



**HILTI**

Hilti America Latina

# GUÍA PARA REFUERZOS POST-INSTALADOS

Hilti. Mejor desempeño. Máxima duración.

## Tabla de contenidos

Sección	Descripción	Página
<b>1</b>	<b>Barras de refuerzo post-instaladas: ¿qué son?</b> . . . . .	<b>3</b>
1.1	Barras de refuerzo post-instaladas y su aplicación en la construcción . . . . .	3
1.2	Rango de aplicaciones . . . . .	4
1.3	Compatibilidad de las barras de refuerzo post-instaladas con refuerzo pre-instalado in situ . . . . .	4
<b>2</b>	<b>¿Cómo se diseñan?</b> . . . . .	<b>8</b>
2.1	Requisitos de diseño . . . . .	8
2.2	Restricciones de la obra . . . . .	8
2.3	Longitud de adherencia requerida. . . . .	8
2.4	Detalles sobre las conexiones . . . . .	8
2.5	Especificación del sistema . . . . .	8
2.6	Ejemplos de diseño . . . . .	8
<b>3</b>	<b>¿Cómo se instalan?</b> . . . . .	<b>15</b>
3.1	Ubicación del refuerzo existente y de otros elementos embebidos . . . . .	15
3.2	Rugosidad de la superficie de concreto existente . . . . .	15
3.3	Instalación de barras de refuerzo post-instaladas con recubrimiento pequeño. . . . .	16
3.4	Método de perforación . . . . .	16
3.5	Limpieza de los orificios . . . . .	18
3.6	Selección del sistema adhesivo . . . . .	19
3.7	Inyección del adhesivo . . . . .	20
3.8	Instalación de las barras . . . . .	20
<b>4</b>	<b>¿Cómo decidir qué sistema usar?</b> . . . . .	<b>21</b>
<b>5</b>	<b>Desarrollo de los datos de diseño.</b> . . . . .	<b>22</b>
5.1	Antecedentes. . . . .	22
5.2	Establecimiento del desempeño (calificación) del sistema requerido. . . . .	22
<b>6</b>	<b>¿Cuáles son los orígenes?</b> . . . . .	<b>25</b>
6.1	Establecimiento del empotramiento requerido de las barras . . . . .	25
6.2	Descripción general de las disposiciones sobre longitud de desarrollo de ACI 318 para barras de refuerzo rectas. . . . .	25
6.3	Otras disposiciones sobre barras rectas incluidas en ACI 318. . . . .	26
6.4	Diseño de barras de refuerzo post-instaladas basado en conceptos de longitud de desarrollo . . . . .	27
6.5	Enfoques alternativos para establecer el empotramiento de las barras. . . . .	28
6.6	Diseño de barras corrugadas en corte . . . . .	33
<b>7</b>	<b>¿Qué más requiero saber?</b> . . . . .	<b>36</b>
7.1	Carga sostenida. . . . .	36
7.2	Fatiga. . . . .	36
7.3	Incendio. . . . .	36
7.4	Corrosión. . . . .	36
<b>8.0</b>	<b>Información de referencia útil</b> . . . . .	<b>37</b>
8.1	Barras de refuerzo estándar según ASTM . . . . .	37
8.2	Grados comunes de acero de refuerzo. . . . .	37
8.3	Longitud de desarrollo de tensión y longitud de empalme por traslape calculadas para barras de refuerzo de grado 60 en paredes, losas y cimientos según ACI 318-11 con $(c_b + K_{tr})/d_b \geq 2,5$ . . . . .	38
<b>9.0</b>	<b>Referencias y sugerencias de lectura adicional.</b> . . . . .	<b>39</b>

# 1 Barras de refuerzo post-instaladas: ¿qué son?

## 1.1 Barras de refuerzo post-instaladas y su aplicación en la construcción

Desde mediados de la década de los setenta, los anclajes adhesivos se usan ampliamente en el ámbito de la construcción. En los Estados Unidos, están regulados mediante diversos códigos y normas, incluidos ACI 318, ACI 355.4 y criterios de aceptación emitidos por ICC Evaluation Service. Por lo general, los sistemas de anclaje adhesivo para concreto usan varilla roscada de acero como el elemento de anclaje (figura 1) y se diseñan usando una extensión del método de diseño por capacidad del concreto (método de CCD, Concrete Capacity Design) que se usa para los anclajes con cabeza y los anclajes mecánicos post-instalados<sup>1</sup>.



**Figura 1: Instalación de anclaje adhesivo (con Hilti HIT-HY 200 y varilla HIT-Z)**

En este entorno de diseño, el foco (para las cargas de tensión) está en la falla de adherencia o de extracción por deslizamiento y en el arrancamiento del concreto. El hendimiento del concreto no se considera relevante en vista de las limitaciones que imponen las distancias a los bordes, el espesor del concreto y el espaciamiento de los anclajes. El cuerpo del anclaje con los modos de falla de concreto asociados ofrece resistencia a las cargas de corte, según se define en el método de CCD. Desde una perspectiva del diseño, generalmente, los anclajes adhesivos se consideran de la misma forma que otros elementos estructurales; es decir, la resistencia requerida se establece de la siguiente manera:

$$\Phi R_n \geq U \quad [1]$$

donde U es la carga factorizada,  $\Phi$  es el factor de reducción de la resistencia y  $R_n$  es la resistencia nominal (generalmente tomada como el fractil del 5%).

Otra aplicación común y tradicional de adhesivos para anclaje es la instalación de barras de refuerzo deformadas en orificios perforados en concreto para emular el comportamiento de las barras de refuerzo pre-instaladas in situ (figura 2), comúnmente denominadas barras de refuerzo post-instaladas. Esta aplicación, que, en gran medida, estuvo sin regular hasta 2013 en los Estados Unidos<sup>2</sup>, puede clasificarse de la siguiente manera:

- a. Las **barras de refuerzo post-instaladas** son empotradas en adhesivo en un barreno perforado en concreto existente en un lado de la interfaz y son pre-instaladas en concreto nuevo en el otro lado de la interfaz. (Figura 3) Las barras pueden incluir ganchos o cabezas en el extremo pre-instalado, pero deben ser necesariamente rectas en el extremo post-instalado.
- b. A diferencia de los anclajes adhesivos, las **barras de refuerzo post-instaladas**, a menudo, se instalan con una distancia mínima a los bordes. En esos casos, la resistencia a las cargas de tensión de la conexión de la barra de refuerzo post-instalada generalmente está limitada por la resistencia al hendimiento del concreto (que se caracteriza por la formación de fisuras a lo largo de la barra).
- c. En general, las **barras de refuerzo post-instaladas** no se diseñan para resistir cargas de corte directas como las que resiste un perno de anclaje (es decir, exclusivamente mediante la acción de la barra<sup>3</sup>).
- d. Generalmente, las **barras de refuerzo post-instaladas** son empotradas según sea necesario para “desarrollar” su resistencia a la fluencia aplicando las disposiciones del código sobre longitud de desarrollo y empalme.



**Figura 2: Inyección de adhesivo Hilti HIT en un orificio perforado con el dispensador a batería Hilti HDE 500-A22 para facilitar la instalación de barras de refuerzo post-instaladas**

La suposición del desarrollo de la barra es quizás la diferencia más importante que distingue las barras de refuerzo post-instaladas de los anclajes adhesivos.

<sup>1</sup> ACI 318-11, “Committee 318: Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-11) and Commentary” (Comité 318: requisitos del código de construcción para concreto estructural (ACI 318-11) y observaciones), Instituto Americano del Concreto, Farmington Hills, Michigan [2].

<sup>2</sup> La adecuación de un adhesivo inyectable para instalar aplicaciones de barras de refuerzo post-instaladas debe verificarse mediante los criterios de aceptación AC308 de ICC Evaluation Service, revisión de junio de 2013 [9] o equivalente.

<sup>3</sup> En algunos casos, el mero uso de la acción de la barra puede ser adecuado para resistir el corte; sin embargo, es preciso tener en cuenta que esta resistencia generalmente se asocia con desplazamientos más grandes. La acción de la barra también puede generar una falla de borde prematura donde las barras están próximas a un borde.

# 1 Barras de refuerzo post-instaladas: ¿qué son?

Si bien surgen instancias en las que las barras de refuerzo post-instaladas se diseñan para una fuerza aplicada como se describe mediante la ecuación [1], el caso típico se ajusta al supuesto de desarrollo de la barra.

En esta Guía se brinda información sobre el diseño, los detalles y la instalación de barras de refuerzo post-instaladas. **No** aborda el diseño según las disposiciones sobre diseño y calificación de anclaje adhesivo de ACI.

## 1.2 Rango de aplicaciones

Como se indicó anteriormente, las barras de refuerzo post-instaladas se usan generalmente para facilitar las conexiones entre estructuras o elementos de concreto nuevos y existentes. Las barras de refuerzo post-instaladas se usan en trabajos de reacondicionamiento y construcciones nuevas y son adecuadas para una gran diversidad de aplicaciones (p. ej., como anclajes adhesivos), fuera del contexto de desarrollo de la barra.

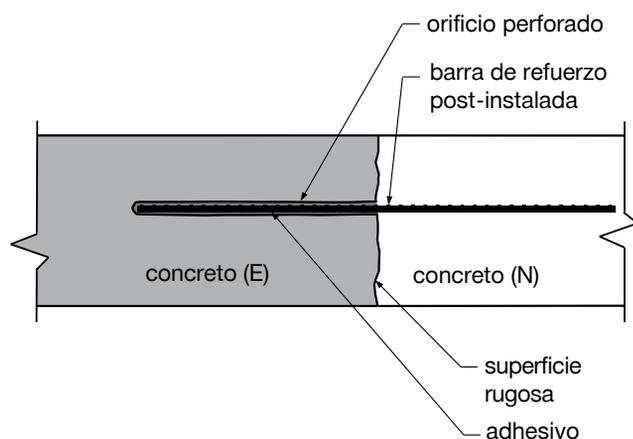


Figura 3: Barra de refuerzo post-instalada

Probablemente, la clase de aplicación más común de las barras de refuerzo post-instaladas es la **extensión de elementos estructurales de concreto reforzado (R/C, Reinforced Concrete) existentes** como losas, paredes y columnas (figura 4), ya sea para facilitar la expansión de la superficie o para implementar otros tipos de cambios funcionales de la estructura. Por lo general, tales aplicaciones involucran la colocación de un gran número de barras con escasa separación entre sí. En algunos casos, las barras de refuerzo post-instaladas se instalan cerca de la superficie del concreto (p. ej., próximas a la distancia de recubrimiento mínimo), con lo cual debe tenerse en cuenta la presencia del refuerzo existente. Cuando corresponda, como en el caso de la extensión de una columna, losa o pared, generalmente se prefiere colocar las barras de refuerzo post-instaladas dentro de la estructura de barras de refuerzo existente, para minimizar el astillado durante la perforación y garantizar una cubierta adecuada. Mediante el uso de equipos de detección de refuerzo, como los sistemas de escaneo Hilti PS 250 o Hilti PS 1000 (figura 5), es fácil evitar el refuerzo existente.

Otra clase de aplicaciones involucra el **reforzamiento de estructuras de concreto existentes**, a menudo, para mejorar el rendimiento ante cargas sísmicas (figura 6). Estas aplicaciones se ven simplificadas por el hecho de que las barras generalmente no transportan cargas de gravedad, no están sujetas a consideraciones de diseño relacionadas con incendios y, con frecuencia, involucran la fijación con barras en elementos de concreto sin distancias cercanas a los bordes. Por otro lado, los empotramientos requeridos para el desarrollo y el empalme de barras sujetas a cargas sísmicas pueden ser mayores que para las barras diseñadas solamente para cargas estáticas o de viento.

Una tercera clase de aplicaciones con requisitos exclusivos es la **extensión, rehabilitación y reforzamiento de puentes de concreto existentes** y otras estructuras de ingeniería civil (figura 7). A menudo, estas aplicaciones se distinguen por la necesidad de mejorar la resistencia a la corrosión y las temperaturas extremas. Hilti ha desarrollado soluciones de corte-fricción únicas para recubrimientos de tablero de puente<sup>5</sup> y ofrece adhesivos híbridos (p. ej., Hilti HIT-HY 200-R) con resistencia superior a temperaturas elevadas.

Dado que los empotramientos requeridos para satisfacer las disposiciones del código de construcción sobre longitud de desarrollo (generalmente, de 25 a 40 diámetros de barra), a menudo, superan las longitudes de empotramiento para anclaje típicas (generalmente limitadas a 20 diámetros de barra<sup>4</sup>), es posible que sea necesario considerar medidas especiales para garantizar que los orificios sean rectos y que el proceso de perforación no dañe el concreto, el refuerzo existente u otros elementos empotrados. Estas medidas pueden incluir el uso de herramientas especializadas como el sistema de alineación de perforación Hilti y los sistemas de detección de materiales férricos y basados en georradars (GPR, Ground-Penetrating Radar) Hilti.

## 1.3 Compatibilidad de las barras de refuerzo post-instaladas con refuerzo pre-instalado in situ

Las barras de refuerzo post-instaladas se diseñan para transferir cargas de tensión solamente. En laboratorios europeos y estadounidenses, se han realizado extensos programas de investigación<sup>6</sup> para verificar que las barras de refuerzo post-instaladas, instaladas con sistemas adhesivos Hilti (HIT-HY 200-R, HIT-RE 500 V3) demuestran una transferencia de carga y un comportamiento carga-desplazamiento comparable al refuerzo pre-instalado in situ.

Cuando se instalan lejos de los bordes (es decir, donde el hendidamiento no limita la resistencia), las barras de refuerzo post-instaladas generalmente tienen mayor resistencia a la extracción por deslizamiento que las barras pre-instaladas in situ de diámetro y empotramiento equivalentes.

4 Consulte D.4.2.3 de ACI 318-11.

5 Comuníquese con Hilti para obtener más información.

6 Consulte las referencias y sugerencias de lectura adicional: [8], [10], [11], [12], [17], [18], [19], [20].

# 1 Barras de refuerzo post-instaladas: ¿qué son?



a. Barras de inicio



b. Barandilla nueva de puente



c. Losa de diafragma



d. Extensión de muro



e. Encajonado de columna de acero



f. Extensión de losa

**Figura 4: Aplicaciones que involucran la extensión de una construcción existente con elementos nuevos mediante Hilti HIT-RE 500 V3 y Hilti HIT-HY 200-R**



**Figura 5: Detección de barras de refuerzo y otros elementos empotrados con un escáner basado en GPR Hilti**



a. Conexión de losa a muro



b. Conexión de muro a muro



c. Pared de concreto proyectado de recubrimiento



d. Reforzamiento de conexión de losa a columna

**Figura 6: Aplicaciones de reforzamiento estructural usando el adhesivo Hilti HIT-RE 500 V3**

# 1 Barras de refuerzo post-instaladas: ¿qué son?



a. Ensanchamiento de puente

b. Rehabilitación de tablero de puente

c. Aumento de tablero de puente

**Figura 7: Aplicaciones en rehabilitación de puentes con barras de refuerzo post-instaladas**

En el caso de las barras cercanas a los bordes que están sujetas a cargas de tensión (consulte la figura 8a a continuación), el comportamiento del estado límite último se caracteriza por el hendimiento del concreto a lo largo de la barra o del empalme en respuesta a las tensiones circunferenciales desarrolladas alrededor de la barra. Siempre que el adhesivo que se use pueda adecuar la redistribución de la tensión en toda la longitud de la barra de manera similar a las barras pre-instaladas in situ, las barras de refuerzo post-instaladas tienen resistencias últimas que están en consonancia con las obtenidas para las barras pre-instaladas in situ.

En la figura 8 se muestran las aplicaciones típicas de las barras de refuerzo post-instaladas. Algunas de estas aplicaciones se verificaron experimentalmente, en tanto que otras se investigaron mediante técnicas avanzadas de simulación (FEM).

Estas aplicaciones pueden clasificarse de la siguiente manera:

(a) **Empalmes por traslape sin contacto** en los que las cargas de tensión se transfieren entre las barras adyacentes mediante tensiones circunferenciales y de bielas de compresión en el concreto que rodea directamente las barras empalmadas (consulte la figura 8a).

(b) **Barras de corte** usadas para resistir el corte de la interfaz en un plano de corte, generalmente, la rugosa entre el concreto nuevo y el existente (consulte la figura 8b). El mecanismo de corte principal - la fricción en toda la superficie irregular - es posible gracias a las barras de refuerzo post-instaladas (barras corrugadas) que mantienen las superficies unidas y, como tal, el supuesto de diseño habitual, p. ej., en el concepto de corte-fricción que usa ACI, es que las barras corrugadas se colocan en tensión directa debido a que el plano de corte irregular se transfiere lateralmente. En un grado mucho menor, o en el caso de una interfaz lisa, el corte también puede transferirse mediante la acción de la barra; es decir, el soporte del concreto en las barras de refuerzo.

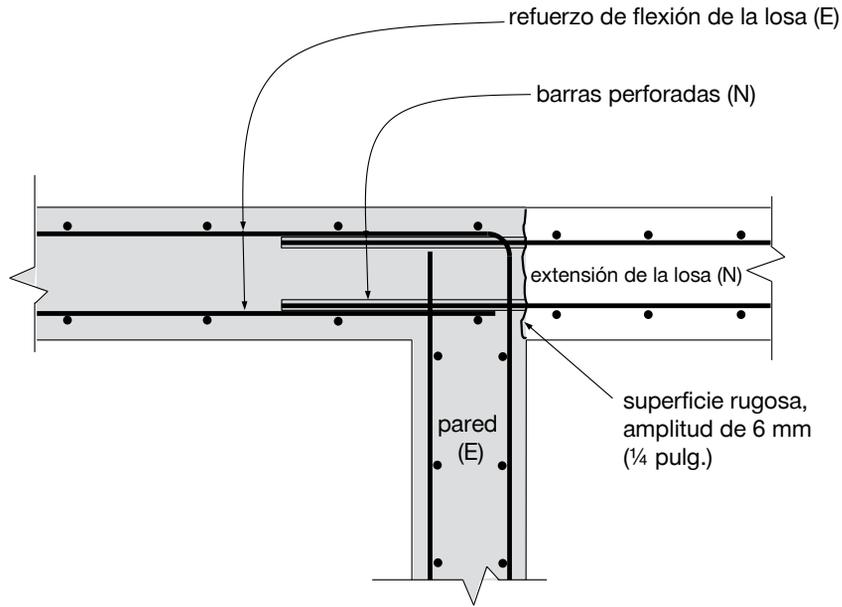
(c) **Barras de inicio**, que generalmente se usan para resistir las fuerzas de tensión y corte en las uniones de viga a columna y de columna a cimentación. Las barras de inicio se orientan en sentido perpendicular al refuerzo principal del elemento de concreto existente en el que están instaladas. En las construcciones pre-instaladas in situ, las barras de inicio generalmente se colocan con ganchos. Las barras de inicio post-instaladas son rectas y, por ende, su diseño debe estar regido por las disposiciones sobre longitud de desarrollo de barras rectas (consulte la figura 8c).

Es preciso tener en cuenta que, con excepción de la acción de la barra mencionada anteriormente en el punto (b), el método de transferencia de carga entre las barras de refuerzo post-instaladas y el concreto en el que están ancladas es la trabazón mecánica de las deformaciones del refuerzo (salientes) en el adhesivo que las rodea. A su vez, estas tensiones de soporte se transfieren del adhesivo al concreto circundante mediante adherencia y microfricción, por lo que la dilatación lateral de la capa de adhesivo en respuesta a las tensiones de soporte mejora el mecanismo de fricción. El concreto, a su vez, desarrolla tensiones circunferenciales (aro) alrededor de las barras que pueden causar fisuras en determinados niveles de carga. Esta respuesta es idéntica a la que se observa para las barras de refuerzo pre-instaladas in situ cargadas en tensión.

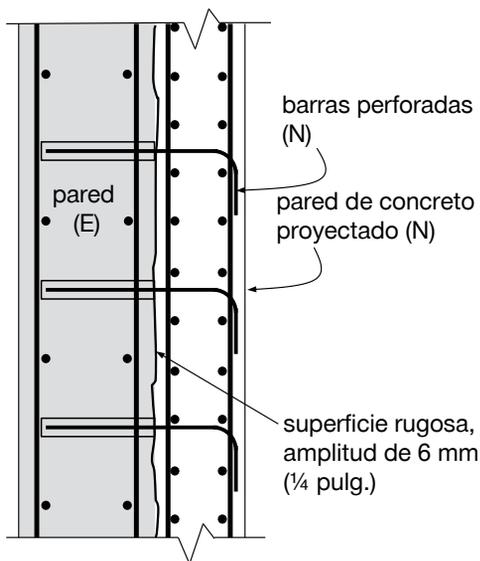
**Nota:** cuando, mediante pruebas de calificación adecuadas (de acuerdo con AC308 o procedimientos similares<sup>7</sup>), se verifique que un sistema de barras de refuerzo post-instaladas tiene un refuerzo de adherencia y un comportamiento de desplazamiento similares a los de las barras de refuerzo pre-instaladas in situ, el diseño de las conexiones de barras de refuerzo post-nstaladas que use dicho sistema se puede realizar aplicando las disposiciones para barras de refuerzo pre-instaladas in situ.

<sup>7</sup> Se ha verificado que los adhesivos Hilti HIT-RE e HIT-HY son adecuados para aplicaciones de barras de refuerzo post-instaladas mediante investigaciones y pruebas exhaustivas.

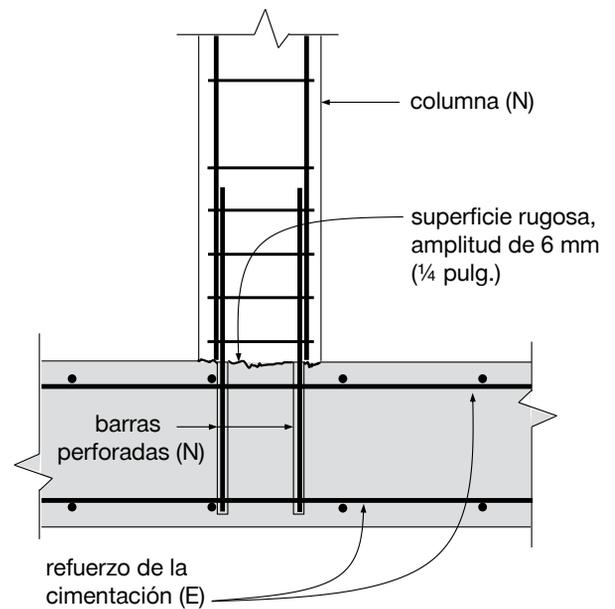
# 1 Barras de refuerzo post-instaladas: ¿qué son?



a. Empalme por traslape con refuerzo de flexión existente



b. Desarrollo de barras de corte para muro de recubrimiento nueva



c. Desarrollo de tensión de barras de columna

**Figura 8: Ejemplos de detalles estructurales con barras de refuerzo post-instaladas**

## 2 ¿Cómo se diseñan?

### 2.1 Requisitos de diseño

El diseño de las conexiones de barras de refuerzo post-instaladas requiere que se determine el tipo, el tamaño, la separación y la cantidad para la conexión. Generalmente, esto está basado en un cálculo directo de las fuerzas de la sección o en un requisito para coincidir con el refuerzo existente. La densidad y el tamaño de las barras para la transferencia de corte entre los recubrimientos nuevos en elementos estructurales existentes como losas y paredes pueden estar basados en otras consideraciones.

Otras consideraciones de diseño pueden incluir lo siguiente:

- Tipo de carga (sostenida, sísmica, de choque)
- Requisitos relacionados con incendios
- Resistencia a la corrosión
- Requisitos de detalles según el tipo de elemento (refuerzo de integridad, etc.)

### 2.2 Restricciones de la obra

Antes de diseñar una conexión de barras de refuerzo post-instaladas, es fundamental identificar las restricciones de la obra. Los parámetros clave que deben considerarse en el diseño pueden incluir los siguientes:

- Distribución del refuerzo existente según los planos y la confirmación in situ con equipo de detección (consulte la sección 3.1)
- Proximidad requerida del refuerzo nuevo al existente para satisfacer las condiciones de empalmes por traslape sin contacto, etc.
- Método de perforación (rotomartillo, perforación con diamante, sistema de broca hueca de Hilti)
- Orientación de la conexión (vertical, sobre cabeza, etc.)
- Temperatura ambiente y del concreto al momento de la instalación
- Tipo y condición del concreto, p. ej., fisuras, carbonizado
- Restricciones geométricas y de acceso

### 2.3 Longitud de adherencia requerida

En general, el empotramiento requerido de las barras se realiza según las disposiciones del código sobre longitud de desarrollo y empalme<sup>8</sup>. Cuando existan restricciones geométricas u otras restricciones prácticas, otros procedimientos alternativos pueden ser adecuados para establecer la longitud de adherencia. El tamaño de la barra y la longitud de adherencia requerida también pueden determinar el tipo de sistema adhesivo que debe usarse. Los adhesivos con un tiempo de aplicación más prolongado (p. ej., Hilti HIT-RE 500 V3) generalmente son más adecuados para barras de diámetro grande en combinación con orificios profundos, mientras que los sistemas de curado acelerado (p. ej., adhesivo híbrido Hilti HIT-HY 200-R) pueden aumentar la eficacia en el caso de diámetros de barra pequeños y medianos y orificios más cortos. Estas consideraciones pueden verse afectadas por las condiciones anticipadas de la obra (p. ej., el acceso, la temperatura ambiente y la temperatura del concreto).

### 2.4 Detalles sobre las conexiones

La ubicación de las barras de refuerzo post-instaladas respecto del refuerzo existente debe indicarse claramente en la documentación del proyecto. Además, las especificaciones y los detalles pueden incluir lo siguiente:

- Sistema adhesivo
- Tipo y tamaño de las barras
- Empotramiento requerido de las barras
- Diámetros de los orificios y métodos de perforación
- Requisitos de preparación/rugosidad de la superficie de concreto existente
- Instrucción sobre la inviolabilidad del refuerzo y los elementos empotrados existentes, según se requiera
- Requisitos sobre la capacitación/certificación de los instaladores, según se requiera
- Requisitos de carga de prueba/inspección

### 2.5 Especificación del sistema

Las especificaciones deben corresponderse con los supuestos de diseño y los requisitos específicos de la obra detallados en la documentación del proyecto. Los reemplazos basados en una mera especificación de la tensión de adherencia pueden no ser suficientes para garantizar la correcta ejecución del trabajo.

### 2.6 Ejemplos de diseño

Los siguientes ejemplos de diseño, basados en las disposiciones de ACI 318-11, se ofrecen exclusivamente con fines ilustrativos.

#### 2.6.1 Ejemplo de diseño: barra de corte

Requisito: diseñar barras usadas para conectar una pared de corte de concreto nueva con un espesor de 254 mm (10 pulg.) a una pared de concreto existente (figura 9).

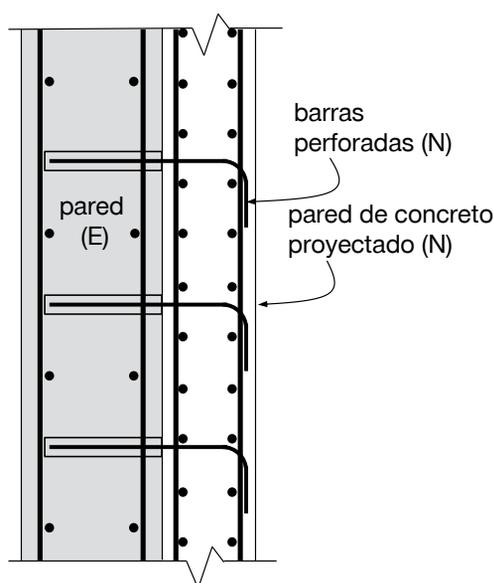


Figura 9: Sección a través del muro

<sup>8</sup> Consulte, p. ej., 12.2 de ACI 318-11.

## 2 ¿Cómo se diseñan?

### Paso 1: Determinar el área del acero de la barra requerido

Construcción existente

Pared de corte (E) de 410 mm (16 in) de espesor, concreto de peso normal de 28 MPa (4 ksi)

Requisito de refuerzo basado en la transferencia de corte requerida mediante corte-fricción :

$$V_u = 9 \text{ k/ft}^2$$

Área de refuerzo requerida según 11.6.4.1, ecuación (11-25) ACI 318-11:

$$A_{vf} = \frac{V_u}{\Phi f_y \mu} = \frac{9}{0.75 \times 60 \times 1.0} = 0.2 \text{ pulg}^2/\text{ft}^2$$

Área de refuerzo provista : #5 @ 406 mm (16 pulg.) x 305 mm (12 pulg.) sobre la cara del muro.

### Paso 2: Determinar las condiciones del diseño

- Método de perforación: perforación con taladro percutor rotativo
- Orientación de la conexión: posición de pared/horizontal
- Temperatura de instalación y servicio: 21 °C (70 °F)
- Tipo de concreto: peso normal, 28 MPa (4 ksi)
- Condición del concreto: seco
- Selección del adhesivo según la condición: HIT-RE 500 V3
- Tipo y ubicación de las barras: barras con ganchos, en la cara de la pared existente con separación uniforme en sentido vertical y horizontal

### Paso 3: Calcular el empotramiento requerido (longitud de desarrollo)

Ecuación de la longitud de desarrollo (12-1) según ACI 318-11:

$$\ell_d = \left[ \frac{3}{40} \frac{f_y}{\lambda \sqrt{f'_c}} \frac{\psi_s}{c_b + K_{tr}} \right] \cdot d_b$$

$$\ell_d = \left[ \frac{3}{40} \frac{60000}{1.0 \sqrt{4000}} \frac{0.8}{2.5} \right] \cdot 0.625 = 14,23 \text{ pulg. (361 mm)}$$

$$\ell_d = 14,23 \text{ pulg. (23 } d_b) > \ell_d \text{ mín.} = 12 \text{ pulg. (305 mm)}$$

Cubierta final disponible = 16 - 14,23 = 1,77 pulg.

Exposición de pared exterior, cubierta requerida = 1.5 pulg. aceptable

Longitud de la barra = 14,23 + (10 - 0.75), aproximadamente 23,5 pulg. (597 mm) hacia la parte exterior de un gancho estándar

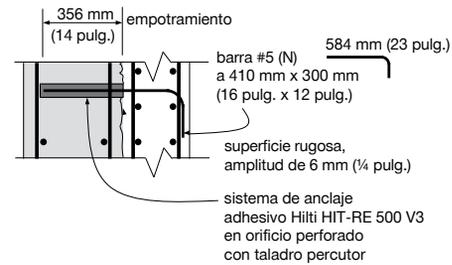


Figura 10: Detalle de la barra (no a escala)

### Paso 4: Especificación

Proporcione barras post-instaladas conforme a las indicaciones de tamaño, separación y empotramiento incluidas en los documentos de construcción (consulte la figura 10).

Barras: grado 60 según ASTM A615.

Sistema de anclaje: epoxi Hilti HIT-RE 500 V3; la instalación debe realizarse conforme a las instrucciones de instalación impresas del fabricante (IIF) y el concreto debe estar seco durante la instalación de las barras, salvo que en las IIF se permita lo contrario.

Perfore los orificios con un rotomartillo con broca de carburo. Localice el refuerzo existente antes de la perforación; no dañe el refuerzo (E) sin autorización previa de EOR.

## 2 ¿Cómo se diseñan?

### 2.6.2 Ejemplo de diseño: empalme por traslape

Requisito: proporcionar refuerzo post-instalado para una extensión de balcón en una estructura de concreto existente, como se muestra en la figura 11.

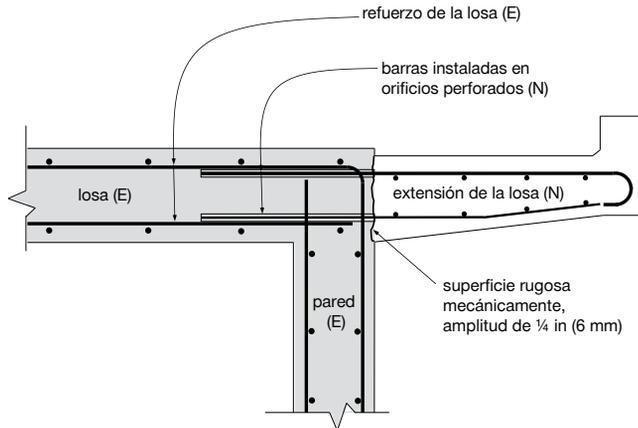


Figura 11: Sección a través del balcón

#### Paso 1: Determinar el área del refuerzo de flexión para el momento del voladizo

Construcción existente: (E) losa, espesor de 254 mm (10 pulg.), concreto de peso normal de 28 MPa (4 ksi), barras superiores #9 @ 203 mm (8 pulg.) en el centro, barras inferiores #8 @ 305 mm (12 pulg.) en el centro, barras transversales #5 @ 406 mm (16 pulg.) en el centro para las barras superiores e inferiores

Construcción nueva: losa de sección variable (N) como se muestra, concreto liviano con arena de 34 MPa (5 ksi), refuerzo de grado 60 según ASTM A615

Corte y momento mayorados en la cara del voladizo:

$$M_u = 25 \text{ ft-k / ft}$$

$$V_u = 6 \text{ k / ft}$$

$$d = 203 \text{ mm (8 pulg.) (figura 12)}$$

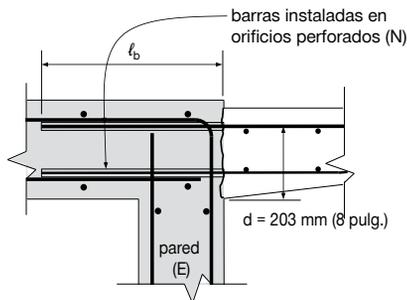


Figura 12: Colocación del nuevo refuerzo para momento positivo

Refuerzo para momento positivo: probar #8 a 305 mm (12 pulg.) en el centro

$$\rho = \frac{0.79}{12 \times 8} = 0.0082$$

$$K_n = \left[ 1 - \frac{\rho f_y}{1.7 \lambda f'_c} \right] \cdot \rho f_y = \left[ 1 - \frac{0.0082 \cdot 60000}{1.7 \cdot 0.85 \cdot 5000} \right] \cdot 0.0082 \cdot 60000 = 458 \text{ psi}$$

$$\phi M_n = \phi b \cdot d^2 K_n = 0.9 \frac{12 (8)^2 \times 458}{12 \times 1000} = 26.3 \text{ ft-k / ft} > 25 : \text{aceptable}$$

Use #8 @ 305 mm (12 pulg.) en el centro para las barras superiores.

Área de refuerzo requerida según 11.6.4.1, ecuación (11-25) ACI 318-11

$$A_{vf} = \frac{V_u}{\phi f_y \mu} = \frac{V_u}{\phi f_y 1.0 \lambda} = \frac{6000}{0.75 \times 60000 \times 1.0 \times 0.75} = 0.18 \text{ in}^2/\text{ft}$$

**Nota:** si bien se trata de concreto liviano con arena, el valor de  $\lambda$  que se usa con la ecuación de corte-fricción se considera de manera conservadora como 0,75, ya que no se dispone de información específica que respalde un valor mayor; consulte 11.6.4.3 de ACI 318-11.

Refuerzo de corte: usar #5 @ 406 mm (16 pulg.) en el centro para las barras inferiores

#### Paso 2: Determinar las condiciones del diseño

- Método de perforación: perforación con rotomartillo
- Orientación de la conexión: posición de pared/horizontal
- Temperatura de instalación y servicio: 32 °C (90 °F)
- Tipo de concreto: peso normal, 28 MPa (4 ksi)
- Condición del concreto: seco
- Selección del adhesivo según la condición: HIT-RE 500 V3
- Tipo y ubicación de las barras: como se muestra en el esquema, ubíquelas de modo que evite el refuerzo existente, pero a no más de 102 mm (4 pulg.) del refuerzo de flexión existente.

#### Paso 3: Calcular el empotramiento requerido (longitud del empalme) para las barras superiores e inferiores nuevas

Barras superiores:

**Nota:** dado que las barras #8 nuevas se empalman con las barras #9 existentes, la longitud de empalme requerida según ACI 318-11 12.15.3 es la medida más grande de la longitud de desarrollo de la barra más larga (#9) y la longitud de empalme por traslape de la barra más pequeña (#8).

## 2 ¿Cómo se diseñan?

Longitud de desarrollo del refuerzo existente #9 según la ecuación (12-1):

Las barras #9 tienen una cubierta de 38 mm (1-1/2 pulg.), el refuerzo transversal es #5 a 406 mm (16 pulg.) en el centro (consulte la figura 13)

$$K_{tr} = \frac{40A_{tr}}{s \cdot n} = \frac{40 \times 0.31}{16 \times 1} = 0.78$$

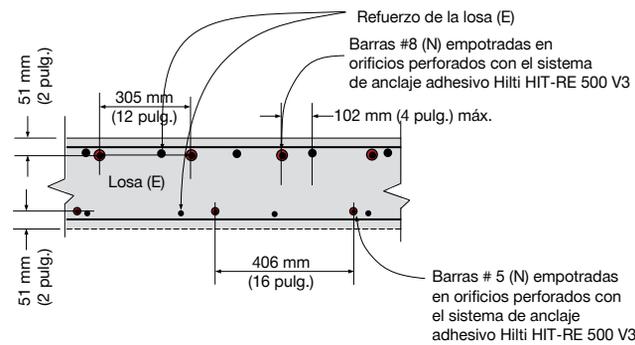
$$\frac{c_b + K_{tr}}{d_b} = \frac{\left(\frac{1.128}{2} + 1.5\right) + 0.78}{1.128} = 2.55 : \text{utilizar } 2.5$$

$$\ell_d = \left[ \frac{3}{40} \frac{f_y}{\lambda \sqrt{f'_c}} \frac{\psi_s}{c_b + K_{tr}} \right] \cdot d_b$$

$$\ell_d = \left[ \frac{3}{40} \frac{60000}{1.0 \sqrt{4000}} \frac{1.0}{2.5} \right] \cdot 1.128 = 32 \text{ pulg. (813 mm)}$$

Longitud del traslape de tensión (clase B) del refuerzo #8 nuevo según 12.15.1:

$$1.3 \ell_d = \left[ \frac{1.3}{40} \frac{60000}{1.0 \sqrt{4000}} \frac{1.0}{2.5} \right] \cdot 1.0 = 37 > 32 : \text{utilizar } 37 \text{ pulg. (940 mm)}$$



**Figura 13: Ubicación de las barras nuevas (no a escala)**

Barras inferiores:

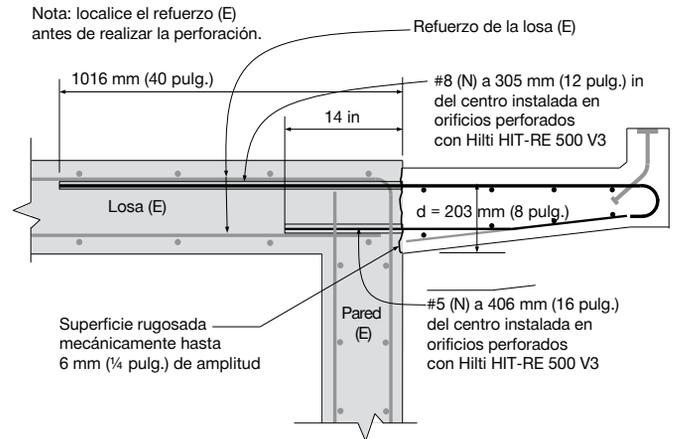
Longitud de desarrollo de barras #5 con cubierta de 38 mm (1.5 pulg.)

Supuesto:  $K_{tr} = 0$  (valor conservador)

$$\frac{c_b + K_{tr}}{d_b} = \frac{\left(\frac{0.625}{2} + 1.5\right) + 0}{0.625} = 2.9 : \text{utilizar } 2.5$$

$$\ell_d = \left[ \frac{3}{40} \frac{f_y}{\lambda \sqrt{f'_c}} \frac{\psi_s}{c_b + K_{tr}} \right] \cdot d_b$$

$$\ell_d = \left[ \frac{3}{40} \frac{60000}{1.0 \sqrt{4000}} \frac{0.8}{2.5} \right] \cdot 0.0625 = 14 \text{ in (356 mm)}$$



**Figura 14: Detalle (no a escala)**

### Paso 4: Especificación

Proporcione barras post-instaladas conforme a las indicaciones de tamaño, separación y empotramiento incluidas en los documentos de construcción (consulte la figura 14).

Barras: grado 60 según ASTM A615.

Sistema de anclaje: epoxi Hilti HIT-RE 500 V3; la instalación debe realizarse conforme a las instrucciones de instalación impresas del fabricante (IIF); el rango aceptable de temperatura del concreto para la instalación es 13 °C - 32 °C (55 °F - 90 °F); el concreto debe estar seco durante la instalación de las barras.

Perfore los orificios con un taladro percutor rotativo con broca de carburo. Localice el refuerzo existente antes de la perforación; no dañe el refuerzo (E) sin autorización previa de EOR.

## 2 ¿Cómo se diseñan?

### 2.6.3 Ejemplo de diseño: longitud de desarrollo en un pórtico especial a momento

Requisito: proporcionar refuerzo post-instalado para una incorporación a un pórtico especial a momento en una estructura asignada a la categoría de diseño sísmico (SDC) D (alto nivel sísmico).

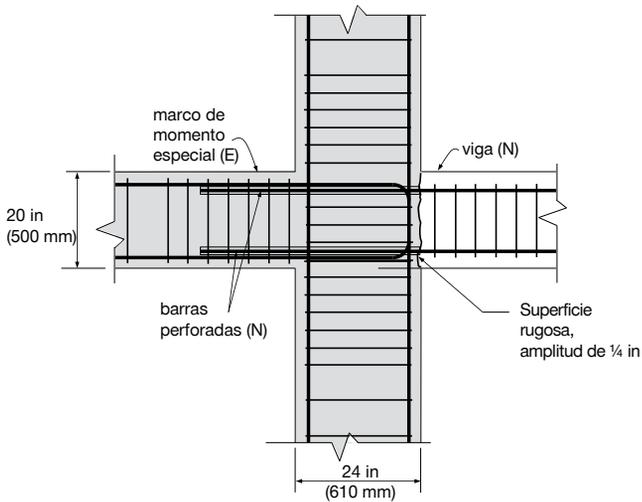


Figura 15: Incorporación a un pórtico especial a momento.

#### Paso 1: Establecer los requisitos para las barras nuevas

Construcción existente: pórtico especial a momento con columnas de 457 x 610 mm (18 x 24 pulg.), vigas de 356 mm x 508 mm (14 x 20 pulg.), claro de 6 m (20 ft), concreto de peso normal de 28 MPa (4 ksi), barra de grado 60 según A706, 4 barras superiores #9, 2 barras inferiores #9, estribos y ganchos #3 @ 89 mm (3-1/2 pulg.) en el centro, generalmente en la unión;  $w_u$  factorizado = D + L = 3,6 k/ft

Construcción nueva: viga (N) de 356 mm x 508 mm (14 x 20 in) como se muestra, concreto de peso normal de 28 MPa (4 ksi), refuerzo de grado 60 según ASTM A706, 4 barras superiores #9, 2 barras inferiores #9, aros y traviesas #3 a 89 mm (3-1/2 pulg.) en el centro

Determine la fuerza de corte asociada con las rotulas plasticas en los extremos de la viga según las secciones 21.6.5.1 y 21.7.2.1 de ACI 318-11.

Profundidad real de las barras en las vigas:  
 $d = 20 - 1.5 - 0.375 - 1.128/2 = 17.6$  pulg.  
 $d = 508 - 38 - 10 - 14 = 446$  mm

En el caso de las 4 barras superiores #9, la resistencia a momento probable es la siguiente:

$$\rho^- = \frac{4 (1.0)}{14 \times 17.6} = 0.0162$$

$$K_{pr}^- = 1.25 \rho^- f_y \left( 1 - 0.735 \rho^- \frac{f_y}{f'_c} \right)$$

$$= 1.25 \times 0.0162 \times 60000 \left( 1 - 0.735 \times 0.0162 \frac{60000}{4000} \right) = 998 \text{ psi}$$

$$M_{pr}^- = \frac{K_{pr}^- \cdot b \cdot d^2}{12000} = \frac{998 \times 14 \times (17.6)^2}{12000} = 361 \text{ ft-k}$$

En el caso de las 2 barras inferiores #9:

$$\rho^+ = \frac{2 (1.0)}{14 \times 17.6} = 0.0081$$

$$K_{pr}^+ = 1.25 \times 0.0081 \times 60000 \left( 1 - 0.735 \times 0.0081 \frac{60000}{4000} \right) = 553 \text{ psi}$$

$$M_{pr}^+ = \frac{K_{pr}^+ \cdot b \cdot d^2}{12000} = \frac{553 \times 14 \times (17.6)^2}{12000} = 200 \text{ ft-k}$$

Corte asociado con la formación de las rotulas plasticas:

$$V_c = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{\ell_n} \pm \frac{W_u \ell_n}{2} = \frac{361 + 200}{20} \pm \frac{3.6 (20)}{2} = 64 \text{ k}$$

#### Paso 2: Verificar la capacidad de las barras inferiores de transferir el corte a la cara de la unión:

$$A_{vf} = \frac{V_u}{\phi f_y \mu} = \frac{V_u}{\phi f_y 1.0 \lambda} = \frac{64000}{0.75 \times 60000 \times 1.0}$$

$$A_{vf} = 1.42 \text{ pulg.}^2 \text{ 2 \#9} = 2.0 : \text{aceptable}$$

#### Paso 3: Calcular el empotramiento requerido para las barras superiores e inferiores nuevas mediante la ecuación (21-6) de ACI 318-11 y 21.7.5.2:

$$\ell_d = 2.5 \frac{f_y d_b}{65 \sqrt{f'_c}} = 2.5 \times \frac{60000 \times 1.128}{65 \sqrt{4000}} = 41 \text{ pulg. (1041 mm)}$$

Según 21.7.5.3, la parte de la longitud de desarrollo que no está dentro del núcleo confinado = 41 - 24 = 17 pulg. (432 mm)

$$\ell_d = 24 + 1.6 \times 17 = 51 \text{ pulg. (1295 mm)}$$

## 2 ¿Cómo se diseñan?

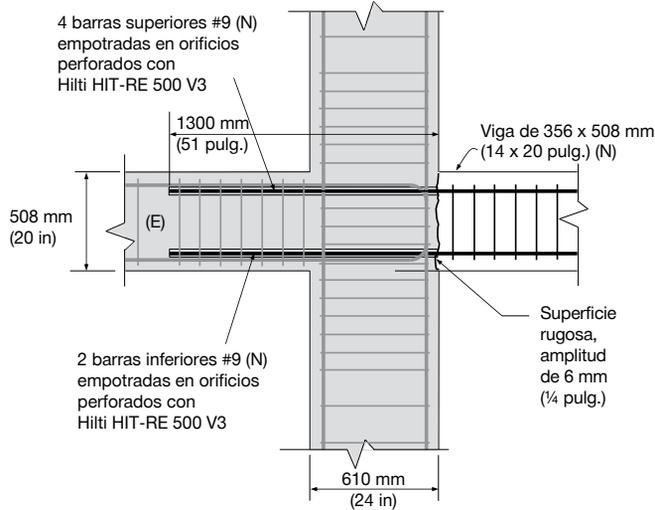


Figura 16: Detalle (no a escala)

### Paso 4: Especificación

Proporcione barras post-instaladas conforme a las indicaciones de tamaño, separación y empotramiento incluidas en los documentos de construcción (consulte la figura 16).

Barras: grado 60 según ASTM A706.

Sistema de anclaje: epoxi Hilti HIT-RE 500 V3; la instalación debe realizarse conforme a las Instrucciones de instalación impresas del fabricante (IIIF); el rango aceptable de temperatura del concreto para la instalación es 13 °C - 32 °C (55 °F - 90 °F); el concreto debe estar seco durante la instalación de las barras.

Perfore los orificios con un taladro percutor rotativo con broca de carburo. Localice el refuerzo existente antes de la perforación; no dañe el refuerzo (E) sin autorización previa de EOR.

### 2.6.4 Ejemplo de diseño: longitud de desarrollo de barras de inicio para columna

Requisito: proporcionar barras de inicio post-instaladas para una columna nueva en una cimentación existente.

#### Paso 1: Establecer los requisitos para las barras nuevas

Construcción existente: Trabe de cimentación de 610 x 914 mm (24 x 36 in), concreto de 28 MPa (4 ksi), refuerzo de grado 60 según A615

Construcción nueva: columna (N) de 457 x 457 mm (18 x 18 in) como se muestra, concreto de peso normal de 28 MPa (4 ksi), refuerzo de grado 60 según ASTM A615, 4 barras para columna #7

La columna ofrece la resistencia a momento y corte resultante de la carga de viento.

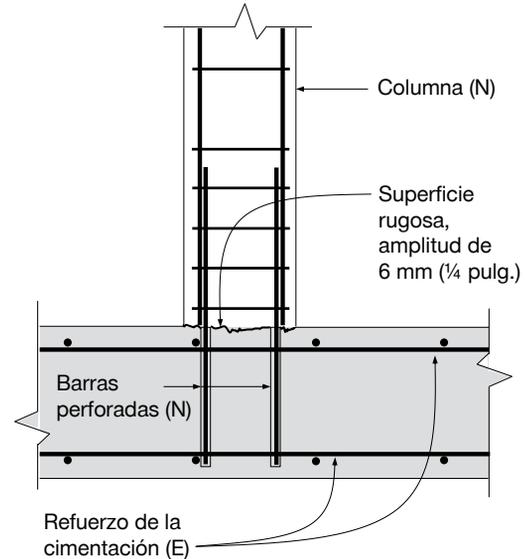


Figura 17: Columna nueva en cimentación existente

#### Paso 2: Determinar la longitud de desarrollo de las barras para columna

Tenga en cuenta que el término confinamiento puede tomarse como el valor máximo de 2.5 dada la condición de confinamiento y distancia a los bordes.

Ecuación (21-1):

$$\ell_d = \left[ \frac{3}{40} \frac{f_y}{\lambda \sqrt{f'_c}} \frac{\psi_s}{c_b + K_{tr}} \right] \cdot d_b$$

$$\ell_d = \left[ \frac{3}{40} \frac{60000}{1.0 \sqrt{4000}} \frac{1.0}{2.5} \right] \cdot 0.875 = 25 \text{ pulg. (635 mm)}$$

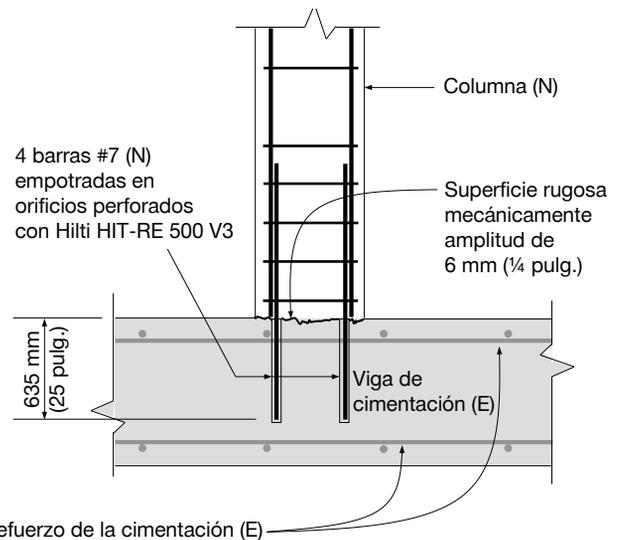


Figura 18: Detalle (no a escala)

## 2 ¿Cómo se diseñan?

### Paso 3: Especificación

Proporcione barras post-instaladas conforme a las indicaciones de tamaño, separación y empotramiento incluidas en los documentos de construcción (figura 16).

Barras: grado 60 según ASTM A615.

Sistema de anclaje: epoxi Hilti HIT-RE 500 V3; la instalación debe realizarse conforme a las Instrucciones de instalación impresas del fabricante (IIF); el rango aceptable de temperatura del concreto para la instalación es 13°C - 32 °C (55 °F - 90 °F); el concreto debe estar seco durante la instalación de las barras.

Perfore los orificios con un rotomartillo con broca de carburo. Localice el refuerzo existente antes de la perforación; no dañe el refuerzo (E) sin autorización previa de EOR.

### 2.6.5 Ejemplo de diseño: longitud de desarrollo de barras de inicio en un muro estructural especial

Requisito: proporcionar barras de inicio para un muro (de corte) estructural especial nueva con SDC D.

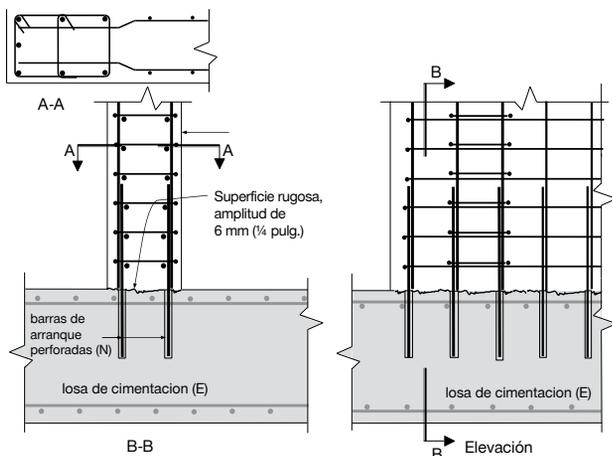


Figura 19: Pared estructural especial nueva

#### Paso 1: Establecer los requisitos para las barras nuevas

Construcción existente: Losa de cimentación de 1,2 m (4 pies) de espesor, concreto de 34 MPa (5 ksi), refuerzo de grado 60 según A615

Construcción nueva: (N) pared de 457 mm (18 pulg.) de espesor, detallada y construida según 21.9 de ACI 318-11, dos parrillas de acero, refuerzo del elemento de contorno según 21.9.6, concreto de peso normal de 41 MPa (6 ksi), refuerzo de grado 60 según ASTM A706, 7 barras #10 de refuerzo del elemento de contorno; el refuerzo del alma es #8 @ 305 mm (12 pulg.) en el centro (vertical) y #6 @ 254 mm (10 pulg.) en el centro (horizontal) (figura 19).

#### Paso 2: Determinar la longitud de desarrollo de las barras de cordón #10

Como en el ejemplo anterior (2.6.3), el término confinamiento puede tomarse como el valor máximo de 2.5 dada la condición de confinamiento y distancia a los bordes.

Además, según 21.9.2.3(c) de ACI 318-11, es preciso aumentar la longitud de desarrollo un 25% para contemplar un posible exceso de resistencia en las barras.

$$\ell_d = \left[ \frac{3}{40} \frac{f_y}{\lambda \sqrt{f'_c}} \frac{\psi_s}{c_b + K_{tr}} \right] \cdot d_b$$

$$\ell_d = \left[ \frac{3}{40} \frac{60000}{1.0 \sqrt{5000}} \frac{1.0}{2.5} \right] \cdot 1.27 \cdot 1.25 = 40 \text{ pulg. (1016 mm)}$$

#### Paso 3: Determinar la longitud de desarrollo de las barras para muros verticales #8, supuestamente exentas del factor de aumento de 1.25 de 21.9.2.3(c)

$$\ell_d = \left[ \frac{3}{40} \frac{60000}{1.0 \sqrt{5000}} \frac{1.0}{2.5} \right] \cdot 1.00 = 26 \text{ pulg. (660 mm)}$$

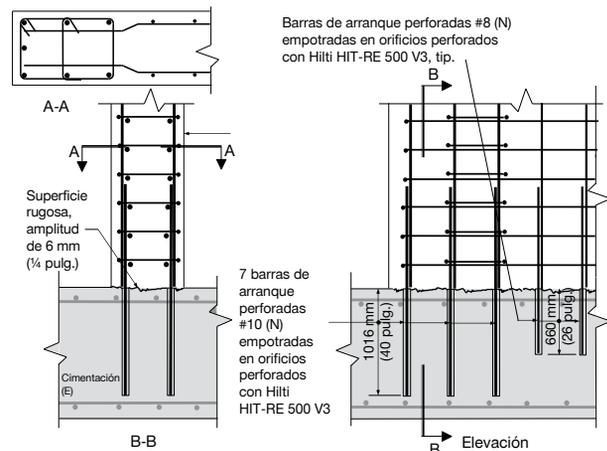


Figura 20: Detalle (no a escala)

#### Paso 4: Especificación

Proporcione barras post-instaladas conforme a las indicaciones de tamaño, separación y empotramiento incluidas en los documentos de construcción (consulte la figura 20).

Barras: grado 60 según ASTM A706.

Sistema de anclaje: epoxi Hilti HIT-RE 500 V3; la instalación debe realizarse conforme a las Instrucciones de instalación impresas del fabricante (IIF); el rango aceptable de temperatura del concreto para la instalación es 13 °C - 32 °C (55 °F - 90 °F); el concreto debe estar seco durante la instalación de las barras.

Perfore los orificios con un taladro percutor rotativo con broca de carburo. Localice el refuerzo existente antes de la perforación; no dañe el refuerzo (E) sin autorización previa de EOR.

**Nota:** Hilti cuenta con un plantel de ingenieros calificados disponibles para responder consultas relacionadas con el diseño y la instalación de conexiones de barras de refuerzo post-instaladas.

## 3 ¿Cómo se instalan?

### 3.1 ¿Cómo se instalan?

Durante el diseño y la instalación de las barras de refuerzo post-instaladas, es preciso considerar las restricciones de la obra.

**Nota:** además de sistemas de anclaje adhesivo de avanzada, Hilti ofrece los mejores equipos de detección y perforación en su clase para facilitar la instalación de barras de refuerzo post-instaladas en una gran variedad de diámetros de barra y empotramientos.

### 3.1 Ubicación del refuerzo existente y de otros elementos embebidos

La ubicación del refuerzo existente generalmente se determina mediante uno o más métodos de escaneo, que pueden clasificarse de la siguiente manera:

- Escáneres que detectan materiales férricos mediante campos magnéticos (escáneres férricos; consulte la figure 21)
- Escáneres que usan la tecnología GPR (tecnología de radar de detección subterránea) y
- Equipos de escaneo mediante rayos X.

En el caso de barras de refuerzo post-instaladas ubicadas de 203 a 254 mm (8 a 10 pulg.) in de la superficie de concreto, los escáneres férricos ofrecen la ubicación y el tamaño de las barras. Para determinar la ubicación de elementos empotrados férricos y no férricos (p. ej., conducto de aluminio), los escáneres basados en GPR son adecuados. Para las áreas altamente congestionadas o donde el refuerzo existente está demasiado profundo para los sistemas férricos o basados en GPR, probablemente sea necesario usar métodos de escaneo mediante rayos X. Generalmente, conviene complementar los resultados del escaneo con los documentos del diseño original o de construcción, si están disponibles.



**Figura 21: Uso de un escáner Ferroskan manual Hilti PS 200 para localizar y asignar el refuerzo existente antes de comenzar la perforación**

### 3.2 Rugosidad de la superficie de concreto existente

El raspado de la superficie antes de vaciar el concreto nuevo contra el existente no solo ofrece mayor adherencia, sino que también aumenta la capacidad de la unión de transferir el corte mediante corte-fricción. En los casos en que se aplicará concreto nuevo a una superficie de concreto existente, generalmente, se especifica el raspado de la superficie de concreto existente<sup>9</sup>. En los casos en que la capa superficial del concreto existente está carbonatada, es preciso quitar la capa carbonatada en las áreas donde se colocarán las barras de refuerzo post-instaladas. Como norma general, para quitar el concreto carbonatado de un área circular dada debe considerarse el diámetro de la barra más 64 mm (2-1/2 pulg.).

En la sección 11.6.9 de ACI 318-11 se establece que el raspado debe realizarse en una amplitud total de aproximadamente 6 mm (1/4 pulg.). Para ello, pueden implementarse medios mecánicos (p. ej., mediante un Hilti TE 70 ATC equipado con una bujarda, consulte la figura 22), pulido con chorro de arena o pulido con chorro de agua. Es preciso cerciorarse de que la superficie resultante no contenga material suelto antes de colocar el concreto nuevo.



**Figura 22: Rugosidad de una superficie de concreto con un rotomartillo combinado Hilti TE 70**

<sup>9</sup> Consulte la guía técnica de ICRI n.º 310.2 sobre selección y especificación de la preparación de la superficie de concreto para selladores, revestimientos y recubrimientos de polímero o el método de prueba estándar ASTM E965 para medir la profundidad de la macrotextura del pavimento mediante una técnica volumétrica.

### 3 ¿Cómo se instalan?

#### 3.3 Instalación de barras de refuerzo post-instaladas con recubrimiento pequeño

Como con las barras pre-instaladas, es preciso colocar un recubrimiento de concreto suficiente sobre las barras de refuerzo post-instaladas para evitar la corrosión. Si la barra se instaló correctamente con adhesivo alrededor de esta en toda su longitud, el adhesivo ofrece protección adicional contra la corrosión. La calificación de los sistemas de barras de refuerzo post-instaladas conforme a los criterios de aceptación para anclajes adhesivos post-instalados en elementos de concreto (AC308) de ICC-ES incluye la verificación (mediante una prueba de envejecimiento acelerado) de que el adhesivo ofrece una resistencia a la corrosión adecuada.

Además, debe proporcionarse una distancia suficiente desde la superficie del concreto para facilitar la perforación sin hendimiento o astillamiento del concreto existente, en especial, en las áreas donde se usa equipo de perforación de rocas o con taladro percutor. Para mejorar la precisión al perforar, junto con los taladros percutores manuales Hilti pueden usarse los sistemas de alineación de perforación Hilti (figura 24). En ausencia de otro tipo de guía, y cuando no se usen sistemas de alineación u otras técnicas para mantener la precisión al perforar, pueden usarse las siguientes relaciones a fin de contemplar una posible desviación del orificio perforado del recorrido previsto<sup>10</sup>:

Orificios realizados con taladro percutor:

$$c_{\min, \text{req}} = 1.2 + 0.06 \ell_d \geq 2d_b \quad (\text{pulg.}) \quad [2]$$

Orificios perforados (roca) con aire comprimido:

$$c_{\min, \text{req}} = 2.0 + 0.08 \ell_d \geq 2d_b \quad (\text{pulg.}) \quad [3]$$

Soporte para perforación (p. ej., orificios perforados con taladro sacanúcleos):

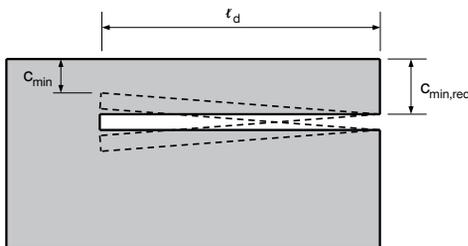
$$c_{\min, \text{req}} = 1.2 + 0.02 \ell_d \geq 2d_b \quad (\text{pulg.}) \quad [4]$$

donde:

$\ell_d$  es la longitud del orificio en pulgadas (in);

$d_b$  es el diámetro de las barras de refuerzo en pulgadas;

$c_{\min, \text{req}}$  es la distancia del borde del concreto a la cara de la broca (figura 23).



**Figura 23:**  $c_{\min, \text{req}}$  tiene como fin incrementar la probabilidad de que el extremo de la barra instalada se mantenga dentro de la cubierta de concreto mínima requerida  $c_{\min}$



**Figura 24:** Perforación con y sin sistemas de alineación de perforación

Los requisitos de distancias para los orificios perforados con taladro sacanúcleos varían según el tipo, el diámetro y la longitud de las brocas sacanúcleos usadas.

Independientemente del método de perforación empleado, los elementos empotrados pueden causar la desviación de las brocas del recorrido previsto.

En general, por cuestiones de practicidad, la separación de las barras de refuerzo post-instaladas adyacentes debe mantenerse en 4 diámetros de barra o un valor superior. **Cuando corresponda, deben observarse las disposiciones de ACI sobre recubrimiento y separación de las barras.**

#### 3.4 Método de perforación

Para satisfacer los requisitos de longitud de desarrollo, las barras de refuerzo post-instaladas generalmente se asocian con empotramientos más profundos y, por ende, orificios perforados más largos, que los anclajes adhesivos. Tal como se indicara, generalmente se aplica uno de los siguientes tres métodos de perforación:

- Taladros de impacto rotativos (taladros percutores) equipados con brocas de carburo estándar o cruciformes o con brocas huecas (HDB) de Hilti<sup>11</sup>
- Taladros de roca (perforación de percusión)
- Equipo de perforación de diamante usando ya sea tecnología de extracción en seco o en húmedo

Cada método tiene ventajas y desventajas asociadas. Consulte la sección 3.3. Los taladros percutores (figura 25) son de fácil acceso y el método preferido para la mayoría de las aplicaciones por su portabilidad y facilidad de uso. Los taladros percutores Hilti producen una superficie de orificio no uniforme especialmente adecuada para mejorar la adherencia (siempre que se usen los correctos procedimientos para limpiar los orificios). Para orificios más largos, tal vez los taladros percutores no resulten prácticos; a veces, tampoco son adecuados para perforar a través de acero empotrado, cuando se requiere.

El sistema Hilti SafeSet™ consta de brocas huecas (HDB) que se usan en combinación con aspiradoras Hilti (VC 40-U o VC 20-U). Las HDB de Hilti usan la misma tecnología de avanzada de perforación con brocas de carburo que las brocas

<sup>10</sup> Fuente: informe técnico TR023 de EOTA [7].

<sup>11</sup> Las brocas huecas de Hilti eliminan automáticamente el polvo de concreto durante la perforación como parte del sistema HIT-HY 200 SafeSet™.

### 3 ¿Cómo se instalan?

Hilti TE-CX e Hilti TE-YX y cumplen con la norma ANSI B212.15 de dimensiones de brocas de carburo. El sistema Hilti SafeSet funciona correctamente en concreto seco y húmedo.



**Figura 25: Perforación con un taladro percutor rotativo Hilti equipado con la tecnología Hilti SafeSet™**

Los taladros de roca ofrecen velocidad y eficacia y producen una superficie de orificio rugosa que es adecuada para adherencia, pero el nivel más alto de energía de impacto asociado con estos taladros puede incrementar la tendencia a dañar el elemento, en particular, si se usa en aplicaciones con distancia pequeña a los bordes o cubierta posterior reducida. Generalmente, los taladros de roca requieren mayores distancias a los bordes y elementos de mayor espesor (consulte la sección 3.3). Para las aplicaciones que involucran orificios perforados con taladros de roca, comuníquese con Hilti.

En general, para profundidades de empotramiento más grandes, la opción preferida son los taladros sacanúcleos (figura 26 y figura 27).



**Figura 26: Perforación en húmedo con un taladro sacanúcleos manual Hilti con tecnología de captura de agua**



**Figura 27: Perforación inclinada con taladro sacanúcleos en una base de perforación Hilti**

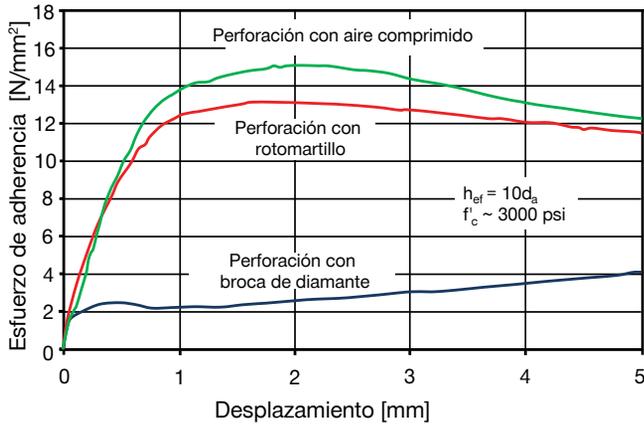
En comparación con los taladros percutores, que fracturan el concreto con energía de impacto, las brocas de los taladros sacanúcleos usan una matriz protectora que contiene fragmentos de diamante para erosionar el concreto. Las brocas sacanúcleos de diamante Hilti con segmentos soldados con láser ofrecen larga duración y una eficacia de perforación excepcional. Mediante extensiones, los taladros sacanúcleos pueden producir orificios rectos muy largos. La rigidez de la barrena permite perforar los orificios con menor probabilidad de desviación del recorrido previsto y a través de acero empotrado sin gran esfuerzo. Por otra parte, en los casos en que el refuerzo existente debe protegerse (p. ej., como los cables pretensados), esta característica de perforación con sacanúcleos puede ser una desventaja. Aún más importante, por lo general, los taladros sacanúcleos producen un orificio muy liso cubierto por una película delgada que dificulta la adherencia. En consecuencia, los orificios perforados con taladro sacanúcleos deben limpiarse minuciosamente antes de inyectar el adhesivo. Tenga en cuenta también que algunos sistemas adhesivos no son aptos para usar con orificios perforados con taladros sacanúcleos. Para los sistemas calificados, se desarrollaron procedimientos específicos de limpieza de los orificios que optimizan la adherencia en estas condiciones. Estos procedimientos están detallados en las Instrucciones de uso de Hilti (en forma genérica, estas instrucciones se conocen como las Instrucciones de instalación impresas del fabricante o IIF).

**Nota:** en general, no deben perforarse el refuerzo existente u otros objetos empotrados sin consultar previamente al ingeniero a cargo u otra autoridad con jurisdicción.

**Nota:** es fundamental perforar y limpiar correctamente los orificios para garantizar el rendimiento de las barras de refuerzo post-instaladas. Todos los productos de anclaje de Hilti vienen con instrucciones detalladas a las que Hilti denomina Instrucciones de uso. Para responder a preguntas relacionadas con la correcta instalación, Hilti ofrece el asesoramiento de expertos mediante representantes de campo de Hilti, Centros de Hilti en todo el país, el servicio de atención al cliente de Hilti y asistencia en línea.

En la figura 28 se muestra la posible influencia del método de perforación en el comportamiento de carga-desplazamiento de una barra de refuerzo post-instalada en el caso de un empotramiento superficial. Cuando no se haya determinado previamente el método de perforación que se usará, se recomienda usar un adhesivo adecuado para todos los métodos de perforación (p. ej., Hilti HIT-RE 500 V3).

### 3 ¿Cómo se instalan?



**Figura 28: Ejemplo de la influencia del método de perforación en el comportamiento de adherencia-desplazamiento de una barra de refuerzo post-instalada instalada con un adhesivo no adecuado para orificios perforados con brocas de diamante**

### 3.5 Limpieza de los orificios

La condición de la pared perforada en el momento de la inyección del adhesivo afecta directamente la adherencia entre el adhesivo y el concreto. El concreto en el que se instalará la barra de refuerzo post-instalada puede estar seco, saturado o incluso parcial o completamente sumergido al momento de la instalación.

**Nota:** cuando la instalación requiera que el concreto esté sumergido en agua o saturado de agua, verifique que el sistema adhesivo que se usará esté calificado para estas condiciones.

La perforación con sacanúcleos de diamante en húmedo generará un entorno húmedo en el orificio perforado. En general, la limpieza de los orificios involucra un proceso de limpieza con agua seguido de un soplido secuencial del orificio con aire comprimido (figura 29 y figura 33) para quitar los residuos y el agua y el uso de un cepillo de alambre (figura 30) para fregar mecánicamente la pared perforada.



**Figura 29: Accesorios de Hilti para operaciones de limpieza de orificios con aire comprimido (parcial)**



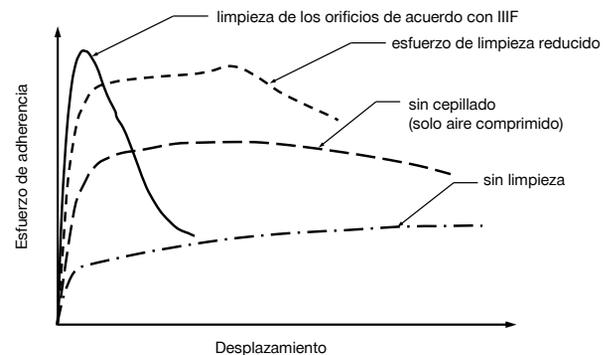
**Figura 30: Varilla de extensión Hilti y cepillos de acero de tolerancia compatible Hilti HIT-RB para limpieza de orificios**

Todos los procedimientos de limpieza finalizan con el uso de aire comprimido. (Es importante tener presente que el uso de aire comprimido puede producir residuos volátiles, por lo que es preciso usar gafas de seguridad en todo momento).

En la figura 32 se ilustra la importancia de la limpieza de los orificios según se detalla en las Instrucciones de uso de Hilti para garantizar el rendimiento de las barras de refuerzo post-instaladas. En los casos en que no es posible lograr adherencia como resultado de procedimientos de limpieza de los orificios de varios pasos, se recomienda usar la tecnología Hilti SafeSet™ con las brocas huecas (HDB) de Hilti.



**Figura 31: Conjunto de accesorios para barras de refuerzo Hilti**



**Figura 32: Representación esquemática de la posible influencia de los procedimientos de limpieza de los orificios en la adherencia y el desplazamiento de una barra de refuerzo post-instalada cargada en tensión**

### 3 ¿Cómo se instalan?



**Figura 33:** Limpieza de un orificio con un soplador de aire comprimido

Hilti proporciona diversos accesorios para limpiar orificios perforados profundos de acuerdo con las Instrucciones de uso, que incluyen cepillos de alambre de tolerancia compatible, extensiones de cepillo para orificios largos, accesorios para facilitar el cepillado eléctrico, tubo para aire, extensiones de manguera, acopladores y boquillas de aire. Los conjuntos de accesorios para barras de refuerzo Hilti Profi (figura 31) brindan los componentes adicionales necesarios para instalar barras de refuerzo post-instaladas en un solo paquete.

#### 3.6 Selección del sistema adhesivo

La adecuación de los sistemas adhesivos Hilti para aplicaciones de barras de refuerzo post-instaladas se ha verificado en una gran diversidad de parámetros de obra. No obstante, la elección del sistema adhesivo Hilti (figura 34) y el equipo de inyección (figura 35) adecuados para las instalaciones de barras de refuerzo post-instaladas depende, en cierta medida, de los parámetros de la obra; consulte la sección 4.1.



**Figura 34:** Adhesivos para anclaje Hilti adecuados para conexiones de barras de refuerzo post-instaladas

**Nota:** los adhesivos que no hayan sido adecuadamente verificados para usar en aplicaciones de barras de refuerzo post-instaladas no deben usarse en aplicaciones estructurales o relacionadas con la seguridad.

Por ejemplo, si se especifica el uso de un adhesivo de curado rápido para la instalación de barras grandes y profundas, es posible que el tiempo requerido para inyectar el adhesivo supere el tiempo de aplicación del polímero. En tales casos, tal vez resulte imposible insertar la barra por completo en el orificio o el adhesivo no alcance un nivel de resistencia total. En particular, cuando los adhesivos se administran a granel en un orificio perforado grande, la reacción exotérmica asociada con la polimerización puede causar un aumento excesivo de la temperatura que, a su vez, puede acelerar el curado, lo que complica aún más la instalación.



**Figura 35:** Uso del dispensador a batería Hilti HDE 500-A22 en combinación con Hilti HIT-RE 500 V3 / Hilti HIT-HY 200-R para diámetros de barra más pequeños

Por el contrario, la inyección de adhesivos en condiciones de temperatura bajo cero puede generar una viscosidad elevada, lo que, de igual modo, dificulta o imposibilita la inyección manual del adhesivo y la instalación de la barra.

Las consideraciones básicas asociadas con la selección del adhesivo deben incluir lo siguiente:

- ¿Se puede inyectar el adhesivo y se pueden instalar las barras de refuerzo dentro del tiempo de gelado del adhesivo?
- ¿Se dispone del equipo de inyección adecuado, incluidos todos los accesorios necesarios, para garantizar la correcta mezcla y dosificación?
- ¿El adhesivo es adecuado para la temperatura del concreto y las condiciones de humedad, la orientación de los orificios y el método de perforación?
- ¿Qué equipo o esfuerzo mecánico se requiere para inyectar el adhesivo y para instalar las barras de refuerzo en el orificio relleno de adhesivo?
- ¿Cómo se mantendrá la barra en el lugar durante el curado del adhesivo?

## 3 ¿Cómo se instalan?

### 3.7 Inyección del adhesivo

El objetivo de la inyección del adhesivo es lograr una instalación sin vacíos de aire. Además de reducir el área de adherencia y de inhibir el curado, los vacíos de aire en el adhesivo inyectado pueden aumentar el esfuerzo asociado con la instalación de la barra y expeler descontroladamente el adhesivo del orificio durante la instalación de la barra a medida que el aire es expulsado de la matriz del adhesivo.

**Nota:** durante la inyección de los adhesivos Hilti, siempre debe usar protección visual y dérmica.

Para inyectar el adhesivo con la menor cantidad de vacíos de aire en los orificios perforados, el sistema de inyección de Hilti usa tapones con pistón de tolerancia compatible (figura 36). El sistema de tapón con pistón de Hilti le ofrece al operador una retroalimentación positiva que le permite controlar el proceso de inyección a través de la presión del adhesivo en el tapón y se ha comprobado que mejora radicalmente la calidad y la eficacia de la inyección.



**Figura 36:** Tapones con pistón Hilti HIT-SZ, disponibles en diámetros adecuados para barras de refuerzo #3 a #18

El equipo de dosificación que se usa para inyectar el adhesivo generalmente se selecciona como una función del tamaño y la orientación de la barra, las condiciones de temperatura ambiente y la accesibilidad (figura 37).



**Figura 37:** Aplicador neumático Hilti HIT-P8000D, adecuado para instalaciones de gran volumen y diámetros de barra grandes

### 3.8 Instalación de las barras

Los diámetros de barra más pequeños pueden insertarse en sentido vertical hacia abajo con un esfuerzo (relativamente) mínimo. Las barras de diámetro grande en orientaciones horizontales e inclinadas hacia arriba pueden requerir un esfuerzo considerable para levantarlas e insertarlas en el orificio relleno de adhesivo (figura 38). **En todos los casos, se recomienda probar cómo encaja la barra en el orificio antes de inyectar el adhesivo.**

En el caso de las instalaciones sobre cabeza, en especial, de barras de diámetro más grande, es preciso prever cómo asegurar la barra durante el curado del adhesivo. Además, pueden aplicarse requisitos de certificación para los instaladores que llevan a cabo la instalación de barras con cargas de tensión sostenida y otros requisitos de inspección especial adicionales.

**Nota:** los dosificadores de Hilti ofrecen una inyección del adhesivo eficaz y sin vacíos de aire en todas las orientaciones, diámetros y profundidades de orificios y condiciones de temperatura.



**Figura 38:** Instalación de barras de diámetro grande

## 4 ¿Cómo decidir qué sistema usar?

### 4 ¿Cómo decidir qué sistema usar?

Las opciones para la instalación de barras de refuerzo post-instaladas incluyen lechadas cementosas, adhesivos poliméricos y sistemas híbridos que combinan componentes cementosos con polímeros. El uso de lechadas cementosas (p. ej., placa base) generalmente está limitado a aplicaciones en las que los orificios están orientados hacia abajo y no se explica en esta Guía. Los adhesivos (a veces denominados adhesivos tixotrópicos) que tienen la viscosidad correcta para proporcionar una capa de adherencia sin vacíos de aire en el espacio anular entre la barra y el concreto fueron específicamente desarrollados para el anclaje y empotramiento de barras, a la vez que ofrecen resistencia de flujo no restringido. Estos sistemas permiten la instalación de barras en todas las orientaciones con fuerza de adherencia superior en una diversidad de condiciones de uso. La correcta selección del sistema depende de una serie de parámetros específicos de la obra.

Las restricciones de la obra afectan los valores de diseño (esfuerzo de adherencia) y la eficacia de la instalación. A continuación, se muestran los parámetros típicos de los sistemas adhesivos de Hilti:

Por lo tanto, la selección del sistema depende de la combinación de los requisitos de diseño y las restricciones de la obra. Tenga en cuenta también que cada sistema se ofrece con una variedad de opciones de inyección en términos de tamaño del cartucho y equipo de inyección (manual en contraposición a accionado a batería o en forma neumática). Además, Hilti ofrece sistemas de perforación especializados que reducen considerablemente los requisitos de limpieza de los orificios.

Un aspecto de la selección del sistema que, en ocasiones, se deja de lado es el volumen absoluto del adhesivo que debe colocarse en el orificio. Los orificios de gran diámetro y muy profundos posiblemente requieran un volumen de adhesivo mayor que el que razonablemente se pueda administrar incluso con un equipo neumático. Asimismo, la inyección de grandes cantidades de adhesivo puede generar calor en exceso debido a la naturaleza exotérmica de la polimerización. Estos problemas deben considerarse cuidadosamente fuera del rango normal de aplicaciones de barras de refuerzo post-instaladas.

**Nota:** el personal técnico de Hilti puede brindar ayuda en aplicaciones únicas o no estándar.

Restricciones de la obra	HIT-HY 200-R	HIT-RE 500 V3
Rango de diámetros típicos de barras de refuerzo	#3 a #8	#3 a #11 <sup>1</sup>
Rango de empotramiento	Hasta 635 mm (25 pulg.)	Hasta 2100 mm (7 ft)
Temperatura del material base (instalación)	De -10 °C a 40 °C (14 °F a 104 °F)	De 5 °C a 40 °C (41 °F a 104 °F)
Tiempo de aplicación <sup>2</sup>	De 6 minutos a 3 horas	De 12 minutos a 4 horas
Tiempo de curado <sup>2</sup>	De 1 hora a 20 horas	De 4 horas 72 horas
Orificios perforados en concreto seco y saturado en agua	Sí	Sí
Orificios rellenos de agua y aplicaciones subacuáticas	No	Sí
Orificios perforados con taladro percutor	Sí	Sí
Orificios perforados con taladro sacanúcleos	No	Sí
Tecnología Hilti SafeSet™ con aspirado VC y HDB de Hilti	Sí	Sí <sup>3</sup>
Carga sísmica/dinámica	Sí	Sí

1 Para tamaños de barra más grandes, comuníquese con Hilti.

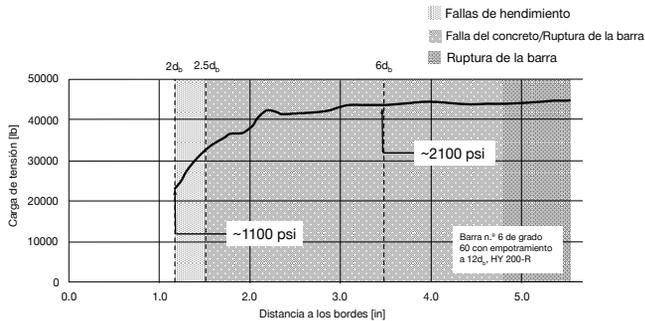
2 Depende de la temperatura.

3 Comuníquese con Hilti.

## 5 Desarrollo de los datos de diseño

### 5.1 Antecedentes

En la interfaz barra de refuerzo-adhesivo, la carga se transfiere por adhesión y trabazón mecánica. En la interfaz de adhesivo-concreto, la carga se transfiere por adhesión y trabazón micromecánica. El esfuerzo de adherencia generalmente se define como la adherencia promedio máxima sobre la longitud empotrada de la barra.



**Figura 39: Carga de falla de tensión sin confinamiento como una función de la distancia a los bordes**

Durante las últimas dos décadas, se realizaron extensas investigaciones para evaluar las conexiones de barras de refuerzo post-instaladas sujetas a diversas condiciones de carga. Gran parte de este trabajo se llevó a cabo en centros de investigación líderes de Europa y los Estados Unidos.<sup>12</sup> Mediante pruebas se ha demostrado en forma constante que las barras de refuerzo post-instaladas instaladas con sistemas calificados tienen un rendimiento que es, al menos, equivalente al de las barras de refuerzo pre-instaladas en condiciones similares.

En la figura 39 se observa un diagrama de las cargas de falla de tensión al aumentar la distancia a los bordes para una barra de refuerzo n.º 6 empotrada a una profundidad de 12 diámetros de barra en un adhesivo híbrido Hilti HIT. La fuerza de adherencia cercana a los bordes está limitada por la resistencia al hendimiento del concreto y está en el orden de 1100 psi. A mayores distancias a los bordes, la fuerza de adherencia final promedio aumenta a aproximadamente 2100 psi.

En 2006, la Organización Europea de Aprobación Técnica (EOTA, European Organization for Technical Approvals) emitió el informe TR023 sobre la evaluación de las conexiones de barras de refuerzo post-instaladas [7]. En este documento se ofrece una guía para verificar que las conexiones de barras de refuerzo post-instaladas realizadas con un sistema específico tengan un comportamiento comparable a las conexiones de barras de refuerzo pre-instaladas in situ en términos de comportamiento de carga y desplazamiento.

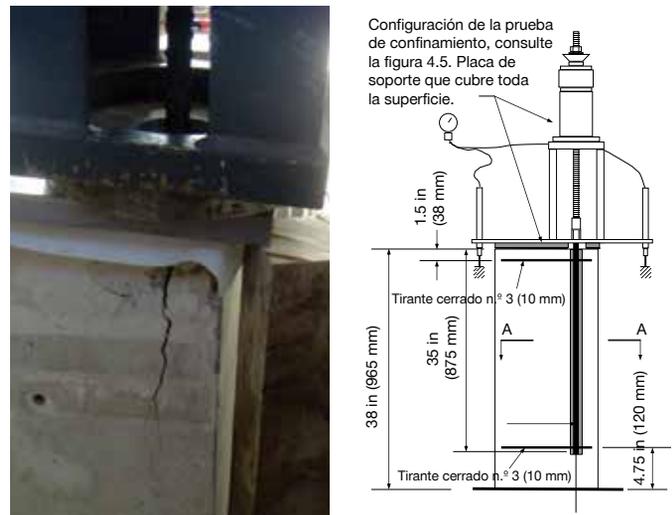
En 2013, el ICC-ES corrigió sus criterios de aceptación<sup>13</sup> para incluir pruebas que permitieran verificar los sistemas de anclaje adhesivo para aplicaciones de barras de refuerzo post-instaladas. Estas disposiciones de calificación incluyen los procedimientos

desarrollados para TR023 y añaden otras pruebas para verificar el rendimiento de la tensión cíclica (sísmico) y el rendimiento cercano a los bordes a grandes profundidades de empotramiento.

### 5.2 Establecimiento del desempeño (calificación) del sistema requerido

La adecuación de un sistema adhesivo para aplicaciones de barras de refuerzo post-instaladas depende de muchos factores. Si bien existen sistemas que, de algún modo, pueden ser adecuados para aplicaciones de anclaje, no necesariamente satisfacen los requisitos para instalaciones de barras de refuerzo seguras y confiables.

Un aspecto crucial de los sistemas adhesivos diseñados para refuerzo post-instalado es el comportamiento del sistema en configuraciones donde prima el hendimiento. En la figura 40 se muestran pruebas de tensión de barras n.º 8 empotradas a 35 diámetros de barra en la esquina de una columna. Estas pruebas, que se desarrollaron específicamente para la calificación de sistemas de refuerzo post-instaladas conforme a AC308, permiten comparar directamente el comportamiento de barras pre-instaladas y post-instaladas en condiciones donde el hendimiento es el modo de falla limitante. Si el adhesivo está demasiado duro, el retardo de corte excesivo puede generar una falla en forma de cremallera en una barra cercana a los bordes. Si el adhesivo está demasiado “blando”, la relajación de la barra post-instalada puede permitir una apertura excesiva de la unión entre el concreto viejo y el nuevo, lo que comporta pérdida de transferencia de corte o corrosión.



**Figura 40: Prueba para determinar el comportamiento de la adherencia/hendimiento según AC308 [9]**

En la figura 41 se detalla el conjunto completo de pruebas necesarias para calificar los sistemas de anclaje adhesivo para aplicaciones de barras de refuerzo post-instaladas, según se indica en la tabla 3.8 de AC308.

<sup>12</sup> Consulte las referencias y sugerencias de lectura adicional: [8], [10], [11], [12], [17], [18], [19], [20].

<sup>13</sup> AC308: Criterios de aceptación para anclajes adhesivos post-instalados en elementos de concreto, aprobados en junio de 2013, ICC Evaluation Service, LLC. [9].

## 5 Desarrollo de los datos de diseño

**Figura 41: Tabla 3.8 de AC308. Programa de prueba para evaluar las barras de refuerzo deformadas usadas en conexiones de barras de refuerzo post-instaladas\* [9]**

Pruebas				Tamaño de la barra	Evaluación		$f_c^1$	Empotramiento de la barra $\ell_b$	Tamaño de muestra mínimo $n_{min}$
N.º de prueba	Ref. de prueba	Propósito	Parámetros de la prueba	US/M <sup>3,4</sup>	$\alpha_{req}$	Carga y despl.			
<b>Pruebas en condición de servicio</b>									
1a	9.4.3.1	Resistencia a la adherencia	Tensión confinada, una sola barra de refuerzo post-instalada <sup>2</sup>	#4/12	-	10.25.2 10.25.3	bajo	7d <sub>b</sub>	Cinco
1b	9.4.3.1	Resistencia a la adherencia	Tensión confinada, una sola barra de refuerzo post-instalada <sup>2</sup>	#8/25	-	10.25.2 10.25.3	bajo	7d <sub>b</sub>	Cinco
1c	9.4.3.1	Resistencia a la adherencia	Tensión confinada, una sola barra de refuerzo post-instalada <sup>2</sup>	d <sub>b,max</sub>	-	10.25.2 10.25.3	bajo	7d <sub>b</sub>	Cinco
1d	9.4.3.1	Resistencia a la adherencia	Tensión confinada, una sola barra de refuerzo post-instalada <sup>2</sup>	d <sub>b,max</sub>	-	10.25.2 10.25.3	alto	7d <sub>b</sub>	Cinco
2	9.4.3.2	Comportamiento de la adherencia/hendimiento	Tensión confinada, barra de refuerzo en ubicación de esquina <sup>2</sup>	#8/25	-	10.25.6	bajo	35d <sub>b</sub>	Seis <sup>6</sup>
<b>Pruebas de confiabilidad</b>									
3	9.4.4.1	Sensibilidad a la limpieza de orificios, sustrato seco <sup>5,7</sup>	Tensión confinada, una sola barra de refuerzo post-instalada <sup>2</sup>	d <sub>b,max</sub>	≥0,8	10.25.7	bajo	7d <sub>b</sub>	Cinco
4	9.4.4.2	Sensibilidad a la instalación en concreto saturado <sup>5,7</sup>	Tensión confinada, una sola barra de refuerzo post-instalada <sup>2</sup>	d <sub>b,max</sub>	≥0,8	10.25.7	bajo	7d <sub>b</sub>	Cinco
5	9.4.4.3	Sensibilidad en condiciones de congelación/descongelación <sup>5</sup>	Tensión confinada, una sola barra de refuerzo post-instalada <sup>2</sup>	#4/12	≥0,9	10.25.7	alto	7d <sub>b</sub>	Cinco
6	9.4.4.4	Sensibilidad de carga sostenida a temperatura elevada <sup>5</sup>	Tensión confinada, una sola barra de refuerzo post-instalada <sup>2</sup>	#4/12	≥0,9	10.25.7	bajo	7d <sub>b</sub>	Cinco
7	9.4.4.5	Temperatura de instalación reducida <sup>5</sup>	Tensión confinada, una sola barra de refuerzo post-instalada <sup>2</sup>	#4/12	≥0,9	10.25.7	bajo	7d <sub>b</sub>	Cinco
8	9.4.4.6	Sensibilidad a la dirección de la instalación <sup>5</sup>	Tensión confinada, una sola barra de refuerzo post-instalada <sup>2</sup>	d <sub>b,max</sub>	≥0,9	10.25.7	bajo	7d <sub>b</sub>	Cinco
<b>Verificación del procedimiento de instalación</b>									
9	9.4.5.1	Instalación en empotramiento profundo	Instalación de la barra en el orificio inyectado, horizontal	d <sub>b,max</sub>	-	10.25.8	-	60d <sub>b</sub>	Tres
10	9.4.5.2	Verificación de la inyección	Inyección en tubo transparente	d <sub>b,max</sub>	-	10.25.8	-	60d <sub>b</sub>	Tres
<b>Durabilidad</b>									
11a	9.4.6.1.1	Resistencia a la alcalinidad <sup>5</sup>	Prueba de rebanada	#4/12	-	10.25.10	bajo	-	Diez
11b	9.4.6.1.2	Resistencia al sulfuro <sup>5</sup>	Prueba de rebanada	N.º 4/12	-	10.25.10	bajo	-	Diez
12	9.4.7	Resistencia a la corrosión	Prueba posible y actual	#4/12	-	10.25.9	alto	2-3/4 in	Tres
<b>Condiciones especiales</b>									
13	9.4.8	Calificación sísmica de las conexiones de barras de refuerzo <sup>9</sup>	Tensión cíclica, una sola barra de refuerzo post-instalada	d <sub>b,max</sub>	-	10.25.11	bajo	7d <sub>b</sub>	Cinco

1 Para obtener una definición de concreto de alta y baja resistencia, consulte 4.3.4.

2 Pruebas realizadas en especímenes de prueba según la fig. 4.5 y con longitud/espesor mín.  $\ell_b + 2$  in ( $\ell_b + 50$  mm)

3 Los tamaños son convencionales de los Estados Unidos y el valor métrico europeo d<sub>b,max</sub> es el tamaño máximo que se solicita para reconocimiento.

4 Ejecute las pruebas con barras de refuerzo deformadas según los requisitos mecánicos de 9.4.3.2.1.

5 Las pruebas no son necesarias si se realizó la prueba correspondiente conforme a las tablas 3.1, 3.2 o 3.3.

6 Pruebe las barras en tres especímenes de prueba para un total de seis pruebas con barras pre-instaladas y seis pruebas con barras post-instaladas.

7 Se requerirán pruebas si la técnica y el equipo de limpieza de los orificios varían respecto de los usados para las pruebas realizadas según las tablas 3.1, 3.2 o 3.3.

8 Prueba opcional. Si esta prueba no se realiza, en el informe de evaluación se deberá indicar que el valor de  $f_c$  que se usará en la determinación de la longitud de desarrollo y la longitud de empalme conforme a ACI 318 no sea superior a 2500 psi (17,2 MPa).

9 Prueba opcional.

\* Reproducido en el presente documento con permiso. Para conocer las referencias a las secciones y figuras, consulte AC308.

## 5 Desarrollo de los datos de diseño

---

Además de las pruebas de adherencia/hendimiento antes descritas, se realizan pruebas que permiten establecer la adecuación del sistema para usar en aplicaciones de barras de refuerzo post-instaladas en términos de los siguientes aspectos:

1. La capacidad del adhesivo de desarrollar la resistencia a la adherencia requerida;
2. La sensibilidad de la resistencia a la adherencia en condiciones de limpieza de orificios, congelación y descongelación, temperaturas extremas del concreto en servicio, orientación de la instalación y exposición a alcalinidad/sulfuro;
3. La capacidad del sistema para llevar a cabo satisfactoriamente instalaciones de barras largas (de hasta 60 diámetros de barra) sin vacíos de aire notorios en el adhesivo alrededor de la barra de refuerzo post-instalada;
4. La resistencia a la corrosión de la barra de refuerzo post-instalada;
5. La capacidad del adhesivo de desarrollar resistencia a la adherencia en la longitud de desarrollo cuando el hendimiento rige el comportamiento;
6. El comportamiento de la carga de tensión cíclica de la barra de refuerzo post-instalada en comparación con la respuesta de la barra pre-instalada in situ, según se documenta en la bibliografía.

Si bien generalmente ocurre que los adhesivos modernos de grado estructural tienen la capacidad de desarrollar resistencias a la adherencia que superan en gran medida los valores detallados en la figura 45, los efectos de las condiciones de instalación de la obra, la temperatura y otros factores incluidos en la evaluación pueden reducir considerablemente la resistencia a la adherencia. Por lo tanto, el rendimiento del sistema es fundamental para determinar la calificación, no solo la fuerza de adherencia del adhesivo determinada en condiciones óptimas.

## 6 ¿Cuáles son los orígenes?

### 6.1 Establecimiento del empotramiento requerido de las barras

Los sistemas calificados según AC308 deben tener características de rigidez y resistencia a la adherencia compatibles con el refuerzo pre-instalado. Por lo tanto, las barras de refuerzo post-instaladas, instaladas con sistemas calificados pueden diseñarse y detallarse aplicando las mismas disposiciones aplicables al desarrollo de barras rectas pre-instaladas in situ.

### 6.2 Descripción general de las disposiciones sobre longitud de desarrollo de ACI 318-11<sup>14</sup> para barras de refuerzo rectas

El concepto de longitud de desarrollo de ACI está basado en el esfuerzo de adherencia promedio a lo largo del empotramiento del refuerzo. La longitud de desarrollo se puede definir como la longitud más corta en la que la tensión de la barra aumenta desde cero hasta la resistencia nominal a la fluencia. Esta definición incorpora dos conceptos muy importantes: tensión de la barra y resistencia nominal a la fluencia. La tensión de la barra es la fuerza por área de unidad de la sección transversal de la barra. La resistencia nominal a la fluencia es la tensión mínima de la barra a la que ocurre una deformación permanente (inelástica). El diseño de concreto reforzado estructural está basado en el supuesto de que la barra de refuerzo desarrollará su resistencia a la fluencia antes de que ocurra una falla prematura debido a una adherencia inadecuada. La longitud de desarrollo apunta a asegurar el desarrollo de la resistencia nominal a la fluencia de la barra en condiciones de carga de la estructura.

Orangun, et al. [13] propuso una expresión para determinar la longitud de desarrollo  $\ell_d$  de barras de refuerzo deformadas en tensión de la siguiente manera:

$$\ell_d = \left[ \frac{\left( \frac{f_s}{4 \sqrt{f'_c}} - 50 \right)}{\left( 1.2 + 3 \frac{c_b}{d_b} + \frac{A_{tr} f_{yt}}{500 s. d_b} \right)} \right] \cdot d_b \quad (\text{lb, pulg.}) \quad [5]$$

donde:

- $A_{tr}$  Área transversal total de todo el refuerzo transversal dentro de la separación que atraviesa el plano de hendimiento posible a través del refuerzo en desarrollo
- $c_b$  Valor menor de: (a) centro de la barra a la superficie de concreto más cercana y (b) la mitad de la separación de centro a centro de las barras en desarrollo
- $d_b$  Diámetro de la barra en desarrollo
- $f'_c$  Resistencia a la compresión especificada de 28 días del concreto
- $f_s$  Tensión máxima en la barra
- $f_{yt}$  Resistencia a la fluencia especificada  $f_y$  del refuerzo transversal

Tamaño de barras de refuerzo estadounidenses

Tamaño de la barra según el sistema imperial	Tamaño métrico equivalente	Masa por longitud de unidad		Diámetro nominal		Área nominal	
		lb/ft	(kg/m)	(in)	(mm)	(in <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> )
#2	Φ6	0.167	0.249	0.250 = 1/4	6.35	0.05	32
#3	Φ10	0.376	0.561	0.375 = 3/8	9.525	0.11	71
#4	Φ13	0.668	0.996	0.500 = 4/8	12.7	0.20	129
#5	Φ16	1.043	1.556	0.625 = 5/8	15.875	0.31	200
#6	Φ19	1.502	2.24	0.750 = 6/8	19.05	0.44	284
#7	Φ22	2.044	3.049	0.875 = 7/8	22.225	0.60	387
#8	Φ25	2.670	3.982	1.000	25.4	0.79	509
#9	Φ29	3.400	5.071	1.128	28.65	1.00	845
#10	Φ32	4.303	6.418	1.270	32.26	1.27	819
#11	Φ36	5.313	7.924	1.410	35.81	1.56	1006
#14	Φ43	7.650	11.41	1.693	43	2.25	1452
#18	Φ47	13.60	20.257	2.257	57.3	4.00	2581
#18J		14.60	21.775	2.337	59.4	4.29	2678

Figura 42: Barras de refuerzo estadounidenses<sup>15</sup>

14 Instituto Americano del Concreto, "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-11) and Commentary," (Requisitos del código de construcción para concreto estructural (ACI 318-11) y observaciones), Farmington Hills, Michigan, 2011 [2].

15 <http://en.wikipedia.org/wiki/Rebar>

## 6 ¿Cuáles son los orígenes?

Esta ecuación se modificó en 2003 para incluir el término confinamiento,  $K_{tr}$ , y un factor de reducción de la resistencia de 0.8 de la siguiente manera:

$$\ell_d = d_b \frac{\left(\frac{f_s}{\sqrt{f'_c}} - 200\right)}{12 \left(\frac{c_b + K_{tr}}{d_b}\right)} \quad (\text{lb, pulg.}) \quad [6]$$

donde

$$K_{tr} = \frac{A_{tr} f_{yt}}{1500s \cdot n}$$

= contribución del refuerzo de confinamiento para una mayor resistencia al hendimiento, donde n es el número de barras que se empalman o desarrollan a lo largo del plano de hendimiento ( $K_{tr}$  puede considerarse de manera conservadora como cero).

La ecuación de la longitud de desarrollo de tensión básica detallada en ACI 318-11 se obtiene de esta expresión al eliminar la constante (200), reemplazar 1/12 por 3/40, reemplazar  $f_s$  en la ecuación [6] por la tensión nominal de fluencia  $f_y$  y tomando la resistencia a la fluencia del refuerzo transversal como  $f_{yt} = 60000$  psi.

La longitud de desarrollo de barras rectas deformadas en tensión se proporciona en la sección 12.2.3 de ACI 318-11 de la siguiente manera:

$$\ell_d = \left[ \frac{3}{40} \frac{f_y}{\lambda \sqrt{f'_c}} \frac{\psi_t \psi_e \psi_s}{\frac{c_b + K_{tr}}{d_b}} \right] d_b \geq 12 \text{ pulg.} \quad (\text{lb, pulg.}) \quad [7]$$

donde

$$K_{tr} = \frac{40A_{tr}}{s \cdot n} \quad \text{donde } s \text{ es la separación de las barras y } n \text{ es la cantidad de barras en desarrollo}$$

$$\psi_t = 1,3 \quad \text{para refuerzo horizontal colocado con más de 12 pulg. de concreto nuevo vaciado debajo de las barras}$$

$$= 1.0 \quad \text{para otras situaciones (se aplica a las barras post-instaladas)}$$

$$\psi_e = 1.5 \quad \text{para barras con recubrimiento de epoxi, barras con recubrimiento doble de zinc y epoxi con cubierta inferior a } 3d_b \text{ o separación despejada inferior a } 6d_b$$

$$= 1.2 \quad \text{para todas las otras barras con recubrimiento de epoxi, barras con recubrimiento doble de zinc y epoxi}$$

$$= 1.0 \quad \text{para refuerzo sin recubrimiento y con recubrimiento de zinc (generalmente, se aplica a las barras post-instaladas)}$$

$$\psi_s = 0.8 \quad \text{para barras \#6 y más pequeñas}$$

$$= 1.0 \quad \text{para barras \#7 y más grandes}$$

$$\frac{c_b + K_{tr}}{d_b} \leq 2.5$$

$\lambda$  = factor de modificación para concreto liviano

**Nota:** el Comité 408 de ACI (Adherencia y desarrollo) emitió un informe sobre las disposiciones actuales acerca de la longitud de desarrollo que se incluyen en ACI 318. El informe, ACI 408R-03 [1], incluye recomendaciones específicas para mejorar la ecuación de la longitud de desarrollo, incluida una reducción en el exponente de la resistencia a la compresión del concreto, y la reconsideración del factor de barra pequeña.

### 6.3 Otras disposiciones sobre barras rectas incluidas en ACI 318-11 [2]

ACI 318-11 contiene muchas disposiciones relevantes para el anclaje de barras rectas. En el presente documento se resumen algunas disposiciones seleccionadas. Para obtener más información, consulte el código.

En la sección 12.2.5 (refuerzo en exceso) se indica que es posible reducir la longitud de desarrollo en proporción directa a la cantidad de refuerzo en exceso provisto respecto del requerido según análisis. Esta disposición se aplica al refuerzo en elementos de flexión, excepto donde específicamente se requiere el anclaje o el desarrollo para  $f_y$  o donde el refuerzo está diseñado conforme a las disposiciones (sísmicas) de 21.1.1.6.

El requisito de longitud de desarrollo para barras rectas en compresión detallado en la sección 12.3.2 se obtiene de la siguiente manera:

$$\ell_d = \max \left[ \left( \frac{0,02 f_y}{\lambda \sqrt{f'_c}} d_b \right) (0.0003 f_y d_b); 8 \text{ pulg.} \right] \quad (\text{lb, pulg.}) \quad [8]$$

En la sección 12.10.3 se indica que el refuerzo debe extenderse más allá del punto en el que ya no es necesario para resistir la flexión para una distancia igual a  $d$  o  $12d_b$ , la que sea mayor, excepto en soportes de tramos simples y en el extremo libre de voladizos.

En la sección 12.10.4 se requiere el empotramiento del refuerzo continuo en un elemento de flexión por una distancia que no sea inferior a  $\ell_d$  más allá del punto donde no se requiere refuerzo de tensión terminado o doblado para resistir la flexión.

En la sección 12.10.5 se prohíbe la terminación del refuerzo de flexión en una zona de tensión salvo que (a) el esfuerzo de corte en el corte de la barra no sea superior al 67% de  $\phi V_n$ , (b) exista un exceso de refuerzo del estribo o (c) se proporcione un exceso de refuerzo y el esfuerzo de corte no sea superior al 75% de  $\phi V_n$ .

## 6 ¿Cuáles son los orígenes?

En la sección 12.11.2 se requiere el anclaje del refuerzo para momento positivo en elementos de flexión que son parte de un sistema de resistencia de carga sísmica principal para desarrollar  $f_y$  en tensión en la cara del soporte.

En la sección 12.11.4 se requiere el anclaje del refuerzo para momento positivo en vigas profundas para desarrollar  $f_y$  en soportes simples, salvo que el diseño se realice según las disposiciones sobre bielas y tirantes del Apéndice A.

En la sección 12.12.1 se requiere el anclaje de barras rectas que funcionan como refuerzo negativo con longitud de desarrollo en el elemento de soporte.

En la sección 12.14.2.3 se requiere que las barras empalmadas mediante empalmes por traslape sin contacto en elementos de flexión estén separadas, como máximo, a una distancia igual a 1/5 de la longitud del empalme requerida y 6 pulg., el valor que sea menor.

En la sección 12.15.1 se proporcionan los requisitos para los empalmes por traslape de tensión de clase A y B. Los empalmes de clase A ( $\ell_d$ ) pueden implementarse donde, al menos, se proporcione el doble del refuerzo requerido y la mitad (1/2) o menos del refuerzo total esté empalmado dentro de la longitud del traslape requerida. En todos los otros casos, pueden implementarse empalmes de clase B ( $1.3 \ell_d$ ).

En la sección 12.15.3 se requiere que las barras de tamaño diferente se empalmen a una longitud que no sea inferior a  $\ell_d$  de la barra más larga o a la longitud de empalme por traslape de tensión ( $1.3 \ell_d$ ) de la barra más pequeña.

En la sección 21.5.2.3 se requiere que se proporcionen aros o un refuerzo espiral a lo largo del empalme por traslape del refuerzo de flexión en pórtico especiales a momento. No se puede realizar empalmes dentro de las uniones, dentro de una distancia igual al doble de la profundidad del elemento desde la cara de la unión y cuando el análisis indique que los desplazamientos laterales inelásticos del marco causan fluencia de flexión.

En la sección 21.7.5.2(a) se requiere que la longitud de desarrollo de las barras rectas #3 a #11 en tensión en pórticos especiales a momento se considere de la siguiente manera (elevación pequeña, aplicable a las barras post-instaladas):

$$\ell_d = \frac{f_y d_b}{(26 \sqrt{f'_c})} \quad [9]$$

En la sección 21.7.5.3 se requiere que las barras rectas terminadas en una unión atraviesen el núcleo confinado de una columna o elemento de contorno y que cualquier parte de  $\ell_d$  que no esté dentro del núcleo se aumente un 160%.

En la sección 21.9.2.3(c) se estipula un aumento de la longitud de desarrollo  $\ell_d$  en un 125% donde es probable que ocurra la fluencia del refuerzo longitudinal como resultado de desplazamientos laterales en muros estructurales y vigas de acoplamiento especiales.

La sección 21.9.6.4 (e) permite el anclaje del refuerzo horizontal en el alma de la pared para desarrollar  $f_y$  en tensión dentro del núcleo confinado del elemento de contorno siempre que el área requerida del refuerzo del alma no supere el área requerida del refuerzo transversal del elemento de contorno paralelo al refuerzo del alma.

En la sección 21.11.7.3 se requiere que todo refuerzo que se use para resistir fuerzas de colectores, corte de diafragma o tensión de flexión se desarrolle o empalme para  $f_y$  en tensión.

### 6.4 Diseño de barras de refuerzo post-instaladas basado en conceptos de longitud de desarrollo

En la figura 43 se ofrece una comparación del desempeño de las barras de refuerzo pre-instaladas y post-instaladas resultante de pruebas de tensión realizadas en la Universidad de Stuttgart. Para un recubrimiento de concreto pequeño (aprox. 2 pulg.), las cargas de falla de barras de refuerzo pre-instaladas y post-instaladas demuestran ser prácticamente idénticas, lo que permite verificar que, para la falla de hendimiento, el comportamiento de las barras de refuerzo post-instaladas calificadas es igual al de las barras pre-instaladas in situ. En el caso de recubrimientos de concreto más grandes, el hendimiento no rige el comportamiento, sino que las barras fallan por extracción por deslizamiento. En tales casos, la fuerza de adherencia de una barra de refuerzo post-instalada puede ser significativamente mayor que la de una barra de refuerzo pre-instalada, según el adhesivo que se use.

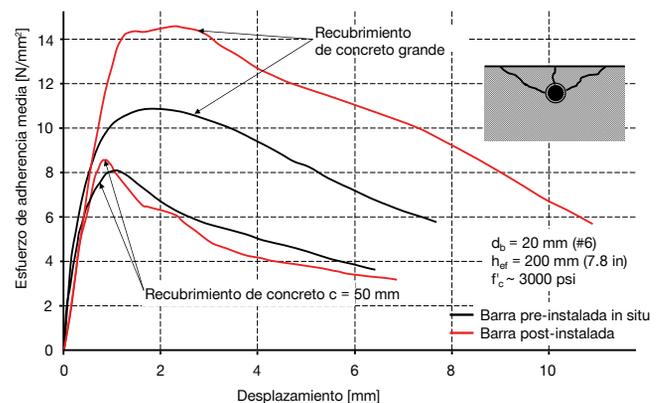


Figura 43: Comparación de las tensiones de adherencia como una función de la distancia a los bordes<sup>16</sup>

16 Spieth, H., tesis doctoral "Structural Behavior and Design of Bonded Reinforcing Bars" (Comportamiento estructural y diseño de barras de refuerzo adherentes), Universidad de Stuttgart [20].

## 6 ¿Cuáles son los orígenes?

Además, el desempeño de carga-deslizamiento de las barras de refuerzo post-instaladas instaladas con un sistema calificado es similar al de las barras de refuerzo pre-instaladas in situ. Por lo tanto, las disposiciones de diseño para las barras de refuerzo pre-instaladas en tensión también pueden extenderse a las barras de refuerzo post-instaladas calificadas.

La ecuación (12-1) de ACI 318-11 para barras deformadas en tensión puede reformularse en términos de una ecuación de tensión de adherencia equivalente de la siguiente manera:

$$A_s f_y = \tau_{bond} \pi d_b \ell_d \quad [10]$$

donde  $\tau_{bond}$  es el esfuerzo de adherencia equivalente

Al sustituir  $A_s = \pi d_b^2/4$ , la siguiente expresión para la adherencia se puede derivar de la ecuación de la longitud de desarrollo indicada en la sección 12.2.3:

$$\tau_{bond} = 3.33\lambda \sqrt{f'_c} \left( \frac{c_b + K_{tr}}{d_b} \right) \left( \frac{1}{\psi_t \psi_e \psi_s} \right) \quad (\text{lb, pulg.}) \quad [11]$$

Para las barras de refuerzo post-instaladas, el factor de modificación de “barra superior”,  $\psi_t$ , que representa los defectos asociados con la colocación del concreto, puede tomarse como unidad.

Tenga en cuenta que el código de ACI limita la medida en que las tensiones de adherencia en el concreto pueden usarse mediante un límite de 2.5 sobre el valor del cociente  $(c_b + K_{tr})/d_b$  en la ecuación de la longitud de desarrollo incluida en la sección 12.2.3. En la figura 44 se ofrece una representación esquemática de este límite, en el cual, para barras ubicadas lejos de los bordes, se supone que el hendimiento ya no rige el comportamiento en condición de carga última. Los adhesivos para anclaje de Hilti pueden generar tensiones de adherencia que superan este límite en gran medida; sin embargo, las consideraciones de funcionamiento y compatibilidad de esfuerzo, con frecuencia, imponen el uso de empotramientos más conservadores con el código.

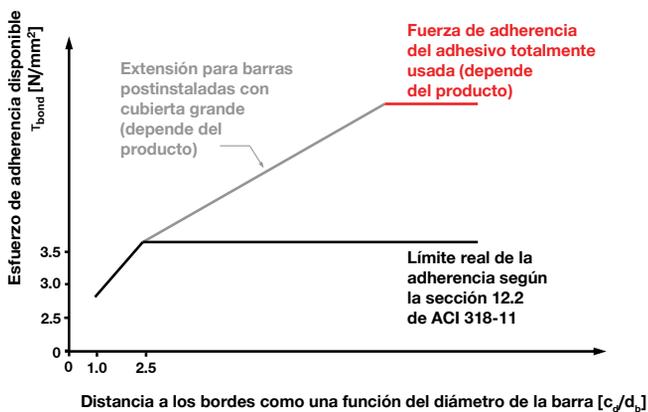


Figura 44: Límite real en la tensión de adherencia

En la figura 45 se muestran los valores de tensión de adherencia equivalentes (uniformes) correspondientes a las longitudes de desarrollo determinadas de acuerdo con ACI 318-11:

Tamaño de la barra	Resistencia a la compresión del concreto (psi)					
	3000	4000	5000	6000	7000	8000
≤ #6	570	658	735	806	870	930
≥ #7	456	527	589	645	697	745

Figura 45: Esfuerzos de adherencia (psi) equivalentes para barras desarrolladas según la sección 12.2.3 de ACI 318-11 en concreto de peso normal con  $(c_b + K_{tr})/d_b = 2.5$

En ausencia de refuerzo de confinamiento, el término confinamiento alcanza el valor limitante cuando la proporción de  $c_b$  a  $d_b$  es igual a 2.5. En teoría, la longitud de desarrollo de una barra de refuerzo con cubierta igual o superior a  $2.5d_b$  ya no es afectada por el hendimiento. Dado que las consideraciones prácticas, a menudo, determinan distancias a los bordes para barras de refuerzo post-instaladas superiores a  $2.5d_b$ , la presencia del refuerzo transversal no suele ser un factor para determinar la longitud de desarrollo.

### 6.5 Enfoques alternativos para establecer el empotramiento de las barras

Las disposiciones del código de ACI sobre longitud de desarrollo parten del supuesto de que las barras pueden colocarse muy seguidas unas de otras y a la profundidad de recubrimiento desde la superficie de concreto.

La reducción limitada en la longitud de desarrollo se contempla para las barras colocadas a una distancia de los bordes igual o superior a  $2.5d_b$ , dado que se supone que, en el caso de estas barras, prima la extracción por deslizamiento (en contraposición al hendimiento). El aumento de la distancia a los bordes debería permitir una mayor reducción de la longitud de desarrollo; sin embargo, las barras que están colocadas muy seguidas y que transportan mayores tensiones de adherencia podrían generar una falla de arrancamiento del concreto, que es un modo de falla que no está anticipado en la fórmula de la longitud de desarrollo.

No obstante, cuando las barras de refuerzo post-instaladas no se traslapan con el refuerzo existente y están instaladas suficientemente lejos de los bordes, puede ser apropiado emplear otros métodos de diseño, según se describe en las siguientes secciones.

#### 6.5.1 Diseño de barras de refuerzo post-instaladas mediante conceptos de diseño de anclaje<sup>17</sup>

El uso de conceptos de diseño de anclaje para determinar el empotramiento de barras de refuerzo post-instaladas se analiza en diversas publicaciones y es apropiado para los sistemas que también fueron calificados conforme a las disposiciones de calificación de anclaje (p. ej., ACI 355.4, AC308). El uso de conceptos de diseño de anclaje es relativamente sencillo, pero se

17 Charney, F., et al., "Recommended Procedures for Development and Splicing of Post-installed Bonded Reinforcing Bars in Concrete Structures" (Procedimientos recomendados para el desarrollo y empalme de barras de refuerzo adherentes post-instaladas en estructuras de concreto), ACI Structural Journal [4].

## 6 ¿Cuáles son los orígenes?

requieren supuestos adecuados con respecto al empotramiento. Por ejemplo, ¿es preciso lograr la fluencia de la barra? De ser ese el caso, ¿debería aplicarse exceso de resistencia al esfuerzo nominal de fluencia de la barra? Las respuestas a estas y a otras preguntas dependen de la situación.

Este enfoque puede subdividirse en dos categorías:

**Categoría 1:** Barras instaladas lejos de los bordes en la cara de paredes, losas y cimentaciones. En este caso, se supone que las barras de refuerzo post-instaladas están ubicadas suficientemente lejos de los bordes para impedir la falla de hendimiento. Del mismo modo, se supone que las condiciones de los bordes no afectan la resistencia a la adherencia y la resistencia al arrancamiento del concreto.

**Categoría 2:** Barras instaladas lejos de los bordes pero que aún pueden ser afectadas por la distancia a los bordes cuando se determina la resistencia al arrancamiento del concreto. El uso de conceptos de diseño de anclaje sigue siendo posible en tales casos, pero se complica debido a la cercanía a los bordes y requiere iteración para encontrar una solución óptima.

En ACI 318-11 se especifica que la resistencia del diseño para anclajes adhesivos en tensión se tome como el mínimo valor de la fuerza de adherencia, la resistencia al arrancamiento del concreto y la resistencia del acero, según se determine para un diámetro de barra y una longitud de anclaje (profundidad de empotramiento) dados, e incluidos los factores de reducción de la resistencia pertinentes. De manera significativa, ACI limita el modelo de adherencia uniforme que es la base para las disposiciones sobre diseño a profundidades de empotramiento de entre 4 y 20 diámetros de anclaje. Más allá de los 20 diámetros, la no linealidad de la distribución del esfuerzo de adherencia puede conllevar una reducción en el esfuerzo de adherencia aprovechable en caso de falla que debe evaluarse desde un punto de vista de ingeniería.

La resistencia nominal del acero en tensión,  $N_{sa}$ , de un solo elemento de anclaje (p. ej., varilla roscada o barra de refuerzo) se determina según la ecuación (D-2) de ACI 318-11 como el producto del área de tensión de tracción del elemento de anclaje y la resistencia última nominal del elemento de anclaje. En ACI 318 se indica que la resistencia última se usa porque muchos elementos de anclaje no tienen mesetas de fluencia bien definidas. Por ende, se impone un límite de  $1.9f_y$  en el valor de la tensión última nominal que puede usarse en la ecuación (D-2) para evitar la fluencia del elemento de anclaje en niveles de carga de servicio. En el caso de las barras de refuerzo post-instaladas, la resistencia nominal a la fluencia generalmente no está bien controlada. En general, las resistencias a la fluencia pueden superar los valores especificados en un 25%. Las barras de grado 60 según ASTM A706 se controlan de tal modo que la fluencia probada real no pueda ser superior a 78 ksi y la última probada no pueda ser inferior a 125% de la fluencia real.<sup>18</sup>

Conforme a D.5.2.1 de ACI 318-11, la resistencia nominal al arrancamiento del concreto en tensión de anclajes con cabeza se obtiene de la siguiente manera:

$$N_{cbg} = \frac{A_{Nc}}{A_{Nco}} \psi_{ed,N} \psi_{ec,N} \psi_{c,N} \psi_{cp,N} [k_c \lambda_a \sqrt{f'_c} (h_{ef})^{1.5}] \text{ (lb, pulg.)} \quad [12]$$

donde

$$A_{Nco} = 9(h_{ef})^2$$

$A_{Nc}$  Área proyectada del cuerpo de arrancamiento teórico en función de una separación esencial del anclaje de  $3h_{ef}$  y una distancia a los bordes del anclaje de  $1.5h_{ef}$

$\psi_{ed,N}$  Factor que representa los anclajes cercanos a los bordes y que refleja el estado de esfuerzo alterado que causa la presencia de un borde

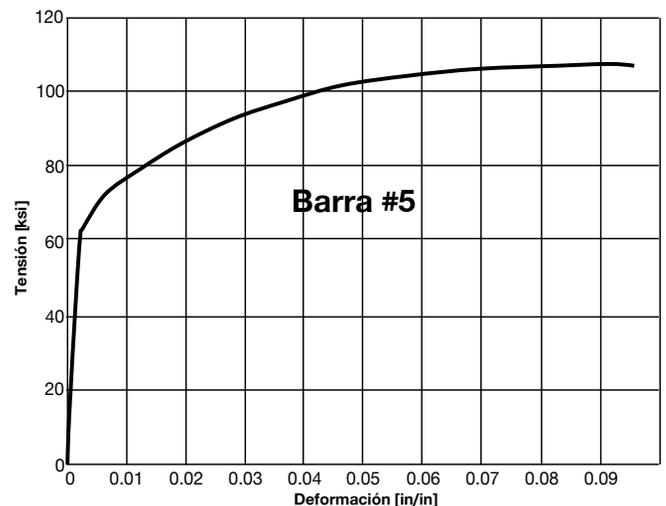
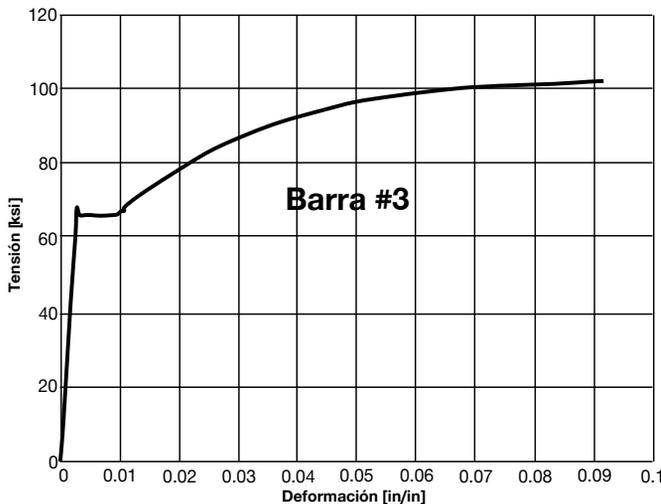


Figura 46: Curvas de tensión-deformación para barras de refuerzo #3 y #5 de grado 60 según ASTM A706<sup>19</sup>

18 Norma A706/A706M de ASTM, 2014, "Standard Specification for Deformed and Plain Low-Alloy Steel Bars for Concrete Reinforcement" (Especificación estándar de barras de acero de baja aleación planas y deformadas para refuerzo de concreto), ASTM International, West Conshohocken, Pensilvania, 2003, DOI: 10.1520/A0706\_A0706M, www.astm.org.

19 Publicación n.º FHWA-HIF-13-038, "Laboratory Tests of Column-to-Drilled Shaft Socket Connections" (Pruebas de laboratorio de conexiones de columna a rangua perforada), Administración Federal de Autopistas, junio de 2013, p. 11.

## 6 ¿Cuáles son los orígenes?

$\psi_{ec,N}$	Factor que representa grupos cargados de manera excéntrica
$\psi_{c,N}$	Factor de aumento que representa el concreto no fisurado
$\psi_{cp,N}$	Factor que representa las tensiones circunferenciales de hendimiento
$\lambda_a$	Factor de ajuste del concreto liviano
$k_c$	Factor de eficacia para arrancamiento del concreto (valor característico, concreto fisurado); para anclajes adhesivos, este valor se determina mediante pruebas según ACI 355.4.
$h_{ef}$	Profundidad efectiva del empotramiento

En forma similar, según D.5.5.1 de ACI 318-11, la fuerza de adherencia característica,  $N_{ag}$ , de los anclajes adhesivos en concreto fisurado se determina de la siguiente manera:

$$N_{ag} = \frac{A_{Na}}{A_{Na0}} \psi_{ed,Na} \psi_{ec,Na} \psi_{cp,Na} (\tau_{cr} \lambda_a \rho d_a h_{ef}) \quad (\text{lb, pulg.}) \quad [13]$$

donde

$$A_{Nca} = (2c_{Na})^2$$

$A_{Na}$  Área de influencia proyectada en función de la distancia crítica a los bordes del anclaje,  $c_{Na}$

$$c_{Na} = 10d_a \sqrt{\frac{T_{uncr}}{1100}} \quad (\text{lb, in})$$

$T_{cr}$  Esfuerzo de adherencia característica en concreto fisurado según la evaluación realizada conforme a ACI 355.4

$T_{uncr}$  Esfuerzo de adherencia característica en concreto no fisurado según la evaluación realizada conforme a ACI 355.4

$d_a$  Diámetro del elemento de anclaje (varilla roscada, barra de refuerzo)

Otros términos son análogos a la expresión para el arrancamiento del concreto.

Los factores de reducción de la resistencia ( $\phi$ ) dados en D.4 se aplican a los valores nominales de esfuerzo de adherencia, la resistencia al arrancamiento del concreto y la resistencia del acero, y el valor mínimo se compara con la carga mayorada del diseño  $N_{ua}$ . De acuerdo con la sección D.4.1.2 para anclajes adhesivos sujetos a cargas de tensión sostenidas, se realizan controles de diseño adicionales. Cuando se usan anclajes en estructuras asignadas a las categorías de diseño sísmico C, D, E o F, el comportamiento de los anclajes debe satisfacer los requisitos adicionales detallados en D.3.3.

Según R12.2 de ACI 318-11, el hendimiento rige el comportamiento de las barras de refuerzo post-instaladas colocadas en un nivel de recubrimiento mínimo sin refuerzo transversal u otro tipo de refuerzo de confinamiento. Las

barras colocadas con una cubierta mayor o provistas de un refuerzo transversal están regidas por la falla de extracción por deslizamiento; sin embargo, cabe destacar que un aumento en el recubrimiento o el refuerzo transversal (más allá del que se supone que asegura un comportamiento de extracción por deslizamiento) probablemente no aumente la capacidad de anclaje. Tenga en cuenta que en ningún caso se anticipa el arrancamiento del concreto, independientemente de la densidad de las barras colocadas en un volumen de concreto específico. Probablemente, este supuesto está basado en esfuerzo de adherencia relativamente bajas asociadas con la ecuación de la longitud de desarrollo (consulte la figura 45). Para las barras de refuerzo post-instaladas diseñadas de acuerdo con la teoría de anclajes, sin embargo, se usa el esfuerzo de adherencia del adhesivo probada total, por lo que se requiere la evaluación de la capacidad de adherencia y la capacidad de arrancamiento según ACI 318.

Las barras de refuerzo post-instaladas pueden diseñarse reformulando las expresiones de arrancamiento del concreto y esfuerzo de adherencia detalladas en ACI 318 como ecuaciones de longitud de desarrollo; es decir, equiparando la resistencia asociada con la falla de concreto o la falla de adherencia con la resistencia a la fluencia de la barra empotrada y resolviendo por el empotramiento. Esto puede ser particularmente útil cuando el recubrimiento (distancia a los bordes) es grande pero la profundidad del empotramiento es limitada, como el desarrollo de barras en la cara de una pared.

**Nota:** si desea información adicional sobre este enfoque, consulte Charney, et al., "Recommended Procedures for Development and Splicing of Post-installed Bonded Reinforcing Bars in Concrete Structures" (Procedimientos recomendados para el desarrollo y empalme de barras de refuerzo adherentes post-instaladas en estructuras de concreto), ACI Structural Journal, vol. 110, n.º 3, mayo-junio de 2013 [4].

Según Charney et al., cuando una sola barra de refuerzo post-instalada se instala en concreto de peso normal lejos de los bordes de tal modo que la distancia a los bordes no afecta la resistencia al arrancamiento del concreto, el empotramiento asociado con el arrancamiento del concreto necesario para lograr fluencia en la barra de refuerzo empotrada puede expresarse de la siguiente manera:

$$\ell_{d,breakout} = 1.2 \left( \frac{A_b f_y}{k_c \sqrt{f'_c}} \right)^{2/3} \quad (\text{lb, pulg.}) \quad [14]$$

En forma similar, cuando una sola barra de refuerzo post-instalada se instala lejos de los bordes, el empotramiento controlado mediante adherencia necesario para lograr fluencia en la barra de refuerzo empotrada puede expresarse de la siguiente manera:

$$\ell_{d,bond} = \frac{0,3 d_b f_y}{T_{cr}} \quad (\text{lb, pulg.}) \quad [15]$$

La longitud de desarrollo del diseño para este caso en particular puede tomarse como el valor mayor de  $\ell_{d,breakout}$  y  $\ell_{d,bond}$ , es decir,

$$\ell_d = \max \{ \ell_{d,breakout}; \ell_{d,bond} \} \quad (\text{pulg.}) \quad [16]$$

## 6 ¿Cuáles son los orígenes?

Los supuestos específicos usados para la aplicación de la teoría de anclajes al desarrollo de la barra (p. ej., valores de esfuerzo de adherencia y fluencia de la barra) son una cuestión de criterio de ingeniería y, en parte, dependerán de las circunstancias específicas del diseño. En el caso de grupos de barras y de barras cerca de los bordes, obviamente, este enfoque se torna más complejo, pero puede resolverse mediante la inclusión de los ajustes necesarios de separación y distancia a los bordes detallados en ACI 318-11, Apéndice D.

**Nota:** en D.4.2.3 de ACI 318-11 se indica que para los anclajes adhesivos con profundidades de empotramiento  $4d_a \leq h_{ef} \leq 20d_a$ , los requisitos de esfuerzo de adherencia se considerarán satisfechos mediante el procedimiento de diseño de D.5.5. Este requisito reconoce los límites del modelo de adherencia uniforme adoptado por ACI. En algunos casos, puede ser justificable especificar un empotramiento superior a 20 diámetros de barra a fin de garantizar el margen de seguridad deseado. Comuníquese con Hilti para obtener más información.

Ejemplo: barras corrugadas en corte (compare con el ejemplo provisto en 2.6.1)

Requisito: determinar el empotramiento requerido para barras de refuerzo post-instaladas usadas para conectar una pared de corte de concreto proyectado de 10 pulg. (250 mm) de espesor nueva (colocada en forma neumática) a una pared de concreto existente (figura 9). Las barras son #5 colocadas a 24 pulg. x 24 pulg. (610 X 610 mm) sobre la cara de la pared. La pared de corte existente tiene 12 pulg. (300 mm) de espesor y es de concreto de peso normal de 4 ksi (28 MPa). En función de una evaluación según AC308, el esfuerzo de adherencia,  $\tau_{cr}$ , del adhesivo es 1090 psi y el valor de  $k_c$  es 17. El esfuerzo de adherencia del adhesivo en concreto fisurado,  $\tau_{uncr}$ , es 1560 psi.

Suponga que la separación es suficiente para usar expresiones simplificadas para el desarrollo de barras según la aplicación de la teoría de anclajes de acuerdo con Charney, et al.

$$\ell_{d,breakout} = 1.2 \left( \frac{0.31 \times 60000}{17 \sqrt{4000}} \right)^{2/3} = 8 \text{ pulg. (203 mm)}$$

$$\ell_{d,bond} = \frac{0.3 \times 0.625 \times 60000}{1090} = 10.3 \text{ pulg. (261 mm)}$$

Verifique el supuesto de separación para el arrancamiento del concreto:

$$3 \times 8 = 24 \text{ pulg.} \leq 24 \text{ pulg. (610 mm)} : \text{aceptable}$$

Verifique el supuesto de separación para la falla de adherencia:

$$2c_{Na} = 20 \times 0,625 \sqrt{\frac{1560}{1100}} = 15 \text{ in (381 mm)} \leq 24 \text{ in (610 mm)} \\ \text{aceptable}$$

Use barras con ganchos #5 empotradas 10-1/2 pulgadas (270 mm) = 16.8 diámetros de barra < 20 (límite del modelo de adherencia uniforme según D.4.2.3 de ACI 318-11).

### 6.5.2 Uso de confinamiento para aumentar la eficacia de la adherencia

Como se muestra en la figura 45, los esfuerzos de adherencia asociadas con las longitudes de desarrollo típicas son bajas en comparación con los esfuerzos de adherencia que pueden lograrse con adhesivos post-instalados (compare, p. ej., con la figura 39). El término asociado con confinamiento en la ecuación (12-2) de ACI 318-11 es:

$$\frac{c_b + \left( \frac{40 A_{tr}}{s \cdot n} \right)}{d_b} \leq 2.5 \quad (\text{lb, pulg.}) \quad [17]$$

donde

$c_b$  factor que representa el valor menor de las siguientes opciones: el recubrimiento lateral, el recubrimiento sobre la barra medida a la línea central de la barra o la mitad de la separación de centro a centro de las barras (pulg.)

$A_{tr}$  área del refuerzo transversal real para evitar el hendimiento (pulg.<sup>2</sup>)

$s$  separación de las barras transversales (pulg.)

$n$  cantidad de barras empalmadas o desarrolladas a lo largo de la línea de hendimiento (pulg.)

El límite de 2.5 detallado en la sección 12.2.3 con relación al término de confinamiento refleja el supuesto relativamente conservador en torno a la eficacia del confinamiento para eliminar las fallas de hendimiento y extracción por deslizamiento. La investigación patrocinada por Hilti [17] indica que, para adhesivos específicos, el límite relacionado con este término puede aumentar casi un 100%, a 4.5. Las condiciones específicas en las que puede realizarse este ajuste están detalladas en la bibliografía. Además, las pruebas de columnas cargadas lateralmente y ancladas con barras post-instaladas han demostrado que el efecto del confinamiento provisto por la zarpa de compresión de la columna ciertamente puede usarse para reducir la longitud de desarrollo requerida para estos casos [12].

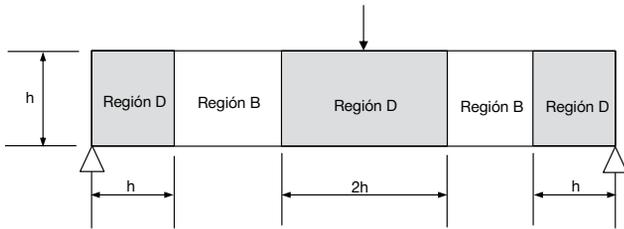
### 6.5.3 Modelos de puntal y tirante

El Apéndice A de ACI 318-11 incluye procedimientos para el desarrollo de modelos de bielas y tirantes para diseñar elementos o estructuras de concreto que contengan regiones D (un área alrededor de una fuerza o discontinuidad geométrica). Este enfoque es especialmente adecuado para el diseño de barras de refuerzo post-instaladas en el que la barra se instala en forma perpendicular al refuerzo principal del elemento de concreto existente. La estructura se divide en regiones B y D.

Las regiones B son partes de una estructura en la que se aplica la hipótesis de Bernoulli de distribución lineal de esfuerzos. El estado de tensión interna de las regiones B puede derivarse fácilmente de las fuerzas seccionales y la región puede diseñarse en función de la teoría clásica de vigas.

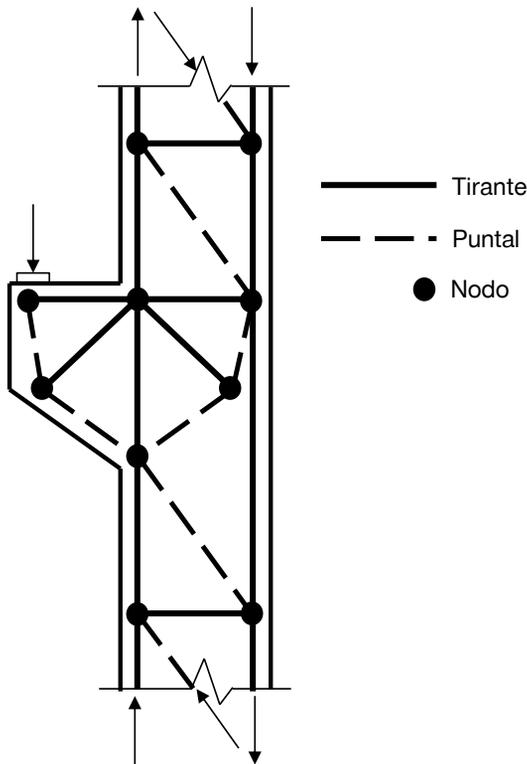
## 6 ¿Cuáles son los orígenes?

Las regiones D son partes de una estructura con una variación compleja en la deformación. Incluye porciones con cambios casi abruptos en geometría (discontinuidades geométricas) o fuerza concentradas (discontinuidades estadísticas). Se supone que las regiones D se extienden a una distancia  $h$  de la discontinuidad geométrica o fuerza (consulte la figura 47).



**Figura 47: Regiones B y D idealizadas en una viga de concreto**

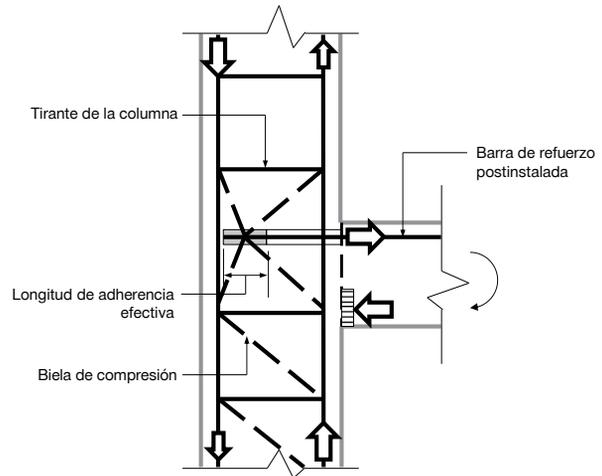
El diseño de las regiones D es complejo y requiere un entendimiento claro del flujo de fuerzas. En el modelado de puntal y tirante, el estado complejo de las fuerzas internas se idealiza como una armadura. Los elementos de compresión (puntal) y tensión (tirante) se identifican en la región. Los puntos de equilibrio donde los puntales, los tirantes y las fuerzas concentradas se intersectan se denominan nodos (figura 48).



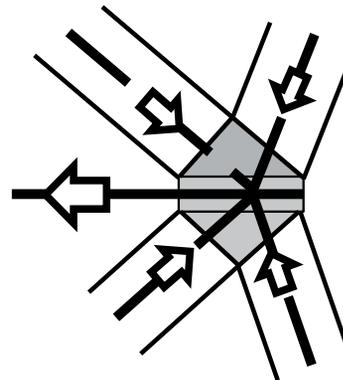
**Figura 48: Modelo de bielas y tirantes de una ménsula**

Los nodos están representados por zonas nodales extendidas, que, a su vez, se clasifican según el sentido y la orientación de la intersección de tirantes y bielas (figura 49). La evaluación y el modelado adecuados de las zonas nodales extendidas requieren un entendimiento minucioso de los límites del enfoque de modelos de bielas y tirantes.

La mayoría de los problemas relacionados con barras de refuerzo post-instaladas puede expresarse con cierta variante de un nodo C-C-T, como se muestra en la figura 50.



**Figura 49: Modelo de bielas y tirantes para una conexión de barras de refuerzo post-instaladas**



**Figura 50: Zona nodal extendida**

**Nota:** encontrará una descripción detallada del modelado de bielas y tirantes de una conexión de barras de refuerzo post-instaladas en una unión de columna-cimentación sujeta a momento de volteo en Hamad, B., et al., "Evaluation of Bond Strength of Bonded-In or Post-Installed Reinforcement" (Evaluación de la fuerza de adherencia de un refuerzo post-instalado o instalado con adhesivo), ACI Structural Journal, vol. 103, n.º 2, pp. 207-218 [8]. En Kupfer, et al. se describe una verificación experimental adicional de esta conexión [11].

## 6 ¿Cuáles son los orígenes?

### Ejemplo: Barras de inicio para columna (compare con el ejemplo provisto en 2.6.4)

Requisito: establece el empotramiento requerido para barras de inicio post-instaladas para una columna nueva que será colada en una viga de cimentación existente de 15 pulg. (380 mm) de ancho por 30 pulg. (760 mm) de profundidad con concreto de 4 ksi (28 MPa) y refuerzo de grado 60 según ASTM A615. La columna nueva será cuadrada, de 15 x 15 pulg. (380 mm x 380 mm), con barras para columna #7 de grado 60 según ASTM A615 (consulte la figura 17). La columna debe resistir el momento y el corte resultante de cargas de viento.

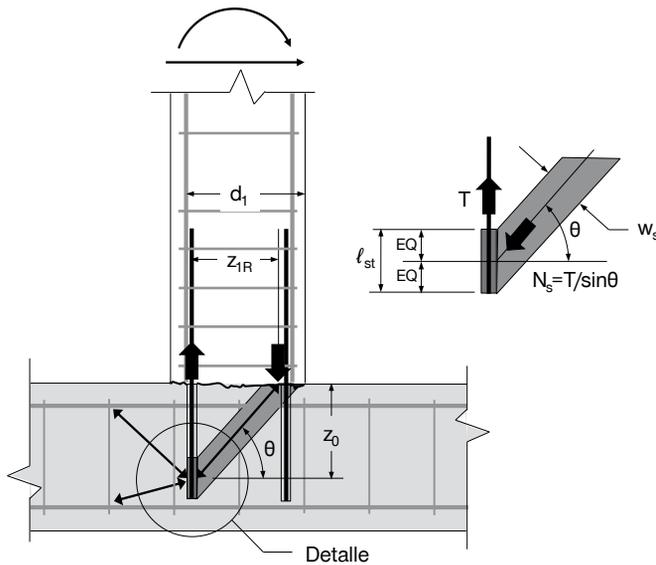


Figura 51: Modelo de bielas y tirantes para la conexión de una columna a una viga de grado de cimentación

Determine la longitud de adherencia en función de la geometría de la biela de compresión necesaria para desarrollar la barra (consulte la figura 51):

$$N_s = \frac{T}{\sin \theta}$$

$$T = \phi \cdot A_s \cdot f_y = 0.9 \times 2 \times 0.60 \times 60000 = 64800 \text{ lb}$$

$$f_{ce} = 0.85 \times \beta_s \times f'_c = 0.85 \times 0.6 \times 4000 = 2040 \text{ psi}$$

Sección A.3.2 de ACI 318-11

$$\phi_c = 0.65$$

Suponga un ángulo de biela  $\theta$  de  $60^\circ$ :

$$W_s = \frac{N_s}{t \times \phi_c \times f_{ce}} = \frac{64800}{15 \times 0.65 \times 2040 \times \sin 60^\circ} = 3.8$$

$$l_{st} = \frac{W_s}{\cos 60^\circ} = 7.5 \text{ pulg.}$$

$$l_d = Z_0 + \frac{l_{st}}{2} = Z_{1R} \times \tan \theta + \frac{l_{st}}{2} \approx 12 \times \tan 60 + \frac{7.5}{2} = 25 \text{ pulg.}$$

= (640 mm)

**Nota:** es posible que se requieran verificaciones adicionales de la adecuación del modelo. Para obtener más información, consulte Hamad, B., et al. "Evaluation of Bond Strength of Bonded-In or Post-Installed Reinforcement" (Evaluación de la fuerza de adherencia de un refuerzo post-instalado o instalado con adhesivo), ACI Structural Journal, vol. 103, n.º 2, pp. 207-218 [8].

### 6.6 Diseño de barras corrugadas en corte

Según la teoría de corte-fricción adoptada en ACI 318, las barras de refuerzo post-instaladas que atraviesan un plano de corte sirven para sujetar juntas las dos caras de la de interfaz de corte, lo que permite que la transferencia de corte mediante fricción actúe sobre el área de la superficie de la interfaz. Si bien, a menudo, se hace referencia a ellas como espigas, las barras de refuerzo post-instaladas que atraviesan una interfaz de corte supuestamente no resisten las fuerzas de corte mediante acción de la barra; el mecanismo de corte-fricción supone que el refuerzo actúa solo en tensión.

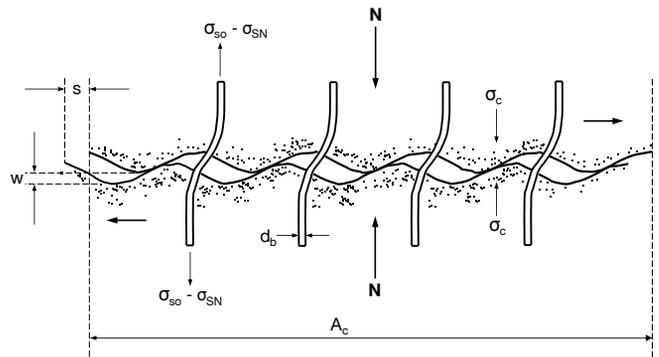


Figura 52: Principales mecanismos de transferencia de corte a lo largo de la interfaz de concreto reforzado: acción de la barra y trabazón de los agregados, de [21].

Sin embargo, el trabajo reciente de Palieraki, et al. [16] ha demostrado que las resistencia estática y la resistencia cíclica de la interfaz de corte-fricción puede describirse con precisión como la suma de los mecanismos de fricción y acción de la barra. Este enfoque también permite determinar la transferencia de la fuerza de corte para profundidades de empotramiento de barra reducidas.

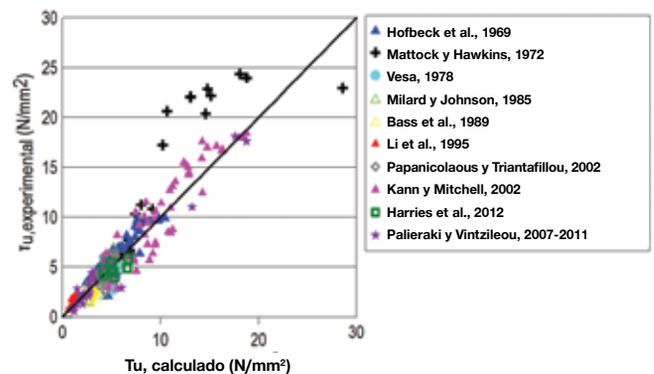


Figura 53: Predicción del corte de la interfaz estática trazada en relación con los resultados de prueba.

## 6 ¿Cuáles son los orígenes?

La siguiente fórmula del método de diseño de corte de la interfaz propuesto por Palieraki [14] es una simplificación basada en supuestos conservadores. Consta de la suma de los efectos de fricción y acción de la barra (consulte la ecuación (18)) con modificación de los términos que representan la rugosidad de la superficie, el grado y la cantidad de refuerzo, el empotramiento del refuerzo y el esfuerzo de adherencia y el tipo de carga (es decir, estática en contraposición a cíclica). Como se muestra en la figura 53, el enfoque propuesto por Palieraki ofrece total acuerdo con una amplia base de datos de resultados de prueba.

$$V_n = A_c (\beta_f \cdot \tau_f + \beta_d \cdot \tau_d) \quad [18]$$

donde

$V_n$  = resistencia nominal al corte de la interfaz (lb)

$\tau_f$  = contribución nominal al corte de la interfaz resultante de la fricción (lb/pulg.<sup>2</sup>)

$\tau_d$  = contribución nominal al corte de la interfaz resultante de la acción de la barra (lb/pulg.<sup>2</sup>)

$\beta_f$  = factor de contribución para la fricción

$\beta_d$  = factor de contribución para la acción de la barra

$A_c$  = área superficial de la interfaz (pulg.<sup>2</sup>)

Fricción:

$$\tau_f = 0.33 [(f'_c)^2 \cdot (f_{c,vf} + f_{ext})]^{1/3} \quad (\text{lb, pulg.}) \quad [19]$$

donde

$f_{c,vf}$  = tensión de compresión sobre la interfaz debido a la acción del refuerzo de la barra

$$= \frac{f_y \cdot A_{vf}}{A_c} \text{ para barras totalmente empotradas (es decir, barras empotradas } \ell_e \text{ (lb, pulg.)}$$

$$= \frac{5 \cdot f_{bu} \cdot \ell_e \cdot A_{vf}}{d_b \cdot A_c} \text{ para barras empotradas menos de } \ell_e \text{ (lb, pulg.)}$$

$f_{ext}$  = esfuerzo uniforme sobre la interfaz debido a una fuerza normal aplicada externamente (positiva para compresión, negativa para tensión) (lb/pulg.<sup>2</sup>)

$f_{bu}$  = esfuerzo de adherencia asociada con la barra post-instalada (lb/pulg.<sup>2</sup>)

$\ell_e$  = longitud del empotramiento de la barra (pulg.)

$A_{vf}$  = área del refuerzo de la barra de la interfaz (pulg.<sup>2</sup>)

$f_y$  = esfuerzo de fluencia del refuerzo de la barra de la interfaz (lb/pulg.<sup>2</sup>)

$f'_c$  = resistencia a la compresión uniaxial del concreto (lb/pulg.<sup>2</sup>)

Acción de la barra:

$$\tau_d = \frac{1.3 \cdot n \cdot d_b^2 \sqrt{f'_c \cdot f_y}}{A_c} \quad (\text{lb, pulg.}) \quad [20]$$

donde

$d_b$  = diámetro del refuerzo de la barra de la interfaz (pulg.)

$n$  = cantidad de barras que atraviesan la interfaz

$A_c$  = área de la interfaz atravesada transversalmente por  $n$  barras (pulg.<sup>2</sup>)

Los factores de contribución se establecieron experimentalmente de la siguiente manera:

Factor de contribución de fricción,  $\beta_f$ , para cargas de corte no cíclicas en toda la interfaz:

Rugosidad de la superficie	$\beta_f$
llaves de corte o donde $f_{ext} \geq +0.1 f'_c$	0.8
rugosa mecánicamente (amplitud de 1/4 pulg.)	0.6
no rugosa	0.4
no rugosa, superficie compuesta de acero (muy lisa)	0.2

Factor de contribución de fricción,  $\beta_f$ , para cargas de corte cíclicas (sísmicas) en toda la interfaz = 0,2.

Factor de contribución de acción de la barra,  $\beta_d$ , para cargas de corte no cíclicas en toda la interfaz:

Empotramiento de la barra	$\beta_d$
$\ell_e > 8d_b$	0.75
$\ell_e \leq 8d_b$	0.5

Para el corte cíclico, use  $\ell_e \geq 12d_b$  y  $\beta_d = 0.75$ .

### Ejemplo: barras corrugadas (compare con los ejemplos provistos en 2.6.1 y 6.5.1)

Requisito: determinar el empotramiento requerido para barras de refuerzo post-instaladas usadas para conectar una pared de corte de concreto proyectado de 8 pulg. (203 mm) de espesor nueva (colocada en forma neumática) a una pared de concreto existente (figura 9). Las barras son #5 colocadas a 12 pulg. x 16 pulg. (305 mm x 406 mm) sobre la cara de la pared. La pared de corte existente tiene 10 pulg. (254 mm) de espesor y es de concreto de peso normal de 4 ksi (28 MPa). Pruebe con barras empotradas el mínimo de 12 diámetros (corte cíclico).

$$v_u = 9 \text{ ksf} = 63 \text{ lb / pulg.}^2$$

$$A_c = 12 \cdot 16 = 192 \text{ pulg.}^2$$

$$f_{bu} = 1.090 \text{ lb/pulg.}^2 \text{ (fuerza de adherencia característica en concreto fisurado según ACI 355.4)}$$

## 6 ¿Cuáles son los orígenes?

$$V_n = A_c (\beta_f \cdot \tau_f + \beta_d \cdot \tau_d)$$

$$f_{c,vf} = \frac{5 \cdot f_{bu} \cdot \ell_e \cdot A_{vf}}{d_b \cdot A_c} = \frac{5 \cdot 1090 \cdot 12 (0.625) \cdot 0.31}{0.625 \cdot 192} = 106 \text{ lb / pulg.}^2$$

$$f_{ext.} = 0$$

$$\tau_f = 0.33 [(f'_c)^2 \cdot (f_{c,vf} + f_{ext})]^{1/3}$$

$$\tau_f = 0.33 [(4000)^2 \cdot (106 + 0)]^{1/3} = 394 \text{ lb / pulg.}^2$$

$$\tau_d = \frac{1.3 \cdot n \cdot d_b^2 \sqrt{f'_c \cdot f_y}}{A_c}$$

$$\tau_d = \frac{1.3 \cdot 1 \cdot (0.625)^2 \sqrt{4000 \cdot 60000}}{192} = 41 \text{ lb/pulg.}^2$$

$$V_n = A_c (\beta_f \cdot \tau_f + \beta_d \cdot \tau_d) = 192 (0.2 \cdot 394 + 0.75 \cdot 41) = 21030 \text{ lb}$$

$$\phi V_n = \frac{0.75 \cdot 21030}{192} = 82 \text{ lb/pulg.}^2 > 63 : \text{ aceptable}$$

Use barras con ganchos #5 empotradas 7-1/2 pulg. (190 mm) (12d<sub>b</sub>).

## 7 ¿Qué más es preciso saber?

---

### 7.1 Cargas sostenidas, etc.

Las cargas de tensión sostenida de anclajes adhesivos se han asociado con una fluencia excesiva en ciertas aplicaciones de anclaje. En el caso de las aplicaciones de barras de refuerzo post-instaladas, es preciso determinar con criterio si se requieren precauciones adicionales para las aplicaciones de cargas de tensión sostenida. En ciertos casos específicos, p. ej., cuando una cantidad pequeña de barras está sujeta a tensión directa como resultado de cargas muertas, puede ser adecuado usar la verificación del esfuerzo de adherencia reducida que se indica en la sección D.4.1.2 de ACI 318-11. Además, deben adoptarse las reducciones del esfuerzo de adherencia para temperatura del concreto, presencia de agua (p. ej., concreto saturado) e instalación en concreto liviano, según corresponda.

### 7.2 Fatiga

La carga de fatiga de ciclo elevado no está específicamente contemplada en los requisitos de calificación incluidos en AC308. Cuando la carga de fatiga de ciclo elevado sea relevante para realizar una conexión con barras de refuerzo post-instaladas, comuníquese con el personal técnico de Hilti para obtener asesoramiento adicional.

### 7.3 Incendio

Las temperaturas altas afectan a los adhesivos orgánicos. Para las conexiones de barras de refuerzo post-instaladas que son parte de un ensamblaje con nivel de resistencia al fuego (piso, techo, etc.), es importante evaluar la resistencia de la conexión mediante datos de prueba para determinar la reducción del esfuerzo de adherencia en función de tiempo asociada con geometrías típicas y protocolos de carga de tiempo-temperatura. Comuníquese con el personal técnico de Hilti para obtener asesoramiento adicional sobre este tema.

### 7.4 Corrosión

El concreto es un material naturalmente alcalino y, en condiciones normales, la corrosión del refuerzo empotrado se evita mediante la pasivación de superficie de la barra. Sin embargo, cuando el concreto es sometido a carbonatación, la disminución del pH puede generar una corrosión incipiente. Además, si el concreto se contamina con cloruros, se observan velocidades de corrosión más rápidas (corrosión por picadura).

La calificación de los sistemas adhesivos para aplicaciones de barras de refuerzo post-instaladas incluye una prueba específica para determinar la susceptibilidad del sistema a la corrosión de las barras a largo plazo. Las barras instaladas con sistemas calificados deberían exhibir velocidades de corrosión similares a las barras pre-instaladas in situ en el mismo concreto. Es importante que el adhesivo que rodea la barra esté relativamente libre de vacíos de aire para minimizar la corrosión. Por lo tanto, la calidad de la instalación es importante para garantizar la resistencia a la corrosión y un esfuerzo alto de adherencia. Comuníquese con el personal técnico de Hilti para obtener asesoramiento adicional sobre este tema.

## 8 Información de referencia útil

### 8.1 Barras de refuerzo estándar según ASTM

Tamaño de la barra	Propiedades de la barra <sup>1</sup>	Parámetros de instalación <sup>2</sup>				
	Diámetro nominal [in]	Área nominal [in <sup>2</sup> ]	Peso nominal [lb/ft]	Diámetro de la broca <sup>3</sup> [in]	Volumen del adhesivo por pulgada de empotramiento <sup>4</sup>	
					[in <sup>3</sup> ]	[oz fl]
#3	0.375	0.11	0.376	1/2	0.110	0.061
#4	0.500	0.20	0.668	5/8	0.146	0.081
#5	0.625	0.31	1.043	3/4	0.176	0.098
#6	0.750	0.44	1.502	7/8	0.218	0.121
#7	0.875	0.60	2.044	1	0.252	0.140
#8	1.000	0.79	2.670	1-1/8	0.299	0.166
#9	1.128	1.00	3.400	1-3/8	0.601	0.333
#10	1.270	1.27	4.303	1-1/2	0.659	0.365

1 Fuente: Apéndice E de ACI 318-11.

2 Consulte la Guía técnica de productos de Hilti para obtener más información.

3 Los valores que se muestran son típicos. Consulte las Instrucciones de uso de Hilti.

4 No se incluye el desperdicio.

Tamaño de la barra <sup>1</sup>	Peso nominal [kg/m]	Dimensiones nominales <sup>2</sup>		
		Diámetro [mm]	Área [mm <sup>2</sup> ]	Perímetro [mm]
10	0.560	9.5	71	29.9
13	0.994	12.7	129	39.9
16	1.552	15.9	199	49.9
19	2.235	19.1	284	59.8
22	3.042	22.2	387	69.8
25	3.973	25.4	510	79.8
29	5.060	28.7	645	90.0
32	6.404	32.3	819	101.3
36	7.907	35.8	1006	112.5
43	11.38	43.0	1452	135.1
57	20.24	57.3	2581	180.0

1. Tamaño de las barras aproxima el diámetro de la barra en milímetros.

2. Las dimensiones nominales de una barra corrugada son aproximadas, se muestran aquellas equivalentes a una barra redonda simple, teniendo el mismo peso por metro que barra corrugada.

### 8.2 Grados comunes de acero de refuerzo

Especificación		Resistencia a la fluencia mínima especificada, $f_{ya}$	Resistencia última mínima especificada, $f_{uta}$
Grado 40 según ASTM A615	psi	40,000	60,000
	(MPa)	(276)	(414)
Grado 60 según ASTM A615	psi	60,000	90,000
	(MPa)	(414)	(620)
Grado 60 según ASTM A706	psi	60,000	80,000
	(MPa)	(414)	(550)
Grado 400 según CAN/CSA-G30	psi	400	540
	(MPa)	(78,300)	(58,000)

## 8 Información de referencia útil

### 8.3 Longitud de desarrollo de tensión y longitud de empalme por traslape calculadas para barras de refuerzo de grado 60 en paredes, losas y cimientos según ACI 318-11 con $(c_b + K_{tr})/d_b \geq 2,5$ 1,2,3,4

Tamaño de la barra	Sistema <sup>5</sup>		Resistencia a la compresión del concreto psi (MPa) <sup>6</sup>							
	HIT RE 500 V3	HIT-HY 200-R	2500 (17.5)		3000 (21)		4000 (28)		6000 (42)	
			$\ell_d$ pulg. (mm)	1,3 $\ell_d$ pulg. (mm)	$\ell_d$ pulg. (mm)	1,3 $\ell_d$ pulg. (mm)	$\ell_d$ pulg. (mm)	1,3 $\ell_d$ pulg. (mm)	$\ell_d$ pulg. (mm)	1,3 $\ell_d$ pulg. (mm)
N.º 3	●	○	12	14	12	13	12	12	12	12
			(305)	(356)	(305)	(330)	(305)	(305)	(305)	(305)
N.º 4	●	○	14	19	13	17	12	15	12	12
			(356)	(483)	(330)	(432)	(305)	(381)	(305)	(305)
N.º 5	●	○	18	23	16	21	14	18	12	15
			(457)	(584)	(406)	(533)	(356)	(457)	(305)	(381)
N.º 6	●	○	22	28	20	26	17	22	14	18
			(559)	(711)	(508)	(660)	(432)	(559)	(356)	(457)
N.º 7	●	○	32	41	29	37	25	32	20	26
			(813)	(1041)	(737)	(940)	(635)	(813)	(508)	(660)
N.º 8	●	○	36	47	33	43	28	37	23	30
			(914)	(1194)	(838)	(1092)	(711)	(940)	(584)	(762)
N.º 9	●	○	41	53	37	48	32	42	26	34
			(1041)	(1346)	(940)	(1219)	(813)	(1067)	(660)	(864)
N.º 10	●	○	46	59	42	54	36	47	30	38
			(1168)	(1499)	(1067)	(1372)	(914)	(1194)	(762)	(965)

○ Consulte las Instrucciones de uso (IFU, Instructions for Use) de Hilti para conocer el rango de aplicaciones recomendado.

● Adecuado para todos los empotramientos tabulados.

1 Valores calculados para  $(c_b + K_{tr})/d_b \geq 2,5$ . Consulte la sección 12.2.2 de ACI 318-11.

2  $\psi_s = 1,0$  según Charney, F., et al., "Recommended Procedures for Development and Splicing of Post-installed Bonded Reinforcing Bars in Concrete Structures" (Procedimientos recomendados para el desarrollo y empalme de barras de refuerzo adherentes post-instaladas en estructuras de concreto), ACI Structural Journal [4]. Consulte la sección 12.2.4 (a) de ACI 318-11.

3  $\psi_e = 1,0$  para barras con un recubrimiento distinto de epoxi. Consulte la sección 12.2.4 (b) de ACI 318-11.

4  $\psi_s = 0,8$  para barras n.º 6 y más pequeñas; 1,0 para barras n.º 7 y más grandes. Consulte la sección 12.2.4 (c) de ACI 318-11.

5 Aplicable para orificios perforados con taladro percutor. Para orificios perforados con taladro de roca y taladro sacanúcleos, comuníquese con Hilti.

6 Los valores son para concreto de peso normal. Para concreto liviano de arena, multiplique por 1,18; para concreto totalmente liviano, multiplique por 1,33. Consulte la sección 8.6 de ACI 318-11.

## 9 Referencias y sugerencias de lectura adicional

- [1] ACI (2003). "Committee 408: Bond and Development of Straight Reinforcing Bars in Tension (ACI 408R-03)" (Comité 408: Adherencia y desarrollo de barras de refuerzo rectas en (ACI 408R-03)). Manual de práctica del concreto de ACI, Instituto Americano del Concreto, Farmington Hills, Michigan.
- [2] ACI (2011). "Committee 318: Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-11) and Commentary" (Comité 318: requisitos del código de construcción para concreto estructural (ACI 318-11) y observaciones), Instituto Americano del Concreto, Farmington Hills, Michigan.
- [3] Appl, J. (2008). "Tragverhalten von Verbunddübeln unter Zugbelastung" (Comportamiento estructural de los anclajes adherentes con carga de tracción), tesis doctoral, Universidad de Stuttgart (en Alemania).
- [4] Charney, F., Pal, K., y Silva, J. (2013). "Recommended Procedures for Development and Splicing of Post-installed Bonded Reinforcing Bars in Concrete Structures" (Procedimientos recomendados para el desarrollo y empalme de barras de refuerzo adherentes post-instaladas en estructuras de concreto), ACI Structural Journal, vol. 110, n.º 3, pp. 437-447.
- [5] Cook, R., Douglas, E. y Davis, T. (2009). "NCHRP Report 639: Adhesive Anchors in Concrete under Sustained Loading Conditions", (Informe 639 de NCHRP: Anclajes adhesivos en concreto en condiciones de carga sostenida) Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., pp. 139.
- [6] Eligehausen, R., Mallée, R. y Silva, J. (2006). Anchorage in Concrete Construction (Anclaje en construcciones de concreto), Ernst & Sohn (una empresa de Wiley), Berlín, pp. 181-210.
- [7] EOTA (2006). "TR023: Assessment of Post-Installed Reinforcing Bar Connections" (TR023: Evaluación de las conexiones de barras de refuerzo post-instaladas), informe técnico de ETA, Organización Europea de Aprobación Técnica, pp. 20.
- [8] Hamad, B., Hammoud, R. y Kunz, J. (2006). "Evaluation of Bond Strength of Bonded-In or Post-Installed Reinforcement" (Evaluación de la fuerza de adherencia de un refuerzo post-instalado o instalado con adhesivo), ACI Structural Journal, vol. 103, n.º 2, pp. 207-218.
- [9] ICC-ES (2013). "AC308: Acceptance Criteria for Post-Installed Adhesive Anchors in Concrete Elements - approved June 2013" (AC308: Criterios de aceptación para anclajes adhesivos post-instalados en elementos de concreto, aprobados en junio de 2013), ICC Evaluation Service, LLC, Brea, California, pp. 122.
- [10] Kunz, J. (2005). "Splitting Design for Anchorages and Splices with Post-Installed Reinforcement" (Diseño de hendimiento para anclajes y empalmes con refuerzo post-instalado), actas de la XI Conferencia Internacional sobre la Fractura de ICF.
- [11] Kupfer, H., Münger, F., Kunz, J. y Jähring, A. (2003). "Nachträglich Verankerte Gerade Bewehrungsstäbe bei Rahmenknoten" (Barras de refuerzo rectas post-instaladas en uniones de marcos), Bauingenieur, Band 78, pp. 15 (en alemán).
- [12] Mahrenholtz, C. y Eligehausen, R. (2014). "Numerical Simulation of Column-to-Foundation Connections with Reduced Anchorage Lengths Loaded Monotonically and Cyclically" (Simulación numérica de conexiones de columna a cimentación con longitudes de anclaje reducidas cargadas monotónica y cíclicamente), actas de la X Conferencia Nacional Estadounidense sobre Ingeniería Sísmica, Instituto de Investigaciones en Ingeniería Sísmica, Anchorage, Alaska.
- [13] Orangun, C., Jirsa, J. y Breen, J. (1975). "The Strength of Anchored Bars: A Re-evaluation of Test Data on Development Length and Splices" (La resistencia de las barras ancladas: una reevaluación de los datos de prueba sobre la longitud de desarrollo y los empalmes) Centro de Investigación de Carreteras, Universidad de Texas, Austin, Texas, pp. 94.
- [14] Palieraki, V. (2014). "Seismic behavior of reinforced interfaces in repaired/strengthened reinforced concrete elements" (Comportamiento sísmico de las interfaces reforzadas en elementos de concreto reforzados reparados/ fortalecidos), tesis doctoral, Universidad Técnica Nacional de Atenas, Grecia, pp. 578 (en griego).
- [15] Palieraki, V., Vintzileou, E., Silva, J. (2013). Debate 109-S73 del informe ACI Structural Journal de noviembre-diciembre de 2012 "Towards an Improved Understanding of Shear-Friction Behavior" (Hacia un mejor entendimiento del comportamiento de corte-fricción), ACI Structural Journal, sept.-oct. de 2013, pp. 887-888.
- [16] Palieraki, V., Vintzileou, E., Trezos, K. (2014). "Shear Transfer Along Interfaces: Constitutive Laws" (Transferencia de corte a lo largo de interfaces: leyes constitutivas), actas de la II Conferencia Europea sobre Ingeniería Sísmica y Sismología, Estambul, Turquía (fuente electrónica).
- [17] Randl, N. y Kunz, J. (2012). "Concrete Splitting for Rebars Post-Installed with High Bond Adhesives" (Hendimiento del concreto en el caso de barras de refuerzo post-instaladas con adhesivos de alta adherencia), actas del IV Simposio Internacional sobre Adherencia en Concreto, Cairns, J., et al., eds., Manerbio, Brescia, Italia, pp. 521-526.
- [18] Simons, I. (2007). "Verbundverhalten von Bewehrungsstahl Stäbe unter Zyklischer Belastung" (Comportamiento de la adherencia de varillas de barra de refuerzo con cargas cíclicas), tesis doctoral, Universidad de Stuttgart (en alemán).
- [19] Speith, H., Ozbolt, J., Eligehausen, R., y Appl, J. (2001). "Numerical and Experimental Analysis of Post-Installed Reinforcing Bars Spliced with Cast-In-Place Reinforcing Bars" (Análisis numérico y experimental de barras de refuerzo postinstaladas empalmadas con barras de refuerzo moldeadas en el lugar), actas del Simposio Internacional sobre Conexiones de Acero y Concreto, publicaciones de RILEM, Stuttgart, pp. 889-898.
- [20] Spieth, H. (2002). "Tragverhalten und Bemessung von Eingemörtelten Bewehrungsstäben" (Diseño y comportamiento estructural de barras de refuerzo adherentes), tesis doctoral, Universidad de Stuttgart (en alemán).
- [21] Tassios, T.P. and Vassilopoulou, I. (2003). "Shear transfer capacity along a RC crack, under cyclic sliding" (Capacidad de transferencia de corte a lo largo de una grieta de concreto reforzado en condiciones de deslizamiento cíclico), actas del Simposio "Concrete Structures in Seismic Regions" (Estructuras de concreto en zonas sísmicas) de fib, (fuente electrónica, pp. 12), Atenas.

