

Comentario sobre la Evaluación del Comportamiento de los Anclajes Mecánicos para Instalar en Hormigón Endurecido

Informado por el Comité ACI 355

Richard E. Wollmershauser
Presidente

Harry Chambers
Secretario

William H. Alderman
Tarek Aziz
Ranjit L. Bandyopadhyay
Peter J. Carrato
Ronald A. Cook
Rolf Eligehausen

Richard J. Ernst
Herman L. Graves, III
Kevin D. Heinert
Christopher Heinz
Bruce Ireland
Richard E. Klingner

Harry B. Lancelot, III
Alexander Makitka
Lee Mattis
Robert R. McGlohn
Donald F. Meinheit
Francis A. Oluokun

Richard S. Orr
Andrew Rossi
Dan R. Stoppenhagen
Patrick J. E. Sullivan
Harry Wiewel

Nota: Se agradece especialmente a Werner Fuchs por su contribución al desarrollo del presente documento.

R1.1 – ACI 355.2 especifica los programas de ensayo requeridos para calificar los anclajes mecánicos instalados en hormigón endurecido a utilizar con el método de diseño de ACI 318. ACI 318 distingue entre hormigón fisurado y hormigón no fisurado. En ACI 318 se asume que los anclajes para hormigón han sido ensayados ya sea para utilizar en hormigón no fisurado o para utilizar en hormigón fisurado y no fisurado. En la actualidad se consiguen numerosos anclajes diferentes para instalar en hormigón endurecido. Estos anclajes exhiben una variedad de principios de funcionamiento, diseños propietarios y características de comportamiento. ACI 318 toma en cuenta esta situación basando los factores de reducción de la capacidad de los anclajes en las categorías de comportamiento de los mismos. La intención de ACI 355.2 es desarrollar los datos requeridos por ACI 318 para confirmar la confiabilidad de un anclaje y asignarlo a la categoría adecuada.

La intención de los Informes, Guías, Prácticas Normalizadas y Comentarios de los Comités ACI es proveer lineamientos para la planificación, diseño, ejecución e inspección de las construcciones y para la redacción de especificaciones. Este documento debe ser utilizado por personas competentes para evaluar el alcance y limitaciones de su contenido y recomendaciones y que acepten responsabilidad por la aplicación del material que contiene. ACI deslinda cualquier responsabilidad por los principios expuestos. El Instituto no será responsable por ningún daño o pérdida que surja como consecuencia de los mismos.

La Documentación Técnica no deberá hacer referencia a estos documentos. Si se desea incorporar algún elemento de estos documentos como parte de la Documentación Técnica, estos elementos se deberán redactar en lenguaje prescriptivo e incorporar a la Documentación Técnica.

R1.4 – Aunque ACI 355.2 no especifica limitaciones para el diámetro máximo o la longitud embebida de los anclajes, el método de diseño que se considera satisface los requisitos para el diseño de anclajes del Apéndice D de ACI 318 se basa en el análisis de una base de datos de anclajes con un diámetro máximo de 2 in. (51 mm) y una longitud embebida menor o igual que 25 in. (0,64 m). ACI 355.2 se puede utilizar para anclajes que tengan como máximo estas dimensiones. Para anclajes que superan estas dimensiones la autoridad responsable por los ensayos deberá decidir si los ensayos aquí descriptos son aplicables o si es más adecuado utilizar ensayos y análisis alternativos. El diámetro mínimo de 1/4 in. (6,4 mm) se basa en consideraciones prácticas que limitan las aplicaciones estructurales de los anclajes.

R2.1.5 – Las fallas por desprendimiento del hormigón incluyen el desprendimiento de un cono de hormigón bajo carga de tracción, el desprendimiento del borde por corte o tracción, o la combinación de ambos mecanismos, como se ilustra en las Figuras 6.3 y 6.4.

R2.1.8 – Una falla por arrancamiento del anclaje ocurre cuando el anclaje no se "traba" suficientemente en el hormigón como para producir una falla del acero o una falla por desprendimiento de un cono de hormigón. Todo el anclaje resbala y sale del orificio perforado bajo una carga menor que la correspondiente al desprendimiento de un cono de hormigón. Aunque como parte de la falla por arrancamiento del anclaje se puede generar un cono de hormigón, éste tendrá una

* ACI 355.2 entró en vigencia el 12 de Enero de 2002.
Copyright © 2002, American Concrete Institute.
Todos los derechos reservados.

profundidad menor que en el caso de una falla por desprendimiento del hormigón.

R2.1.9 – Las fallas por arrancamiento del cuerpo del anclaje ocurren cuando el vástago del anclaje es arrancado del mecanismo de expansión, el cual permanece dentro del orificio perforado. El cuerpo del anclaje resbala y sale del orificio perforado bajo una carga menor que la correspondiente al desprendimiento de un cono de hormigón.

R2.1.12 – Para determinar la equivalencia estadística se utiliza una prueba t unilateral porque se compara la media de una serie de ensayos con la media de otra serie de ensayos de referencia. La hipótesis es que la media de los ensayos de referencia es mayor (o menor) que la media de la segunda de serie de ensayos sobre los anclajes.

R2.1.16 – De acuerdo con ACI 355.2, los anclajes para utilizar en hormigón no fisurado se ensayan en hormigón que está en condición no fisurada y que se anticipa permanecerá en dicha condición, a menos que el anclaje provoque fisuración como parte de su modo de falla.

R2.2 – Simbología

A_{se} = La capacidad característica de tracción del acero se puede tomar como la mínima resistencia especificada del acero o bien se puede calcular a partir de ensayos. Para los anclajes de expansión que tienen su sección transversal reducida para el mecanismo de expansión, el área efectiva de la sección transversal del anclaje debería ser proporcionada por el fabricante. Para los bulones roscados, ANSI/ASME B1.1 define A_{se} de la siguiente manera:

$$A_{se} = \frac{\pi}{4} \left(d_o \frac{0,9743}{n_t} \right)^2$$

donde n_t es el número de filetes de rosca por pulgada.

R3.1 – La experiencia indica que las regiones de formación de rótulas plásticas de las estructuras de hormigón armado sujetas a cargas sísmicas típicamente desarrollan anchos de fisura bastante mayores que los anchos de fisura anticipados por ACI 355.2.

R5.1 – ACI 355.2 sigue un procedimiento de cuatro pasos (el cual abarca cuatro tipos de ensayos) para verificar si un anclaje es adecuado para propósitos estructurales (dentro de los límites de utilización establecidos por ACI 318) y para establecer una categoría de comportamiento que se puede utilizar con el enfoque de diseño establecido por ACI 318. Los

cuatro tipos de ensayos son de identificación, referencia, confiabilidad y bajo condiciones de servicio. Las Figuras R1 a R6 muestran diagramas de flujo que indican las secuencias de los ensayos.

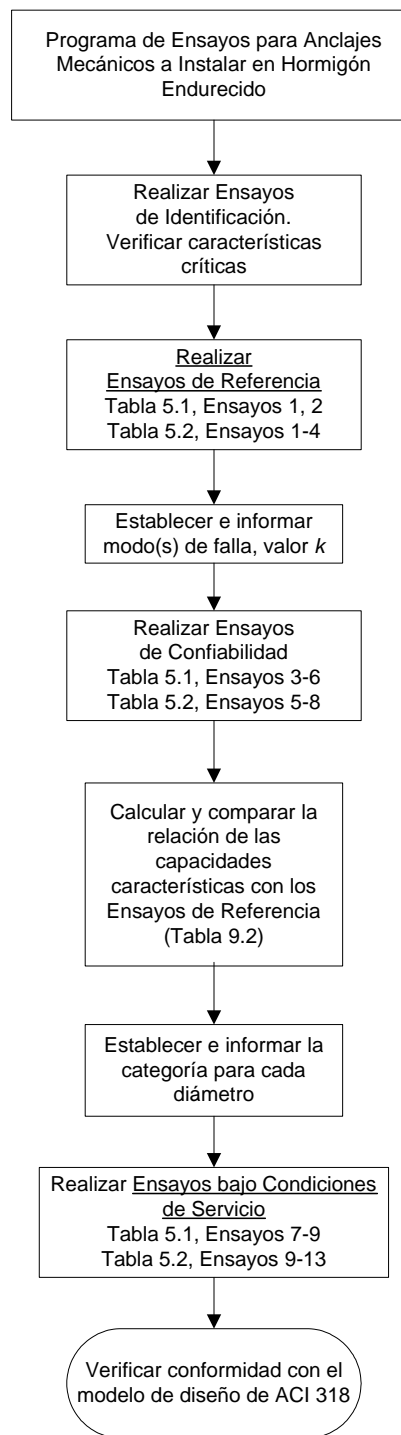


Figura R1 – Diagrama de flujo para el programa de ensayos

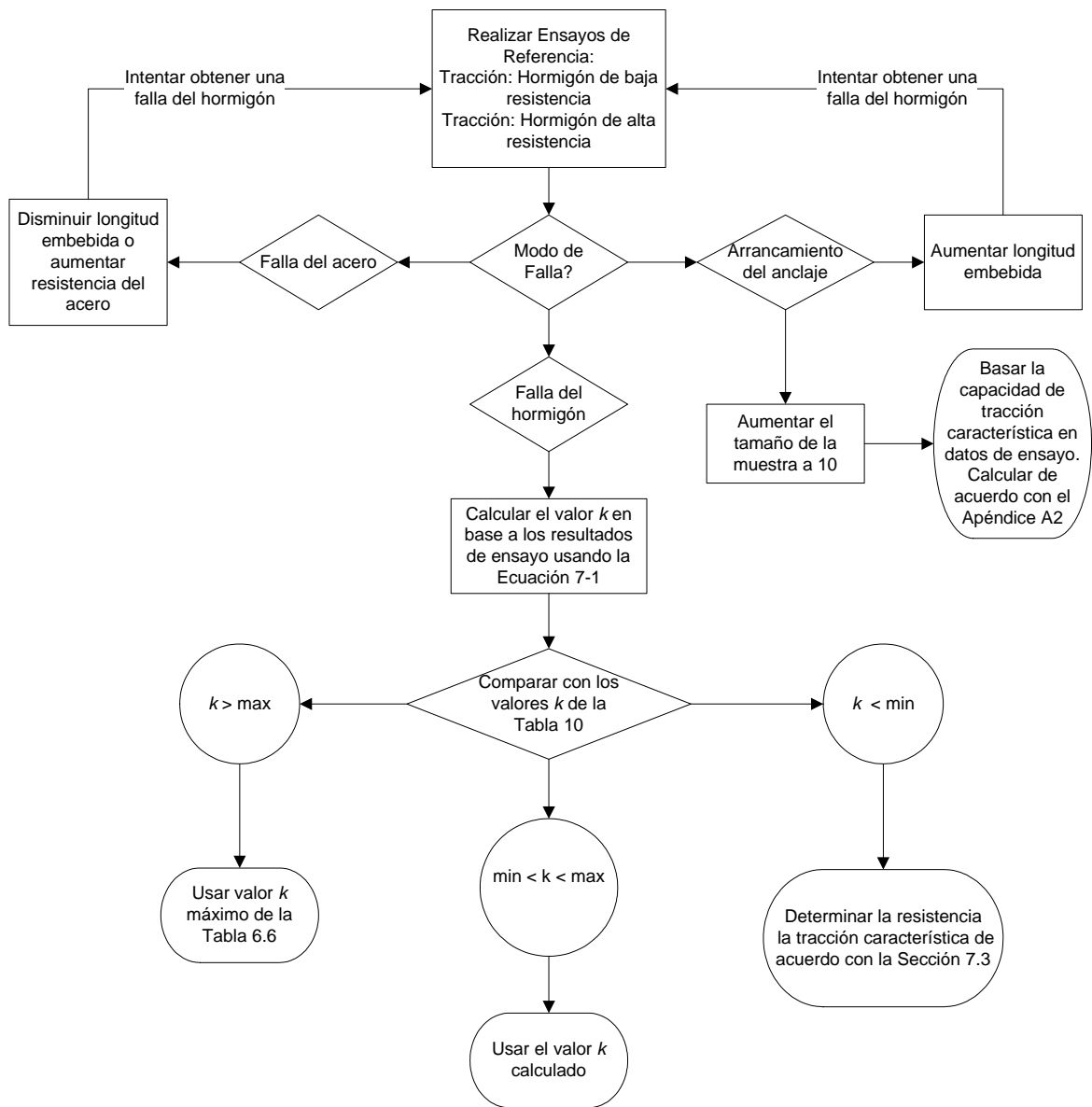


Figura R2 – Diagrama de flujo para los ensayos de referencia

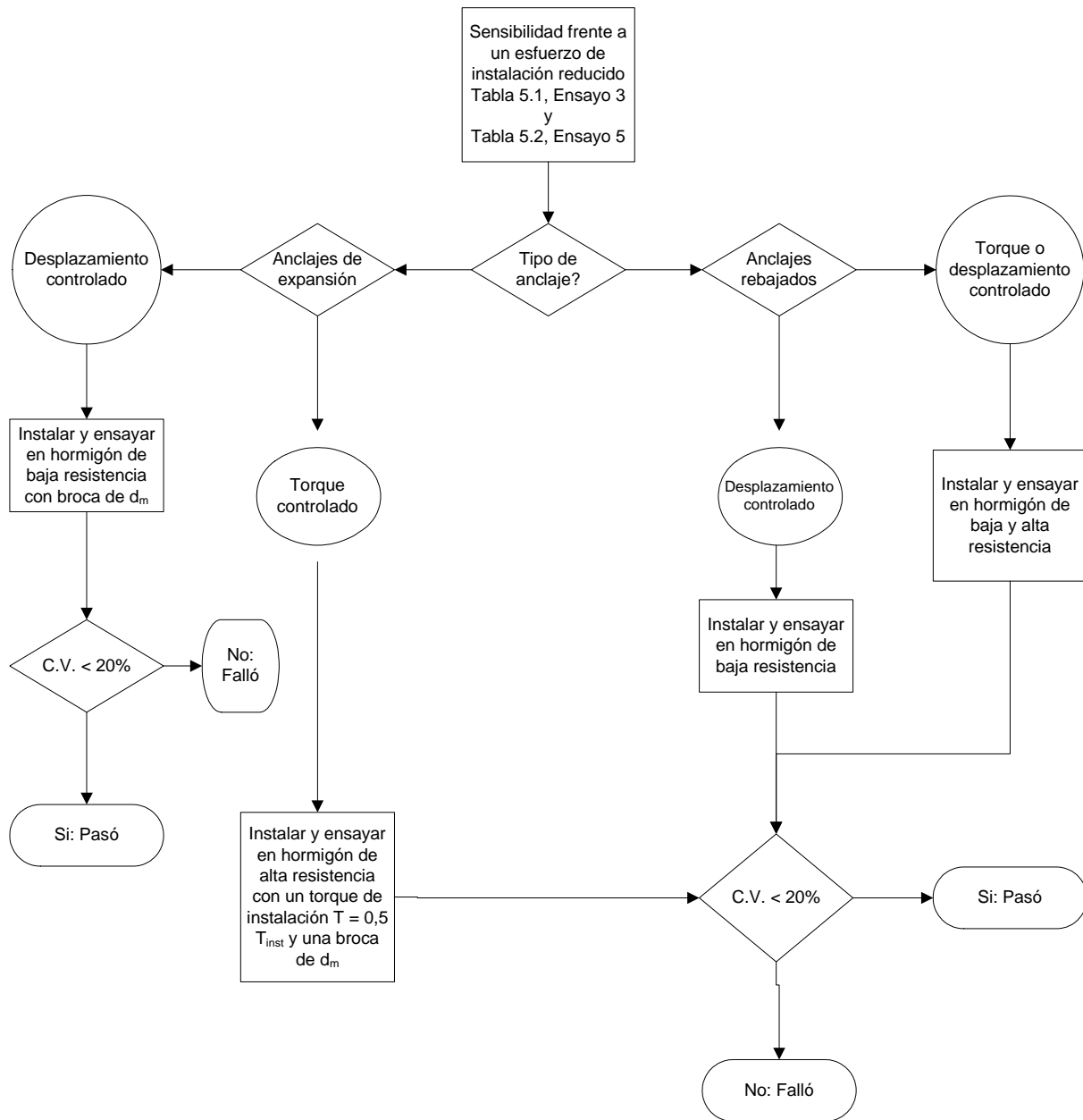


Figura R3 – Diagrama de flujo para los ensayos con esfuerzo de instalación reducido

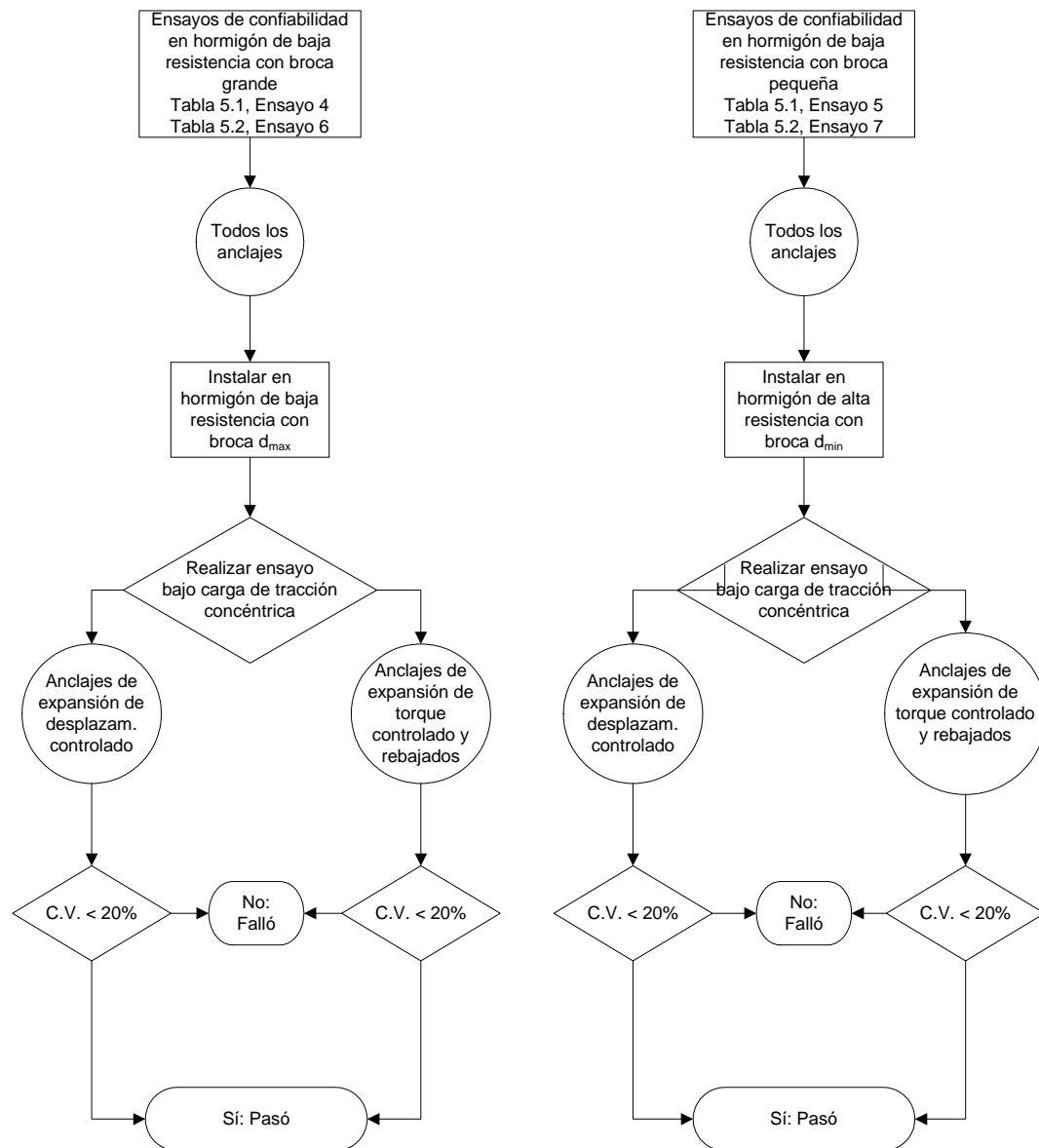


Figura R4 – Diagrama de flujo para los ensayos de confiabilidad, sensibilidad frente a los orificios sobredimensionados y subdimensionados

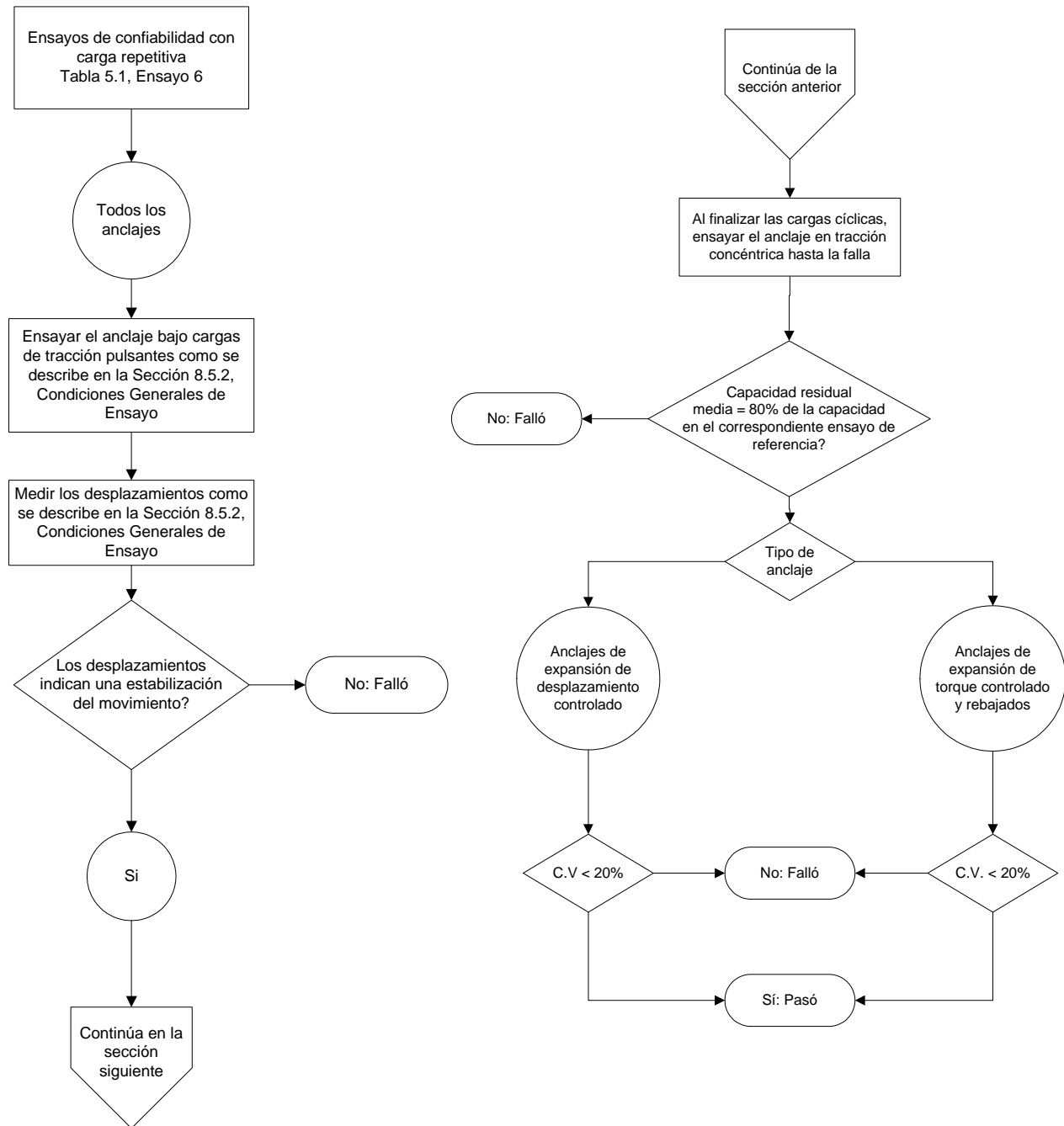


Figura R5 – Diagrama de flujo para los ensayos de confiabilidad con cargas repetitivas

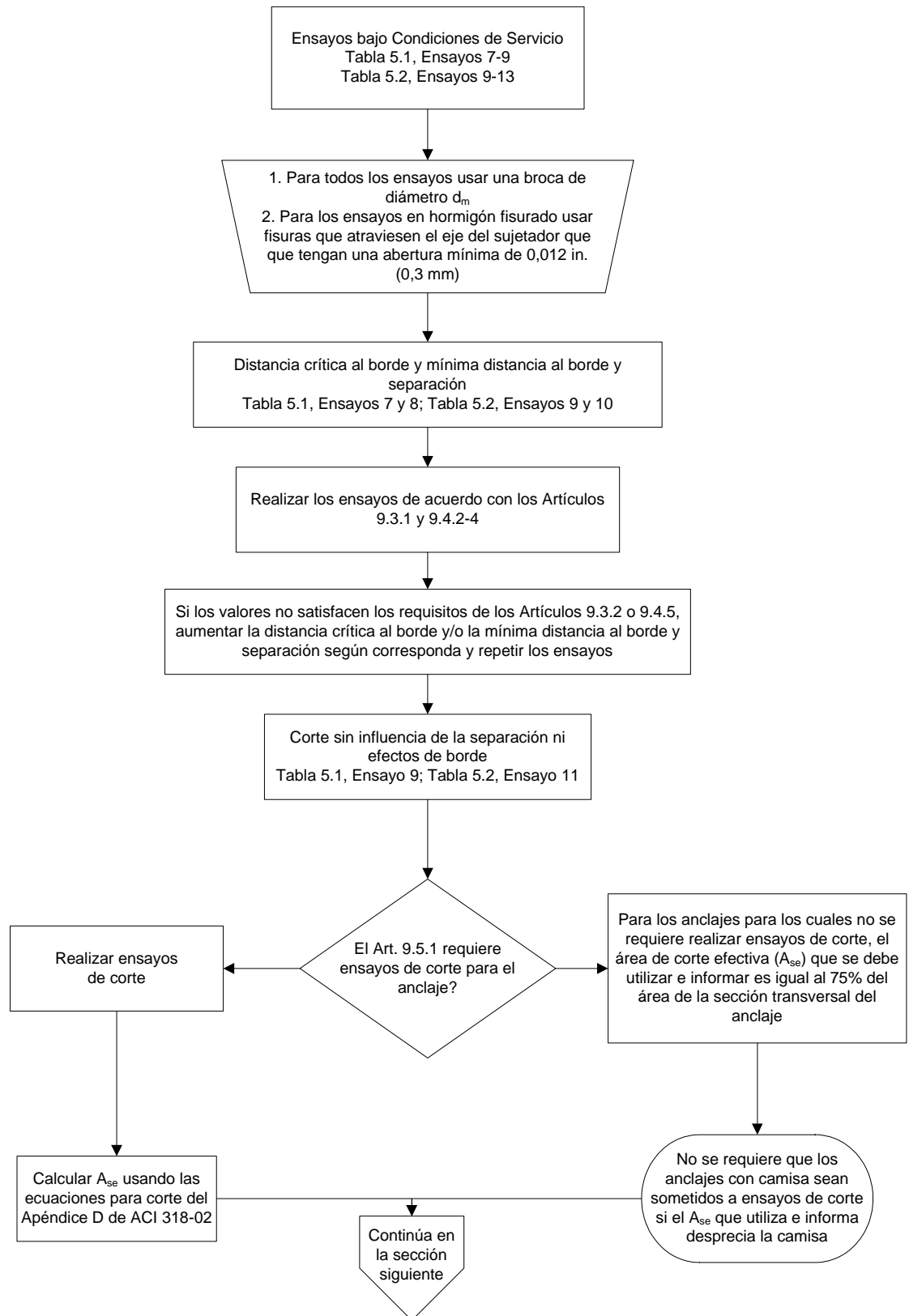


Figura R6 – Diagrama de flujo para los ensayos bajo condiciones de servicio

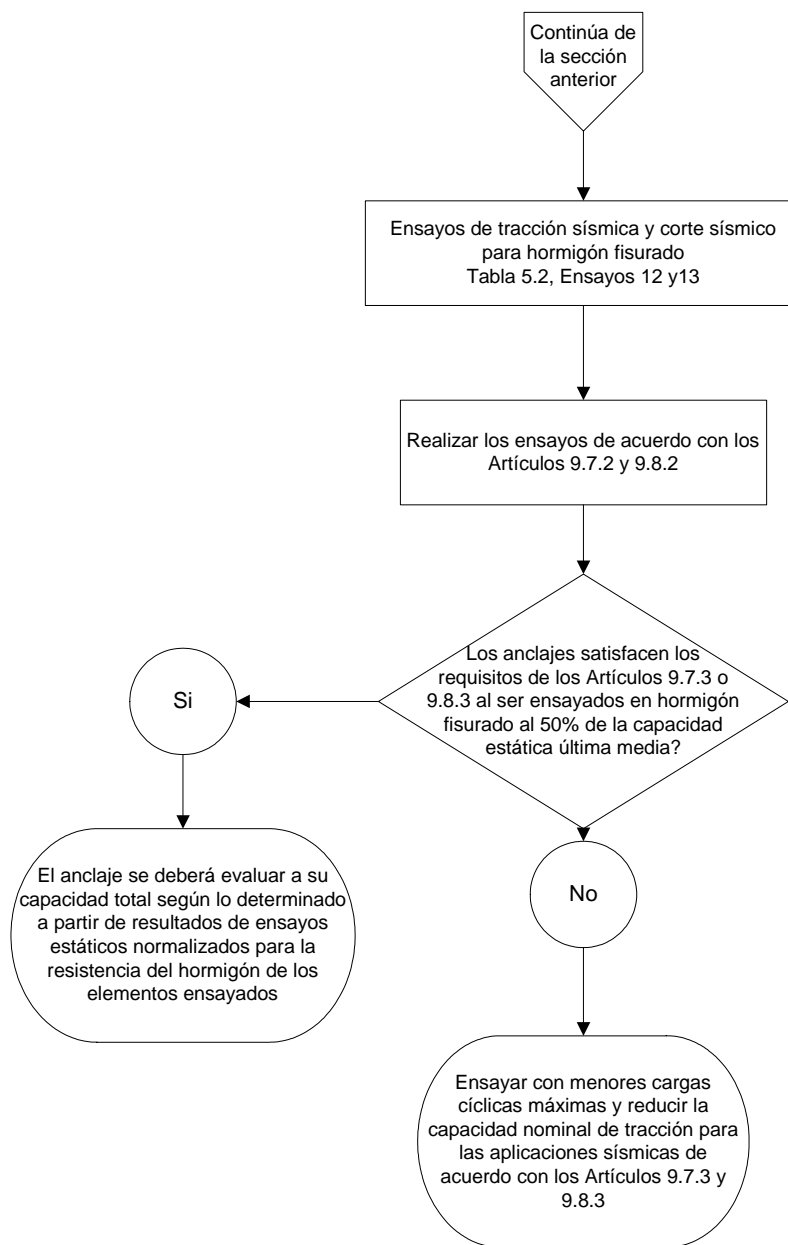


Figura R6 (Cont.) – Diagrama de flujo para los ensayos bajo condiciones de servicio

Los ensayos de identificación se requieren para determinar si el anclaje satisface los requisitos de fabricación y para establecer una línea de base para el aseguramiento de la calidad.

Los ensayos de referencia sirven para dos propósitos: permiten establecer la resistencia característica a utilizar en el diseño de anclajes individuales con grandes distancias a los bordes y separaciones; también se utilizan para comparar con los resultados de los ensayos de confiabilidad. Para los ensayos de referencia los

anclajes se deberían instalar de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

Los ensayos de confiabilidad también tienen dos funciones: la primera es establecer la categoría del anclaje utilizada en ACI 318; la segunda es verificar la confiabilidad del anclaje bajo cargas sostenidas y cargas variables. El anclaje debería ser capaz de comportarse de manera segura y efectiva bajo condiciones normales y adversas, tanto durante su instalación como durante su vida de servicio. Los factores contemplados son la sensibilidad frente a las variaciones de:

- Las condiciones de instalación en el hormigón;
- El diámetro de la broca utilizada;
- Las cargas sostenidas y variables que actúan sobre el anclaje;
- El ancho de las fisuras (sólo para el caso de anclajes que se utilizan en hormigón fisurado y no fisurado); y
- El ancho de las fisuras asociadas con las cargas variables y de larga duración que actúan sobre la estructura (sólo para el caso de anclajes que se utilizan en hormigón fisurado y no fisurado).

Para reducir el alcance del programa de ensayos requerido, en los ensayos requeridos se combinan los efectos que tienen todos estos factores sobre el comportamiento del anclaje.

Los procedimientos especificados para verificar la confiabilidad de un anclaje y asignarle una categoría de comportamiento consideran posibles desviaciones en obra de las especificaciones provistas por el fabricante. Sin embargo, ACI 355.2 no cubren errores de instalación gruesos, ya que se asume que este tipo de errores se pueden evitar con una capacitación adecuada y una inspección en obra. Estos errores gruesos incluyen, aunque no se limitan a: el uso de brocas de diámetro equivocado; métodos de perforación incorrectos; uso de herramientas de instalación inadecuadas; y el no limpiar, secar o preparar correctamente el orificio perforado según lo requerido por el fabricante.

Para representar las condiciones normales, el ensayo bajo carga repetitiva (Tabla 5.1, Ensayo 6) y el ensayo en fisuras cuyo ancho se hace variar cíclicamente (Tabla 5.2, Ensayo 8) se realizan utilizando una broca de diámetro d_m .

La combinación de condiciones seleccionada pretende minimizar el programa de ensayos, manteniendo a la vez un nivel de seguridad aceptable para toda la conexión. Las capacidades observadas de los anclajes obtenidas de los ensayos de confiabilidad pueden ser menores que las de los ensayos de referencia, siempre que la reducción sea limitada y bien definida. Se asume que la baja probabilidad de ocurrencia de la baja capacidad observada del anclaje asociada con las condiciones de los ensayos de referencia compensa la capacidad reducida, manteniendo de hecho una probabilidad de falla relativamente constante. La categoría del anclaje se establece en base a la magnitud de la reducción.

R5.2 – Se pueden ensayar prototipos de anclajes, siempre que las muestras a ensayar se preparen de la misma manera estipulada para la producción. Se realizan ensayos de identificación y referencia sobre las muestras

y su comportamiento se compara estadísticamente con los resultados de los prototipos ensayados para determinar si es necesario realizar ensayos adicionales.

R5.2.2 – Si para un diámetro de anclaje determinado se utilizan diferentes materiales, como por ejemplo acero al carbono en vez de acero inoxidable, o diferentes métodos de fabricación, como por ejemplo laminado en frío en lugar de maquinado, se deberían realizar ensayos de referencia para cada tipo de anclaje y comparar los resultados estadísticamente. Si son estadísticamente equivalentes, entonces para estos anclajes sólo será necesario realizar un conjunto de ensayos de confiabilidad y bajo condiciones de servicio.

R6.1 – El propósito de los requisitos que gobiernan el hormigón utilizado en los elementos a ensayar es reducir las variables que podrían afectar el comportamiento del anclaje para así lograr que los resultados de los ensayos sean más reproducibles. Diversos materiales cementicios y aditivos para hormigón pueden afectar el comportamiento del anclaje, aumentando la dispersión de los datos de ensayo. La influencia de los diferentes aditivos del hormigón sobre el comportamiento de los anclajes es parte de la consideración para establecer los factores de reducción de la capacidad que se utilizan en el método de diseño de ACI 318.

R6.1.2 – Los ensayos se deben realizar en hormigón simple que no contenga materiales cementicios que no sean cemento pórtland y sin incorporación de aditivos. Si se utiliza hormigón de estas características, los anclajes se aprobarán para su uso en mezclas que contengan dichos materiales. Si los ensayos se realizan en hormigones que contienen materiales cementicios diferentes del cemento pórtland o aditivos para hormigón, entonces los anclajes se aprobarán sólo para la dosificación particular de la mezcla.

R6.1.3 – La experiencia indica que el comportamiento de algunos tipos de anclajes de expansión se puede ver afectado en forma negativa si se los utiliza en hormigón de alta resistencia. ACI 318 establece para la resistencia a la compresión especificada del hormigón un límite superior de 8000 lb/in² (55 MPa) más allá del cual no es aplicable el método de diseño. En otra parte del Código para la resistencia a la compresión especificada del hormigón se establece un límite inferior de 2500 lb/in² (17 MPa). La resistencia real del hormigón colocado puede ser 15 a 20% mayor que la resistencia especificada.

R6.2.2 – Los ensayos de este programa se basan en la hipótesis de que los orificios se perforan utilizando taladros percutores con brocas con punta de carburo. Si los anclajes se instalan en orificios perforados mediante

otros métodos estándares, como por ejemplo barrenas con núcleo de diamante, el fabricante debería indicar las brocas, las tolerancias asociadas y los procedimientos de perforación. Las tolerancias para las brocas se deberían especificar de manera de aproximar los valores de d_{max} , d_m y d_{min} que se anticipan para dicho tipo de broca, manteniendo la intención de las definiciones de dichos diámetros.

Si se permite el uso de dos tipos de brocas diferentes, como por ejemplo brocas con punta de carburo para taladros percutores y brocas con núcleo de diamante, los ensayos de confiabilidad y referencia se deberían realizar con cada tipo de broca. Si se puede demostrar estadísticamente que los resultados corresponden a la misma población de datos, está permitido realizar los ensayos solamente con un tipo de broca. De lo contrario se deberían realizar e informar ensayos para ambos tipos de brocas.

R6.2.3 – En ACI 355.2 se especifican tres procedimientos para la aplicación de torque durante la instalación de los anclajes.

En todos los ensayos, salvo en aquellos que se ocupan de la sensibilidad frente a un esfuerzo de instalación reducido, el anclaje primero se instala usando la totalidad del torque de instalación; luego este torque se reduce al 50% de dicho valor para tomar en cuenta la relajación de la precarga que ocurre con el paso del tiempo.

En los ensayos que se ocupan de la sensibilidad frente a un esfuerzo de instalación reducido los anclajes se instalan con el 50% del torque de instalación especificado por el fabricante. La intención de este ensayo es simular los errores de instalación que pueden ocurrir en obra.

Los anclajes para los cuales no se especifica ningún torque de instalación (anclajes de desplazamiento controlado y algunos anclajes rebajados y de torque controlado) se ensayan con tuercas o con los anclajes ajustados manualmente.

Los requisitos de instalación para los anclajes rebajados, según lo requerido para verificar la sensibilidad frente a un esfuerzo de instalación reducido, varían dependiendo del tipo de anclaje. Estos requisitos se indican en la Tabla 6.6.

R6.2.3.1 – La instalación utilizando sólo la mitad del torque requerido por el fabricante corresponde a la instalación parcial de los anclajes de expansión de torque controlado. Esto determina si el anclaje aún funcionará correctamente si se lo instala con un torque significativamente menor que el recomendado.

R6.2.3.3 – Los anclajes de desplazamiento controlado se ensayan con diferentes grados de expansión tal como se especifica en la Tabla 6.4. Los ensayos de referencia y bajo condiciones de servicio se realizan con la expansión total según lo especificado por el fabricante de los anclajes. La experiencia indica que es posible que los anclajes de desplazamiento controlado no se ajusten totalmente en obra debido al gran esfuerzo físico que esto implica, particularmente en las aplicaciones que involucran anclajes de grandes dimensiones instalados de abajo hacia arriba. La intención del ensayo de expansión de referencia es simular un nivel representativo de la energía de instalación (esfuerzo humano) de acuerdo con los resultados de estudios en obra. La energía de instalación se mantiene constante, y el grado de expansión del anclaje queda determinado por el diseño del anclaje. Los anclajes de desplazamiento controlado que están correctamente diseñados lograrán una expansión prácticamente total con la aplicación del nivel representativo de la energía de instalación. Finalmente, el ensayo con expansión parcial verifica el efecto que produce una expansión parcial, debida a un esfuerzo de instalación reducido, sobre el comportamiento del anclaje. La energía de instalación es menor que en el ensayo de expansión de referencia para poder modelar el límite inferior de la energía de instalación determinado en base a estudios en obra. El grado de expansión asociado con estas dos condiciones se establece en hormigón de alta resistencia. Las energías de instalación asociadas con los parámetros indicados en la Tabla 6.5 fueron desarrolladas para hormigón de alta resistencia. Una vez que se establece la expansión del anclaje (desplazamiento del tapón) asociada con la energía de instalación especificada (expansión de referencia o expansión parcial), se prepara una herramienta de instalación para duplicar este grado de expansión para el resto de los ensayos requeridos.

R6.2.3.4 – La Tabla 6.6 hace referencia a los anclajes actualmente disponibles en el mercado. Si aparecen otros tipos de sistemas o productos, la agencia independiente de ensayo y evaluación debería prescribir los parámetros de ensayo correspondientes.

R6.5.1 – El diseño confiable de las conexiones a elementos de hormigón generalmente requiere anclajes que presenten una relación carga-desplazamiento predecible. La dispersión de las curvas carga-desplazamiento afecta negativamente el comportamiento de las conexiones con múltiples anclajes, ya que hace que la redistribución de la carga entre los diferentes anclajes sea poco confiable.

La intención de los límites establecidos para el comportamiento carga-desplazamiento es evitar el deslizamiento descontrolado de los anclajes bajo cargas de tracción (ver Figura 6.2), ya que este comportamiento en general es muy difícil de predecir. Además, el método de diseño indicado en ACI 318 para los efectos de grupo se basa en el mínimo comportamiento carga-desplazamiento representado por las curvas graficadas en la Figura 6.2. Apartarse significativamente de estas curvas podría resultar en diseños no conservadores. Debido a que durante el ensayo no se puede observar directamente el mecanismo de expansión, las aberraciones de la curva carga-desplazamiento es el único medio práctico disponible para identificar aquellos anclajes que no se comportan satisfactoriamente. Se admite la posibilidad de que el desplazamiento descontrolado podría ser provocado por anomalías localizadas del hormigón. Para realizar esta determinación se requiere ensayar un mayor número de muestras. Si en la curva carga-desplazamiento de los anclajes ensayados adicionalmente se observan defectos, entonces el anclaje se debería investigar para determinar las causas de su malfuncionamiento.

R6.5.3 – En la Figura R7 se ilustra el comportamiento hipotético de un anclaje individual sometido a una carga de tracción que aumenta en forma monótonica. En esta figura se grafica la carga de falla en función de la profundidad embebida del anclaje. Los tres modos de falla determinantes son la falla de un cono de hormigón, la falla por arrancamiento del anclaje o del cuerpo del anclaje, y la falla del acero. Para los anclajes que se pueden adquirir con una variedad de longitudes embebidas y un mismo diámetro dado, es necesario establecer el modo de falla determinante y la carga de falla asociada para cada profundidad embebida. Como se puede ver en la Figura R8, es posible observar múltiples modos de falla para una determinada profundidad embebida si dicha profundidad embebida corresponde a una transición entre un modo de falla y otro. Las curvas de las Figuras R7 y R8 representan comportamientos medios.

La Figura R7 muestra tres zonas de comportamiento. En la Zona A, en todos los ensayos se observa la falla de un cono de hormigón. El valor de k calculado mediante la ecuación (7-1) se debe verificar para ver si satisface los valores de k indicados en la Tabla 7.1. La satisfacción de estos valores indica la conformidad del anclaje con las ecuaciones predecibles utilizadas en ACI 318; en otras palabras, el método de diseño por defecto de ACI 318 considera los efectos de la longitud

embebida, los efectos de borde y separación, la resistencia del hormigón y la fisuración.

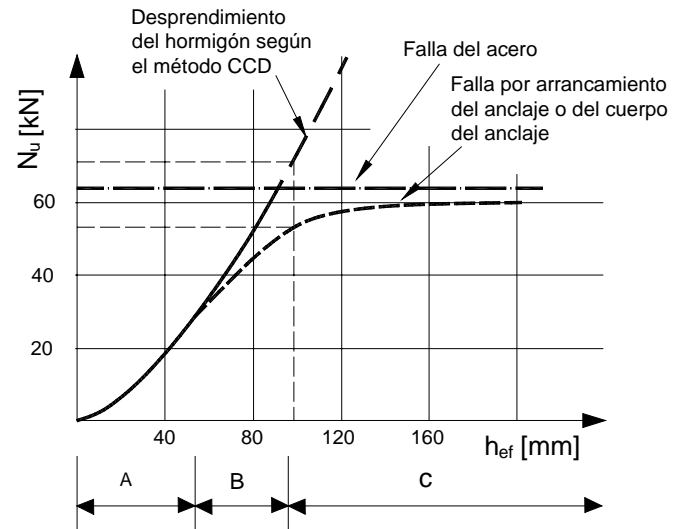


Figura R7 – Comportamiento hipotético de un anclaje individual de acuerdo con ACI 318

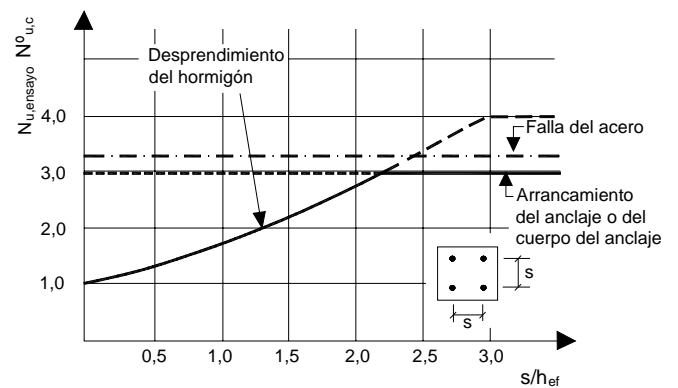


Figura R8 – Comportamiento hipotético de un grupo de anclajes de acuerdo con ACI 318

En la Zona C se observa arrancamiento de todo el anclaje o del cuerpo del anclaje. La correspondiente carga de falla característica N_p se determina en base a un tamaño de muestra incrementado. Esta carga, al igual que la carga de falla del acero, representa un límite superior para la capacidad del anclaje. El valor característico N_p se utiliza para determinar la menor capacidad de tracción y establecer la categoría del anclaje. El factor de efectividad k se toma como el mínimo de la Tabla 7.1 y, como antes, se aplica el procedimiento de ACI 318 para calcular la carga de falla de un cono de hormigón. Las ecuaciones de ACI 318 son aplicables aún para los efectos de la distancia al borde y separación, ya que los anclajes sin efectos de

borde, efectos debidos a la separación, o ambos, y que fallan por arrancamiento del anclaje para una longitud embebida dada aún pueden exhibir una falla de un cono de hormigón si están poco separados o próximos a un borde (ver Figura R8).

En la Zona B es posible que hayan modos de falla mixtos. Aquí también se incrementa el tamaño de la muestra y se calcula la resistencia característica contra el arrancamiento. Para los anclajes que forman parte de un grupo o que están próximos a un borde, la capacidad contra el desprendimiento de un cono de hormigón se calcula de acuerdo con ACI 318 usando el menor valor de k de la Tabla 7.1.

R7.2 – Los anclajes que se califican para su utilización en hormigón fisurado se instalan en microfisuras que luego se abren hasta tener un ancho $w = 0,012$ in. antes de aplicar la carga. Este ancho de fisura es consistente con las hipótesis de ACI 318 bajo carga cuasipermanente.

R7.3.1 – La Tabla 7.1 indica los rangos de valores admisibles para el factor de efectividad k que se puede informar para un determinado diámetro de anclaje. El límite inferior representa la transición entre una falla por arrancamiento y la falla de un cono de hormigón; fue establecida evaluando una gran base de datos de resultados de ensayos. El límite superior representa el comportamiento de los bulones o pernos con cabeza hormigonados in situ.

R8.2 – Los ensayos para verificar la sensibilidad frente a un esfuerzo de instalación reducido se realizan en hormigón de baja y alta resistencia, dependiendo del tipo de anclaje, a fin de combinar las condiciones desfavorables que pueden ocurrir en la práctica.

Para los anclajes de expansión de torque controlado (Artículo 8.2.2.1) los ensayos se realizan en hormigón de alta resistencia, debido a que para un torque dado la indentación de la camisa de expansión (y consecuentemente la resistencia friccional disponible entre la camisa y el hormigón) es menor que en el hormigón de baja resistencia. La intención de estos ensayos es verificar la capacidad de expansión adicional (con el tiempo) de los anclajes de expansión para aplicaciones en hormigón de alta resistencia.

Para los anclajes de expansión de desplazamiento controlado (Artículo 8.2.2.2) los ensayos se realizan en hormigón de baja resistencia. La fuerza de expansión (y consecuentemente la capacidad de sujeción del anclaje para una expansión determinada, ver Artículo R6.2.3.3) es menor en el hormigón de baja resistencia que en el hormigón de alta resistencia.

Para los anclajes rebajados de desplazamiento controlado (Artículo 8.2.2.3) los ensayos se realizan en hormigón de baja resistencia porque el efecto de la variación de la muesca rebajada sobre el comportamiento del anclaje es más pronunciado en el hormigón de baja resistencia que en el hormigón de alta resistencia.

Para los anclajes rebajados de torque controlado y carga controlada los ensayos se realizan en hormigón de baja y alta resistencia. En estos casos no se puede predecir si la sensibilidad frente a la instalación será mayor en el hormigón de baja resistencia o en el hormigón de alta resistencia.

En los ensayos realizados para verificar la sensibilidad frente a un esfuerzo de instalación reducido se utilizan brocas con un diámetro medio d_m . Esto representa condiciones normales.

R8.3 y R8.4 – Los anclajes deberían funcionar correctamente en orificios perforados con una broca cuyo diámetro cortante se encuentra comprendido en el rango especificado. Además, los anclajes deberían funcionar instalados en hormigón de baja y alta resistencia. Es por este motivo que se combinan variaciones del diámetro de la broca con variaciones de la resistencia del hormigón. Los ensayos en hormigón de baja resistencia se realizan utilizando un diámetro de broca grande, d_{max} . Este diámetro de broca representa una broca nueva hacia el extremo superior del rango de tolerancia. Si un anclaje es sensible a una perforación de diámetro grande, el modo de falla puede cambiar de una falla por desprendimiento del hormigón (la condición normal) a una falla por arrancamiento de todo el anclaje o del cuerpo del anclaje.

Un anclaje puede resultar difícil de instalar si se combina un hormigón de alta resistencia con una broca pequeña (gastada). Para verificar esta influencia, los ensayos en hormigón de alta resistencia se realizan con un diámetro de broca menor, d_{min} .

R8.5 – Los anclajes deberían ser capaces de resistir cargas sostenidas que pueden variar con el tiempo. Los anclajes que se usarán en hormigón no fisurado se ensayan bajo cargas repetitivas. Para simular las condiciones que se pueden presentar en la práctica manteniendo una duración razonable para el ensayo, los ensayos se realizan con cargas elevadas. La experiencia indica que los anclajes que se comportan satisfactoriamente bajo carga repetitiva también se comportarán satisfactoriamente bajo una carga sostenida constante. Por este motivo no se incluyen ensayos bajo carga sostenida.

R8.6 – *Ensayos en fisuras cuyo ancho varía cíclicamente:* Los ensayos de referencia para los anclajes que se usarán en hormigón fisurado se realizan en fisuras con un ancho máximo $w = 0,012$ in. Este ancho de fisura ocurrirá cuando la estructura se cargue hasta la carga cuasipermanente, la cual es un percentil de la carga de servicio admisible. En el diseño de acuerdo con ACI 318 los anchos de fisura se controlan principalmente por motivos de durabilidad. La experiencia indica que el ancho de fisura característico que se observa en las estructuras concuerda con los valores supuestos por ACI 318.

Cuando la estructura se carga con la totalidad de la carga de servicio (no mayorada), los anchos de las fisuras aumentarán. ACI 318 no toma en cuenta este hecho, ya que la totalidad de la carga de servicio ocurrirá apenas brevemente, y la durabilidad de la estructura no se verá afectada de manera apreciable. Por el contrario, el aumento del ancho de las fisuras reduce significativamente la capacidad de los anclajes. Por este motivo para los ensayos se ha elegido un ancho $w = 0,020$ in. Ver los documentos del Comité ACI 224 y el Código ACI 318-95, Sección 10.6 y su correspondiente comentario.

En los elementos de hormigón estructural que están fisurados, el ancho de las fisuras puede variar con el tiempo a medida que varía la sobrecarga de servicio. Por lo tanto, los anclajes que se usarán en hormigón fisurado se ensayan en fisuras bajo cargas de tracción constantes. Las fisuras se abren 1000 veces entre un ancho de 0,004 in. (0,1 mm) y 0,012 in. (0,3 mm). Este número de ciclos de carga es representativo del número de variaciones significativas de la carga que sufre una estructura típica durante su vida de servicio. El ancho máximo de las fisuras es consistente con el ancho de fisura contemplado por ACI 318 bajo carga cuasipermanente. El ancho mínimo de las fisuras depende de la relación entre la carga permanente y la sobrecarga que actúan sobre la estructura. El valor especificado para los ensayos representa condiciones medias.

Durante el ensayo en fisuras de ancho variable, el desplazamiento del anclaje aumenta significativamente a medida que aumenta el número de ciclos de apertura de las fisuras bajo carga constante del anclaje. Por lo tanto, si después de los ciclos de apertura no se satisfacen los límites de desplazamiento especificados, se debería reducir la carga de tracción constante N_w y se debería calcular la resistencia característica a la tracción en hormigón de baja resistencia a informar en la Tabla 11.1 utilizando la Ecuación (8-1).

R9.3 – De acuerdo con el método de diseño por capacidad (método CCD), que es el método de diseño por defecto de ACI 318, se asume que esta capacidad máxima es válida para distancias al borde $c \leq 1,5h_{ef}$. Para verificar esta hipótesis para el caso del anclaje ensayado se realizan ensayos de tracción con anclajes individuales en una esquina para los cuales $c_1 = c_2 = 1,5h_{ef}$. Esta distancia al borde representa la distancia al borde crítica, es decir, la mínima distancia al borde para la cual la influencia del borde no afecta la capacidad de tracción del anclaje. Los ensayos se realizan en elementos de hormigón que tengan el mínimo espesor para el cual el fabricante desea calificar el anclaje.

R9.4 – El propósito de este ensayo es verificar que el hormigón no sufrirá hendimiento durante la instalación de los anclajes. Los ensayos se realizan con dos anclajes instalados en forma paralela a un borde, con la mínima distancia al borde y separación, en un elemento de hormigón que tenga el mínimo espesor para el cual el fabricante desea calificar el anclaje. El método de diseño de ACI 318 especifica la mínima distancia al borde (c_{min}) y la mínima separación (s_{min}). Estos límites inferiores fueron seleccionados para evitar que el hormigón sufra hendimiento durante la instalación de los anclajes y son valores estimativos que se podrían utilizar como puntos de partida para el ensayo. Los anclajes que tengan diferentes principios de funcionamiento tendrán valores mínimos diferentes. Estos ensayos permiten establecer valores de c_{min} y s_{min} específicos para cada producto que permitirán instalar los anclajes sin dañar el hormigón.

Los anclajes cuya instalación requiere aplicar torque provocarán hendimiento si las distancias a los bordes son pequeñas. Por lo tanto, este ensayo se debería realizar para todos aquellos anclajes para los cuales el fabricante especifica torque. No debería haber hendimiento aún si se aplica $1,7T_{ins}$, ya que la intención de este nivel de torque es compensar posibles inexactitudes de las llaves de torque utilizadas en obra.

Los valores de c_{min} , s_{min} y h están relacionados, ya que c_{min} y s_{min} dependen del espesor del elemento. ACI 318 requiere que $h \geq 1,5h_{ef}$, esto a su vez puede requerir un mayor c_{min} o s_{min} . Alternativamente, se puede aumentar el espesor del elemento de manera de no tener que reducir c_{min} ni s_{min} .

Para los anclajes a los cuales no se aplica torque, como por ejemplo para los anclajes de desplazamiento controlado, la mínima distancia al borde es aceptable si el anclaje se puede instalar sin que falle el borde.

Los anclajes rebajados de desplazamiento controlado se pueden instalar próximos a un borde. Estos anclajes se

deben verificar para ver si son consistentes con el método de diseño de ACI 318.

En los anclajes de torque controlado T_{inst} genera una pretensión que disminuye luego de algunos minutos. Este breve pico de tensión generalmente produce en el anclaje una carga mayor que la carga de servicio. Se anticipa que habrá dispersión en el T_{inst} aplicado en obra. Los torques más elevados provocarán el hendimiento de los bordes durante la instalación. Por este motivo se requiere el valor de $1,7T_{inst}$.

R9.7 y 9.8 – *Ensayos de tracción sísmica y corte sísmico*: Para permitir el uso de los anclajes en zonas sísmicas ACI 318 requiere ensayos de tracción sísmica y corte sísmico. Debido a que se asume que durante un movimiento sísmico el hormigón se fisurará y que esta fisuración será más severa que bajo cargas cuasiestáticas, los anclajes se ensayan en fisuras estáticas con $w = 0,020$ in. (0,5 mm), usando un ciclo de cargas que simula un evento sísmico.

R11.0 – El Apéndice A contiene un ejemplo de la evaluación de un anclaje hipotético.

RA3.2 – En los elementos de hormigón utilizados para los ensayos en hormigón fisurado se pueden instalar inductores de fisuras para ayudar a que se desarrollen fisuras uniformes en la totalidad del elemento. Estos inductores de fisuras pueden ser delgadas láminas metálicas colocadas en el plano de fisuración anticipado, pero a una distancia suficiente de la ubicación del anclaje como para no afectar los resultados de los ensayos.

Los anchos de las fisuras se pueden controlar utilizando barras de armadura longitudinales, con cuantías (relación entre el área de la armadura y el área de la sección transversal de hormigón) de aproximadamente 1%. Si durante los ensayos la armadura entra en fluencia se debería incrementar la cuantía de armadura.

Referencias citadas en el Comentario

Comité ACI 224, "Control of Cracking in Concrete Structures (ACI 224-90)," American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 1990, pp. 43.

Comité ACI 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-95) and Commentary (ACI 318R-95), American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 1995, pp. 369.

ANSI/ASME B1.1, 1989, "Unified Inch Screw Threads (UN and UNR Thread Form), ASME, Fairfield, N.J.

Burrows, R.W., 1998, "The Visible and Invisible Cracking of Concrete," Monografía No. 11, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., pp. 78.

Eligehausen, R. y Balogh, T., 1995, "Behavior of Fasteners Loaded in Tension in Cracked Reinforced Concrete," *ACI Structural Journal*, Vol. 92, No. 3, Mayo-Junio, pp. 365-379.

APÉNDICE A DEL COMENTARIO SOBRE ACI 355.2

RA – EJEMPLO DE LA EVALUACIÓN DE UN ANCLAJE TIPO CUÑA EN HORMIGÓN NO FISURADO

RA1 – Especificaciones del anclaje
Ver Tabla RA1.

RA2 – Resultados de los ensayos
Ver Tabla RA2.

RA3 – EVALUACIÓN

RA3.1 – Disposiciones generales

Se deben verificar todas las curvas carga-desplazamiento para los Ensayos 1, 2, 3, 4 y 5 de la Tabla 5.1 y los Ensayos 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7 de la Tabla 5.2. No se permite ni ocurrió deslizamiento no controlado (ver Artículo 6.5.1). La rigidez β del anclaje se calcula de acuerdo con la Ecuación (6-1) del Artículo 6.5.2. Para este anclaje el menor valor de todos los ensayos de tracción de referencia es $\beta = 54.970$ lb/in. (9,5 kN/mm).

$$\beta = \frac{0,3 \cdot 7036 - 0,1 \cdot 7036}{0,0260 - 0,0004} = 54.970 \text{ lb/in. (9,5 kN/mm)}$$

RA3.2 – Ensayos de referencia en hormigón de baja resistencia

El coeficiente de variación de la carga de falla es menor que 15%. La dispersión es aceptable.

En los ensayos se observó arrancamiento del cuerpo del anclaje junto con la falla de un cono de hormigón.

Para la falla de un cono de hormigón se anticipa un factor de efectividad mínimo $k = 24$ (10).

$$N_b = 6445 \cdot (1 - 2,568 \cdot 0,059) = 5468 \text{ lb (24,4 kN)}$$

$$k = \frac{5468}{\sqrt{2800} (2 - 3/4)^{1,5}} = 22,6(8,94)$$

El factor de efectividad calculado es menor que el factor mínimo anticipado. Esto significa que el modo de falla primario es el arrancamiento del cuerpo del anclaje, mientras que el cono de hormigón es el modo de falla secundario.

Comentario: La resistencia al arrancamiento es crítica para el diseño de los anclajes. La falla en forma de un cono de hormigón puede ser crítica pero sólo para anclajes o grupos de anclajes próximos a un borde. El factor de efectividad se debe tomar como el mínimo, $k = 24$ (10).

Para la falla del acero se anticipa una carga de falla media igual a:

$$N_{st} = 0,09 \cdot 119.625 = 10.766 \text{ lb (47,9 kN)}$$

Por lo tanto es poco probable que falle el acero. La resistencia característica es igual a:

$$N_k = 0,09 \cdot 92.800 = 8352 \text{ lb (37,2 kN)}$$

Para la falla por arrancamiento del anclaje o del cuerpo del anclaje, la resistencia característica es igual a:

$$N_k = 6445 \cdot (1 - 2,568 \cdot 0,059) = 5468 \text{ lb (24,4 kN)}$$

para una resistencia a la compresión de 2800 lb/in.^2 ($23,7 \text{ N/mm}^2$).

RA3.3 – Ensayos de referencia en hormigón de alta resistencia.

El coeficiente de variación de la carga de falla es menor que 15%. La dispersión es aceptable.

En los ensayos se observó arrancamiento del cuerpo del anclaje junto con la falla de un cono de hormigón.

Para la falla de un cono de hormigón se anticipa un factor de efectividad mínimo $k = 10$.

$$N_k = 9734 \cdot (1 - 2,568 \cdot 0,062) = 36,4 = 8184 \text{ lb (36,4 kN)}$$

$$k = \frac{8184}{\sqrt{6200} (2 - 3/4)^{1,5}} = 22,8(8,93)$$

El factor de efectividad calculado es menor que el factor mínimo anticipado. Esto significa que el modo de falla primario es el arrancamiento del cuerpo del anclaje, mientras que el cono de hormigón es el modo de falla secundario.

Tabla RA1 – Especificaciones del anclaje

Característica	Símbolo	in.-lb	SI
Tamaño del anclaje	—	1/2 in.	12 mm
Longitud embebida	h_{ef}	2-3/4 in.	68 mm
Diámetro exterior	d_o	1/2 in.	12 mm
Área efectiva traccionada	A_{se}	0,09 in. ²	58,1 mm ²
Área efectiva de corte	A_s	0,13 in. ²	84,3 mm ²
Mínima tensión de fluencia especificada	f_y	74.000 lb/in. ²	512 N/mm ²
Mínima resistencia última a la tracción especificada	f_{ut}	92.800 lb/in. ²	640 N/mm ²
Tensión de fluencia, resultado de ensayos	$f_{y,ensayo}$	81.490 lb/in. ²	562 N/mm ²
Resistencia última a la tracción media, resultado de ensayo en la sección del vástago	$f_{u,ensayo}$	99.325 lb/in. ²	685 N/mm ²
Resistencia última a la tracción media, resultado de ensayo en sección reducida	$f_{u,ensayo}$	119.625 lb/in. ²	825 N/mm ²
Torque de instalación	T_{inst}	45 ft-lb	60 Nm
Espesor del elemento de hormigón	h_{min}	5-1/2 in.	140 mm

Para la falla del acero se anticipa una carga de falla media igual a:

$$N_m = 0,09 \cdot 119.625 = 10.766 \text{ lb (47,9 kN)}$$

Por lo tanto es poco probable que falle el acero. La resistencia característica es igual a:

$$N_k = 0,09 \cdot 92.800 = 8352 \text{ lb (37,2 kN)}$$

Para la falla por arrancamiento del anclaje o del cuerpo del anclaje, la resistencia característica es igual a:

$$N_k = 9734 \cdot (1 - 2,568 \cdot 0,062) = 8184 \text{ lb (36,4 kN)}$$

para una resistencia a la compresión de 6200 lb/in.^2 ($52,8 \text{ N/mm}^2$).

La resistencia característica al arrancamiento del anclaje es proporcional a la raíz cuadrada de la resistencia a la compresión del hormigón. Esto lo muestran los factores de efectividad en hormigón de baja y alta resistencia, que son iguales.

Comentario: La resistencia al arrancamiento del anclaje para un hormigón con una resistencia especificada de 21 N/mm² (2500 lb/in.²) se calcula como:

$$N_p = 5468 \cdot \sqrt{2500/2800} = 5167 \text{ lb (20,7 kN)}$$

La resistencia al arrancamiento aumenta con la raíz cuadrada de la resistencia a la compresión especificada del hormigón hasta la mínima resistencia especificada.

RA3.4 – Ensayos de confiabilidad, esfuerzo de instalación reducido

El coeficiente de variación de la carga de falla es menor que 20%. La dispersión es aceptable.

En los ensayos se observó arrancamiento del cuerpo del anclaje junto con la falla de un cono de hormigón.

$$N_p = 5463 \cdot (1 - 3,400 \cdot 0,075) = 4070 \text{ lb (18,1 kN)}$$

Para establecer la categoría de un anclaje es necesario calcular la relación de las capacidades características:

$$\frac{N_{b,r}}{N_{b,o}} = \frac{4070}{5468} = 0,74$$

No es necesario introducir una corrección relacionada con la resistencia del hormigón ya que ambas series de ensayos se realizaron en el mismo pastón de hormigón, con $f_{c,ensayo} = 2800 \text{ lb/in.}^2$ (23,7 N/mm²).

Comentario: Obviamente en estos ensayos la resistencia característica se reduce aplicando el mayor valor de K para evaluar la capacidad característica con una confianza del 90%. Hay solamente cinco ensayos de confiabilidad, en comparación con diez ensayos de referencia. Podría ser posible establecer una mejor categoría para el anclaje aumentando el número de ensayos de confiabilidad.

Tabla RA2 – Resultados de los ensayos

Ensayo general	Ensayo específico	No. de ensayo y referencia	Tamaño de la muestra n	$f_{c,ensayo}$, lb/in. ² (MPa)	$N_{u,m}$, lb (kN)	Desviación estándar, s , lb (kN)	Coeficiente de variación, v , %	Modo de Falla	Comentarios y referencia
Todos los Ensayos	–	7, 8, 9	–	–	–	–	–	–	No se observó resbalamiento descontrolado
Ensayo de referencia	–	7.3	10	2800 (23,7)	6445 (28,8)	382 (1,70)	5,9	Arrancamiento / Hormigón	RA.3.2
Ensayo de referencia	–	7.3	10	6200 (52,8)	9734 (43,3)	605 (2,69)	6,2	Arrancamiento / Hormigón	RA.3.3
Ensayo de confiabilidad	Instalación reducida	8.2	5	2800 (23,7)	5463 (24,3)	407 (1,81)	7,5	Arrancamiento / Hormigón	RA.3.4
Ensayo de confiabilidad	Orificio de gran diámetro	8.3	5	2630 (22,3)	5755 (25,6)	393 (1,75)	6,8	Arrancamiento / Hormigón	RA.3.5
Ensayo de confiabilidad	Orificio de diám. pequeño	8.4	5	6230 (52,8)	9576 (42,6)	479 (2,13)	5,0	Arrancamiento / Hormigón	RA.3.6
Ensayo de confiabilidad	Carga repetitiva	8.5	5	2800 (23,7)	6092 (27,1)	632 (2,81)	10,4	Arrancamiento / Hormigón	RA.3.7
Ensayo bajo condiciones de servicio	Esquina	9.3	4	2630 (22,3)	6047 (26,9)	303 (1,35)	5,0	Arrancamiento / Hormigón	RA.3.8
Ensayo bajo condiciones de servicio	s_{min} , c_{min}	9.4	5	2630 (22,3)	95 ft-lb 129,2 Nm	9,7 ft-lb 13,12 Nm	10,2	Hendimiento	RA.3.9
Ensayo bajo condiciones de servicio	Corte	9.5	5	2800 (23,7)	8700 (38,7)	252 (1,12)	2,9	Acero	RA.3.10

RA3.5 – Ensayos de confiabilidad, orificios de gran diámetro

El coeficiente de variación de la carga de falla es menor que 20%. La dispersión es aceptable.

En los ensayos se observó arrancamiento del cuerpo del anclaje junto con la falla de un cono de hormigón.

$$N_p = 5755 \cdot (1 - 3,400 \cdot 0,068) = 4424 \text{ lb (19,7 kN)}$$

Para establecer la categoría de un anclaje es necesario calcular la relación de las capacidades características, incluyendo una corrección para tomar en cuenta la resistencia del acero.

$$\frac{N_{b,r}}{N_{b,o}} = \frac{4424}{5468} \cdot \sqrt{2800/2630} = 0,83$$

RA3.6 – Ensayos de confiabilidad, orificio de diámetro pequeño

El coeficiente de variación de la carga de falla es menor que 20%. La dispersión es aceptable.

En los ensayos se observó arrancamiento del cuerpo del anclaje junto con la falla de un cono de hormigón.

$$N_b = 9576 \cdot (1 - 3,400 \cdot 0,05) = 7948 \text{ lb (35,4 kN)}$$

Para establecer la categoría de un anclaje es necesario calcular la relación de las capacidades características:

$$\frac{N_{b,r}}{N_{b,o}} = \frac{7968}{8184} = 0,97$$

No es necesario introducir una corrección relacionada con la resistencia del hormigón ya que ambas series de ensayos se realizaron en el mismo pastón de hormigón, con $f_{c,ensayo} = 6200 \text{ lb/in.}^2$ (52,8 N/mm²).

RA3.7 – Ensayos de confiabilidad, cargas repetitivas

Los desplazamientos evidencian una estabilización del movimiento.

El coeficiente de variación de la carga de falla del ensayo de tracción luego de las cargas repetitivas es menor que 15%. La dispersión es aceptable.

En los ensayos se observó arrancamiento del cuerpo del anclaje junto con la falla de un cono de hormigón.

$$\frac{N_{b,r}}{N_{b,o}} = \frac{6092}{6445} = 0,94 > 0,80$$

No es necesario introducir una corrección relacionada con la resistencia del hormigón ya que ambas series de ensayos se realizaron en el mismo pastón de hormigón, con $f_{c,ensayo} = 2800 \text{ lb/in.}^2$ (23,7 N/mm²).

RA3.8 – Ensayos bajo condiciones de servicio, ensayo en esquina

El coeficiente de variación de la carga de falla es igual a 5,0%. En los ensayos de referencia el coeficiente de variación es igual a 5,9% de manera que la dispersión de las cargas de falla es la misma.

La distancia a ambos bordes era de 4 in. (100 mm), es decir $1,5h_{ef}$. El mínimo espesor del elemento de hormigón era de 5-1/2 in. (140 mm), es decir $2h_{ef}$.

Para poder comparar con los resultados de los ensayos de referencia se necesita realizar una corrección para considerar la resistencia del hormigón:

$$N_m = 6047 \cdot \sqrt{2800/2360} = 6239 \text{ lb (27,7 kN)}$$

$$s_m = 303 \cdot \sqrt{2800/2360} = 330 \text{ lb (1,39 kN)}$$

Número de ensayos	Ensayos de referencia μ_1	Ensayos en esquina μ_2
	10	5
Carga última, lb (kN)	6445 (28,8)	6227 (27,7)
Desviación estándar, lb (kN)	382 (1,70)	312 (1,39)

t = prueba de equivalencia estadística

Hipótesis: $\mu_1 = \mu_2$

Nivel de confianza 90%, grados de libertad $n_1 + n_2 - 2 = 10 + 5 - 2 = 13$, de la tabla estadística para la distribución t : $c = 1,35$

$$t_o = \sqrt{n_1 \cdot n_2 \cdot (n_1 + n_2 - 2) / (n_1 + n_2)} \cdot$$

$$\frac{\bar{x} - \bar{y}}{\sqrt{(n_1 - 1) \cdot s_1^2 + (n_2 - 1) \cdot s_2^2}}$$

$$t_o = \sqrt{10 \cdot 5 \cdot (10 + 5 - 2) / (10 + 5)} \cdot$$

$$\frac{6445 - 6227}{\sqrt{(10-1) \cdot 382^2 + (5-1) \cdot 312^2}} = 1,25$$

Para $t_o \leq c$ se acepta la hipótesis: $t_o = 1,25 \leq 1,35 = c$.
Esto significa que la distancia al borde elegida [4 in. (100 mm)] es aceptable.

RA3.9 – Ensayos bajo condiciones de servicio, mínima separación y distancia a los bordes

En los ensayos la mínima distancia a los bordes era de 3 in. (75 mm) o $6d_o$; la mínima separación era de 6,7 in. (170 mm) o $14d_o$. El mínimo espesor del elemento de hormigón era de 5-1/2 in. (140 mm) o $2h_{ef}$.

El torque aplicado en el momento que se observaron las primeras microfisuras era de 95 ft-lb (129,2 Nm). Este torque es mayor que $1,7T_{inst} = 1,7 \cdot 45 \text{ lb-ft}$ (60 Nm) = 75 ft-lb (102 Nm). Los valores de s_{min} , c_{min} y h_{min} seleccionados son aceptables.

RA3.10 – Ensayos bajo condiciones de servicio, ensayos de corte

El área de la sección transversal de la parte roscada del anclaje es igual a $0,13 \text{ in.}^2$ (84,3 mm²). En esta sección se produjo la falla del acero.

La carga de falla media en los ensayos fue de 8700 lb (38,7 kN), y se encuentra dentro del rango anticipado:

$$V_m = 0,6 \cdot f_{u,ensayo} \cdot A_{sv} = 0,6 \cdot 99.325 \cdot 0,13 = 7747 \text{ lb (34,5 kN)}$$

La resistencia característica en los ensayos de corte fue:

$$V_k = 8700 \cdot (1 - 3,400 \cdot 0,029) = 7842 \text{ lb (34,9 kN)}$$

La resistencia anticipada es:

$$V_{s\%} = 0,6 \cdot f_{ut} \cdot A_{sv} = 0,6 \cdot 92.800 \cdot 0,13 = 7238 \text{ lb (32,2 kN)}$$

La resistencia característica anticipada es menor que el valor medido (y calculado).

RA4.1 – Categoría del anclaje

Se observaron las siguientes relaciones entre capacidades características:

Ensayos con esfuerzo de instalación reducido	0,74
Ensayos con orificios de diámetro grande	0,83
Ensayos con orificios de diámetro pequeño	0,97

La menor relación es 0,74 y por lo tanto la categoría del anclaje es 2.

RA4.2 – Informe de los datos del anclaje

Característica	Símbolo	Unidades	Valor para el anclaje
Diámetro del anclaje	–	–	1/2 in. M12
Profundidad embebida efectiva	h_{ef}	in. (mm)	2-3/4 (68)
Diámetro exterior	d_o	in. (mm)	1/2 (12)
Área efectiva de la sección transversal – tracción	A_{se}	in. ² (mm ²)	0,09 (58,1)
Área efectiva de la sección transversal – corte	A_{sv}	in. ² (mm ²)	0,13 (84,3)
Tensión de fluencia mínima especificada	f_y	lb/in. ² (N/mm ²)	74.000 (510)
Resistencia última mínima especificada	f_{ut}	lb/in. ² (N/mm ²)	92.800 (640)
Mínima separación	s_{min}	in. (mm)	6,7 (170)
Mínima distancia al borde	c_{min}	in. (mm)	3 (75)
Mínimo espesor del elemento de hormigón	h_{min}	in. (mm)	5-1/2 (140)
Categoría del anclaje	–	–	2
Factor de efectividad	k	–	22,6 (10)
Resistencia característica al arrancamiento del anclaje en el hormigón especificado	N_p	lb/kN	5167 (20,7*)
Rigidez axial del anclaje en el rango de carga de servicio	β	lb/in. (kN/mm)	54.970 (14,2)

* Para otras resistencias a la compresión especificadas del hormigón, aumentar la resistencia característica al arrancamiento del anclaje multiplicando por la raíz cuadrada de la resistencia especificada sobre 2500 lb/in.² (21 N/mm²).