

# APÉNDICE D. ANCLAJE EN HORMIGÓN

## D.0. SIMBOLOGÍA

- $A_{brg}$  área de apoyo de la cabeza del perno o bulón de anclaje, en  $\text{mm}^2$ .
- $A_{Nc}$  área de falla proyectada del hormigón de un anclaje individual o grupo de anclajes, para el cálculo de la resistencia a tracción, en  $\text{mm}^2$ . Ver el artículo D.5.2.1. El valor de  $A_{Nc}$  no se deberá adoptar mayor que  $nA_{Nco}$ .
- $A_{Nco}$  área de falla proyectada del hormigón de un anclaje individual para el cálculo de la resistencia a tracción siempre que no esté limitada por la distancia al borde o por la separación, en  $\text{mm}^2$ . Ver el artículo D.5.2.1.
- $A_{se}$  área efectiva de la sección transversal del anclaje, en  $\text{mm}^2$ .
- $A_{Vc}$  área de falla proyectada del hormigón de un anclaje individual o grupo de anclajes, para el cálculo de la resistencia al corte, en  $\text{mm}^2$ . Ver el artículo D.6.2.1.
- $A_{Vco}$  área de falla proyectada del hormigón de un anclaje individual, para el cálculo de la resistencia al corte, siempre que no esté limitada por la influencia de las esquinas, la separación o el espesor del elemento, en  $\text{mm}^2$ . Ver el artículo D.6.2.1.
- $c_{ac}$  distancia crítica al borde, requerida para desarrollar la resistencia básica al desprendimiento del hormigón de un anclaje instalado en hormigón endurecido no fisurado, sin armadura suplementaria para controlar el hendimiento, en mm. Ver el artículo D.8.6.
- $c_{a,max}$  máxima distancia entre el centro de un anclaje y el borde del hormigón, en mm.
- $c_{a,min}$  mínima distancia entre el centro de un anclaje y el borde del hormigón, en mm.
- $c_{a1}$  distancia entre el centro de un anclaje hasta el borde del hormigón en una dirección, en mm. Si al anclaje se le aplica un esfuerzo de corte, la distancia  $c_{a1}$  se debe considerar en la dirección del corte aplicado. Si al anclaje se le aplica tracción, la distancia  $c_{a1}$  se debe considerar como la mínima distancia a un borde.
- $c'_{a1}$  valor límite de  $c_{a1}$  cuando los anclajes están ubicados a menos de  $1,5 h_{ef}$  de tres o más bordes. Ver el artículo C D.6.2.4.
- $c_{a2}$  distancia desde el centro de un anclaje hasta el borde del hormigón en la dirección perpendicular a  $c_{a1}$ , en mm.
- $d_o$  diámetro exterior del anclaje, o diámetro del vástago de un perno con cabeza, bulón con cabeza o bulón con gancho, en mm. Ver el artículo D.8.4.

- $d'_o$  valor con que se sustituye  $d_o$  cuando se utiliza un anclaje sobredimensionado, en mm. Ver el artículo D.8.4.
- $e_h$  distancia entre la superficie interior del vástago de un bulón en J o en L y la punta exterior del mismo, en mm.
- $e_N$  excentricidad real de la fuerza normal en un dispositivo de fijación, en mm.
- $e_N'$  distancia entre la carga de tracción resultante que actúa sobre un grupo de anclajes cargados en tracción y el baricentro del grupo de anclajes cargados en tracción, en mm. La distancia  $e_N'$  es siempre positiva.
- $e_V'$  distancia entre la carga de corte resultante que actúa sobre un grupo de anclajes cargados con corte en la misma dirección y el baricentro del grupo de anclajes cargados con corte en la misma dirección, en mm. La distancia  $e_V'$  es siempre positiva.
- $f'_c$  resistencia especificada a la compresión del hormigón, en MPa.
- $f_{ct}$  valor promedio de la resistencia a la tracción por compresión diametral del hormigón liviano, en MPa.
- $f_r$  módulo de rotura del hormigón, o resistencia a la tracción por flexión del hormigón, en MPa. Es una tensión teórica de tracción correspondiente a la rotura por flexión del hormigón, calculada como si la distribución de tensiones fuera lineal. Ver el artículo 9.5.2.3.
- $f_t$  tensión en la fibra traccionada extrema, en la zona de tracción precomprimida, determinada bajo las cargas de servicio, utilizando las propiedades de la sección total o bruta, en MPa. Ver el artículo 18.3.3.
- $f_{uta}$  resistencia a la tracción especificada del acero de los anclajes, en MPa.
- $h_a$  espesor del elemento en el cual hay un anclaje, medido paralelo al eje del anclaje, en mm.
- $h_{ef}$  profundidad efectiva de empotramiento del anclaje, en mm. Ver el artículo D.8.5.
- $h'_{ef}$  valor límite de  $h_{ef}$  cuando los anclajes están ubicados a menos de  $1,5 h_{ef}$  de tres o más bordes. Ver la Figura CD.5.2.3.
- $k_c$  coeficiente para la resistencia básica al desprendimiento del hormigón solicitado a tracción.
- $k_{cp}$  coeficiente para la resistencia al arrancamiento del hormigón.
- $k_{05}$  coeficiente relacionado con el percentil 5.
- $l_e$  longitud del apoyo de la carga del anclaje para corte, en mm.
- $n$  número de anclajes en un grupo.

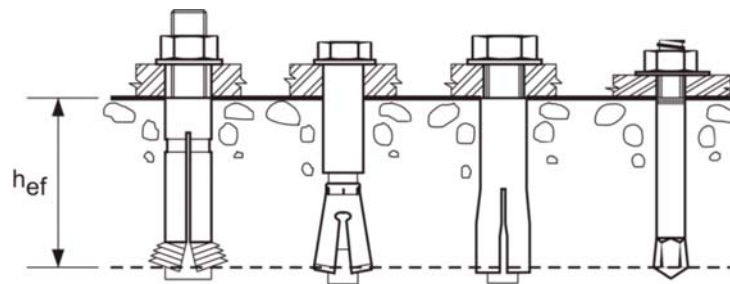
$N_b$	resistencia básica al desprendimiento del hormigón por tracción de un único anclaje en hormigón fisurado, en N. Ver el artículo D.5.2.2.
$N_{cb}$	resistencia nominal al desprendimiento del hormigón por tracción de un único anclaje, en N. Ver el artículo D.5.2.1.
$N_{cbg}$	resistencia nominal al desprendimiento del hormigón por tracción de un grupo de anclajes, en N. Ver el artículo D.5.2.1.
$N_n$	resistencia nominal a tracción, en N.
$N_p$	resistencia al arrancamiento por tracción de un único anclaje en hormigón fisurado, en N. Ver los artículos D.5.3.4 y D.5.3.5.
$N_{pn}$	resistencia nominal al arrancamiento por tracción de un único anclaje, en N. Ver el artículo D.5.3.1.
$N_{sa}$	resistencia nominal de un único anclaje o grupo de anclajes en tracción, controlada por la resistencia del acero, en N. Ver los artículos D.5.1.1 y D.5.1.2.
$N_{sb}$	resistencia al descascaramiento del recubrimiento lateral de un único anclaje, en N.
$N_{sbg}$	resistencia al descascaramiento del recubrimiento lateral de un grupo de anclajes, en N.
$N_{ua}$	esfuerzo de tracción mayorado aplicado a un anclaje o grupo de anclajes, en N.
$s$	separación entre los centros de los anclajes, en mm.
$s_n$	desviación estándar de los resultados de los ensayos, en MPa.
$V_b$	resistencia básica al desprendimiento por corte del hormigón de un único anclaje en hormigón fisurado, en N. Ver los artículos D.6.2.2 y D.6.2.3.
$V_{cb}$	resistencia nominal al desprendimiento por corte de un único anclaje, en N. Ver el artículo D.6.2.1.
$V_{cbg}$	resistencia nominal al desprendimiento del hormigón por corte de un grupo de anclajes, en N. Ver el artículo D.6.2.1.
$V_{cp}$	resistencia nominal al arrancamiento de un único anclaje, en N. Ver el artículo D.6.3.
$V_{cpg}$	resistencia nominal al arrancamiento de un grupo de anclajes, en N. Ver el artículo D.6.3.
$V_n$	resistencia nominal al corte, en N.
$V_{sa}$	resistencia nominal al corte de un único anclaje o grupo de anclajes, controlada por la resistencia del acero, en N. Ver los artículos D.6.1.1 y D.6.1.2.

$V_u$	esfuerzo de corte mayorado en la sección, en N.
$\phi$	factor de reducción de la resistencia. Ver los artículos D.4.4 y D.4.5.
$\psi_{c,N}$	factor que se utiliza para modificar la resistencia a la tracción de los anclajes y que depende de la presencia o ausencia de fisuras en el hormigón. Ver el artículo D.5.2.6.
$\psi_{c,P}$	factor que se utiliza para modificar la resistencia al arrancamiento por tracción de los anclajes y que depende de la presencia o ausencia de fisuras en el hormigón. Ver el artículo D.5.3.6.
$\psi_{c,V}$	factor que se utiliza para modificar la resistencia al corte de los anclajes y que depende de la presencia o ausencia de fisuras en el hormigón, y de la presencia o ausencia de armadura suplementaria. Ver el artículo D.6.2.7. para anclajes solicitados por corte.
$\psi_{cp,N}$	factor de que se utiliza para modificar la resistencia a la tracción de los anclajes incorporados al hormigón endurecido, que se han de utilizar en hormigón no fisurado sin armadura suplementaria. Ver el artículo D.5.2.7.
$\psi_{ec,N}$	factor que se utiliza para modificar la resistencia a la tracción de los anclajes y que depende de la excentricidad de las cargas aplicadas. Ver el artículo D.5.2.4.
$\psi_{ec,V}$	factor que se utiliza para modificar la resistencia al corte de los anclajes y que depende de la excentricidad de las cargas aplicadas. Ver el artículo D.6.2.5.
$\psi_{ed,N}$	factor que se utiliza para modificar la resistencia a la tracción de los anclajes , y que depende de la proximidad a los bordes del elemento de hormigón. Ver el artículo D.5.2.5.
$\psi_{ed,V}$	factor que se utiliza para modificar la resistencia al corte de los anclajes, y que depende de su proximidad a los bordes del elemento estructural. Ver el artículo D.6.2.6.

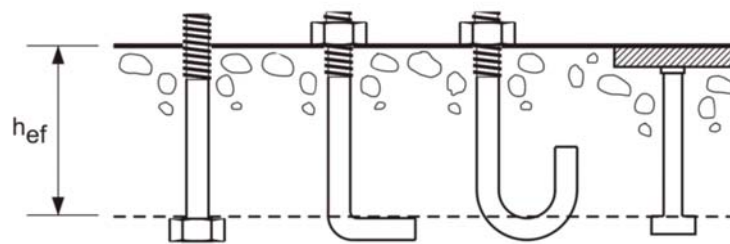
## D.1. DEFINICIONES

**Anclaje** – Elemento de acero hormigonado in situ o incorporado posteriormente en un elemento de hormigón endurecido, que se utiliza para transmitir las cargas aplicadas; incluyendo los bulones con cabeza, bulones con gancho (bulones en forma de J o de L), anclajes de expansión o anclajes rebajados.

**Anclaje de expansión** – Anclaje incorporado al hormigón endurecido, que transfiere cargas desde, o hacia, el hormigón por apoyo directo o fricción, o ambos. Los anclajes de expansión pueden ser de torque controlado, en los cuales la expansión se logra por medio de un torque que actúa sobre el tornillo o bulón; o bien de desplazamiento controlado, en los cuales la expansión se logra por medio de fuerzas de impacto que actúan sobre una camisa o tapón y la expansión es controlada por la longitud de avance de la camisa o tapón.



(a) Anclajes instalados en hormigón endurecido



(b) Anclajes colados in situ

**Figura D.0 – Tipos de anclajes.**

**Anclaje hormigonado in situ** – Bulón con cabeza, perno con cabeza o bulón con gancho, incorporado antes de la colocación del hormigón.

**Anclaje incorporado al hormigón endurecido** – Anclaje incorporado una vez que el hormigón ha endurecido. Los anclajes de expansión y los anclajes rebajados constituyen ejemplos de anclajes incorporados en el hormigón endurecido.

**Anclaje rebajado** – Anclaje incorporado al hormigón endurecido que desarrolla su resistencia a la tracción por la trabazón mecánica que se logra rebajando el hormigón en el extremo empotrado del anclaje. El rebajado se logra con un taladro especial antes de instalar el anclaje o, alternativamente, con el propio anclaje durante su instalación.

**Área proyectada** – Área en la superficie libre del elemento de hormigón, utilizada como base mayor de la superficie de falla rectilínea supuesta.

**Armadura suplementaria** – Armadura dimensionada para fijar un prisma de hormigón de falla potencial al elemento estructural.

**Bulón con gancho** – Anclaje hormigonado in situ, anclado principalmente por la trabazón mecánica del codo a 90° (bulón en L) o del codo a 180° (bulón en J) ubicado en su extremo inferior, con un  $e_n$  mínimo de  $3 d_o$ .

**Camisa de expansión** – La parte exterior de un anclaje de expansión que es forzada a expandirse, ya sea aplicando un torque o un impacto, para presionar contra la superficie lateral del orificio perforado.

**Camisa distanciadora** – Camisa que envuelve la parte central de un anclaje rebajado, de un anclaje de expansión de torque controlado o anclaje de expansión de desplazamiento controlado, pero que no se expande.

**Dispositivo de fijación** – Conjunto estructural, externo a la superficie del hormigón, que transmite cargas al anclaje o recibe cargas del anclaje.

**Distancia al borde** – Distancia desde el borde de la superficie de hormigón hasta el centro del anclaje más cercano.

**Elemento de acero dúctil** – Elemento que en un ensayo de tracción sufre un alargamiento, como mínimo, del catorce por ciento (14 %) y una reducción seccional, como mínimo, del treinta por ciento (30 %), valores sujetos a la redacción de una norma IRAM-IAS específica.

**Elemento de acero frágil** – Elemento que en un ensayo de tracción sufre un alargamiento menor que el 14 %, o bien una reducción seccional menor del 30 %, o ambos, valores sujetos a la redacción de una norma IRAM-IAS específica.

**Grupo de anclajes** – Número de anclajes de aproximadamente igual profundidad efectiva de empotramiento, donde la separación entre uno o más anclajes adyacentes es menor que tres veces su profundidad de empotramiento.

**Inserto especializado** – Anclajes hormigonados in situ prediseñados y prefabricados, específicamente para la fijación de conexiones abulonadas o ranuradas. A menudo los insertos especializados se utilizan durante la manipulación, el transporte y la colocación, pero también se utilizan para anclar elementos estructurales. Los insertos especializados no están incluidos en el campo de validez de este Apéndice.

**Percentil 5** – Valor estadístico que significa que, con una confianza del 90 %, hay un 95 % de probabilidad de que la resistencia real sea mayor que la resistencia nominal.

**Perno con cabeza** – Anclaje de acero fijado a una placa de acero o dispositivo de fijación similar mediante proceso de soldadura de arco antes del hormigonado.

**Profundidad efectiva de empotramiento** – Profundidad total en la cual el anclaje transfiere un esfuerzo hacia, o desde, el hormigón que lo rodea. La profundidad efectiva del empotramiento, normalmente, será la profundidad de la superficie de falla del hormigón en los insertos traccionados. Para bulones de anclaje con cabeza y pernos con cabeza hormigonados in situ, la profundidad efectiva del empotramiento se mide a partir de la superficie de contacto de la cabeza.

**Resistencia al arrancamiento del anclaje** – Resistencia correspondiente al dispositivo de anclaje, o a un componente principal del anclaje, que se desliza hacia afuera sin desprender una parte sustancial del hormigón que lo rodea.

**Resistencia al arrancamiento del hormigón** – Resistencia correspondiente a la formación de un trozo suelto de hormigón, detrás de anclajes cortos y rígidos, que se desplazan en la dirección opuesta a la del esfuerzo de corte aplicado.

**Resistencia al descascamiento del recubrimiento lateral** – Resistencia de los anclajes con un empotramiento más profundo pero con un recubrimiento lateral de menor espesor, correspondiente al descascamiento del hormigón en la cara lateral, alrededor de la cabeza empotrada, sin que se produzca un desprendimiento importante en la superficie superior del hormigón.

**Resistencia al desprendimiento del hormigón** – Resistencia del hormigón que rodea al anclaje, o grupo de anclajes, que se separa del elemento.

## D.2. CAMPO DE VALIDEZ

**D.2.1.** Este Apéndice proporciona **requisitos de diseño para anclajes en hormigón**, utilizados para **transmitir cargas estructurales por medio de tracción, corte o una combinación de ambos entre:** (a) elementos estructurales conectados; o (b) dispositivos relacionados con la seguridad (barandas, rociadores, etc) y elementos estructurales. Los niveles de seguridad especificados son para condiciones de servicio y no para condiciones temporarias de manipulación y montaje.

**D.2.2.** Este Apéndice se aplica tanto a **anclajes hormigonados in situ como a anclajes incorporados al hormigón endurecido**. No se incluyen los insertos especializados, bulones pasantes, anclajes múltiples empotrados a una única placa de acero, anclajes adhesivos o anclajes rellenos con morteros de cualquier tipo ni anclajes directos, tales como clavos o bulones neumáticos. La armadura utilizada como parte del empotramiento se deberá diseñar de acuerdo con los correspondientes capítulos de este Reglamento.

**D.2.3.** En este Apéndice se incluyen:

- pernos con cabeza y los bulones con cabeza para los cuales se haya demostrado que su geometría da como resultado una resistencia al arrancamiento en hormigón no fisurado, igual o mayor que  $1,4 N_p$  (donde  $N_p$  está dado por la expresión (D-15)).
- bulones con gancho para los cuales se haya demostrado que su geometría da como resultado una resistencia al arrancamiento en hormigón no fisurado, sin el beneficio de la fricción, igual o mayor que  $1,4 N_p$  (donde  $N_p$  está dado por la expresión (D-16)).
- anclajes incorporados al hormigón endurecido que satisfacen los requisitos de evaluación establecidos en el documento **"Evaluación del comportamiento de los anclajes mecánicos para instalar en el hormigón endurecido"** (ver la referencia D.26.). Este Reglamento exige que se demuestre mediante ensayos de precalificación que los anclajes incorporados al hormigón endurecido son adecuados para la utilización prevista.

**D.2.4.** En este Apéndice no están incluidas las aplicaciones en las cuales predominen **elevadas cargas cíclicas de fatiga o cargas de impacto**.

### D.3. REQUISITOS GENERALES

**D.3.1.** Tanto los **anclajes** como los **grupos de anclajes** se deberán diseñar para los **efectos críticos de las cargas mayoradas**, según lo determinado mediante análisis elástico. Los análisis plásticos se podrán realizar cuando la resistencia nominal esté controlada por elementos de acero dúctil, siempre que se considere la compatibilidad de las deformaciones.

**D.3.2.** La **resistencia de diseño de los anclajes deberá ser igual o mayor que la mayor resistencia requerida**, determinada de acuerdo con las combinaciones de cargas aplicables del artículo 9.2.

**D.3.3.** Este Apéndice **no contempla la utilización de anclajes solicitados a cargas sísmicas los que serán motivo de un documento INPRES-CIRSOC específico**.

**D.3.4.** Todos los requisitos especificados para resistencia a tracción axial y para resistencia al corte de los anclajes, corresponden a **hormigón de densidad normal**.

Cuando se utilice hormigón con agregados livianos, los requisitos para  $N_n$  y  $V_n$  se deberán modificar multiplicando todos los valores de  $\sqrt{f'_c}$  que afectan a  $N_n$  y  $V_n$  por **0,75** en el caso de hormigón con todos sus componentes livianos y por **0,85** en el caso de hormigón con arena de densidad normal y el resto de los componentes livianos. Cuando se utilice un reemplazo parcial de arena se permite interpolar linealmente.

**D.3.5.** Los valores de  $f'_c$  que se utilizan en los cálculos de este Apéndice deben ser iguales o menores que **70 MPa** para los anclajes hormigonados in situ, e iguales o menores que **56 MPa** para anclajes incorporados al hormigón endurecido. Cuando para los anclajes incorporados al hormigón endurecido se utilicen valores de  $f'_c$  mayores que **56 MPa** se deberán realizar ensayos.

### D.4. REQUISITOS GENERALES PARA LA RESISTENCIA DE LOS ANCLAJES

**D.4.1.** El **diseño por resistencia de los anclajes** se deberá basar en cálculos que utilicen modelos de diseño que satisfagan los requisitos del artículo D.4.2, o bien en la evaluación de ensayos utilizando los resultados correspondientes al percentil 5, para los siguientes valores:

- (a) resistencia del acero del anclaje en tracción (artículo D.5.1);
- (b) resistencia del acero del anclaje a corte (artículo D.6.1);
- (c) resistencia al desprendimiento del hormigón del anclaje en tracción (artículo D.5.2);
- (d) resistencia al desprendimiento del hormigón del anclaje a corte (artículo D.6.2);
- (e) resistencia al arrancamiento del anclaje en tracción (artículo D.5.3);
- (f) resistencia al descascaramiento del recubrimiento lateral de hormigón del anclaje en tracción (artículo D.5.4); y



(g) resistencia al arrancamiento del hormigón del anclaje a corte (artículo D.6.3).

Además, los anclajes deberán satisfacer las distancias al borde, separaciones y espesores requeridos para impedir las fallas por hendimiento, según lo especificado en el artículo D.8.

**D.4.1.1.** Para el **diseño de los anclajes**, con excepción de lo requerido en el artículo D.3.3, se debe verificar que:

$$\phi N_n \geq N_{ua} \quad (\text{D-1})$$

$$\phi V_n \geq V_{ua} \quad (\text{D-2})$$

**D.4.1.2.** En las expresiones (D-1) y (D-2), los valores  $\phi N_n$  y  $\phi V_n$  son las menores resistencias de diseño determinadas para todos los modos de falla correspondientes.

El valor  $\phi N_n$  es la **menor resistencia de diseño a tracción de un anclaje o grupo de anclajes**, resultante de considerar las siguientes posibilidades:

- 1)  $\phi N_{sa}$
- 2)  $\phi n N_{pn}$
- 3)  $\phi N_{sb}$  o  $\phi N_{sbg}$
- 4)  $\phi N_{cb}$  o  $\phi N_{cbg}$

El valor de  $\phi V_n$  es la **menor resistencia de diseño al corte de un anclaje o grupo de anclajes**, resultante de considerar las siguientes posibilidades:

- 1)  $\phi V_{sa}$
- 2)  $\phi V_{cb}$  o  $\phi V_{cbg}$
- 3)  $\phi V_{cp}$  o  $V_{cpg}$

**D.4.1.3.** Cuando coexistan  $N_{ua}$  y  $V_{ua}$  se deberán considerar los efectos de su interacción de acuerdo con el artículo D.4.3.

**D.4.2.** La **resistencia nominal** para cualquier anclaje o grupo de anclajes, se deberá basar en modelos de diseño que predigan resistencias que concuerden sustancialmente con los resultados de ensayos. Los materiales utilizados en los ensayos deberán ser **compatibles** con los materiales utilizados en la estructura.

La **resistencia nominal** se deberá basar en el percentil 5 % de la resistencia básica de un anclaje individual.

Para las **resistencias nominales** relacionadas con la resistencia del hormigón se deberán considerar las modificaciones debidas a los efectos producidos por:

- el tamaño de los anclajes,
- el número de anclajes,
- la separación o proximidad entre ellos,
- la proximidad a los bordes,
- la profundidad del elemento de hormigón,
- la excentricidad de la carga de los grupos de anclajes,
- la presencia o ausencia de fisuras.

En los modelos de diseño las limitaciones para las distancias a los bordes y la separación de los anclajes, deberán ser consistentes con los ensayos que se realicen para verificar el modelo.

**D.4.2.1.** El efecto de la armadura suplementaria dispuesta para confinar o restringir el desprendimiento del hormigón, o para ambos a la vez, se podrá incluir en los modelos de diseño utilizados para cumplir con el artículo D.4.2.

**D.4.2.2.** Para los **anclajes con diámetros iguales o menores que 50 mm** y una **profundidad de empotramiento igual o menor que 635 mm**, los requisitos de resistencia al desprendimiento se considerarán cumplidos cuando se verifiquen los procedimientos de diseño de los artículos D.5.2 y D.6.2.

**D.4.3.** La resistencia a la combinación de cargas de tracción y corte se considerará en el diseño utilizando una ecuación de interacción con la cual se obtengan resistencias que concuerden sustancialmente con los resultados de ensayos completos y exhaustivos. Este requisito se considerará cumplido cuando se verifique lo indicado en el artículo D.7.

**D.4.4.** Cuando se utilicen las combinaciones de cargas del artículo 9.2, el factor de reducción de la resistencia  $\phi$  para los anclajes en el hormigón será:

a) Anclaje controlado por resistencia de un elemento de acero dúctil

- |                       |      |
|-----------------------|------|
| i) Cargas de tracción | 0,75 |
| ii) Cargas de corte   | 0,65 |

b) Anclaje controlado por resistencia de un elemento de acero frágil

- |                       |      |
|-----------------------|------|
| i) Cargas de tracción | 0,65 |
| ii) Cargas de corte   | 0,60 |

c) Anclaje controlado por resistencia al desprendimiento del hormigón, resistencia al descascaramiento del recubrimiento lateral de hormigón, resistencia al arrancamiento del anclaje o resistencia al arrancamiento del hormigón:

	Condición A	Condición B
i) Cargas de corte	0,75	0,70
ii) Cargas de tracción		
➤ Pernos con cabeza, bulones con cabeza o bulones con gancho hormigonados in situ.	0,75	0,70
➤ Anclajes incorporados al hormigón endurecido, clasificados de acuerdo con el documento "Estado del arte de los anclajes en hormigón" (ver la referencia D.25.), en las siguientes categorías:		
• <b>Categoría 1</b> (Baja sensibilidad a la incorporación al hormigón y elevada confiabilidad)	0,75	0,65
• <b>Categoría 2</b> (Mediana sensibilidad a la incorporación al hormigón y mediana confiabilidad)	0,65	0,55
• <b>Categoría 3</b> (Elevada sensibilidad a la incorporación al hormigón y baja confiabilidad)	0,55	0,45

La **condición A** se aplica cuando las potenciales superficies de falla del hormigón son cruzadas por armadura suplementaria dimensionada para fijar el prisma potencial de falla del hormigón al elemento estructural.

La **condición B** se aplica cuando no se dispone esta armadura suplementaria, o cuando controla la resistencia al arrancamiento del anclaje o del hormigón.

**D.4.5.** Cuando se utilicen las combinaciones de cargas a las cuales se hace referencia en el Apéndice C, el **factor de reducción de la resistencia  $\phi$  para los anclajes en hormigón**, será:

a) Anclaje controlado por resistencia de un elemento de acero dúctil

- |                       |      |
|-----------------------|------|
| i) Cargas de tracción | 0,80 |
| ii) Cargas de corte   | 0,75 |

b) Anclaje controlado por resistencia de un elemento de acero frágil

- |                       |      |
|-----------------------|------|
| i) Cargas de tracción | 0,70 |
| ii) Cargas de corte   | 0,65 |

- c) Anclaje controlado por la resistencia al desprendimiento del hormigón, resistencia al descascaramiento del recubrimiento lateral de hormigón, resistencia al arrancamiento del anclaje o resistencia al arrancamiento del hormigón:

	Condición A	Condición B
i) Cargas de corte	0,85	0,75
ii) Cargas de tracción		
➤ Pernos con cabeza, bulones con cabeza o bulones con gancho, hormigonados in situ.	0,85	0,75
➤ Anclajes incorporados al hormigón endurecido, clasificados de acuerdo con el documento "Estado del arte de los anclajes en hormigón" (ver la referencia D.25.), en las siguientes categorías:		
• <b>Categoría 1</b> (Baja sensibilidad a la incorporación al hormigón y elevada confiabilidad)	0,85	0,75
• <b>Categoría 2</b> (Mediana sensibilidad a la incorporación al hormigón y mediana confiabilidad)	0,75	0,65
• <b>Categoría 3</b> (Elevada sensibilidad a la incorporación al hormigón y baja confiabilidad)	0,65	0,55

La **condición A** se aplica cuando las potenciales superficies de falla del hormigón son cruzadas por armadura suplementaria dimensionada para fijar el prisma potencial de falla del hormigón al elemento estructural.

La **condición B** se aplica cuando no se dispone esta armadura suplementaria, o cuando controla la resistencia al arrancamiento del anclaje o al arrancamiento del hormigón.

## D.5. REQUISITOS DE DISEÑO PARA CARGAS DE TRACCIÓN

### D.5.1. Resistencia del acero del anclaje en tracción

**D.5.1.1.** La **resistencia nominal**  $N_{sa}$  controlada por el acero de un anclaje traccionado, se deberá evaluar mediante cálculos basados en las propiedades del material del anclaje y en sus dimensiones físicas.

**D.5.1.2.** La **resistencia nominal**  $N_{sa}$  de un anclaje o grupo de anclajes traccionado deberá ser igual o menor que:

$$N_{sa} = n A_{se} f_{uta} \quad (D-3)$$

siendo:

$f_{ut}$  la resistencia a la tracción especificada del acero de los anclajes, que se debe adoptar igual o menor que el menor de los valores obtenidos entre  $1,9 f_{ya}$  u **875 MPa**.

$n$  el número de anclajes traccionados en el grupo.

## **D.5.2. Resistencia al desprendimiento del hormigón del anclaje traccionado**

**D.5.2.1.** La **resistencia nominal al desprendimiento por tracción del hormigón**,  $N_{cb}$  o  $N_{cbg}$ , de un único anclaje o de un grupo de anclajes debe ser igual o menor que:

□ para un único anclaje:

$$N_{cb} = \frac{A_{Nc}}{A_{Nco}} \psi_{ed,N} \psi_{c,N} N_b \quad (D-4)$$

□ para un grupo de anclajes:

$$N_{cbg} = \frac{A_{Nc}}{A_{Nco}} \psi_{ec,N} \psi_{ed,N} \psi_{c,N} N_b \quad (D-5)$$

siendo:

$\psi_{ec,N}$ ,  $\psi_{ed,N}$  y  $\psi_{c,N}$  los factores que se definen en los artículos D.5.2.4., D.5.2.5. y D.5.2.6. respectivamente.

$A_{Nc}$  el área proyectada de la superficie de falla del hormigón de un único anclaje o grupo de anclajes, que se deberá considerar como la base de la figura geométrica rectilínea que resulta de proyectar la superficie de falla  $1,5 h_{ef}$  hacia afuera, a partir de las líneas del centro del anclaje, o en el caso de un grupo de anclajes, a partir de una línea que atraviesa una fila de anclajes adyacentes.  $A_{Nc}$  no debe ser mayor que  $n A_{Nco}$ , donde  $n$  es el número de anclajes traccionados en el grupo.

$A_{Nco}$  el área proyectada de la superficie de falla del hormigón de un único anclaje ubicado a una distancia al borde igual o mayor que  $1,5 h_{ef}$ :

$$A_{Nco} = 9 h_{ef}^2 \quad (D-6)$$

**D.5.2.2** La **resistencia básica al desprendimiento por tracción del hormigón** de un único anclaje en hormigón fisurado debe ser igual o menor que:

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

siendo:

$k_c = 10$  para anclajes hormigonados in situ; y

$k_c = 7$  para anclajes incorporados al hormigón endurecido.

Este Reglamento permite aumentar el valor de  $k_c$  para los anclajes incorporados al hormigón endurecido, a **un valor mayor que 7** en base a los ensayos específicos del producto de acuerdo con el documento de la referencia D.26., pero en ningún caso dicho valor podrá ser **mayor que 10**.

Alternativamente, para **pernos con cabeza y bulones con cabeza hormigonados in situ, con  $280 \text{ mm} \leq h_{ef} \leq 635 \text{ mm}$** , el valor de  $N_b$  debe ser igual o menor que:

$$N_b = 3,9 \sqrt{f'_c} h_{ef}^{5/3} \quad (D-8)$$

**D.5.2.3.** Cuando los anclajes estén ubicados a una distancia menor de **1,5  $h_{ef}$**  de tres o más bordes, el valor de  $h_{ef}$  a utilizar en las expresiones (D-6) a (D-11) inclusive, debe ser el mayor valor que se obtenga entre  $c_{a,max} / 1,5$  y  $1/3$  de la máxima separación entre los anclajes del grupo.

**D.5.2.4.** El **factor de modificación** para grupos de anclajes con carga de tracción excéntrica debe ser:

$$\psi_{ec,N} = \frac{1}{\left(1 + \frac{2}{3} \frac{e'_N}{h_{ef}}\right)} \leq 1 \quad (D-9)$$

Si la carga sobre un **grupo de anclajes** es tal que sólo algunos de los anclajes están traccionados, en la determinación de la excentricidad  $e'_N$ , a utilizar en la expresión (D-9), y para el cálculo de  $N_{cbg}$  en la expresión (D-5) sólo se deben considerar los **anclajes traccionados**.

En el caso de que existan **cargas con excentricidad respecto a dos ejes**, el factor de modificación  $\psi_{ec,N}$  se debe calcular individualmente para cada eje y en la expresión (D-5) se debe utilizar el producto de estos factores como  $\psi_{ec,N}$ .

**D.5.2.5.** El **factor de modificación** para los efectos de borde tanto para un único anclaje como para un grupo de anclajes solicitados a tracción es:

$$\psi_{ed,N} = 1 \quad \text{si} \quad c_{a,min} \geq 1,5 h_{ef} \quad (\text{D-10})$$

$$\psi_{ed,N} = 0,7 + 0,3 \frac{c_{a,min}}{1,5 h_{ef}} \quad \text{si} \quad c_{a,min} < 1,5 h_{ef} \quad (\text{D-11})$$

**D.5.2.6.** Para los anclajes ubicados en una zona de un elemento de hormigón, para la cual un análisis indique que **no habrá fisuración** a niveles de carga de servicio, se podrá utilizar el siguiente factor de modificación:

$$\psi_{c,N} = 1,25 \quad \text{para anclajes hormigonados in situ.}$$

$$\psi_{c,N} = 1,4 \quad \text{para anclajes incorporados al hormigón endurecido donde el valor de } k_c \text{ utilizado en la expresión (D-7) debe ser } \textit{igual a 7}.$$

Cuando el valor de  $k_c$  utilizado en la expresión (D-7) se adopte a partir de un informe de evaluación de productos, de acuerdo con el documento "Evaluación del comportamiento de los anclajes mecánicos a incorporar al hormigón" (referencia D.26.) para anclajes incorporados al hormigón endurecido y calificados para ser **utilizados tanto en hormigón fisurado como no fisurado**, los valores  $k_c$  y  $\psi_{c,N}$  que se adopten se deben basar en el informe de evaluación del producto de acuerdo con dicho documento.

Cuando el valor de  $k_c$  utilizado en la expresión (D-7) se adopte a partir de un informe de evaluación de productos de acuerdo con el documento de la referencia D.26., para anclajes incorporados al hormigón endurecido y calificados para ser **utilizados en hormigón no fisurado**, el valor del factor  $\psi_{c,N}$  se debe adoptar igual a **1,0**.

Si el análisis indica que **hay fisuración a niveles de cargas de servicio**, el valor de  $\psi_{c,N}$  se deberá adoptar igual a **1,0** tanto **para anclajes hormigonados in situ como para anclajes incorporados al hormigón endurecido**. Los anclajes incorporados al hormigón endurecido deberán estar calificados para su uso en hormigón fisurado de acuerdo con el documento de la referencia D.26. La fisuración del hormigón se deberá limitar mediante armadura flexional distribuida de acuerdo con el artículo 10.6.4., o bien se deberá proveer un control de la fisuración equivalente colocando armadura de confinamiento.

**D.5.2.7.** El factor de modificación para **anclajes incorporados al hormigón endurecido**, diseñados para hormigón no fisurado de acuerdo con el artículo D 5.2.6., sin armadura suplementaria para controlar el hendidamiento, se debe adoptar :

$$\psi_{cp,N} = 1,0 \quad \text{si} \quad c_{a,min} \geq c_{ac} \quad (\text{D-12})$$

$$\psi_{cp,N} = \frac{c_{a,min}}{c_{ac}} \geq \frac{1,5 h_{ef}}{c_{ac}} \quad \text{si} \quad c_{a,min} < c_{ac} \quad (\text{D-13})$$

donde la distancia crítica,  $c_{ac}$ , se define en el artículo D.8.6.

Para todos los demás casos, incluyendo los anclajes hormigonados in situ, el factor  $\psi_{cp,N}$  se debe adoptar igual a **1,0**.

**D.5.2.8.** Si en la cabeza del anclaje se coloca una placa o arandela adicional, estará permitido calcular el área proyectada de la superficie de falla, proyectando la superficie de falla hacia afuera **1,5  $h_{ef}$**  a partir del perímetro efectivo de la placa o arandela. El perímetro efectivo deberá ser igual o menor que el valor en una sección proyectada hacia afuera más el espesor de la arandela o de la placa medido a partir del borde exterior de la cabeza del anclaje.

### **D.5.3. Resistencia al arrancamiento de un anclaje a tracción**

**D.5.3.1.** La **resistencia nominal al arrancamiento  $N_{pn}$**  de un anclaje a tracción deberá ser igual o menor que:

$$N_{pn} = \psi_{c,p} N_p \quad \text{(D-14)}$$

donde  $\psi_{c,p}$  se define en el artículo D 5.3.6.

**D.5.3.2.** Para los anclajes de expansión y rebajados, incorporados al hormigón endurecido, los valores de  $N_p$  se deberán basar en el percentil 5 % de los resultados de ensayos realizados y evaluados de acuerdo con el documento de la referencia D.26. No estará permitido calcular la resistencia al arrancamiento del anclaje traccionado.

**D.5.3.3.** La **resistencia al arrancamiento por tracción de un solo perno o bulón con cabeza** se podrá evaluar utilizando el artículo D.5.3.4. La resistencia al arrancamiento por tracción de un solo bulón en J o en L se podrá evaluar utilizando el artículo D.5.3.5. Alternativamente, estará permitido utilizar valores de  $N_p$  basados en el percentil 5 % de los ensayos realizados y evaluados de acuerdo con los procedimientos dados en el documento de la referencia D.26., pero sin el beneficio de la fricción.

**D.5.3.4.** La **resistencia al arrancamiento por tracción de un solo perno o bulón** con cabeza,  $N_p$ , a utilizar en la expresión (D-14) deberá ser igual o menor que:

$$N_p = 8 A_{brg} f'_c \quad \text{(D-15)}$$

**D.5.3.5.** La **resistencia al arrancamiento por tracción de un solo bulón con gancho**,  $N_p$ , a utilizar en la expresión (D-14) deberá ser igual o menor que:

$$N_p = 0,9 f'_c e_h d_o \quad \text{(D-16)}$$

siendo:

$$3 d_o \leq e_h \leq 4,5 d_o$$



**D.5.3.6.** Para un anclaje ubicado en una región de un elemento de hormigón, donde el análisis indique que **no hay fisuración** ( $f_t < f_r$ ) a **niveles de carga de servicio**, se podrá utilizar el siguiente factor de modificación:

$$\psi_{c,P} = 1,4$$

Caso contrario, el factor  $\psi_{c,P}$  se deberá considerar igual a 1,0.

#### **D.5.4. Resistencia al descascaramiento del recubrimiento lateral del hormigón de un anclaje con cabeza traccionada**

**D.5.4.1.** Para un **único anclaje con cabeza con empotramiento profundo próximo a un borde** ( $c_{a1} < 0,4 h_{ef}$ ), la resistencia nominal al descascaramiento del recubrimiento lateral,  $N_{sb}$ , deberá ser igual o menor que:

$$N_{sb} = 13,3 c_{a1} \sqrt{A_{brg}} \sqrt{f'_c} \quad (D-17)$$

Si el único anclaje con cabeza está ubicado a una distancia perpendicular  $c_{a2}$  menor que  $3c_{a1}$  a partir de un borde, el valor de  $N_{sb}$  se deberá multiplicar por el factor  $(1 + c_{a2}/c_{a1})/4$  donde  $1 \leq c_{a2}/c_{a1} \leq 3$ .

**D.5.4.2.** Para **anclajes múltiples con cabeza y un empotramiento profundo**, ubicados en las cercanías de un borde ( $c_{a1} < 0,4h_{ef}$ ), con una separación entre anclajes menor que  $6 c_{a1}$ , la resistencia nominal del grupo de anclajes para una falla por descascaramiento lateral,  $N_{sbg}$ , deberá ser igual o menor que:

$$N_{sbg} = \left( 1 + \frac{s}{6 c_{a1}} \right) \quad (D-18)$$

siendo:

**s** la separación de los anclajes exteriores a lo largo del borde en el grupo.

$N_{sb}$  la resistencia al descascaramiento del recubrimiento lateral de un único anclaje, que se obtiene de la expresión (D-17) sin modificación por distancia perpendicular al borde.

## **D.6. REQUISITOS DE DISEÑO PARA CARGAS DE CORTE**

### **D.6.1. Resistencia del acero de los anclajes al corte**

**D.6.1.1.** La resistencia nominal al corte de un anclaje controlada por el acero  $V_{sa}$ , se deberá evaluar mediante cálculos basados en las propiedades del material del anclaje y sus dimensiones físicas.

**D.6.1.2.** La resistencia nominal al corte de un anclaje o grupo de anclajes,  $V_{sa}$ , deberá ser igual o menor que lo indicado en los ítems (a) a (c):

(a) para **pernos con cabeza hormigonados in situ**:

$$V_{sa} = n A_{se} f_{uta} \quad (D-19)$$

donde  $n$  es el número de anclajes en el grupo y  $f_{uta}$  se debe adoptar igual o menor que el menor valor entre  $1,9 f_{ya}$  y **875 MPa**.

(b) para **bulones con cabeza y bulones con gancho hormigonados in situ** y para anclajes incorporados al hormigón endurecido, en los cuales las camisas no se extiendan a través del plano de corte:

$$V_{sa} = n 0,6 A_{se} f_{uta} \quad (D-20)$$

donde  $n$  es el número de anclajes en el grupo y  $f_{uta}$  se debe adoptar igual o menor que el menor valor entre  $1,9 f_{ya}$  y **875 MPa**.

(c) para **anclajes incorporados al hormigón endurecido**, en los cuales las camisas se extiendan a través del plano de corte, el valor de  $V_{sa}$  se debe determinar en función de los resultados de ensayos realizados y evaluados de acuerdo con el documento de la referencia D.26.  
En forma alternativa se puede utilizar la expresión (D-20).

**D.6.1.3.** Si se utilizan anclajes con asientos de mortero colocado en capas, las resistencias nominales especificadas en el artículo D.6.1.2 se deberán multiplicar por un factor igual a **0,80**.

## **D.6.2. Resistencia al desprendimiento por corte del hormigón de un anclaje**

**D.6.2.1.** La **resistencia nominal al desprendimiento** por corte del hormigón,  $V_{cb}$  o  $V_{cbg}$ , de un único anclaje o grupo de anclajes deberá ser igual o menor que:

(a) para **esfuerzo de corte perpendicular al borde**, en un **único anclaje**:

$$V_{cb} = \frac{A_{Vc}}{A_{Vco}} \psi_{ed,V} \psi_{c,V} V_b \quad (D-21)$$

(b) para **esfuerzo de corte perpendicular al borde**, en un **grupo de anclajes**:

$$V_{cbg} = \frac{A_{Vc}}{A_{Vco}} \psi_{ec,V} \psi_{ed,V} \psi_{c,V} V_b \quad (D-22)$$

- (c) para **esfuerzo de corte paralelo a un borde**, se podrá considerar que el valor de  $V_{cb}$  o  $V_{cbg}$  es el doble del valor del esfuerzo de corte determinado mediante las expresiones (D-21) o (D-22), respectivamente, asumiendo que el esfuerzo de corte actúa perpendicularmente al borde y considerando  $\psi_{ed,v}$  igual a **1,0**.
- (d) para **anclajes ubicados en una esquina**, la resistencia nominal al desprendimiento del hormigón limitante se deberá determinar para cada borde, y se deberá utilizar el valor mínimo.

siendo:

$\psi_{ec,v}$ ,  $\psi_{ed,v}$  y  $\psi_{c,v}$  los factores definidos en los artículos D.6.2.5., D.6.2.6. y D.6.2.7., respectivamente.

$V_b$  el valor de la **resistencia básica al desprendimiento del hormigón para un único anclaje**.

$A_{Vc}$  el **área proyectada de la superficie de falla en la cara lateral del elemento de hormigón** entre sus bordes, ya se trate de un único anclaje o de un grupo de anclajes. Esta área se podrá considerar como la base de una semipirámide trunca proyectada en la cara lateral del elemento donde la parte superior de la semipirámide está dada por el eje de la fila de anclajes seleccionada como crítica. El valor de  $c_{a1}$  se deberá adoptar como la distancia entre el borde y este eje. El valor de  $A_{Vc}$  no deberá ser mayor que  $nA_{Vco}$ , donde  $n$  es el número de anclajes en el grupo.

$A_{Vco}$  el área proyectada para un único anclaje en un elemento de gran altura, con una distancia a los bordes igual o mayor que **1,5  $c_{a1}$**  en la dirección perpendicular al esfuerzo de corte. Este área se podrá determinar como la base de una semipirámide con una longitud del lado paralelo al borde igual a **3  $c_{a1}$**  y una profundidad igual a **1,5  $c_{a1}$** :

$$A_{Vco} = 4,5 (c_{a1})^2 \quad \text{(D-23)}$$

Si los anclajes están ubicados a diferentes distancias del borde y están soldados al dispositivo de fijación de manera de distribuir el esfuerzo a todos los anclajes, se podrá evaluar la resistencia en base a la distancia a la fila de anclajes más alejada del borde. En este caso, el valor de  $c_{a1}$  se podrá expresar como la distancia entre el borde y el eje de la fila de anclajes más alejada que se selecciona como crítica, y se asumirá que todo el corte es soportado exclusivamente por esta fila crítica de anclajes.

**D.6.2.2.** La **resistencia básica al desprendimiento por corte del hormigón  $V_b$** , de un único anclaje en hormigón fisurado deberá ser igual o menor que:

$$V_b = 0,6 \left( \frac{\ell_e}{d_0} \right)^{0,2} \sqrt{d_0} \sqrt{f'_c} (c_{a1})^{1,5} \quad \text{(D-24)}$$

siendo:

$\ell_e$  la longitud del apoyo de la carga del anclaje para corte.

$\ell_e = h_{ef}$  para anclajes con rigidez constante en la totalidad de la longitud empotrada, tales como pernos con cabeza o anclajes incorporados al hormigón endurecido con camisa tubular en la totalidad de la longitud de empotramiento.

$\ell_e = 2d_o$  para anclajes de expansión de torque controlado con camisa distanciadora, separada de la camisa de expansión.

En ningún caso  $\ell_e$  deberá ser mayor de  $8 d_o$ .

**D.6.2.3.** Para **pernos con cabeza, bulones con cabeza o bulones con gancho, hormigonados in situ**, que están continuamente soldados a dispositivos de fijación de acero con un espesor mínimo igual al mayor valor entre 10 mm o la mitad del diámetro del anclaje, la **resistencia básica al desprendimiento por corte del hormigón  $V_b$** , de un único anclaje en hormigón fisurado, deberá ser igual o menor que:

$$V_b = 0,7 \left( \frac{\ell_e}{d_o} \right)^{0,2} \sqrt{d_o} \sqrt{f'_c} (c_{a1})^{1,5} \quad (D-25)$$

donde  $\ell_e$  se define en el artículo D.6.2.2.

siempre que:

- para grupos de anclajes, la resistencia se determine en base a la resistencia de la fila de anclajes más alejada del borde;
- la separación  $s$  entre centros de los anclajes sea igual o mayor que 65 mm; y
- se coloque armadura suplementaria en las esquinas si  $c_{a2} \leq 1,5 h_{ef}$

**D.6.2.4.** Cuando los anclajes estén afectados por tres o más bordes, el valor de  $c_{a1}$  utilizado en las expresiones (D-23) hasta (D-28) inclusive deberá ser igual o menor que el mayor valor obtenido entre  $c_{a2} / 1,5$  en cualquier dirección,  $h_a / 1,5$  y  $1/3$  de la máxima separación entre los anclajes que forman el grupo.

**D.6.2.5.** El factor **de modificación para grupos de anclajes con excentricidad de la carga** será:

$$\psi_{ec,V} = \frac{1}{1 + \frac{2e'_v}{3c_{a1}}} \leq 1 \quad (D-26)$$

Si la carga sobre un grupo de anclajes es tal que sólo algunos de los anclajes están solicitados a corte en la misma dirección, en la determinación de la excentricidad  $e'_v$  a utilizar en la expresión (D-26) y para el cálculo de  $V_{cbg}$  en la expresión (D-22), sólo se deben considerar aquellos anclajes solicitados a corte en la misma dirección.

**D.6.2.6.** El *factor de modificación para los efectos de borde* es:

$$\psi_{ed,v} = 1,0 \quad (D-27)$$

siempre que  $c_{a2} \geq 1,5c_{a1}$

$$\psi_{ed,v} = 1 + 0,3 \frac{c_{a2}}{1,5 c_{a1}} \quad (D-28)$$

siempre que  $c_{a2} < 1,5 c_{a1}$

**D.6.2.7.** Para los anclajes ubicados en una región de un elemento de hormigón donde el análisis indique que *no hay fisuración* ( $f_t < f_r$ ) bajo cargas de servicio, se podrá utilizar el siguiente factor de modificación:

$$\psi_{c,v} = 1,4$$

Para los anclajes ubicados en una región de un elemento de hormigón donde el análisis indique que *hay fisuración a niveles de carga de servicio*, se podrán utilizar los siguientes factores de modificación:

$\psi_{c,v} = 1,0$  para anclajes en hormigón fisurado sin armadura suplementaria, o con armadura de borde menor que una barra o alambre  $d_b = 12 \text{ mm}$ ;

$\psi_{c,v} = 1,2$  para anclajes en hormigón fisurado con armadura suplementaria consistente en una barra o alambre con  $d_b \geq 12 \text{ mm}$  entre el anclaje y el borde; y

$\psi_{c,v} = 1,4$  para anclajes en hormigón fisurado con armadura suplementaria consistente en una barra o alambre con  $d_b \geq 12 \text{ mm}$  entre el anclaje y el borde, y con la armadura suplementaria envuelta por estribos separados, como máximo,  $100 \text{ mm}$ .

**D.6.3. Resistencia al arrancamiento por corte del hormigón de un anclaje**

**D.6.3.1.** La *resistencia nominal al arrancamiento del hormigón*,  $V_{cp}$  o  $V_{cpg}$ , deberá ser igual o menor que:

a) para un único anclaje

$$V_{cp} = k_{cp} N_{cb} \quad (D-29)$$

b) para un grupo de anclajes

$$V_{cpg} = k_{cp} N_{cbg} \quad (D-30)$$

siendo:

$$k_{cp} = 1,0 \quad \text{para} \quad h_{ef} < 65 \text{ mm y}$$

$$k_{cp} = 2,0 \quad \text{para} \quad h_{ef} \geq 65 \text{ mm.}$$

Los valores de  $N_{cb}$  y  $N_{cbg}$  se deberán determinar utilizando las expresiones (D-4) y (D-5) respectivamente.

## D.7. INTERACCIÓN DE LOS ESFUERZOS DE TRACCIÓN Y CORTE

Los **anclajes o grupos de anclajes solicitados tanto a corte como a carga axial** se deberán diseñar para satisfacer los requisitos de los artículos D.7.1 a D.7.3, excepto que se diseñen de acuerdo con el artículo D.4.3. El valor de  $\phi N_n$  será el especificado en el artículo D.4.1.2. El valor de  $\phi V_n$  será el especificado en el artículo D.4.1.2.

**D.7.1.** Cuando  $V_{ua} \leq 0,2\phi V_n$  se podrá considerar la totalidad de la resistencia a tracción:  
 $\phi N_n \geq N_{ua}$ .

**D.7.2.** Cuando  $N_{ua} \leq 0,2\phi N_n$  se podrá considerar la totalidad de la resistencia al corte:  
 $\phi V_n \geq V_{ua}$ .

**D.7.3.** Cuando  $V_{ua} > 0,2\phi V_n$  y  $N_{ua} > 0,2\phi N_n$ :

$$\frac{N_{ua}}{\phi N_n} + \frac{V_{ua}}{\phi V_n} \leq 1,2 \quad \text{(D-31)}$$

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

Tanto las separaciones mínimas y las distancias a los bordes para los anclajes como los espesores mínimos de los elementos deberán verificar las especificaciones de los artículos D.8.1 a D.8.6, a menos que se disponga armadura suplementaria para controlar el hendimiento. Se podrán utilizar **valores menores** siempre que hayan sido obtenidos de ensayos específicos realizados de acuerdo con las prescripciones del documento "**Estado del arte de los anclajes en hormigón**" (ver la referencia D.25.).

**D.8.1.** La **mínima separación entre centros de anclajes** deberá ser  $4d_o$  para anclajes hormigonados in situ, no sometidos a torque, y  $6d_o$  para anclajes hormigonados in situ sometidos a torque y para anclajes incorporados al hormigón endurecido, excepto que se determine de acuerdo con el artículo D.8.4.

**D.8.2.** Las **distancias mínimas a los bordes, para los anclajes con cabeza hormigonados in situ**, que no serán sometidos a torque, se deberán establecer en función de los requisitos de recubrimiento mínimo especificados en el artículo 7.7; excepto que se determinen de acuerdo con el artículo D.8.4. Para los anclajes con cabeza, hormigonados in situ, que serán sometidos a torque, las distancias mínimas a los bordes deberán ser  $6d_o$ .

**D.8.3.** Las *distancias mínimas a los bordes para los anclajes incorporados al hormigón endurecido*, excepto que se determinen de acuerdo con el artículo D.8.4., se deberán establecer en base al mayor valor entre los requisitos de recubrimiento mínimo del hormigón, dados en el artículo 7.7., y los requisitos de distancia mínima al borde para los productos según lo determinado por ensayos de acuerdo con el documento de la referencia D.26., y no deberán ser menores que **2 veces** el tamaño máximo nominal del agregado grueso. En ausencia de datos de ensayos específicos para el producto, de acuerdo con el mencionado documento, la distancia mínima al borde deberá ser igual o mayor que:

- Anclajes rebajados ..... **6  $d_o$**
- Anclajes de torque controlado ..... **8  $d_o$**
- Anclajes de desplazamiento controlado ..... **10  $d_o$**

**D.8.4.** Para los anclajes en los cuales la incorporación al hormigón no ocasione un esfuerzo de hendimiento y que permanecerán sin torque, si la distancia al borde o la separación son menores que los valores especificados en los artículos D.8.1 a D.8.3., los cálculos se deberán realizar reemplazando  $d_o$  por un valor menor,  $d'_o$ , que satisfaga los requisitos de los artículos D.8.1 a D.8.3. Los esfuerzos calculados aplicados al anclaje estarán limitados a los valores correspondientes a un anclaje con un diámetro de  $d'_o$ .

**D.8.5.** El valor de  $h_{ef}$  para un anclaje de expansión o rebajado incorporado al hormigón endurecido, deberá ser igual o menor que el mayor valor obtenido entre **2/3 del espesor del elemento y el espesor del elemento menos 100 mm.**

**D.8.6.** La distancia crítica al borde,  $c_{ac}$ , deberá ser igual o mayor que:

- Anclajes rebajados ..... **2,5  $h_{ef}$**
- Anclajes de torque controlado ..... **4  $h_{ef}$**
- Anclajes de desplazamiento controlado ..... **4  $h_{ef}$**

a menos que se determine mediante ensayos de tracción de acuerdo con el documento de la referencia D.26.

**D.8.7.** Los planos y otras especificaciones técnicas del proyecto deberán especificar la ubicación o disposición de los anclajes con una distancia mínima a los bordes que respete el valor asignado a esa distancia en el diseño.

## **D.9. INCORPORACIÓN AL HORMIGÓN DE LOS ANCLAJES**

**D.9.1.** Los anclajes se deberán incorporar al hormigón de acuerdo con los planos y especificaciones técnicas del Proyecto Estructural.

