 7.7, el mínimo recubrimiento libre para una barra de 1/2 in. que no está en contacto con el suelo ni está al aire libre es de 3/4 in.

Este valor es menor que el valor provisto ($3 - 1/4 = 2-1/4 \text{ in.}$). VERIFICA

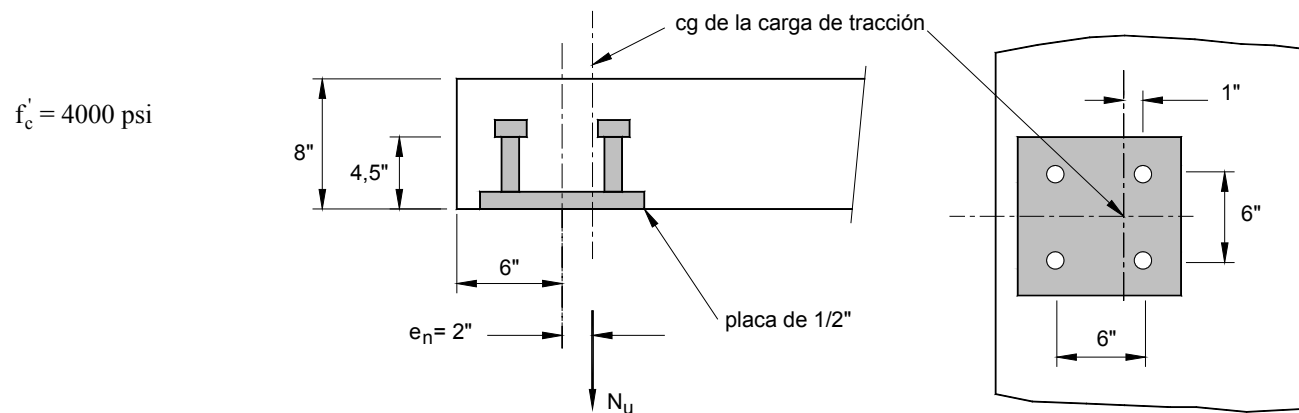
7. Resumen:

Usar pernos soldados de 1/2 in. de diámetro, ASW D1.1 Tipo B, con un empotramiento efectivo de 4,5 in. (4 in. correspondientes al perno más 1/2 in. de la placa de fijación empotrada).

Ejemplo 34.3 – Grupo de pernos con cabeza próximos a un borde solicitados a tracción excéntrica

Determinar la capacidad de carga de tracción mayorada (N_u) para un grupo de cuatro pernos AWS D1.1 Tipo B de 1/2 in. \times 4 in., los cuales tienen una separación de 6 in. entre centros en cada dirección y están soldados a una placa de fijación de 1/2 in. de espesor. La carga de tracción está aplicada con una excentricidad de 2 in. El grupo de sujetadores se va a instalar en el fondo de una losa de 8 in. de altura, estando el centro de la conexión a 6 in. de un borde libre de la losa.

Nota: Esta configuración se eligió como una de las soluciones posibles para el Ejemplo 34.2, caso de una carga de tracción mayorada de 14.000 lb actuando de forma centrada. La única diferencia es la excentricidad con que se aplica la carga de tracción. Del ejemplo 34.2, la separación de los anclajes determina que deben ser tratados como un grupo de anclajes.

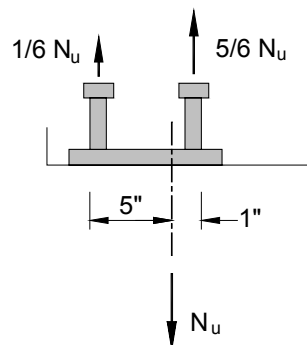


Cálculos y discusión

Referencia del Código

1. Determinar cómo se distribuyen las cargas a los anclajes.

Suponiendo que las cargas se distribuyen a los anclajes de forma elástica, la excentricidad de la carga de tracción hará que la fila interior de sujetadores esté solicitada a un mayor esfuerzo. Aunque los pernos están soldados a la placa de fijación, su rigidez flexional en la unión con la placa de fijación es mínima en comparación con la de la placa. Por lo tanto, suponemos para la placa una condición de apoyo simplemente apoyada:



Los dos pernos interiores controlarán la resistencia del acero, ϕN_s , y la resistencia al arrancamiento del anclaje, ϕN_{pn} ($5/6 N_u$ debe ser menor o igual que $\phi N_{s,2 \text{ pernos}}$ y $\phi N_{np,2 \text{ pernos}}$). Reordenando:

$$N_u \leq 6/5 \phi N_{s,2\text{pernos}} \text{ y } N_u \leq \phi N_{pn,2\text{pernos}}$$

2. Determinar la resistencia de diseño del acero controlada por los dos anclajes solicitados por la carga de tracción más elevada (ϕN_s). D.5.1

$$\phi N_s = \phi n A_{se} f_{ut} \quad \text{Ec. (D-3)}$$

donde:

$$\phi = 0,75 \quad \text{D.4.4}$$

De acuerdo con la definición de Elemento de Acero Dúctil dada en la sección D.1, los pernos AWS D.1.1 Tipo B califican como elementos de acero dúctil (alargamiento mínimo = 20% en 2 in., valor mayor que el 14% requerido; reducción mínima del área = 50%, valor mayor que el 30% requerido; ver Tabla 34-1).

$n = 2$ (para los dos pernos interiores con la mayor carga de tracción)

$$A_{se} = 0,196 \text{ in.}^2 \quad (\text{ver Tabla 34-2})$$

$$f_{ut} = 60.000 \quad (\text{ver Tabla 34-1})$$

Reemplazando:

$$\phi N_{s,2\text{pernos}} = 0,75 (2) (0,196) (60.000) = 17.640 \text{ lb}$$

Por lo tanto, el valor máximo de N_u determinada por el acero del anclaje es igual a:

$$\phi N_s = 6/5 \phi N_{s,2\text{pernos}} = 6/5 (17.640) = 21.168 \text{ lb}$$

3. Determinar la resistencia de diseño al desprendimiento del hormigón (ϕN_{cbg}). D.5.2

La única diferencia entre la resistencia al desprendimiento del hormigón en este ejemplo y en el Ejemplo 34.2 es la introducción del factor de excentricidad, ψ_1 .

Del Ejemplo 34.2, con $\psi_1 = 1,0$:

$$\phi N_{cbg} = \phi \frac{A_N}{A_{No}} \psi_1 \psi_2 \psi_3 N_b = 14.201 \text{ lb} \quad \text{Ec. (D-5)}$$

Determinar ψ_1 para este ejemplo ($e_N = e_N' = 2 \text{ in.} < s/2 = 3 \text{ in.}$): D.5.2.4

$$\psi_1 = \frac{1}{\left(1 + \frac{2e_N'}{3h_{ef}}\right)} \quad \text{Ec. (D-9)}$$

donde:

$e_N' = 2 \text{ in.}$ (distancia entre el baricentro del grupo de anclajes y la fuerza de tracción)

$h_{ef} = 4,5 \text{ in.}$ (placa de 1/2 in. más 4 in. de empotramiento del perno con cabeza)

Reemplazando:

$$\psi_1 = \frac{1}{\left(1 + \frac{2(2)}{3(4,5)}\right)} = 0,77$$

Por lo tanto:

$$\phi N_{cbg} = (0,77)(14,201) = 10.935 \text{ lb}$$

4. Determinar la resistencia de diseño al arrancamiento controlada por los dos anclajes con la carga de tracción más elevada (ϕN_{pn}). D.5.3

$$\phi N_{pn,1perno} = \phi \psi_4 N_p = \phi \psi_4 A_{brg} 8 f'_c \quad \text{Ec. (D-12)}$$

$$\text{Ec. (D-13)}$$

donde:

$$\phi = 0,70 \text{ -- Para la resistencia al arrancamiento siempre se aplica la Condición B.} \quad \text{D.4.4}$$

$$\psi_4 = 1,0 \text{ -- Para las regiones donde es probable que el hormigón se fisure (por ejemplo el fondo de la losa).} \quad \text{D.5.3.6}$$

$$A_{brg} = 0,589 \text{ in.}^2 \quad (\text{ver Paso 4 del Ejemplo 35.2})$$

Reemplazando:

$$\phi N_{pn,1perno} = (0,70)(1,0)(0,589)(8,0)(4000) = 13.194 \text{ lb}$$

Para los dos pernos interiores igualmente cargados:

$$\phi N_{pn,2pernos} = 2(13.194) = 26.387 \text{ lb}$$

Por lo tanto, el máximo valor de N_u controlada por el arrancamiento es:

$$\phi N_{pn} = 6/5 \phi N_{s,2pernos} = 6/5(26.387) = 31.664 \text{ lb}$$

5. Evaluar el descascaramiento del recubrimiento lateral del hormigón.

El descascaramiento del recubrimiento lateral del hormigón se debe considerar si la distancia entre el centro del anclaje y el borde libre más próximo es menor que $0,4h_{ef}$. Para este ejemplo

$$0,4h_{ef} = 0,4(4,5) = 1,8 \text{ in.} < 3 \text{ in. (distancia real al borde)} \quad \text{VERIFICA}$$

Por lo tanto, no es necesario considerar el modo de falla por descascaramiento del recubrimiento lateral de hormigón.

6. Distancias a los bordes, separaciones y espesores requeridos para impedir la falla por hendimiento. D.8

Como los anclajes con cabeza soldados no se someten a torque, se aplican los requisitos de recubrimiento mínimo de la sección 7.7.

De acuerdo con la sección 7.7, el mínimo recubrimiento libre para una barra de 1/2 in. que no está en contacto con el suelo ni está al aire libre es de 3/4 in. 7.7.1(c)

Este valor es menor que el valor provisto ($3 - 1/4 = 2-3/4$ in.). VERIFICA

7. Resumen:

Resistencia del acero (ϕN_s):	21.168 lb
Resistencia del anclaje – Desprendimiento del hormigón (ϕN_{cbg}):	10.935 lb ← Valor determinante
Resistencia del anclaje – Arrancamiento del anclaje (ϕN_{pn}):	31.664 lb
Resistencia del anclaje – Descascaramiento lateral (ϕN_{sb}):	N/A

La máxima carga de tracción mayorada, N_u , para este anclaje es de 10.935 lb.

Nota: El Ejemplo 34.2, en el cual se calculó la misma conexión pero sin excentricidad de las cargas, también resultó estar determinado por la resistencia al desprendimiento del hormigón, pero tuvo una capacidad de carga mayorada de 14.201 lb (ver Paso 3 del Ejemplo 34.2).

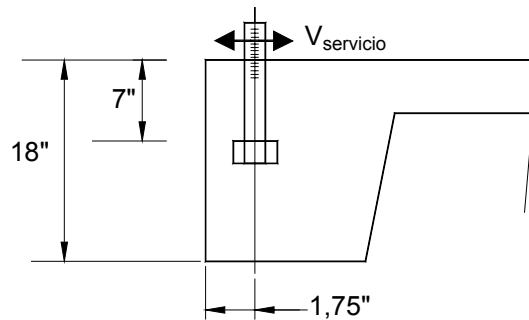
Ejemplo 34.4 – Bulón individual con cabeza próximo a un borde

Determinar la capacidad de corte de servicio para resistir las acciones reversibles del viento para un anclaje individual con cabeza de 1/2 in. de diámetro que tiene una longitud de empotramiento de 7 in. El eje del anclaje está ubicado a 1-3/4 in. del borde de una fundación de hormigón.

Nota: Este es el requisito de anclaje mínimo en la fundación que exige la Sección 2308.6 del IBC 2000 para las construcciones de madera convencionales. La distancia al borde de 1-3/4 in. representa una unión típica en la base de los tabiques de madera donde se utilizan elementos 2 x 4.

$$f'_c = 4000 \text{ psi}$$

Acero ASTM F 1554, Grado 36



Cálculos y discusión

Referencia del Código

1. En este problema se conoce el diámetro del anclaje, la longitud de empotramiento y las propiedades del material; se debe calcular la máxima capacidad de carga de corte de servicio para resistir las acciones reversibles del viento. En este caso es mejor primero determinar la carga de corte mayorada determinante, V_u , en base a la menor de las resistencias, ya sea la del acero o la del anclaje, y luego, como paso final, determinar la máxima carga de servicio. En el Paso 6 de este ejemplo se convierte la carga de corte mayorada determinante, V_u , a una carga de servicio debida al viento.

2. Calcular V_u controlada por la resistencia del acero del anclaje.

D.6.1

$$\phi V_s \geq V_u$$

Ec. (D-2)

D.4.1.2

donde:

$$\phi = 0,65$$

D.4.4(a)i

De acuerdo con la definición de Elemento de Acero Dúctil dada en la sección D.1, el acero ASTM F 1554 Grado 36 califica como un elemento de acero dúctil.

$$V_s = n 0,6 A_{se} f_{ut}$$

Ec. (D-18)

Para determinar V_u para la resistencia del acero, se puede combinar la Ecuación (D-2) con la Ecuación (D-18) para obtener:

$$V_u = \phi V_s = \phi n 0,6 A_{se} F_{ut}$$

donde:

$$\phi = 0,65$$

$$n = 1$$

$$A_{se} = 0,142 \text{ in.}^2 \text{ para el bulón roscado de } 1/2 \text{ in. (Tabla 34-2)}$$

$$f_{ut} = 58.000 \text{ psi}$$

De acuerdo con ASTM F 1554, el acero Grado 36 tiene una tensión de fluencia mínima especificada de 36 ksi y una resistencia a la tracción especificada de 58-80 ksi (ver Tabla 34-1). Para los fines de diseño se debe utilizar la resistencia a la tracción mínima, 58 ksi.

Nota: De acuerdo con el artículo D.5.1.2, f_{ut} se debe tomar menor o igual que $1,9f_y$ ó 125.000 psi. Para el acero ASTM F 1554, Grado 36: $1,9f_y = 1,9 (36.000) = 68.400 \text{ psi}$. Por lo tanto, usamos el valor mínimo de f_{ut} especificado, es decir 58.000 psi

Reemplazando, V_u controlada por la resistencia del acero es igual a:

$$V_u = \phi V_s = 0,65(1)(0,6)(0,142)(58.000) = 3212 \text{ lb}$$

3. Calcular V_u controlada por la resistencia al desprendimiento del hormigón por corte, para el caso de un esfuerzo de corte que actúa en dirección a un borde libre.

D.6.2

$$\phi V_{cb} \geq V_u$$

Ec. (D-2)

D.4.1.2

donde:

$$\phi = 0,70$$

D.4.4(c)i

No se ha dispuesto ninguna armadura suplementaria (por ejemplo, no hay armadura en forma de horquillas rodeando a los anclajes y anclada en el hormigón).

$$V_{cb} = \frac{A_v}{A_{v0}} \psi_6 \psi_7 V_b$$

Ec. (D-20)

donde:

$$\frac{A_v}{A_{v0}} \text{ y } \psi_6 \text{ son iguales a } 1,0 \text{ para el caso de un anclaje individual que no es afectado por más de un borde libre}$$

(es decir, el espesor del elemento es mayor que $1,5c_1$ y la distancia a un borde ortogonal c_2 es mayor que $1,5c_1$)

$\psi_7 = 1,0$ para las regiones donde es probable que el hormigón se fisure (el borde de la fundación es susceptible de fisurarse)

$$V_b = 7 \left(\frac{\ell}{d_o} \right)^{0,2} \sqrt{d_o} \sqrt{f'_c} c_1^{1,5}$$

Ec. (D-20)

donde:

ℓ = longitud de apoyo de la carga del anclaje para corte, que debe ser menor o igual que $8d_o$

D.0

Para este problema el valor $8d_o$ será determinante, ya que la profundidad de empotramiento es $h_{ef} = 7 \text{ in.}$

$$\ell = 8d_o = 8(0,5) = 4,0 \text{ in.}$$

Para determinar V_u correspondiente a la resistencia al desprendimiento del hormigón, la Ecuación (D-2) se puede combinar con las Ecuaciones (D-20) y (D-23) de la siguiente manera:

$$V_u = \phi V_{cb} = \phi \frac{A_v}{A_{v0}} \psi_6 \psi_7 \left(\frac{\ell}{d_o} \right)^{0,2} \sqrt{d_o} \sqrt{f'_c} c_1^{1,5}$$

Reemplazando, el valor de V_u determinado por la resistencia al desprendimiento del hormigón es igual a:

$$V_u = \phi V_{cb} = 0,70(1,0)(1,0)(1,0)(7) \left(\frac{8(0,5)}{(0,5)} \right)^{0,2} \sqrt{0,5} \sqrt{4000} (1,75)^{1,5} = 769 \text{ lb}$$

4. Determinar V_u controlada por la resistencia al arrancamiento del hormigón.

D.6.3

Nota: El modo de falla por arrancamiento del hormigón generalmente sólo se debe considerar en el caso de anclajes rígidos y con poca longitud de empotramiento. Como este ejemplo cubre tanto el caso de corte que actúa en dirección al borde libre como el caso de corte actuando alejándose del borde libre, procederemos a evaluar la resistencia al arrancamiento del hormigón.

$$\phi V_{cp} \geq V_u$$

Ec. (D-2)

D.4.1.2

donde:

$\phi = 0,70$ – Para la resistencia al arrancamiento del hormigón siempre se aplica la Condición B.

D.4.4(c)i

$$V_{cp} = k_{cp} N_{cb}$$

Ec. (D-28)

donde:

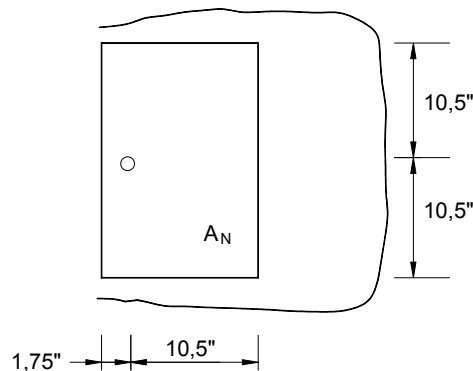
$$k_{cp} = 2,0 \text{ para } h_{ef} \geq 2,5 \text{ in.}$$

$$N_{cb} = \frac{A_N}{A_{N0}} \psi_2 \psi_3 N_b$$

Ec. (D-4)

Evaluar los términos de la Ecuación (D-4) para este problema:

A_N es el área proyectada de la superficie de falla por tracción, la cual se aproxima mediante un rectángulo con sus lados ubicados a una distancia igual a $1,5h_{ef}$ ($1,5 \times 7 = 10,5 \text{ in.}$) del centro del anclaje, con las limitaciones impuestas por los bordes libres del hormigón.



$$A_N = (1,75 + 10,5)(10,5 + 10,5) = 257 \text{ in.}^2$$

$$A_{N_0} = 9h_{ef}^2 = 9(7,0)^2 = 441 \text{ in.}^2 \quad \text{Ec. (D-6)}$$

Determinar ψ_2 : D.5.2.5

$$\psi_2 = 0,7 + 0,3 \frac{c_{min}}{1,5h_{ef}} \quad \text{Ec. (D-11)}$$

$$\psi_2 = 0,7 + 0,3 \frac{1,75}{1,5(7,0)} = 0,75$$

Determinar ψ_3 : D.5.2.6

$\psi_3 = 1,0$ para las regiones donde es probable que el hormigón se fisure (el borde de la fundación es susceptible de fisurarse)

Determinar N_b para el anclaje: D.5.2.2

$$N_b = 24 \sqrt{f'_c} h_{ef}^{1,5} = 24 \sqrt{4000} (7,0)^{1,5} = 28.112 \text{ lb} \quad \text{Ec. (D-7)}$$

Reemplazando en la Ecuación (D-4):

$$N_{cb} = \left[\frac{257}{441} \right] (0,75)(1,0)(28.112) = 12.287 \text{ lb}$$

Para determinar V_u para la resistencia al arrancamiento del hormigón la Ecuación (D-2) se puede combinar con la Ecuación (D-28) de la siguiente manera:

$$V_u = \phi V_{cp} = \phi k_{cp} N_{cb}$$

Reemplazando, el valor de V_u para la resistencia al arrancamiento del hormigón es igual a:

$$V_u = \phi V_{cp} = 0,70(2,0)(12.287) = 17.202 \text{ lb}$$

5. Distancias a los bordes, separaciones y espesores requeridos para impedir la falla por hendimiento. D.8

Como es poco probable que un anclaje individual con cabeza usado en una construcción de madera sea sometido a un torque significativo, se aplican los requisitos de recubrimiento mínimo de la sección 7.7.

De acuerdo con 7.7, para una barra de 1/2 in. el mínimo recubrimiento libre es de 1-1/2 in. si la barra está en contacto con el suelo o al aire libre. El recubrimiento libre provisto para el bulón es exactamente de 1-1/2 in. (1-3/4 in. hasta el centro del bulón menos la mitad del diámetro del bulón). Observar que el recubrimiento sobre la cabeza del bulón será ligeramente menor (1-3/16 in. si la cabeza es hexagonal), pero digamos que VERIFICA. (Este valor está comprendido dentro de la tolerancia de -3/8 in. permitida para el recubrimiento).

6. Resumen:

La carga de corte mayorada ($V_u = \phi V_n$) determinada en base a la resistencia del acero y en base a la resistencia al desprendimiento y al arrancamiento del hormigón se puede resumir de la siguiente manera:

Resistencia del acero (ϕV_s):	3212 lb	
Resistencia al desprendimiento del hormigón (ϕV_{cb}):	769 lb	← Valor determinante
Resistencia al arrancamiento del hormigón (ϕV_{cp}):	17.202 lb	

De acuerdo con la sección 9.2, el factor de carga correspondiente a carga de viento es 1,6:

$$V_{\text{servicio}} = \frac{V_u}{1,6} = \frac{769}{1,6} = 481 \text{ lb}$$

La resistencia al para la mínima conexión a las fundaciones en una construcción de madera (bulón de 1/2 in. de diámetro con una longitud empotrada de 7 in.) – para resistir cargas de corte de servicio reversibles debidas al viento – de la Sección 2308.6 del IBC 2000 – es igual a 481 lb por bulón. También se debe evaluar la resistencia del elemento fijado por los anclajes.

Observar que esta resistencia sólo es válida si el anclaje se instala en un hormigón que tiene una resistencia especificada a la compresión de 4000 psi. En muchos casos el hormigón utilizado en este tipo de fundaciones tiene una resistencia especificada a la compresión de sólo 2500 psi, la mínima resistencia permitida por el código. Como la resistencia al desprendimiento del hormigón resultó ser el valor determinante, se puede determinar otra resistencia en base al uso de hormigón de 2500 psi en vez del hormigón de 4000 psi usado en el ejemplo:

$$V_{\text{servicio p/2500 psi}} = 481 \frac{\sqrt{2500}}{\sqrt{4000}} = 380 \text{ lb}$$

Diseño alternativo usando la Tabla 34-6B

Nota: Los números de los pasos son iguales a los utilizados en el ejemplo principal anterior, a los cuales se les ha antepuesto el prefijo "A".

Se seleccionó la Tabla 34-6B porque ésta contiene valores de resistencia al corte de diseño correspondientes a hormigón con $f'_c = 4000$ psi. La Nota 5 de la tabla indica que los valores tabulados se basan en la Condición B (no hay armadura suplementaria), mientras que la Nota 6 indica que se supuso hormigón fisurado.

A2. Determinar V_u controlada por la resistencia del acero del anclaje.

D.6.1

Del Paso 2, usar un bulón de acero ASTM F 1554, Grado 36, con $f_{ut} = 58.000$ psi. De la Tabla 34-6B, para una resistencia especificada a la compresión del hormigón $f'_c = 4000$ psi, determinar la resistencia al corte de diseño, ϕV_s correspondiente a un bulón de 1/2 in.

$$\phi V_s = 3212 \text{ lb}$$

A3. Determinar V_u controlada por la resistencia al desprendimiento del hormigón, para corte que actúa en dirección a un borde libre.

Determinar la resistencia de diseño al desprendimiento del hormigón por corte, ϕV_{cb} , en base a una longitud empotrada de 7 in. y una distancia al borde $c_1 = 1-3/4$ in. En la tabla c_1 depende de la profundidad de empotramiento, h_{ef} . Por lo tanto la distancia al borde es igual a:

$$c_1 = c_1 / h_{ef} = 1,75 / 7 = 0,25 h_{ef}$$

De la tabla, la resistencia de diseño al desprendimiento del hormigón es igual a:

$$\phi V_{cb} = 769 \text{ lb}$$

A4. Determinar V_u para la resistencia al arrancamiento del hormigón.

Determinar la resistencia de diseño al arrancamiento del hormigón por corte, ϕV_{cp} , en base a una longitud empotrada de 7 in. y una distancia al borde de 1-3/4 in. Esto no se puede determinar de la Tabla 34-6B; sin embargo,

$$\phi V_{cp} = \phi k_{cp} N_{cb} \quad \text{Ec. (D-28)}$$

donde $k_{cp} = 2,0$ ($h_{ef} > 2,5$ in.) y N_{cb} se puede determinar de la Tabla 34-5B.

Observar que los valores indicados en las Tablas 34-5 y 43-6 corresponden a resistencias de diseño, lo que significa que incluyen el factor de reducción de la resistencia ϕ . Como la Tabla 34-5B se basa en la Condición B (sin armadura suplementaria), el valor de ϕ usado para calcular la resistencia a la tracción del hormigón fue 0,70 – el mismo valor que se debe utilizar para determinar la resistencia al arrancamiento del hormigón en corte. Por lo tanto, el valor de la resistencia de diseño al desprendimiento del hormigón, ϕN_{cb} , de la Tabla 34-5 se puede utilizar sin realizar ningún ajuste. De la Tabla 34-5B, para una distancia al borde $c = 0,25h_{ef}$:

$$\phi N_{cb} = 8609 \text{ lb}$$

Reemplazando en la Ecuación (D-28):

$$\phi V_{cb} = k_{cp} \phi N_{cb} = (2)(8609) = 17.218 \text{ lb}$$

Observar que este valor es algo diferente del obtenido en el Paso 4 anterior. Los valores tabulados son más precisos, ya que en los cálculos manuales se introducen errores de redondeo.

A5. Distancias a los bordes, separaciones y espesores requeridos para impedir la falla por hendimiento. D.8

Ver Paso 5 anterior.

A6. Determinar la carga de corte de viento de servicio.

La carga de corte mayorada ($V_u = \phi V_n$) determinada en base a la resistencia del acero y en base a la resistencia al desprendimiento y al arrancamiento del hormigón se puede resumir de la siguiente manera:

Resistencia del acero (ϕV_s):	3212 lb	
Resistencia al desprendimiento del hormigón (ϕV_{cb}):	769 lb	← Valor determinante
Resistencia al arrancamiento del hormigón (ϕV_{cp}):	17.218 lb	

A partir de aquí la capacidad de corte de servicio para carga de viento del anclaje de 1/2 in. se determina igual que en el Paso 6 anterior.

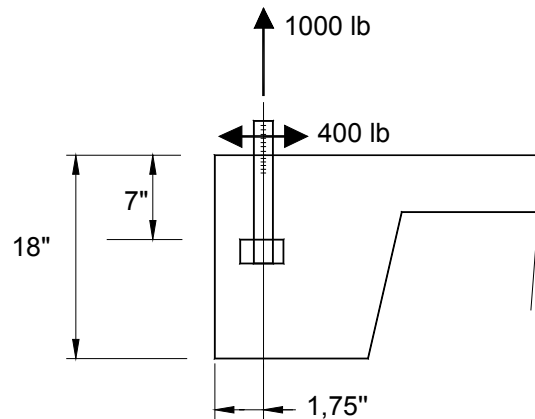
Ejemplo 34.5 – Bulón individual con cabeza próximo a un borde solicitado a tracción

Determinar si un anclaje de 1/2 in. de diámetro con cabeza hexagonal, con una profundidad de empotramiento de 7 in., instalado con su eje a 1-3/4 in. del borde de una fundación de hormigón, es adecuado para una carga de tracción de servicio debida al viento de 1000 lb y una carga de corte de servicio reversible debida al viento de 400 lb.

Nota: Este ejemplo es una ampliación del Ejemplo 34.4 en el cual sobre el anclaje actúa tanto una carga de corte como una carga de tracción.

$$f'_c = 4000 \text{ psi}$$

Anclaje con cabeza hexagonal,
ASTM F 1554, Grado 36



Cálculos y discusión

Referencia del Código

- Determinar las cargas de diseño mayoradas. 9.2

$$N_u = 1,6(1000) = 1600 \text{ lb}$$

$$V_u = 1,6(400) = 640 \text{ lb}$$

- En este problema hay una interacción entre esfuerzos de tracción y de corte, por lo cual es necesario determinar tanto la resistencia a la tracción de diseño (ϕN_n) como la resistencia al corte de diseño (ϕV_n). ϕN_n es la menor de las resistencias a la tracción de diseño, es decir de aquellas controladas por la resistencia del acero (ϕN_s), por el desprendimiento del hormigón en tracción (ϕN_{cb}), por el arrancamiento del anclaje (ϕN_{pn}) y por el descascaramiento del recubrimiento lateral (ϕN_{sb}). ϕV_n es la menor de las resistencias al corte de diseño, es decir de aquellas controladas por la resistencia del acero (ϕV_s), por el desprendimiento del hormigón por corte (ϕV_{cb}) y por el arrancamiento del hormigón (ϕV_{cp}). D.7

- Determinar la resistencia a la tracción de diseño (ϕN_n). D.5

- Resistencia del acero (ϕN_s): D.5.1

$$\phi N_s = \phi n A_{se} f_{ut} \quad \text{Ec. (D-3)}$$

donde:

$$\phi = 0,75 \quad \text{D.4.4(a)i}$$

De acuerdo con la definición de Elemento de Acero Dúctil dada en la sección D.1, el acero ASTM F 1554 Grado 36 califica como un elemento de acero dúctil.

$$A_{se} = 0,142 \text{ in.}^2 \quad (\text{ver Tabla 34-2})$$

$$f_{ut} = 58.000 \text{ psi} \quad (\text{ver Tabla 34-1})$$

Reemplazando:

$$\phi N_s = 0,75(1)(0,142)(58.000) = 6177 \text{ lb}$$

- b. Resistencia al desprendimiento del hormigón por tracción (ϕN_{cb}): D.5.2

Como no se ha provisto armadura suplementaria $\phi = 0,70$ D.4.4(c)ii

Cuando en el Paso 4 del Ejemplo 34.4 se calculó la resistencia al arrancamiento del hormigón para este sujetador, se determinó que N_{cb} era igual a 12.287 lb.

$$\phi N_{cb} = 0,70(12.287) = 8601 \text{ lb}$$

- c. Resistencia al arrancamiento del anclaje por tracción (ϕN_{pn}): D.5.3

$$\phi N_{pn} = \phi \psi_4 N_p \quad \text{Ec. (D-12)}$$

donde:

$\phi = 0,70$ – Para la resistencia al arrancamiento del anclaje siempre se aplica la Condición B. D.4.4(c)ii

$\psi_4 = 1,0$ – En los bordes de la fundación puede haber fisuración. D.5.3.6

$$N_p = A_{brg} 8 f'_c \quad \text{Ec. (D-13)}$$

$$A_{brg} = 0,291 \text{ in.}^2 \quad \text{– Bulón de 1/2 in. con cabeza hexagonal (ver Tabla 34-2)}$$

Resistencia al arrancamiento del anclaje (ϕN_{pn}):

$$\phi N_{pn} = 0,70(1,0)(0,291)(8)(4000) = 6518 \text{ lb}$$

- d. Resistencia al descascaramiento del recubrimiento lateral del hormigón (ϕN_{sb}): D.5.4

Cuando la distancia al borde, c , es menor que $0,4h_{ef}$ es necesario investigar el modo de falla por descascaramiento del recubrimiento lateral del hormigón. D.5.4.1

$$0,4h_{ef} = 0,4(7) = 2,80 \text{ in.} > 1,75 \text{ in.}$$

Por lo tanto se debe determinar la resistencia al descascaramiento del recubrimiento lateral.

$$\phi N_{sb} = \phi \left(160 c \sqrt{A_{brg}} \sqrt{f'_c} \right) \quad \text{Ec. (D-15)}$$

donde:

$\phi = 0,70$ (no hay armadura suplementaria) D.4.4(c)ii

$$c = 1,75 \text{ in.}$$

$$A_{brg} = 0,291 \text{ in.}^2 \text{ para un bulón de } 1/2 \text{ in. con cabeza hexagonal (ver Tabla 34-2)}$$

Reemplazando:

$$\phi N_{sb} = 0,70 \left(160(1,75) \sqrt{0,291} \sqrt{4000} \right) = 6687 \text{ lb}$$

Resumen de la resistencia del acero, la resistencia al desprendimiento del hormigón, la resistencia al arrancamiento del anclaje y la resistencia al descascaramiento lateral para la tracción:

Resistencia del acero (ϕN_s):	6177 lb	← Valor determinante	D.5.1
Resistencia al desprendimiento del hormigón por tracción (ϕN_{cb}):	8601 lb		D.5.2
Resistencia al arrancamiento del anclaje por tracción (ϕN_{pn}):	6518 lb		D.5.3
Resistencia al descascaramiento lateral (ϕN_{sb}):	6687 lb		D.5.4

Por lo tanto:

$$\phi N_n = 6117 \text{ lb}$$

4. Determinar la resistencia al corte de diseño (ϕV_n). D.6

Resumen de la resistencia del acero, la resistencia al desprendimiento del hormigón y la resistencia al arrancamiento del hormigón para el corte (del Ejemplo 35.4):

Resistencia del acero (ϕV_s):	3212 lb		D.6.1
Resistencia al desprendimiento del hormigón por corte (ϕV_{cb}):	769 lb	← Valor determinante	D.6.2
Resistencia al arrancamiento del hormigón (ϕV_{cp}):	17.202 lb		D.6.3

Por lo tanto:

$$\phi V_n = 769 \text{ lb}$$

5. Verificar la interacción de los esfuerzos de tracción y corte. D.7

Si $V_u \leq 0,2 \phi V_n$ se permite considerar la totalidad de la resistencia a tracción. D.7.1

$$V_u = 640 \text{ lb}$$

$$0,2 \phi V_n = 0,2(769) = 154 \text{ lb} < 640 \text{ lb}$$

Como $V_u > 0,2 \phi V_n$ no se puede considerar la totalidad de la resistencia a tracción.

Si $N_u \leq 0,2 \phi N_n$ se permite considerar la totalidad de la resistencia al corte. D.7.2

$$N_u = 1600 \text{ lb}$$

$$0,2 \phi N_n = 0,2(6177) = 1235 \text{ lb} < 1600 \text{ lb}$$

Como $N_u > 0,2 \phi N_n$ no se puede considerar la totalidad de la resistencia al corte.

Debemos utilizar la ecuación de interacción:

D.7.3

$$\frac{N_u}{\phi N_n} + \frac{V_u}{\phi V_n} \leq 1,2 \quad \text{Ec. (D-29)}$$

$$\frac{1600}{6177} + \frac{640}{769} = 0,26 + 0,83 = 1,09 < 1,2 \quad \text{VERIFICA}$$

6. Distancias a los bordes, separaciones y espesores requeridos para impedir la falla por hendimiento.

D.8

Como es poco probable que un anclaje individual con cabeza usado en una construcción de madera sea sometido a un torque significativo, se aplican los requisitos de recubrimiento mínimo de la sección 7.7.

De acuerdo con 7.7, para una barra de 1/2 in. el mínimo recubrimiento libre es de 1-1/2 in. si la barra está en contacto con el suelo o al aire libre. El recubrimiento libre provisto para el bulón es exactamente de 1-1/2 in. (1-3/4 in. hasta el centro del bulón menos la mitad del diámetro del bulón). Observar que el recubrimiento sobre la cabeza del bulón será ligeramente menor (1-3/16 in. si la cabeza es hexagonal), pero digamos que VERIFICA. (Este valor está comprendido dentro de la tolerancia de -3/8 in. permitida para el recubrimiento).

7.7

7.5.2.1
D.5

7. Resumen:

Usar un anclaje de 1/2 in. con cabeza hexagonal, de acero ASTM F 1554 Grado 36, con una longitud empotrada de 7 in.

Diseño alternativo usando las Tablas 34-5B y 34-6B

Nota: Los números de los pasos son iguales a los utilizados en el ejemplo principal anterior, a los cuales se les ha antepuesto el prefijo "A".

Se seleccionaron las Tablas 34-5B y 34-6B porque éstas contienen valores de tracción y corte, respectivamente, correspondientes a hormigón con $f'_c = 4000$ psi. Las Notas 4 y 5, respectivamente, indican que los valores tabulados se basan en la Condición B (no hay armadura suplementaria). Ambas tablas suponen hormigón fisurado (Tabla 34-5, Notas 6 y 10; Tabla 34-6, Nota 6).

- A3. Determinar la resistencia a la tracción de diseño (ϕN_n):

D.5.1

Ec. (D-3)

A3a. Determinar la resistencia a la tracción de diseño del acero (ϕN_s):

En base al paso 3a, suponer un bulón de acero ASTM F 1554, Grado 36, con $f_{ut} = 58.000$ psi.

La Tabla 34-6B indica que un bulón de 1/2 in. de diámetro de 58.000 psi tiene una resistencia a la tracción de diseño:

$$\phi N_n = 6177 \text{ lb}$$

A3b. Determinar la resistencia al desprendimiento del hormigón por tracción (ϕN_{cb}):

D.5.2

Ec. (D-4)

Como para los anclajes ubicados próximos a un borde ($c < 1,5h_{ef}$) la resistencia al desprendimiento del hormigón depende de la distancia al borde, la distancia al borde se determina en función de la profundidad de empotramiento. Como $c = 1-3/4$ in.

$$c = c / h_{ef} = 1,75 / 7 = 0,25h_{ef}$$

En la columna correspondiente a "0,25 h_{ef} ", para un bulón de 1/2 in. de diámetro que tiene una profundidad de empotramiento de 7 in.:

$$\phi N_{cb} = 8609 \text{ lb}$$

Observar que este valor es algo diferente del obtenido en el Paso 3b anterior. Los valores tabulados son más precisos, ya que en los cálculos manuales se introducen errores de redondeo.

A3c. Determinar la resistencia al arrancamiento del anclaje por tracción (ϕN_{pn}):

D.5.3

De la columna "cabeza s/arandelas" de la tabla, para un bulón de 1/2 in.

$$\phi N_{pn} = 6518 \text{ lb}$$

A3d. Resistencia al descascaramiento del recubrimiento lateral (ϕN_{sb}):

D.5.4

D.5.4.1

El descascaramiento del recubrimiento lateral se debe verificar cuando la distancia al borde es mayor o igual que $0,4h_{ef}$. En este caso la distancia al borde, c , calculada anteriormente es igual a $0,25h_{ef}$, por lo tanto debemos evaluarla. De la columna "0,25 h_{ef} " de la tabla, para un bulón de 1/2 in. con una longitud empotrada de 7 in.:

$$\phi N_{sb} = 6687 \text{ lb}$$

Resumen de la resistencia del acero, la resistencia al desprendimiento del hormigón, la resistencia al arrancamiento del anclaje y la resistencia al descascaramiento lateral del hormigón para tracción:

Resistencia del acero (ϕN_s):	6177 lb	← Valor determinante
Resistencia al desprendimiento del hormigón (ϕN_{cb}):	8609 lb	
Resistencia al arrancamiento del anclaje (ϕN_{pn}):	6518 lb	
Resistencia al descascaramiento lateral (ϕN_{sb}):	6687 lb	

Por lo tanto:

$$\phi N_n = 6177 \text{ lb}$$

A4. Determinar la resistencia al corte de diseño (ϕV_n):

Resumen de la resistencia del acero, la resistencia al desprendimiento del hormigón y la resistencia al arrancamiento del hormigón para el corte, del Paso A6 del Ejemplo 34.4, solución alternativa usando la Tabla 34-6B.

Resistencia del acero (ϕV_s):	3212 lb	
Resistencia al desprendimiento del hormigón por corte (ϕV_{cb}):	769 lb	← Valor determinante
Resistencia al arrancamiento del hormigón (ϕV_{cp}):	17.218 lb	

Por lo tanto:

$$\phi V_n = 769 \text{ lb}$$

A5. Verificar la interacción de los esfuerzos de tracción y corte.

Ver Paso 5 anterior.

A6. Distancias a los bordes, separaciones y espesores requeridos para impedir la falla por hendimiento.

D.8

Ver Paso 6 anterior.

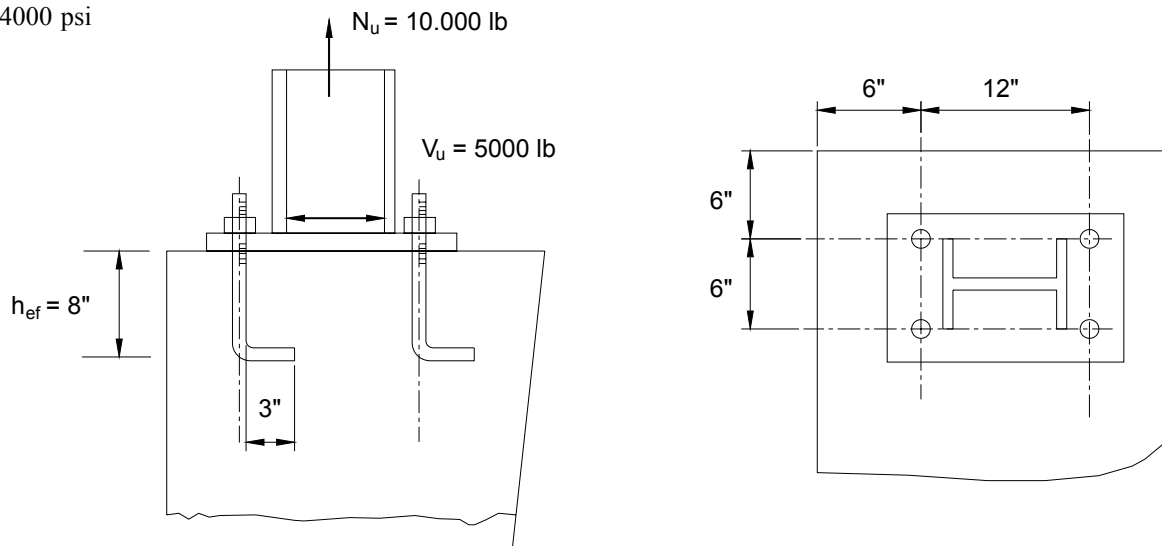
A7. Resumen

Usar un bulón de 1/2 in. de diámetro, con cabeza hexagonal, de acero ASTM A 307 Grado C, con una longitud empotrada de 7 in.

Ejemplo 34.6 – Grupo de bulones en L próximos a dos bordes solicitados a tracción y corte

Diseñar el grupo de cuatro bulones en L con las separaciones ilustradas. El grupo de bulones ha de soportar una carga de tracción mayorada de 10.000 lb y una carga de corte de servicio reversible debida al viento de 5000 lb. La conexión está ubicada en la base de una columna en una esquina de la fundación de la estructura.

$$f'_c = 4000 \text{ psi}$$



Nota: Los requisitos de OSHA implementados el 18 de enero de 2001 requieren que para anclar esta columna se utilicen como mínimo 4 anclajes y que la conexión sea capaz de soportar una carga gravitatoria excéntrica mínima de 300 lb ubicada a 18 in. de la cara de la columna en cada dirección. Esta carga se debe aplicar en la parte superior de la columna. Se pretende representar una carga correspondiente a un obrero de la construcción colgado desde la parte superior de la columna, ubicado hacia un lado de la misma. Para mayor información ver http://www.osha-slc.gov/OshStd_data/1926_0755.html.

Cálculos y discusión

Referencia del Código

1. La solución para este ejemplo se obtiene prefijando el tamaño de los anclajes y luego verificando que se satisfagan los requisitos de diseño. Intentamos con cuatro bulones en L de 5/8 in. de diámetro, de acero ASTM F 1554 Grado 36, con $h_{ef} = 8 \text{ in}$. y un gancho de 3 in (e_h) como se ilustra en la figura.
2. En este problema hay una interacción entre los esfuerzos de tracción y de corte, y por lo tanto es necesario determinar tanto la resistencia a la tracción de diseño (ϕN_n) como la resistencia al corte de diseño (ϕV_n). ϕN_n es la menor de las resistencias a la tracción de diseño, es decir de aquellas controladas por la resistencia del acero (ϕN_s), por el desprendimiento del hormigón (ϕN_{cb}), por el arrancamiento del anclaje (ϕN_{pn}) y por el descascaramiento del recubrimiento lateral (ϕN_{sb}). ϕV_n es la menor de las resistencias al corte de diseño, es decir de aquellas controladas por la resistencia del acero (ϕV_s), por el desprendimiento del hormigón (ϕV_{cb}) y por el arrancamiento del hormigón (ϕV_{cp}).
3. Determinar la resistencia a la tracción de diseño (ϕN_n).

- a. Resistencia del acero (ϕN_s):

$$\phi N_s = \phi n A_{se} f_{ut}$$

Ec. (D-3)

donde:

$$\phi = 0,75$$

D.4.4

De acuerdo con la Tabla 34-1, los bulones en forma de L de acero ASTM F 1554 Grado 36 satisfacen la definición correspondiente a elementos de acero dúctil dada en la sección D.1.

$$A_{se} = 0,226 \text{ in.}^2 \quad (\text{ver Tabla 34-2})$$

$$f_{ut} = 58.000 \text{ psi} \quad (\text{ver Tabla 34-1})$$

Reemplazando:

$$\phi N_s = 0,75(4)(0,226)(58.000) = 39.324 \text{ lb}$$

b. Resistencia al desprendimiento del hormigón por tracción (ϕN_{cbg}):

D.5.2

Como la separación entre los anclajes es menor que tres veces la profundidad de empotramiento efectiva $h_{ef} = 3 \times 8 = 24 \text{ in.}$, los anclajes se deben tratar como un grupo de anclajes.

$$\phi N_{cbg} = \phi \frac{A_N}{A_{No}} \psi_1 \psi_2 \psi_3 N_b \quad \text{Ec. (D-5)}$$

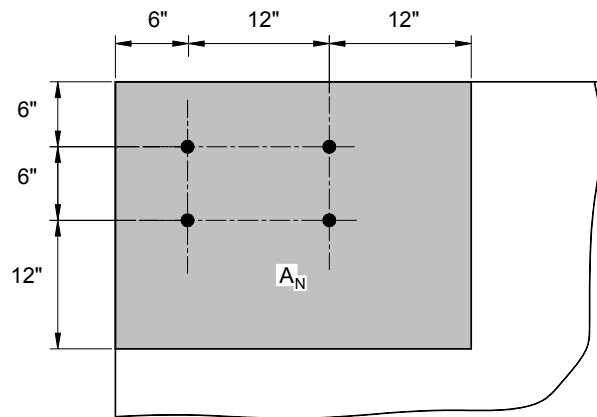
Como no se ha dispuesto ninguna armadura suplementaria $\phi = 0,70$.

D.4.4

Determinar A_N y A_{No} :

D.5.2.1

A_N es el área proyectada de la superficie de falla, la cual se aproxima mediante un rectángulo con sus lados ubicados a una distancia igual a $1,5h_{ef}$ ($1,5 \times 8,0 = 12,0 \text{ in.}$) del centro de los anclajes, con las limitaciones impuestas por los bordes libres del hormigón.



$$A_N = (6 + 12 + 12)(6 + 6 + 12) = 720 \text{ in.}^2$$

$$A_{No} = 9 h_{ef}^2 = 9(8)^2 = 576 \text{ in.}^2$$

Ec. (D-6)

$$\text{Verificar: } A_N \leq n A_{No} \quad 720 \leq 4(576) \quad \text{VERIFICA}$$

Determinar ψ_1 :

D.5.2.4

$\psi_1 = 1,0$ (no hay excentricidad en la conexión)

Determinar ψ_2 ($c_{\min} < 1,5h_{ef}$ $6 < (1,5(8))$): D.5.2.5

$$\psi_2 = 0,7 + 0,3 \frac{c_{\min}}{1,5h_{ef}} \quad \text{Ec. (D-11)}$$

$$\psi_2 = 0,7 + 0,3 \frac{6,0}{1,5(8,0)} = 0,85$$

Determinar ψ_3 : D.5.2.6

$\psi_3 = 1,0$ para las regiones donde es probable que el hormigón se fisure (el borde de la fundación es susceptible de fisurarse)

Determinar N_b : D.5.2.2

$$N_b = 24 \sqrt{f'_c} h_{ef}^{1,5} = 24 \sqrt{4000} (8,0)^{1,5} = 34.346 \text{ lb} \quad \text{Ec. (D-7)}$$

Reemplazando en la Ecuación (D-5):

$$\phi N_{cbg} = 0,70 \left[\frac{720}{576} \right] (1,0)(0,85)(1,0)(34.346) = 25.545 \text{ lb}$$

c. Resistencia al arrancamiento del anclaje por tracción (ϕN_{pn}): D.5.3

$$\phi N_{pn} = \phi \psi_4 N_p \quad \text{Ec. (D-12)}$$

donde:

$\phi = 0,70$ – Para la resistencia al arrancamiento del anclaje siempre se aplica la Condición B. D.4.4(c)ii

$\psi_4 = 1,0$ – En los bordes de la fundación puede haber fisuración. D.5.3.6

N_p para los bulones en L:

$$N_p = 0,9 f'_c e_h d_o \quad \text{Ec. (D-14)}$$

e_h = máximo valor efectivo de $4,5d_o = 4,5(0,625) = 2,81 \text{ in.}$

$e_{h, \text{provisto}} = 3 \text{ in.} > 2,81 \text{ in.}$, por lo tanto usar $e_h = 4,5d_o = 2,81 \text{ in.}$ D.5.3.5

Reemplazando en las Ecuaciones (D-12) y (D-14) para 4 bulones en L:

$$\phi N_{pn} = 4(0,70)(1,0)(0,9)(4000)(2,81)(0,65) = 17.703 \text{ lb}$$

Nota: Si utilizáramos bulones de 5/8 in. de diámetro con cabeza hexagonal el valor de ϕN_{pn} aumentaría significativamente:

N_p para los bulones con cabeza hexagonal:

$$N_p = A_{brg} 8 f'_c \quad \text{Ec. (D-13)}$$

$A_{brg} = 0,454 \text{ in.}^2$, para un bulón de 5/8 in. con cabeza hexagonal (ver Tabla 34-2)

Reemplazando en las Ecuaciones (D-12) y (D-13) para 4 bulones en L:

$$\phi N_{pn} = 4(0,70)(1,0)(0,454)(8)(4000) = 40.678 \text{ lb}$$

Si utilizáramos bulones con cabeza hexagonal la resistencia al arrancamiento aumentaría 2,3 veces con respecto a la correspondiente a los bulones en L.

d. Resistencia al descascaramiento del recubrimiento lateral (ϕN_{sb}): D.5.4

Sólo es necesario investigar el modo de falla por descascaramiento del recubrimiento lateral del hormigón cuando la distancia al borde, c , es menor que $0,4h_{ef}$. Como en este ejemplo utilizamos anclajes en forma de L el descascaramiento lateral no es aplicable. El siguiente cálculo se incluye exclusivamente para mostrar que, aunque utilizáramos anclajes con cabeza, la distancia al borde sería suficiente para que este modo de falla no fuera aplicable. D.5.4.1

$$0,4h_{ef} = 0,4(8) = 3,2 \text{ in.} < 6,0 \text{ in.}$$

Por lo tanto, la resistencia al descascaramiento del recubrimiento lateral no sería aplicable.

Resumen de las resistencias de diseño en base a la resistencia del acero, la resistencia al desprendimiento del hormigón, la resistencia al arrancamiento del anclaje y la resistencia al descascaramiento lateral para la tracción:

Resistencia del acero (ϕN_s):	39.324 lb	D.5.1
Resistencia al desprendimiento del hormigón (ϕN_{cbg}):	25.545 lb	D.5.2
Resistencia al arrancamiento del anclaje (ϕN_{pn}):	17.703 lb ← Valor determinante	D.5.3
Resistencia al descascaramiento lateral (ϕN_{sb}):	N/A	D.5.4

Por lo tanto:

$$\phi N_n = 17.703 \text{ lb}$$

Nota: Si hubiéramos utilizado bulones con cabeza hexagonal la resistencia al desprendimiento del hormigón por tracción (25.545 lb) sería el valor determinante, y no la resistencia al arrancamiento del anclaje en L (17.703). En otras palabras, utilizando bulones con cabeza hexagonal lograríamos aumentar la capacidad de tracción un 44%.

4. Determinar la resistencia al corte de diseño (ϕV_n). D.6

a. Resistencia del acero (ϕV_s): D.6.1

$$\phi V_s = \phi n 0,6 A_{se} f_{ut} \quad \text{Ec. (D-18)}$$

donde:

$$\phi = 0,65$$

D.4.4(a)ii

De acuerdo con la Tabla 34-1, los bulones de acero ASTM F 1554 Grado 36 satisfacen la definición correspondiente a Elementos de Acero Dúctil de la sección D.1.

$$A_{se} = 0,226 \text{ in.}^2 \quad (\text{ver Tabla 34-2})$$

$$f_{ut} = 58.000 \text{ psi} \quad (\text{ver Tabla 34-1})$$

Reemplazando:

$$\phi V_s = 0,65(4)(0,6)(0,226)(58.000) = 20.448 \text{ lb}$$

b. Resistencia al desprendimiento del hormigón por corte (ϕV_{cbg})

D.6.2

Los dos anclajes ubicados más próximos al borde libre hacia el cual se dirige el corte (cuando el corte actúa de derecha a izquierda) controlarán la resistencia al desprendimiento del hormigón. Se asume que estos anclajes soportan la mitad del corte (ver Figura RD.6.2.1(b), parte superior derecha). La resistencia total al desprendimiento del hormigón por corte se tomará igual al doble del valor calculado para estos dos anclajes. Esto se debe a que, aunque los dos anclajes más alejados del borde libre podrían ser capaces de desarrollar una mayor resistencia, éstos no tendrán la oportunidad de desarrollarla porque antes se producirá la falla de los anclajes más próximos al borde. En el caso de los pernos soldados se puede asumir que la totalidad del esfuerzo está ubicado en los dos anclajes más alejados del borde (ver Figura RD.6.2.1(b), parte inferior derecha); pero esta hipótesis no es admisible para los anclajes hormigonados in situ que se instalan a través de los orificios de una placa empotrada.

RD.6.2.1

$$V_{cbg} = \phi \frac{A_v}{A_{v0}} \psi_5 \psi_6 \psi_7 V_b$$

Ec. (D-21)

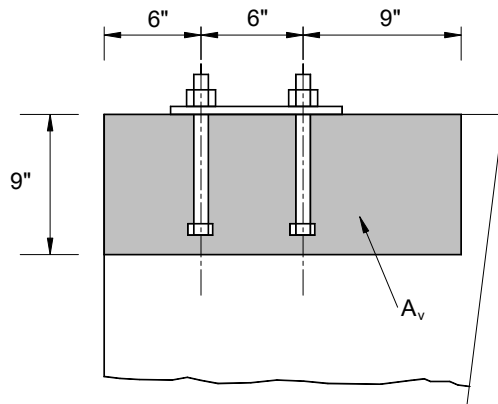
Como no se ha dispuesto armadura suplementaria, $\phi = 0,70$.

D.4.4(c)i

Determinar A_v y A_{v0} :

D.6.2.1

A_v es la proyección de la superficie de falla por corte sobre el borde libre hacia el cual se dirige el corte. La superficie proyectada se aproxima como un rectángulo con sus lados ubicados a una distancia igual a $1,5c_1$ (en este caso $1,5 \times 6,0 = 9,0 \text{ in.}$) del centro de los anclajes, con las limitaciones impuestas por los bordes libres del hormigón. Aunque la distancia $1,5c_1$ no se especifica en el artículo D.6.2.1, esta distancia está ilustrada en la Figura RD.6.2.1(b).



$$A_V = (6 + 6 + 9)(9) = 189 \text{ in.}^2$$

$$A_{V_0} = 4,5 c_1 = 4,5(6)^2 = 162 \text{ in.}^2 \quad \text{Ec. (D-22)}$$

$$\text{Verificar: } A_V \leq n A_{V_0} \quad 189 < 2(162) \quad \text{VERIFICA}$$

$$\text{Determinar } \psi_5: \quad \text{D.6.2.5}$$

$$\psi_1 = 1,0 \text{ (no hay excentricidad en la conexión)}$$

$$\text{Determinar } \psi_6 \text{ (} c_2 < 1,5 c_1 \quad 6 < [(1,5)(6)]: \quad \text{D.6.2.6}$$

$$\psi_6 = 0,7 + 0,3 \frac{c_2}{1,5 c_1}$$

$$\psi_6 = 0,7 + 0,3 \frac{6,0}{1,5(6,0)} = 0,90$$

$$\text{Determinar } \psi_7: \quad \text{D.6.2.7}$$

$$\psi_7 = 1,0 \text{ para las regiones donde es probable que el hormigón se fisure (el borde de la fundación es susceptible de fisurarse)}$$

$$\text{Determinar } V_b \text{ para un anclaje:}$$

$$V_b = 7 \left(\frac{\ell}{d_o} \right)^{0,2} \sqrt{d_o} \sqrt{f'_c} c_1^{1,5} \quad \text{Ec. (D-23)}$$

donde:

$$\ell = \text{longitud de apoyo de la carga del anclaje para corte, que debe ser menor o igual que } 8d_o \quad \text{D.0}$$

Para este problema el valor $8d_o$ será determinante:

$$\ell = 8d_o = 8(0,625) = 5,0 \text{ in.} < 8 \text{ in.}, \text{ por lo tanto usar } \ell = 8d_o = 5,0 \text{ in.}$$

Reemplazando en la Ecuación (D-23):

$$V_b = 7 \left(\frac{5,0}{0,625} \right)^{0,2} \sqrt{0,625} \sqrt{4000} 6,0^{1,5} = 7797 \text{ lb}$$

Reemplazando en la Ecuación (D-21), la resistencia al desprendimiento por corte de los dos anclajes más próximos al borde hacia el cual se dirige el corte es:

$$\phi V_{cbg} = 0,70 \left(\frac{189}{162} \right) (1,0)(0,90)(1,0)(7797) = 5731 \text{ lb}$$

La resistencia total al desprendimiento por corte del grupo de cuatro anclajes es:

$$\phi V_{cbg} = 2(5731) = 11.462 \text{ lb}$$

c. Resistencia al arrancamiento del hormigón (ϕV_{cp}):

D.6.3

Nota: El modo de falla por arrancamiento del hormigón generalmente sólo se debe considerar en el caso de anclajes rígidos y con poca longitud de empotramiento. Como este ejemplo cubre tanto el caso de corte que actúa en dirección al borde libre como el caso de corte actuando alejándose del borde libre, procederemos a evaluar la resistencia al arrancamiento del hormigón.

$$\phi V_{cp} = \phi k_{cp} N_{cb}$$

Ec. (D-28)

donde:

$\phi = 0,70$ – Para la resistencia al arrancamiento del hormigón siempre se aplica la Condición B.

D.4.4(c)i

$k_{cp} = 2,0$ para $h_{ef} \geq 2,5 \text{ in.}$

$$N_{cb} = \frac{A_N}{A_{No}} \psi_2 \psi_3 N_b$$

Ec. (D-4)

Del Paso 3(b) anterior y reconociendo que $N_{cb} = N_{cbg}$ si no hay ninguna carga de tracción excéntrica (es decir, $\psi_1 = 1,0$):

$$N_{cb} = \left[\frac{720}{576} \right] (0,85)(1,0)(34.346) = 36.493 \text{ lb}$$

Reemplazando en la Ecuación (D-28):

$$\phi V_{cp} = 0,70(2,0)(36.493) = 51.090 \text{ lb}$$

Resumen de las resistencias de diseño para corte:

Resistencia del acero (ϕV_s): 20.448 lb D.6.1

Resistencia al desprendimiento del hormigón (ϕV_{cbg}): 11.462 lb ← Valor determinante D.6.2

Resistencia al arrancamiento del hormigón (ϕV_{cp}): 51.090 lb D.6.3

Por lo tanto:

$$\phi V_n = 11.462 \text{ lb}$$

5. Verificar la interacción de los esfuerzos de tracción y corte.

D.7

Si $V_u \leq 0,2 \phi V_n$ se permite considerar la totalidad de la resistencia a tracción de diseño.

D.7.1

$$V_u = 5000 \text{ lb}$$

$$0,2 \phi V_n = 0,2(11.462) = 2292 \text{ lb} < 5000 \text{ lb}$$

Como $V_u > 0,2 \phi V_n$ no se puede considerar la totalidad de la resistencia a tracción de diseño.

Si $N_u \leq 0,2 \phi N_n$ se permite considerar la totalidad de la resistencia al corte de diseño.

D.7.2

$$N_u = 10.000 \text{ lb}$$

$$0,2 \phi N_n = 0,2(17.703) = 3544 \text{ lb} < 10.000 \text{ lb}$$

Como $N_u > 0,2 \phi N_n$ no se puede considerar la totalidad de la resistencia al corte de diseño.

Debemos utilizar la ecuación de interacción:

D.7.3

$$\frac{N_u}{\phi N_n} + \frac{V_u}{\phi V_n} \leq 1,2$$

Ec. (D-29)

$$\frac{10.000}{17.703} + \frac{5000}{11.462} = 1,00 < 1,2 \quad \text{VERIFICA}$$

6. Distancias a los bordes, separaciones y espesores requeridos para impedir la falla por hendimiento.

D.8

Como no es probable que los bulones en L hormigonados in situ sean sometidos a torques elevados, se aplican los requisitos de recubrimiento mínimo de la sección 7.7.

De acuerdo con la sección 7.7, el mínimo recubrimiento libre para una barra de 5/8 in. de diámetro que está en contacto con el suelo o que está al aire libre es de 1-1/2 in. Con la distancia al borde de 6 in. el recubrimiento libre provisto para el bulón es mayor que 1-1/2 in. VERIFICA

7. Resumen:

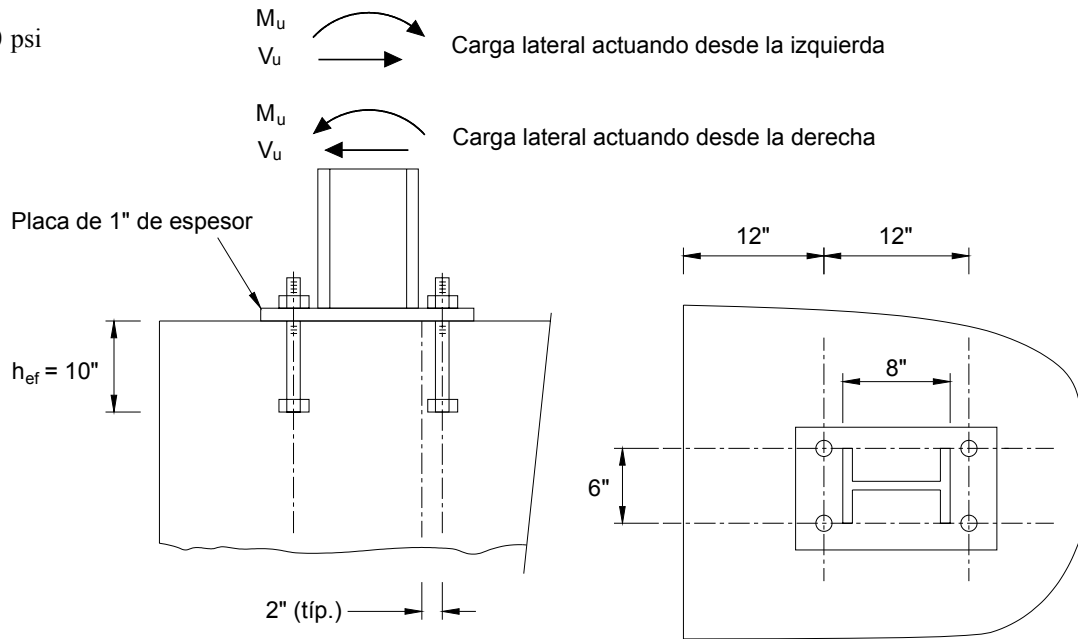
Usar bulones en L de 5/8 in. de diámetro, de acero ASTM F 1554 Grado 36, con una profundidad de empotramiento de 8 in. (medida hasta la superficie superior de la L) y una prolongación o gancho, e_h , de 3 in. tal como se ilustra en la figura.

Nota: Si en vez de bulones en forma de L utilizáramos bulones con cabeza hexagonal, la resistencia a la tracción de la conexión aumentaría significativamente. Si usáramos bulones con cabeza hexagonal la resistencia a la tracción de diseño aumentaría de 17.719 lb (valor controlado por la resistencia al arrancamiento de los bulones en L) hasta 25.545 lb (valor controlado por la resistencia al desprendimiento del hormigón de los bulones con cabeza hexagonal).

Ejemplo 34.7 – Grupo de bulones con cabeza próximos a un borde, solicitados a momento y corte, ubicados en una región de peligrosidad sísmica moderada o elevada

Diseñar el grupo de cuatro anclajes con cabeza ilustrado en la figura para un momento mayorado reversible de 19,5 k-ft y un esfuerzo de corte mayorado de 5,0 kips resultante de una carga sísmica horizontal. La estructura está ubicada en una región de peligrosidad sísmica moderada o elevada. La conexión se encuentra en la base de una columna de acero de 8 in.

$$f'_c = 4000 \text{ psi}$$



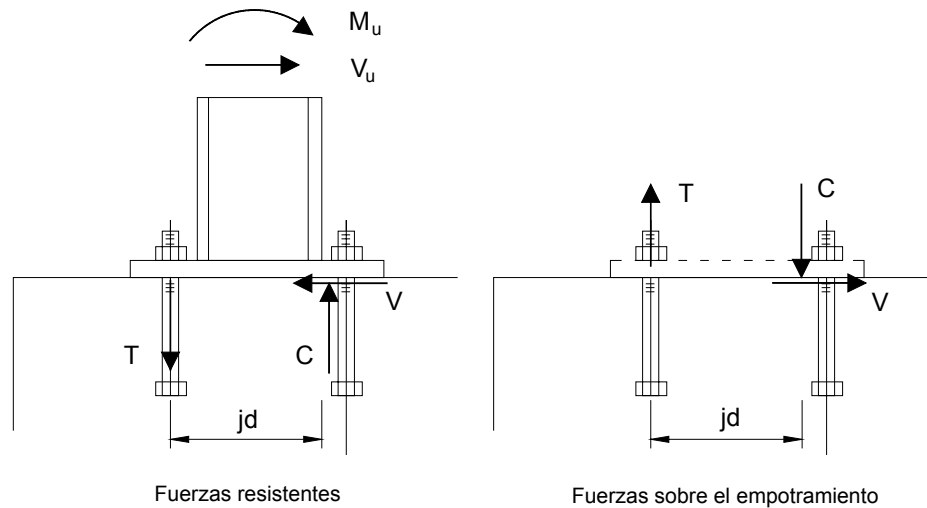
Cálculos y discusión

Referencia del Código

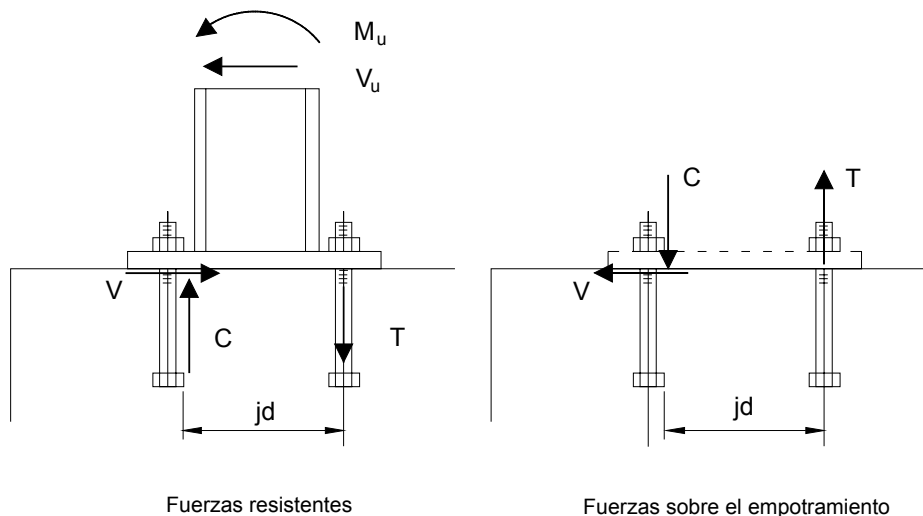
1. La solución para este ejemplo se obtiene prefijando el tamaño de los anclajes y luego verificando que se satisfagan los requisitos de diseño para regiones de peligrosidad moderada o elevada. Para este ejemplo intentamos con cuatro anclajes de 3/4 in. de diámetro con cabeza hexagonal, de acero ASTM F 1554 Grado 36, con $h_{ef} = 10$ in.
2. Como esta conexión está solicitada por cargas sísmicas y está ubicada en una región de peligrosidad sísmica moderada o elevada, la resistencia a la tracción de diseño es $0,75\phi N_n$ y la resistencia al corte de diseño es $0,75\phi V_n$. A menos que el elemento de fijación haya sido diseñado para fallar bajo una carga menor que la resistencia de diseño de los anclajes (incluyendo el factor 0,75), la resistencia de los anclajes debe ser controlada por la resistencia a tracción y a corte de los elementos de acero dúctil. Será necesario determinar tanto la resistencia a la tracción de diseño ($0,75\phi N_n$) como la resistencia al corte de diseño ($0,75\phi V_n$). ϕN_n es la menor de las resistencias a la tracción de diseño, es decir de aquellas controladas por la resistencia del acero (ϕN_s), por el desprendimiento del hormigón (ϕN_{cb}), por el arrancamiento del anclaje (ϕN_{pn}) y por el descascaramiento del recubrimiento lateral (ϕN_{sb}). ϕV_n es la menor de las resistencias al corte de diseño, es decir de aquellas controladas por la resistencia del acero (ϕV_s), por el desprendimiento del hormigón (ϕV_{cb}) y por el arrancamiento del hormigón (ϕV_{cp})
3. Este problema implica diseñar la conexión de la columna de acero a la fundación para el caso de cargas laterales actuando desde la izquierda o desde la derecha de la estructura, tal como se ilustra en la siguiente figura:

D.3.3

Carga lateral actuando desde la izquierda



Carga lateral actuando desde la derecha



Como se ilustra esta la figura, debido a la proximidad del borde libre de la izquierda, el caso crítico de tracción sobre los anclajes ocurre cuando la carga lateral actúa desde la izquierda, mientras que el caso crítico de corte ocurre cuando la carga horizontal actúa desde la derecha.

4. Distribución de los momentos y esfuerzos de corte aplicados a los anclajes.

Tracción en los anclajes debida al momento aplicado – No es posible determinar con precisión la ubicación exacta de la resultante de compresión debida al momento aplicado usando los métodos de análisis tradicionales para vigas. Esto es válido tanto para el método de la relación tensión-deformación elástica lineal (método de las áreas transformadas) como para el método del diagrama de tensiones de ACI 318 ya que no se verifica la hipótesis de las secciones planas (las secciones planas no permanecen planas). Aunque estos métodos se pueden utilizar, su aplicación requiere un análisis adicional demasiado complejo y, además, en algunos casos se obtienen resultados no conservadores cuando se utilizan placas de fijación relativamente flexibles. Las Referencias D.4, D.5 y D.6 contienen más información sobre este tema. Para los fines del diseño, de forma conservadora, se puede suponer que la resultante de compresión debida al momento aplicado

D.3

está ubicada a una distancia igual a un espesor de la placa de fijación desde el elemento comprimido del elemento sujetado por los anclajes.

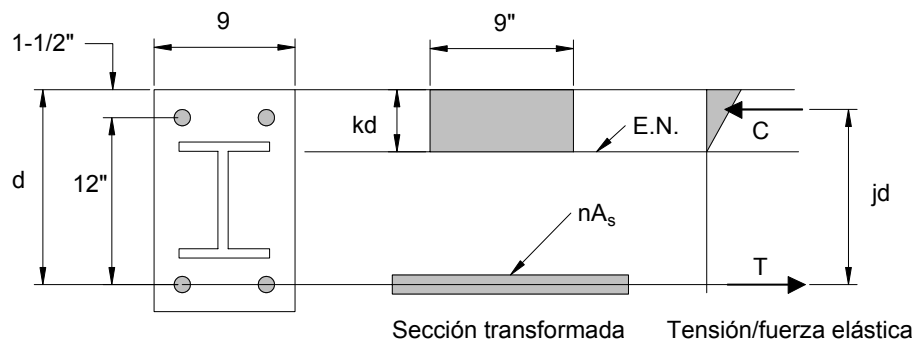
Para este ejemplo, estimaremos el brazo de momento interno, $j d$, usando tanto el método simplificado que se basa en la hipótesis de que la resultante de compresión está ubicada a una distancia igual a un espesor de la placa de fijación desde el elemento comprimido del elemento sujetado por los anclajes, como el método de las áreas transformadas que se basa en el análisis elástico de una viga de hormigón. De forma conservadora, para verificar el diseño usaremos el menor de los valores obtenidos.

Usando el método simplificado y conservador que supone que la resultante de compresión está ubicada a una distancia igual a un espesor de la placa de fijación (1 in.) desde el elemento comprimido del elemento sujetado, que tiene 8 in. de profundidad:

$$j d = 2 + 8 + 1 = 11 \text{ in.}$$

Este valor del brazo de momento interno, $j d$, es simplemente la suma de las 2 in. que hay entre los anclajes traccionados y el elemento sujetado, las 8 in. correspondientes a la profundidad del elemento y 1 in. del espesor de la placa.

Ahora planteamos el enfoque más complejo. Suponiendo que las distancias a los bordes desde el centro de los anclajes hasta los bordes de la placa de fijación son iguales a 1-1/2 in., el brazo de momento interno, $j d$, se puede determinar usando el método tradicional de las áreas transformadas en base a un análisis elástico de la siguiente manera:



Determinar $k d$ sumando los momentos respecto del eje neutro (E.N.) para la sección transformada:

$$9 k d \frac{k d}{2} = n A_s (d - k d)$$

donde:

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{29.000.000}{57.000 \sqrt{4000}} = 8,0$$

$$A_s = 2(0,334) = 0,668 \text{ in.}^2 \quad (\text{ver Tabla 34-2})$$

$$d = 1,5 + 12 = 13,5"$$

Reemplazando y resolviendo la ecuación cuadrática se obtiene $k d$:

$$4,5 k d^2 = (8,0)(0,668)(13,5 - k d)$$

$$kd = 3,45 \text{ in.}$$

Por lo tanto, el brazo de momento interno, jd , obtenido usando la teoría elástica de vigas es:

$$jd = d - \frac{kd}{3} = 13,5 - \frac{3,45}{3} = 12,4 \text{ in.}$$

De forma conservadora usar $jd = 11 \text{ in.}$, valor determinado asumiendo simplemente que la reacción de compresión está ubicada a una distancia igual a un espesor de la placa de fijación desde el elemento comprimido del elemento sujetado por los anclajes. Observar que aunque en este ejemplo hemos incluido el análisis según la teoría elástica de vigas, este análisis es complicado y se puede sobreestimar el brazo de momento interno, jd , cuando se analizan placas flexibles. Las Referencias D.4, D.5 y D.6 contienen más información sobre este tema.

Sumando los momentos respecto de la resultante de compresión (ver las figuras del Paso 3):

$$M_u = T(jd)$$

donde:

$$M_u = 19,5 \text{ k-ft} = 234.000 \text{ in.-lb}$$

$T = N_u$ (es decir, la carga de tracción mayorada que actúa sobre los anclajes traccionados)

$$jd = 11 \text{ in.}$$

Reordenando y reemplazando:

$$N_u = \frac{M_u}{jd} = \frac{234.000}{11} = 21.273 \text{ lb}$$

Corte – Aunque la resultante de compresión del momento aplicado permitirá que se desarrolle una resistencia al corte por fricción entre la placa de fijación y el hormigón, en este ejemplo despreciamos la resistencia por fricción; diseñaremos los anclajes del lado comprimido para transferir la totalidad del corte. Las Referencias D.4, D.5 y D.6 contienen más información sobre la contribución de la fricción a la resistencia al corte.

$V_u = 5000 \text{ lb}$ en los dos anclajes del lado comprimido.

5. Determinar la resistencia a la tracción de diseño para carga sísmica ($0,75\phi N_n$). D.5

a. Resistencia del acero (ϕN_s): D.5.1

$$\phi N_s = \phi n A_{se} f_{ut} \quad \text{Ec. (D-3)}$$

donde:

$$\phi = 0,75 \quad \text{D.4.4(a)i}$$

De acuerdo con la Tabla 34-1, los bulones de acero ASTM F 1554 Grado 36 satisfacen la definición correspondiente a Elementos de Acero Dúctil de la sección D.1.

$$A_{se} = 0,334 \text{ in.}^2 \quad (\text{ver Tabla 34-2})$$

$$f_{ut} = 58.000 \text{ psi} \quad (\text{ver Tabla 34-1})$$

Reemplazando:

$$\phi N_s = 0,75(2)(0,334)(58.000) = 29.058 \text{ lb}$$

b. Resistencia al desprendimiento del hormigón por corte (ϕN_{cbg})

D.5.2

Como la separación entre los anclajes es menor que tres veces la profundidad de empotramiento efectiva h_{ef} ($3 \times 10 \text{ in.} = 30 \text{ in.}$), los anclajes se deben tratar como un grupo de anclajes.

D.1

$$\phi N_{cbg} = \phi \frac{A_N}{A_{No}} \psi_1 \psi_2 \psi_3 N_b$$

Ec. (D-5)

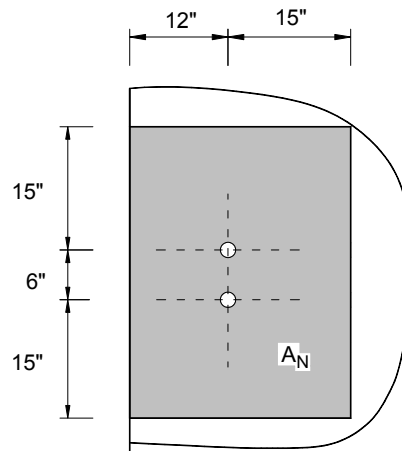
Como no se ha provisto armadura suplementaria $\phi = 0,70$

D.4.4(c)ii

Determinar A_N y A_{No} :

D.5.2.1

A_N es el área proyectada de la superficie de falla, la cual se aproxima mediante un rectángulo con sus lados ubicados a una distancia igual a $1,5h_{ef}$ (en este caso $1,5 \times 10,0 = 15,0 \text{ in.}$) del centro de los anclajes, con las limitaciones impuestas por los bordes libres del hormigón.



$$A_N = (12 + 15)(15 + 6 + 15) = 972 \text{ in.}^2$$

$$A_{No} = 9h_{ef}^2 = 9(10)^2 = 900 \text{ in.}^2$$

Ec. (D-6)

$$\text{Verificar: } A_N \leq nA_{No} \quad 972 < 2(900) \quad \text{VERIFICA}$$

Determinar ψ_1 :

D.5.2.4

$$\psi_1 = 1,0 \quad (\text{no hay excentricidad en la conexión})$$

Determinar ψ_2 :

D.5.2.5

$$\psi_2 = 0,7 + 0,3 \frac{c_{\min}}{1,5h_{ef}} \quad \text{Ec. (D-11)}$$

$$\psi_2 = 0,7 + 0,3 \frac{12,0}{1,5(10,0)} = 0,94$$

Determinar ψ_3 : D.5.2.6

$\psi_3 = 1,0$ para las regiones donde es probable que el hormigón se fisure
(el borde de la fundación es susceptible de fisurarse)

Determinar N_b : D.5.2.2

$$N_b = 24 \sqrt{f'_c} h_{ef}^{1,5} = 24 \sqrt{4000} (10,0)^{1,5} = 48.000 \text{ lb} \quad \text{Ec. (D-7)}$$

Reemplazando en la Ecuación (D-5):

$$\phi N_{cbg} = (0,70) \left[\frac{972}{900} \right] (1,0)(0,94)(1,0)(48.000) = 34.111 \text{ lb}$$

c. Resistencia al arrancamiento del anclaje por tracción (ϕN_{pn}): D.5.3

$$\phi N_{pn} = \phi \psi_4 N_p \quad \text{Ec. (D-12)}$$

donde:

$\phi = 0,70$ – Para la resistencia al arrancamiento del anclaje siempre se aplica la Condición B. D.4.4(c)ii

$\psi_4 = 1,0$ – En los bordes de la fundación puede haber fisuración. D.5.3.6

N_p para los bulones de cabeza hexagonal:

$$N_p = A_{brg} 8 f'_c \quad \text{Ec. (D-13)}$$

$A_{brg} = 0,654 \text{ in.}^2$, para un bulón de 3/4 in. con cabeza hexagonal (ver Tabla 34-2)

Reemplazando en las Ecuaciones (D-12) y (D-13), con 2 bulones (ϕN_{pn}):

$$\phi N_{pn} = 2(0,70)(1,0)(0,654)(8)(4000) = 29.299 \text{ lb}$$

d. Resistencia al descascaramiento del recubrimiento lateral (ϕN_{sb}): D.5.4

Cuando la distancia al borde, c , es menor que $0,4h_{ef}$ es necesario investigar el modo de falla por descascaramiento del recubrimiento lateral del hormigón. D.5.4.1

$$0,4h_{ef} = 0,4(10) = 4,0 \text{ in.} < 12,0 \text{ in.}$$

Por lo tanto el modo de falla por descascaramiento del recubrimiento lateral de hormigón no es aplicable.

Resumen de las resistencias de diseño en base a la resistencia del acero, la resistencia al desprendimiento del hormigón, la resistencia al arrancamiento del anclaje y la resistencia al descascaramiento lateral para la tracción:

Resistencia del acero (ϕN_s):	29.058 lb ← Valor determinante	D.5.1
Resistencia al desprendimiento del hormigón (ϕN_{cbg}):	34.111 lb	D.5.2
Resistencia al arrancamiento del anclaje (ϕN_{pn}):	29.299 lb	D.5.3
Resistencia al descascaramiento lateral (ϕN_{sb}):	N/A	D.5.4

Por lo tanto:

$\phi N_n = 29.058$ lb y es controlada por un elemento de acero dúctil como se requiere en el artículo D.3.3.4.

Para las cargas sísmicas en una región de peligrosidad sísmica moderada o elevada, la resistencia a la tracción de diseño es $0,75 \phi N_n$: D.3.3.3

$0,75 \phi N_n = 0,75(29.058) = 21.794$ lb y es controlada por un elemento de acero dúctil.

Verificar si $N_u \leq 0,75 \phi N_n$

21.273 lb $>$ 21.794 lb VERIFICA para tracción

6. Determinar la resistencia al corte de diseño (ϕV_n). D.6

a. Resistencia del acero (ϕV_s): D.6.1

$$\phi V_s = \phi n 0,6 A_{se} f_{ut} \quad \text{Ec. (D-18)}$$

donde:

$$\phi = 0,65 \quad \text{D.4.4(a)ii}$$

De acuerdo con la Tabla 34-1, los bulones de acero ASTM F 1554 Grado 36 satisfacen la definición correspondiente a Elementos de Acero Dúctil de la sección D.1.

$$A_{se} = 0,334 \text{ in.}^2 \quad (\text{ver Tabla 34-2})$$

$$f_{ut} = 58.000 \text{ psi} \quad (\text{ver Tabla 34-1})$$

Reemplazando:

$$\phi V_s = 0,65(2)(0,6)(0,334)(58.000) = 15.110 \text{ lb}$$

b. Resistencia al desprendimiento del hormigón por corte (ϕV_{cbg}) D.6.2

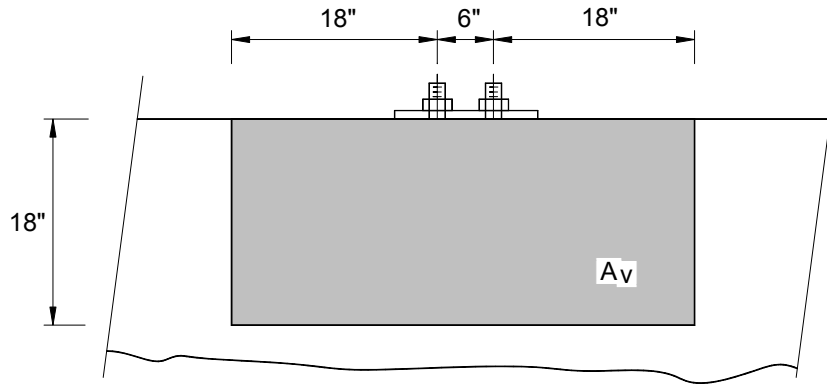
$$\phi V_{cbg} = \phi \frac{A_v}{A_{Vo}} \psi_5 \psi_6 \psi_7 V_b \quad \text{Ec. (D-21)}$$

Como no se ha provisto armadura suplementaria $\phi = 0,70$ D.4.4(c)i

Determinar A_V y A_{V0} :

D.6.2.1

A_V es la proyección de la superficie de falla por corte sobre el borde libre hacia el cual se dirige el corte. La superficie proyectada se aproxima como un rectángulo con sus lados ubicados a una distancia igual a $1,5c_1$ (en este caso $1,5 \times 12,0 = 18,0$ in.) del centro de los anclajes, con las limitaciones impuestas por los bordes libres del hormigón.



$$A_V = (18 + 6 + 18)(18) = 756 \text{ in.}^2$$

$$A_{V0} = 4,5c_1^2 = 4,5(12)^2 = 648 \text{ in.}^2$$

Ec. (D-22)

Verificar: $A_V \leq n A_{V0}$ $756 < 2(648)$ VERIFICA

Determinar ψ_5 :

D.6.2.5

$\psi_5 = 1,0$ (no hay excentricidad en la conexión)

Determinar ψ_6 :

D.6.2.6

$\psi_6 = 1,0$ (no hay ningún borde libre ortogonal)

Ec. (D-26)

Determinar ψ_7 :

$\psi_7 = 1,0$ para las regiones donde es probable que el hormigón se fisure (el borde de la fundación es susceptible de fisurarse)

Determinar V_b para un anclaje:

$$V_b = 7 \left(\frac{\ell}{d_o} \right)^{0,2} \sqrt{d_o} \sqrt{f'_c} c_1^{1,5}$$

Ec. (D-23)

donde:

ℓ = longitud de apoyo de la carga del anclaje para corte, que debe ser menor o igual que $8d_o$

D.0

Para este problema el valor $8d_o$ será determinante.

$$\ell = 8d_o = 8(0,75) = 6,0 \text{ in.} < 10 \text{ in.}, \text{ por lo tanto usar } 8d_o.$$

Reemplazando en la Ecuación (D-23):

$$V_b = (7) \left(\frac{8(0,75)}{0,75} \right)^{0,2} \sqrt{0,75} \sqrt{4000} (12,0)^{1,5} = 24.157 \text{ lb}$$

Reemplazando en la Ecuación (D-21):

$$\phi V_{cbg} = 0,70 \left(\frac{756}{648} \right) (1,0)(1,0)(1,0)(24.157) = 19.728 \text{ lb}$$

c. Resistencia al arrancamiento del hormigón (ϕV_{cp}):

D.6.3

Nota: El modo de falla por arrancamiento del hormigón generalmente sólo se debe considerar en el caso de anclajes rígidos y con poca longitud de empotramiento. Como este ejemplo cubre tanto el caso de corte que actúa en dirección al borde libre como el caso de corte actuando alejándose del borde libre, procederemos a evaluar la resistencia al arrancamiento del hormigón.

$$\phi V_{cp} = \phi k_{cp} N_{cp} \quad \text{Ec. (D-28)}$$

donde:

$\phi = 0,70$ – Para la resistencia al arrancamiento del hormigón siempre se aplica la Condición B. D.4.4(c)i

$k_{cp} = 2,0$ para $h_{ef} > 2,5 \text{ in.}$

$$N_{cb} = \frac{A_N}{A_{No}} \psi_2 \psi_3 N_b \quad \text{Ec. (D-4)}$$

$$N_{cb} = \left[\frac{972}{900} \right] (0,94)(1,0)(48.000) = 48.730 \text{ lb}$$

Reemplazando en la Ecuación (D-28):

$$\phi V_{cp} = 0,70(2,0)(48.730) = 68.222 \text{ lb}$$

Resumen de las resistencias de diseño para corte:

Resistencia del acero (ϕV_s):	15.110 lb ← Valor determinante	D.6.1
Resistencia al desprendimiento del hormigón (ϕV_{cbg}):	19.728 lb	D.6.2
Resistencia al arrancamiento del hormigón (ϕV_{cp}):	68.222 lb	D.6.3

Por lo tanto:

$\phi V_n = 15.110 \text{ lb}$ y es controlada por un elemento de acero dúctil como se requiere en el artículo D.3.3.4.

Para las cargas sísmicas en una región de peligrosidad sísmica moderada o elevada, la resistencia al corte de diseño es $0,75 \phi V_n$: D.3.3.3

$0,75 \phi V_n = 0,75(15.110) = 11.333 \text{ lb}$ y es controlada por un elemento de acero dúctil.

Verificar si $V_u \leq 0,75 \phi V_n$

$5000 \text{ lb} < 11.333 \text{ lb}$ VERIFICA para corte.

7. Distancias a los bordes, separaciones y espesores requeridos para impedir la falla por hendimiento.

D.8

Como los anclajes hormigonados in situ no se someten a torque, se aplican los requisitos de recubrimiento mínimo de la sección 7.7.

De acuerdo con la sección 7.7, el mínimo recubrimiento libre para una barra de 3/4 in. que está en contacto con el suelo o que está al aire libre es de 1-1/2 in. El recubrimiento libre provisto para el bulón es mayor que este valor requerido, ya que la distancia del eje del bulón al borde libre es de 12 in. VERIFICA

8. Resumen.

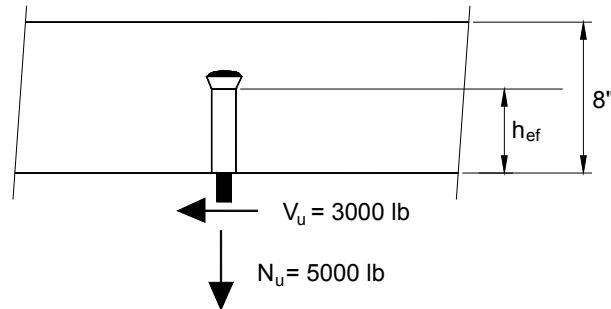
Usar anclajes de 3/4 in. de diámetro con cabeza hexagonal, de acero ASTM F 1554 Grado 36, con $h_{ef} = 10 \text{ in.}$

Nota: Los requisitos de OSHA implementados el 18 de enero de 2001 requieren que para anclar la columna se utilicen como mínimo 4 anclajes y que la conexión sea capaz de soportar una carga gravitatoria excéntrica mínima de 300 lb ubicada a 18 in. de la cara de la columna en cada dirección. Esta carga se debe aplicar en la parte superior de la columna. Se pretende representar una carga correspondiente a un obrero de la construcción colgado desde la parte superior de la columna, ubicado hacia un lado de la misma. Para mayor información ver http://www.osha-slc.gov/OshStd_data/1926_0755.html. Aunque no hemos incluido los cálculos en el ejemplo, esta conexión satisface los requisitos de OSHA.

Ejemplo 34.8 – Anclaje individual instalado en hormigón endurecido, alejado de los bordes, solicitado a tracción y corte

Diseñar un anclaje mecánico individual instalado en hormigón endurecido en el fondo de una losa de 8 in., para soportar una carga de tracción mayorada de 5000 lb y una carga de corte mayorada de 3000 lb (no incluye cargas sísmicas de regiones de peligrosidad sísmica moderada a elevada).

$$f'_c = 4000 \text{ psi}$$



Nota: Incluimos este ejemplo de diseño de un anclaje mecánico instalado en hormigón endurecido porque los complicados cálculos para los grupos de anclajes, las condiciones de borde, las excentricidades y la interacción entre los esfuerzos de tracción y corte cubiertos en los ejemplos anteriores para el caso de los anclajes hormigonados in situ son básicamente los mismos que para los anclajes mecánicos que se instalan en hormigón endurecido.

Similitudes entre los anclajes mecánicos instalados en hormigón endurecido y los anclajes hormigonados in situ:

- Para los grupos de anclajes y las condiciones de borde A_N , A_{No} , A_V y A_{Vo} se determinan de la misma manera.
- Cuando hay cargas excéntricas ψ_1 y ψ_5 se determinan de la misma manera.
- Para los efectos de borde ψ_2 y ψ_6 se determinan de la misma manera.
- Para los anclajes que se utilizan en regiones en las cuales el hormigón se puede fisurar ψ_3 y $\psi_7 = 1,0$.

Las propiedades exclusivas de los anclajes mecánicos se obtienen de un informe de evaluación de producto realizado conforme a ACI 355.2 (ver el ejemplo de la Tabla 34-3, correspondiente a un anclaje mecánico rebajado instalado en hormigón endurecido). Las propiedades exclusivas asociadas con cada tipo de anclaje mecánico a instalar en hormigón endurecido son las siguientes:

- longitud de empotramiento efectiva, h_{ef}
- área efectiva de la sección transversal del anclaje, A_{se}
- tensión de fluencia especificada, f_y , y resistencia a la tracción especificada, f_{ut}
- área efectiva de la sección transversal de la camisa, A_{sl} , y resistencia a la tracción especificada de la camisa, f_{utsl} (se utilizan cuando la camisa del anclaje atraviesa el plano de corte)
- distancia mínima a los bordes del anclaje, c_{min}
- espesor mínimo del elemento en el cual se instala el anclaje, h_{min}
- categoría del anclaje para determinar el factor ϕ apropiado para la resistencia del empotramiento
- coeficiente para calcular la resistencia básica al arrancamiento por tracción del hormigón, k , para utilizar en la Ecuación (D-7)
- resistencia al arrancamiento por tracción del anclaje, N_p

1. La solución para este ejemplo se obtiene prefijando el tamaño del anclaje y luego verificando que se satisfagan los requisitos de diseño. Intentamos con el anclaje mecánico rebajado de 1/2 in. descrito en la Tabla 34-3. Observar que se trata de un anclaje ficticio.
2. En este problema hay una interacción entre los esfuerzos de tracción y de corte, y por lo tanto es necesario determinar tanto la resistencia a la tracción de diseño (ϕN_n) como la resistencia al corte de diseño (ϕV_n). ϕN_n es la menor de las resistencias a la tracción de diseño, es decir de aquellas controladas por la resistencia del acero (ϕN_s), por el desprendimiento del hormigón (ϕN_{cb}), por el arrancamiento del anclaje (ϕN_{pn}) y por el descascaramiento del recubrimiento lateral (ϕN_{sb}). ϕV_n es la menor de las resistencias al corte de diseño, es decir de aquellas controladas por la resistencia del acero (ϕV_s), por el desprendimiento del hormigón (ϕV_{cb}) y por el arrancamiento del hormigón (ϕV_{cp}).
3. Determinar la resistencia a la tracción de diseño (ϕN_n). D.5

- a. Resistencia del acero (ϕN_s): D.5.1

$$\phi N_s = \phi n A_{se} f_{ut} \quad \text{Ec. (D-3)}$$

donde:

$$\phi = 0,65 \quad \text{D.4.4}$$

Actualmente los informes de evaluación de producto conforme a ACI 355.2 no incluyen información sobre el alargamiento y la reducción mínima del área del acero del anclaje. Estos valores son necesarios para determinar si el acero califica como Elemento de Acero Dúctil o como Elemento de Acero Frágil (ver las definiciones correspondientes en la sección D.1). De forma conservadora, para este ejemplo asumiremos que el acero es frágil.

$$A_{se} = 0,131 \text{ in.}^2 \quad (\text{ver Tabla 34-3})$$

$$f_{ut} = 116.000 \text{ psi} \quad (\text{ver Tabla 34-3})$$

Nota: De acuerdo con el artículo D.5.1.2, f_{ut} se debe tomar menor o igual que $1,9f_y$ ó 125.000 psi. De la Tabla 34-3: $f_y = 92.800 \text{ psi}$ y $1,9f_y = 1,9 (92.800) = 176.320 \text{ psi}$. Por lo tanto, usamos el valor mínimo de f_{ut} especificado, es decir 116.000 psi. D.5.1.2

Reemplazando:

$$\phi N_s = 0,65(1)(0,131)(116.000) = 9877 \text{ lb}$$

- b. Resistencia al desprendimiento del hormigón por tracción (ϕN_{cb}): D.5.2

$$\phi N_{cb} = \phi \frac{A_N}{A_{No}} \psi_2 \psi_3 N_b \quad \text{Ec. (D-4)}$$

donde:

$$\phi = 0,65 \quad \text{D.4.4}$$

De la Tabla 34-3, este anclaje es de Categoría 1. No se ha provisto ninguna armadura suplementaria.

$\frac{A_N}{A_{No}}$ y ψ_2 son 1,0 (anclaje individual alejado de los bordes)

$\psi_3 = 1,0$ para las regiones en las cuales es probable que el hormigón se fisure (por ejemplo, en el fondo de la losa).

$$N_b = k \sqrt{f'_c} h_{ef}^{1,5} \quad \text{Ec. (D-7)}$$

donde:

$$k = 24$$

Nota: Para los anclajes instalados en hormigón endurecido, $k = 17$ (a menos que un informe de evaluación de producto indique que se puede utilizar un valor más elevado). Para el caso de este anclaje rebajado, de acuerdo con la Tabla 34-3, $k = 24$. RD.5.2.2

$$h_{ef} = 5 \text{ in.} \quad (\text{Tabla 34-3})$$

Por lo tanto,

$$N_b = 24 \sqrt{4000} 5^{1,5} = 16.970 \text{ lb}$$

Reemplazando:

$$\phi N_{cb} = 0,65(1,0)(1,0)(16.970) = 11.031 \text{ lb}$$

c. Resistencia al arrancamiento del anclaje por tracción (ϕN_{pn}): D.5.3

$$\phi N_{pn} = \phi \psi_4 N_p \quad \text{Ec. (D-12)}$$

donde:

$$\phi = 0,65 \text{ – Anclaje de Categoría 1, sin armadura suplementaria.} \quad \text{D.4.4}$$

$$\psi_4 = 1,0 \text{ – En los bordes de la fundación puede haber fisuración.} \quad \text{D.5.3.6}$$

$$N_p = 12.730 \text{ lb} \quad (\text{ver Tabla 34-3})$$

Reemplazando:

$$\phi N_p = 0,65(1,0)(12.730) = 8275 \text{ lb}$$

d. Resistencia al descascaramiento del recubrimiento lateral (ϕN_{sb}): D.5.4

Este anclaje no está ubicado próximo a ningún borde libre, por lo tanto la resistencia al descascaramiento lateral no es aplicable. D.5.4.1

Resumen de la resistencia del acero, la resistencia al desprendimiento del hormigón, la resistencia al arrancamiento del anclaje y la resistencia al descascaramiento lateral para la tracción:

Resistencia del acero (ϕN_s):	9877 lb	D.5.1
Resistencia al desprendimiento del hormigón (ϕN_{cb}):	11.031 lb	D.5.2
Resistencia al arrancamiento del anclaje (ϕN_{pn}):	8265 lb ← Valor determinante	D.5.3
Resistencia al descascaramiento lateral (ϕN_{sb}):	N/A	D.5.4

Por lo tanto:

$$\phi N_n = 8265 \text{ lb}$$

4. Determinar la resistencia al corte de diseño (ϕV_n). D.6

- a. Resistencia del acero (ϕV_s): D.6.1

$$\phi V_s = \phi n (0,6 A_{se} f_{ut} + 0,4 A_{sl} f_{utsl}) \quad \text{Ec. (D-19)}$$

donde:

$$\phi = 0,60$$

Actualmente los informes de evaluación de producto conforme a ACI 355.2 no incluyen información sobre el alargamiento y la reducción mínima del área del acero del anclaje. Estos valores son necesarios para determinar si el acero califica como Elemento de Acero Dúctil o como Elemento de Acero Frágil (ver las definiciones correspondientes en la sección D.1). De forma conservadora, para este ejemplo asumiremos que el acero es frágil.

$$A_{se} = 0,131 \text{ in.}^2 \quad (\text{ver Tabla 34-3})$$

$$f_{ut} = 116.000 \text{ psi} \quad (\text{ver Tabla 34-3})$$

Nota: De acuerdo con el artículo D.5.1.2, f_{ut} se debe tomar menor o igual que $1,9f_y$ ó 125.000 psi. De la Tabla 34-3: $f_y = 92.800 \text{ psi}$ y $1,9f_y = 1,9 (92.800) = 176.320 \text{ psi}$. Por lo tanto, usamos el valor mínimo de f_{ut} especificado, es decir 116.000 psi.

Para este ejemplo asumiremos que la camisa del anclaje está a ras con la superficie de hormigón (es decir, la camisa del anclaje no atraviesa el plano de corte).

Reemplazando:

$$\phi V_s = 0,60(1) [(0,6)(0,131)(116.000) + 0] = 5470 \text{ lb}$$

- b. Resistencia al desprendimiento del hormigón por corte (ϕV_{cbg}) D.6.2

Este anclaje no está ubicado próximo a ningún borde libre, por lo tanto la resistencia al desprendimiento del hormigón por corte no es aplicable.

- c. Resistencia al arrancamiento del hormigón (ϕV_{cp}): D.6.3

$$\phi V_{cp} = \phi k_{cp} N_{cb} \quad \text{Ec. (D-28)}$$

donde:

$$\phi = 0,65 - \text{Anclaje de Categoría 1, sin armadura suplementaria.} \quad \text{D.4.4}$$

$$k_{cp} = 2,0 \text{ para } h_{ef} > 2,5 \text{ in.} \quad \text{Ec. (D-4)}$$

$$N_{cb} = \frac{A_N}{A_{No}} \psi_2 \psi_3 N_b$$

Del Paso 3 anterior:

$$N_{cb} = (1,0)(1,0)(1,0)(16.970) = 16.970 \text{ lb}$$

Reemplazando en la Ecuación (D-28):

$$\phi V_{cp} = 0,65(2,0)(16.970) = 22.061 \text{ lb}$$

Resumen de la resistencia del acero, la resistencia al desprendimiento del hormigón y la resistencia al arrancamiento del hormigón para el corte (del Ejemplo 34.4):

Resistencia del acero (ϕV_s):	5470 lb	← Valor determinante	D.6.1
---------------------------------------	---------	----------------------	-------

Resistencia al desprendimiento del hormigón por corte (ϕV_{cb}):	N/A		D.6.2
--	-----	--	-------

Resistencia al arrancamiento del hormigón (ϕV_{cp}):	22.061 lb		D.6.3
--	-----------	--	-------

Por lo tanto:

$$\phi V_n = 5470 \text{ lb}$$

5. Verificar la interacción de los esfuerzos de tracción y corte. D.7

Si $V_u \leq 0,2 \phi V_n$ se permite considerar la totalidad de la resistencia a tracción. D.7.1

$$V_u = 3000 \text{ lb}$$

$$0,2 \phi V_n = 0,2(5470) = 1094 \text{ lb}$$

V_u es mayor que $0,2 \phi V_n$, por lo tanto no se puede considerar la totalidad de la resistencia a tracción.

Si $N_u \leq 0,2 \phi N_n$ se permite considerar la totalidad de la resistencia al corte. D.7.2

$$N_u = 5000 \text{ lb}$$

$$0,2 \phi N_n = 0,2(8265) = 1653 \text{ lb}$$

N_u es mayor que $0,2 \phi N_n$, por lo tanto no se puede considerar la totalidad de la resistencia al corte.

Debemos utilizar la ecuación de interacción: D.7.3

$$\frac{N_u}{\phi N_n} + \frac{V_u}{\phi V_n} \leq 1,2 \quad \text{Ec. (D-29)}$$

$$\frac{5200}{8265} + \frac{3000}{5470} = 0,60 + 0,55 = 1,15 < 1,2 \quad \text{VERIFICA}$$

6. Distancias a los bordes, separaciones y espesores requeridos para impedir la falla por hendimiento.

D.8

Como este anclaje está alejado de los bordes, solamente son aplicables las limitaciones de la longitud de empotramiento, h_{ef} , relacionadas con el espesor del elemento. De acuerdo con D.8.5, h_{ef} debe ser menor o igual que $2/3$ del espesor del elemento, o que el espesor del elemento menos 4 in. La sección D.8 permite utilizar valores de h_{ef} más elevados siempre que se hayan realizado ensayos específicos para el producto en cuestión de acuerdo con ACI 355.2.

Como se puede ver en la Tabla 34-3, el informe de evaluación de este producto conforme a ACI 355.2 indica un espesor mínimo $h_{min} = 6-5/8$ in., valor que es menor que las 8 in. provistas. VERIFICA

7. Resumen.

El anclaje mecánico rebajado ficticio de $1/2$ in. de diámetro instalado en hormigón endurecido descrito en la Tabla 34-3 es adecuado para las cargas mayoradas de tracción y corte indicadas.