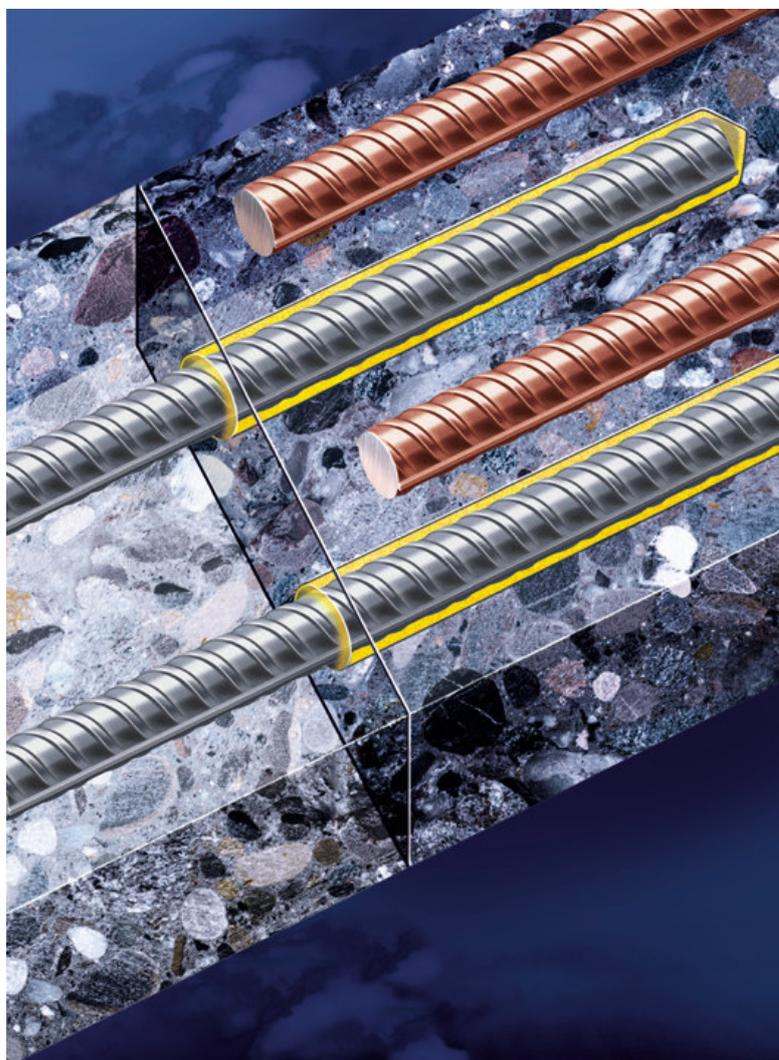


Sistema de inyección Hilti HIT

Resina inyectable bicomponente



Basado en el concepto de seguridad del

Eurocódigo 2:

Proyecto de estructuras de hormigón

Parte 1. Reglas generales y reglas para edificación

ENV 1992-1-1 : 1992

y

Proyecto con anclajes Hilti

Índice

	Página
1. CONSIDERACIONES SOBRE COLOCACIÓN DE ARMADURA A POSTERIORI.....	4
1.1. VENTAJAS DE LA FIJACIÓN DE CORRUGADOS A POSTERIORI.....	4
1.2. EJEMPLOS DE APLICACIONES	4
2. PRODUCTOS HILTI PARA COLOCACIÓN DE CORRUGADOS	7
2.1. LA LÍNEA COMPLETA DE SISTEMA DE INYECCIÓN PARA VARIAS CONDICIONES DE APLICACIÓN	7
2.2. RESINA ADHESIVA BICOMPONENTE.....	7
2.2.1. Hilti HIT-HY 150: Una resina de fraguado rápido.....	7
2.2.2. Hilti HIT-RE 500: Un adhesivo de alta adherencia y de fraguado lento.....	8
2.3. INSTALACIÓN.....	9
2.3.1. Aplicaciones de poca longitud de empotramiento (hasta aprox. 30 cm.).....	9
2.3.2. Instalación estándar de corrugados.....	10
3. DISEÑO DE ANCLAJES Y SOLAPES A POSTERIORI UTILIZANDO EL SISTEMA HILTI HIT....	11
3.1. GENERALIDADES	11
3.1.1. Consideraciones sobre la fijación de corrugados a posteriori	11
3.1.2. Transmisión de fuerzas de cortante: especificar la rugosidad de la junta.....	11
3.1.3. Modos de rotura considerados.....	11
3.2. DISEÑO SEGÚN LA TEORÍA DE HORMIGÓN ARMADO	12
3.2.1. Valores básicos de diseño de adherencia y plastificación de acero.....	12
3.2.2. Consideración de la fuerza efectiva en la barra.....	13
3.2.3. Ejemplos de anclaje a partir del punto donde deja de ser necesaria la barra	14
3.2.4. Solape de barra a posteriori con barra existente	15
3.2.5. Tablas para splitting y spalling.....	16
3.3. CASOS ESPECIALES. MODELOS DE BIELAS Y TIRANTES.	18
3.3.1. Nudo de pórtico con momento flector.....	19
3.3.2. Nudo de pórtico sometido a momento de apertura.....	20
3.3.3. Nudo de pórtico sometido a momento de cierre.....	20
3.3.4. Ménsulas	20
3.3.5. Conexiones a tracción	20
3.4. ENFOQUE SIMPLIFICADO TIPO TEORÍA DE ANCLAJES. PUEDE PRODUCIRSE UN FALLO POR EXTRACCIÓN DE CONO DE HORMIGÓN.	21
3.4.1. Generalidades.....	21
3.4.2. Consideraciones de diseño para las tablas 3.4a y 3.4b	21
4. EJEMPLOS DE CÁLCULO.....	24
4.1. LOSA CALCULADA COMO SIMPLEMENTE APOYADA (VER SECCIÓN 3.2.3).....	24
4.2. EJEMPLO CON SOLAPE (VER SECCIÓN 3.2.4).....	25
4.3. CONEXIÓN EN MURO SOMETIDO A FLEXIÓN (NUDO DE PÓRTICO, VER SECCIÓN 3.3)	26
4.3.1. Momento de apertura (presión de agua).....	26
4.3.2. Momento de cierre	27
5. HOMOLOGACIONES/ BIBLIOGRAFÍA.....	28
5.1. LISTA DE HOMOLOGACIONES DE LA RESINA HILTI HIT-HY 150.....	28
5.2. LISTA DE HOMOLOGACIONES DE LA RESINA HILTI HIT-RE 500	28
5.3. APÉNDICES (DISPONIBLES EN LA OFICINA TÉCNICA DE HILTI)	28

Apéndices (disponibles en la oficina técnica de Hilti)

A01	Detalles de redacción
A02	Volumen aproximado de resina y marca de profundidad de la inyección
A03	Diseño de anclajes y solapes a posteriori
A04	Resumen de las especificaciones del Eurocódigo 2 (ENV 1992-1-1 :1992).

- A05 Comportamiento adherente de barras corrugadas en hormigón
- A06 Interacción entre '*splitting*' y adherencia
- A07 Diseño de conexiones con corrugados empleando el sistema Hilti HIT y el enfoque del ACI 318-02
- A08 Estados límite de servicio (ELS)
- A09 Comportamiento frente a corrosión de armadura colocada a posteriori
- A10 Diseño contra el fuego
- A11 Fatiga de armadura colocada a posteriori sometida a cargas cíclicas

Herramientas de diseño (disponibles en la Oficina técnica de Hilti)

Hilti EXBAR: Hoja de cálculo Excel para el cálculo según teoría de hormigón armado (*splitting design*) y extracción de cono según teoría de anclajes (*shear design*)

Hilti Frame Node: Hoja de cálculo Excel para el cálculo de nudos de pórticos, EC2

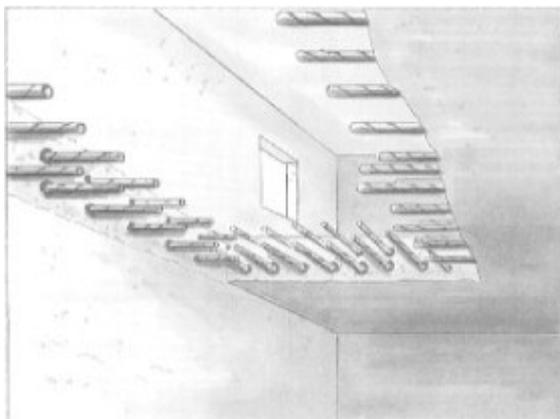
1. Consideraciones sobre colocación de armadura a posteriori

1.1. Ventajas de la fijación de corrugados a posteriori

Utilizando el sistema de inyección Hilti HIT es posible conectar estructuras de hormigón existentes a nuevas estructuras con la máxima seguridad y flexibilidad.

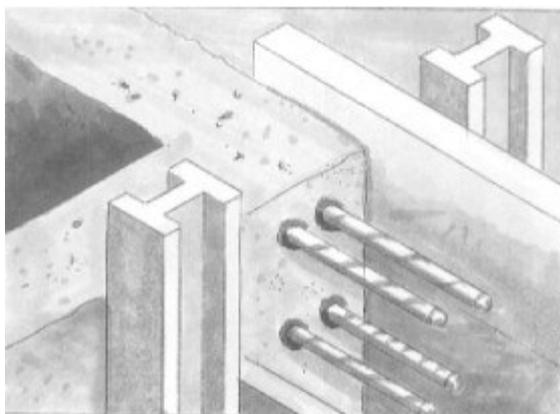
- ↻ Flexibilidad de diseño
- ↻ Simplificación de los métodos de trabajo
- ↻ Tan seguro como corrugados colocados in situ
- ↻ Cargas características definidas
- ↻ Sencillo, aplicaciones de absoluta confianza
- ↻ Aplicaciones en horizontal, vertical y a techo

1.2. Ejemplos de aplicaciones



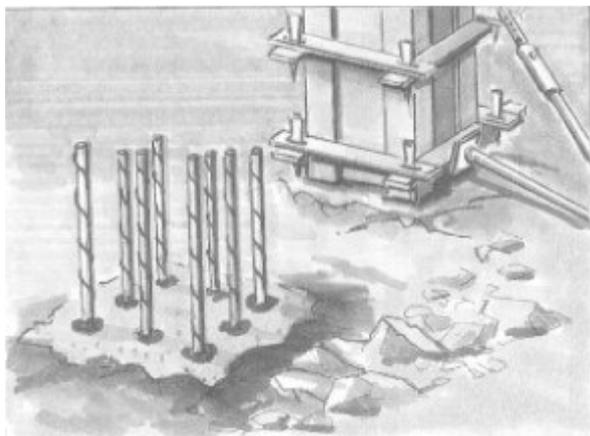
Conexión de losas y forjados

- Losas intermedias
 - Modificaciones estructurales, trabajos de rehabilitación
 - Cierre de huecos temporales por ejemplo huecos para grúas, aperturas para desalojo de escombros, etc.
- √ Simplificación del encofrado
 - √ Flexibilidad de los métodos constructivos
 - √ Aperturas temporales no cerradas
 - √ Reducción del riesgo de dañar armaduras existentes



Conexión de muros y vigas

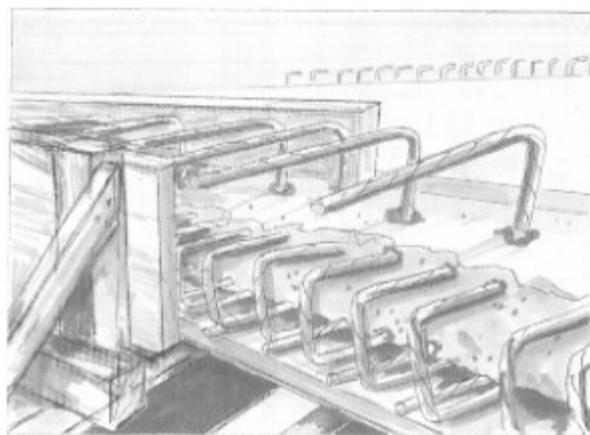
- Juntas de hormigón
 - Esperas horizontales
 - Ampliaciones estructurales
- √ Facilidad de la fijación y desmontaje del encofrado
 - √ Continuidad de la armadura
 - √ Taladros pequeños



Conexiones verticales

- Pilares nuevos
- Recrecidos estructurales
- Encepados

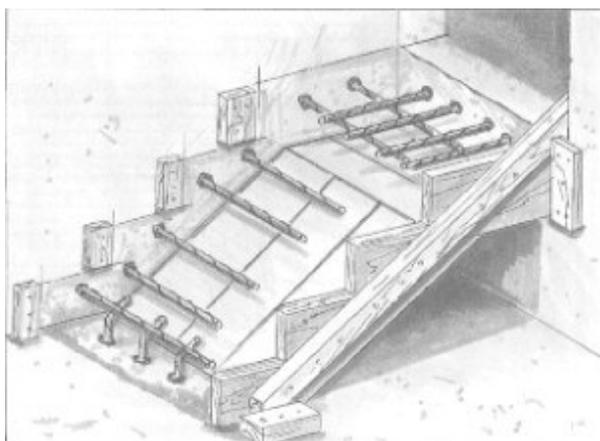
- ✓ Localización precisa
- ✓ Ejecución sencilla
- ✓ Facilidad de acceso



Reparaciones estructurales

- Restauración de pretilas de puentes
- Mejoras estructurales
- Trabajos de reparación de hormigones

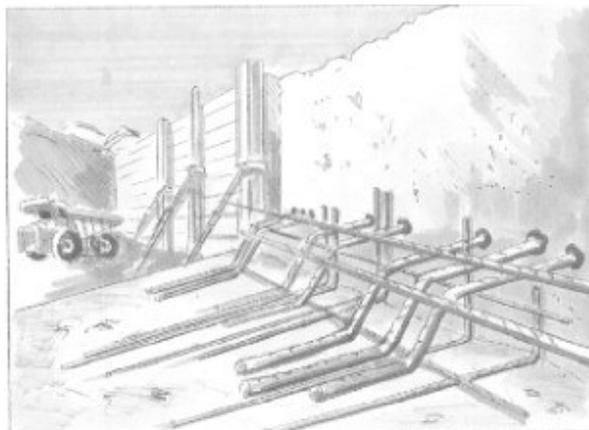
- ✓ Demoliciones de hormigón reducidas
- ✓ Eliminación de soldaduras o conexiones similares
- ✓ Posibilidad de aplicación a techo



Conexiones estructurales

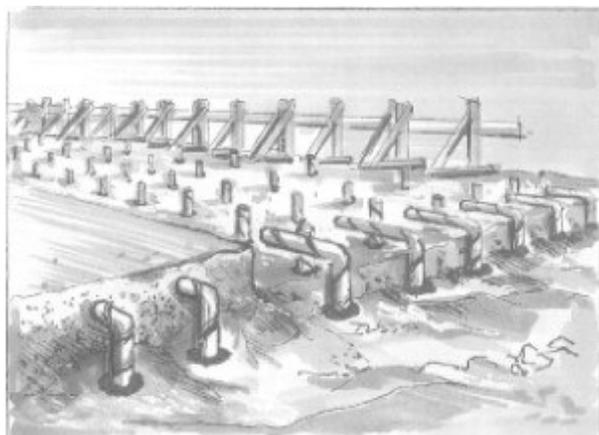
- Escaleras
- Estribos
- Cornisas

- ✓ Replanteo preciso de las esperas
- ✓ Admite refuerzos complicados
- ✓ Sencillez de encofrado y preparación de juntas
- ✓ Inodoro para trabajar en lugares cerrados



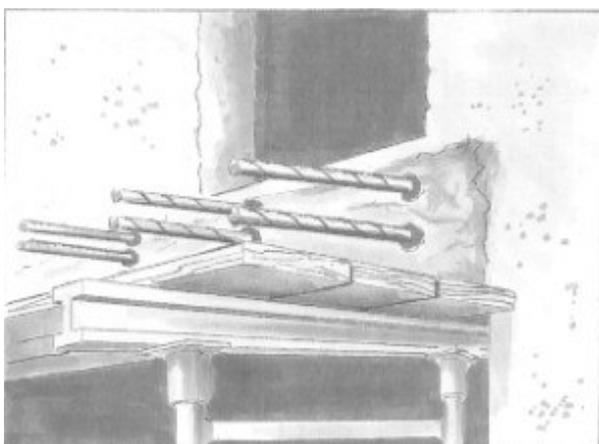
Muros de contención

- Muros pantalla
 - Muros medianeros
 - Muros cortina
- √ Fácil aplicación
√ Taladros de pequeño diámetro
√ Conexión de corrugados doblados



Recrecidos de hormigón

- Reparación de tableros de puentes
 - Unión estructural de diferentes capas
 - Mejoras estructurales de losas y vigas
- √ Aplicaciones rápidas en serie
√ Taladros de pequeña profundidad
√ Fraguado rápido



Conexión de voladizos

- Balcones
 - Plataformas de acceso
 - Rellanos
- √ Desplazamientos despreciables
√ Fijaciones de gran confianza, similares a las armaduras de hormigón in situ (embebido)
√ Corto tiempo de exposición a la intemperie, menor oxidación

2. Productos Hilti para colocación de corrugados

2.1. La línea completa de sistema de inyección para varias condiciones de aplicación

Los sistemas de inyección Hilti HIT están diseñados para que la aplicación sea segura y sencilla, por lo que las conexiones resultan de alta calidad.

Adhesivo		Aplicador
<p>Fraguado rápido Hilti HIT-HY 150</p>  <p>Cartucho 330 ml con soporte y mezclador Hilti HIT-HY-M 150</p>	<p>Alto rendimiento, fraguado lento Hilti HIT-RE 500</p>  <p>Cartucho 330 ml con soporte y mezclador Hilti HIT-RE-M</p>	 <p>Aplicador manual MD 2000</p>  <p>Aplicador a batería BD 2000</p>
 <p>Cartucho 1400 ml con soporte y mezclador Hilti HIT-RE-M</p>	 <p>Cartucho 1400 ml con soporte y mezclador Hilti HIT-RE-M</p>	 <p>Aplicador neumático HIT P-8000 D</p>

2.2. Resina adhesiva bicomponente

2.2.1. Hilti HIT-HY 150: Una resina de fraguado rápido

El adhesivo Hilti HIT-HY 150 es un sistema que consta de agentes adhesivos orgánicos e inorgánicos. Este formula híbrida consigue lo siguiente:

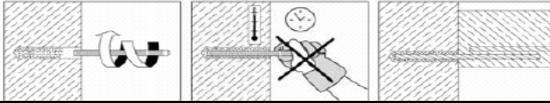
Fiabilidad:

- La reacción de fraguado mejora la rigidez del sistema, especialmente a temperaturas altas
- Baja retracción junto con fraguado rápido
- Adherencia entre el corrugado y el hormigón similar a que se obtiene en corrugados colocados in situ.

Comodidad:

- Bien comprobado, sistema de cartucho con auto apertura
- Baja presión a ejercer sobre el gatillo para trabajos rápidos y fáciles
- Rango amplio de aplicadores para diferentes requisitos
- Desechos reducidos debido al cartucho único
- Inodoro

Tiempo de manipulación y fraguado de Hilti HIT-HY 150



Temperatura del material base	Tiempo de manipulación t_{gel}	Tiempo de fraguado t_{cure}	Poner en carga
-5°C 23°F	90 min	6 h	Notas: - Todos los tiempos especificados se miden desde la mezcla de los dos componentes (al pasar por la mezclador). - La temperatura del cartucho debe estar entre +5°C y 25°C en el momento de la aplicación. - *) si el material base se encuentra a más de 30°C el cartucho debe estar a 15°C / 60°F.
0°C 32°F	45 min	3 h	
5°C 41°F	25 min	1.5 h	
10°C 50°F	8 min	1.3 h	
15°C 60°F	5 min	1.0 h	
20°C 70°F	3 min	50 min	
30°C 85°F	*)3 min	45 min	
40°C 104°F	*)2 min	30 min	

2.2.2. Hilti HIT-RE 500: Un adhesivo de alta adherencia y de fraguado lento

Hilti HIT-RE 500 es el adhesivo de alta adherencia para fijar barras corrugas y varillas roscadas al hormigón. Su fórmula innovadora asegura:

Fiabilidad:

- Valores de carga alta dentro de un rango amplio de diámetros (8 a 40 mm)
- Retracción despreciable
- Adecuado para taladros ejecutados con diamante, martillos de rotación, martillos neumáticos
- Se puede aplicar en taladros húmedos o mayores de lo habitual
- Color rojo para facilitar la comprobación de la correcta aplicación en la obra

Comodidad:

- Bien comprobado, sistema de cartucho con auto apertura
- Baja presión a ejercer sobre el gatillo para trabajos rápidos y fáciles
- Rango amplio de aplicadores para diferentes requisitos
- Desechos reducidos debido al cartucho único
- Inodoro

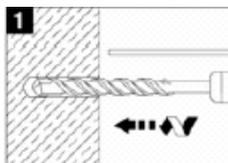
Tiempo de trabajo y fraguado de Hilti HIT-RE 500



Temperatura del material base	T _{trabajo} / T _{gel} inyectar, insertar	T _{fraguado, ini} no tocar	T _{fraguado completo} hormigonar	Poner en carga
-5°C 23°F	4 h	36 h	72 h	Notas: - Todos los tiempos especificados se miden desde que el adhesivo pasa por el mezclador. - Entre $t_{fraguado, ini}$ y $t_{fraguado, completo}$ se puede trabajar (alrededor de 25% de su capacidad). - Después de $t_{fraguado, completo}$, se puede cargar la estructura.
0°C 32°F	3 h	25 h	50 h	
10°C 50°F	2 h	12 h	24 h	
20°C 70°F	30 min	6 h	12 h	
30°C 85°F	20 min	4 h	8 h	
40°C 104°F	12 min	2 h	4 h	

2.3. Instalación

2.3.1. Aplicaciones de poca longitud de empotramiento (hasta aprox. 30 cm.)



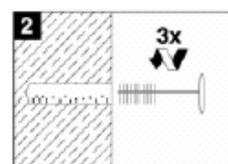
Ejecutar el taladro

- Para taladrar: usar martillo rotopercusor o neumático.



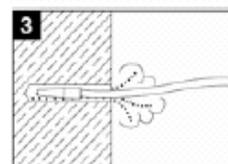
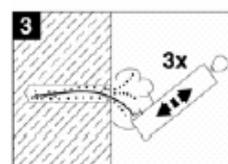
Solo para Hilti HIT-RE 500:

- Además pueden emplearse equipos de diamante



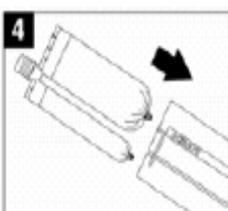
Limpiar el taladro

- Limpiar los taladros justo antes de insertar el corrugado.
- Limpiar los taladros utilizando un cepillo.
- Expulsar el polvo y el agua introduciendo aire.
- El taladro debe estar limpio de hielo y aceite/grasa.



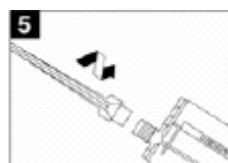
Solo para Hilti HIT-HY 150:

- El taladro debe ser rugoso y estar seco



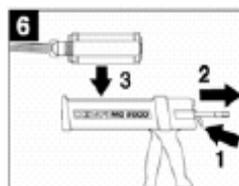
Cartucho:

- Compruebe que el soporte no esté dañado.
- Insertar el cartucho en el soporte.
- Para la aplicación, el rango de temperatura del cartucho es entre +5°C (40°F) y +40°C (105°F).



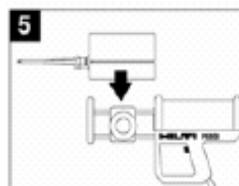
Mezclador

- Emplear el mezclador correcto en función de la resina.
- Comprobar que el mezclador no está dañado. No modificar el mezclador.



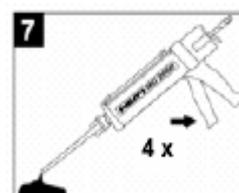
Cartucho de 330 ml

- Colocar el soporte con el cartucho dentro de la aplicador



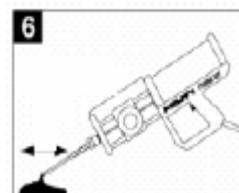
Cartuchos de 1400 ml

- Colocar el soporte con el mezclador ya roscado. Seleccionar la dosificación adecuada.



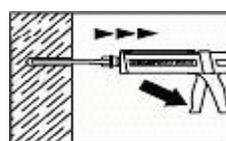
- Desechar los primeros milímetros de resina que salgan del mezclador^{*)}.

- **Cartucho 330 ml:** desechar las tres primeras emboladas, inyectándolas dentro de la bolsa del cartucho^{*)}.



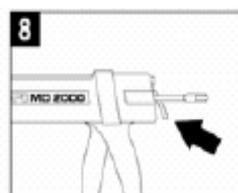
- **Cartucho 1400 ml:** desechar una gota inicial del adhesivo de 25 mm de altura y 50 mm de diámetro^{*)}.

^{*)} la cantidad a desechar figura en las instrucciones del producto



Inyectar la resina en el taladro

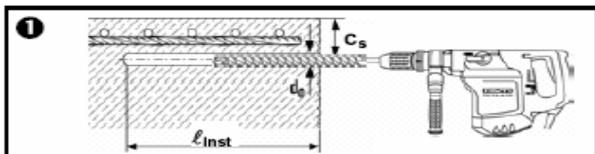
- Rellenar el taladro de resina empezando por el fondo del agujero.
- Introducir la barra con una pequeña rotación, respetando los tiempo de trabajo y curado



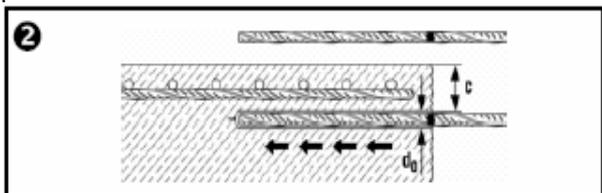
Descargar la presión

- Apretar el gatillo de avance (MD 2000 y BD 2000) después de que el taladro haya sido llenado con la resina. Así deja de ejercerse presión en el cartucho y se detiene el flujo de resina.

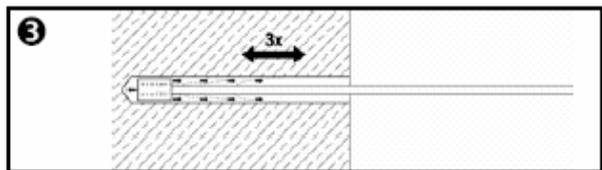
2.3.2. Instalación estándar de corrugados



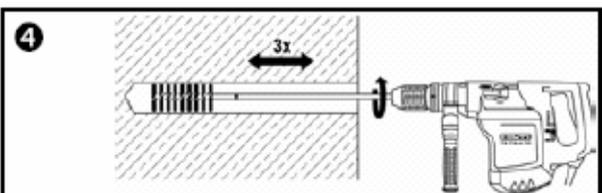
Determinar la posición de la armadura existente. Respetar la distancia a borde, c_s , (recubrimiento) como figure en el plano de armado. Mantener la alineación de la broca paralela a la armadura existente.



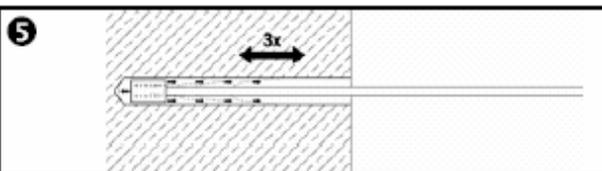
Marcar la profundidad en la barra (l_{inst}), por ej, con cinta adhesiva. Compruebe la profundidad del taladro (l_{inst}) y que la barra entra sin dificultad.



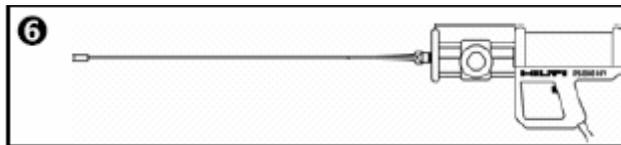
Limpiar el taladro con aire a presión sin aceite utilizando una boquilla de aire (presión de aire ≥ 6 bares).



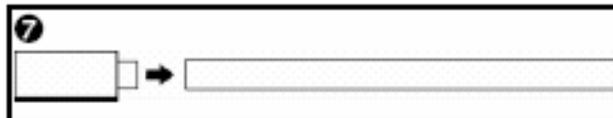
Limpiar el taladro con un cepillo, ajustando la longitud del alargador según la profundidad del taladro.



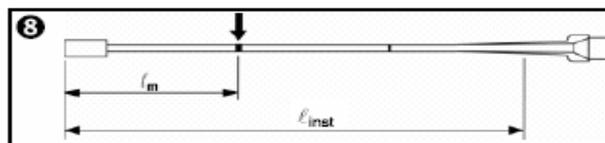
Limpiar con aire a presión



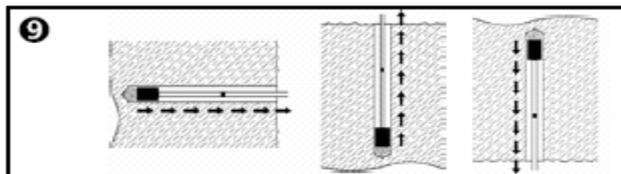
Utilizar con el mezclador el manguito de extensión (prolongados) correspondiente en función de la profundidad del taladro.



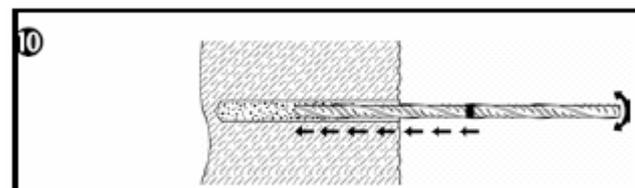
Ajustar el pistón de repulsión al manguito de extensión.



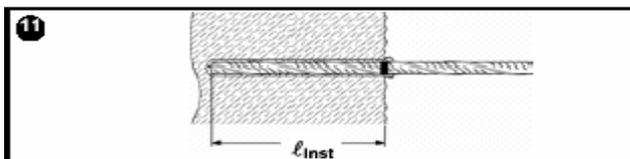
Marcar la profundidad de inyección (l_m) en el manguito de extensión del mezclador.



Inyectar la resina cuidadosamente empezando en el fondo del taladro y evitando la formación de burbujas.



Insertar la barra en el taladro haciéndola girar sobre sí misma.



Comprobación visual de la fijación:

- La resina rebosa del taladro
- La marca de profundidad es visible en la superficie del hormigón

Profundidades recomendadas de empotramiento en función del aplicador

Máx. l_{inst} [cm]			Utilizar el manguito de extensión del mezclador y el pistón de repulsión
MD 2000	BD 2000	P 8000 D	
70	70		HIT-EXT 9/1000 para tamaños de barra 10 a 12 mm
		300	HIT-EXT 16/700 para tamaños de barra mayores que 12 mm

3. Diseño de anclajes y solapes a posteriori utilizando el sistema Hilti HIT

3.1. Generalidades

3.1.1. Consideraciones sobre la fijación de corrugados a posteriori

Las armaduras deben ser ancladas de tal manera que los esfuerzos se transmitan adecuadamente al hormigón y que se evite la fisuración entre barras o 'spalling' o la fisuración hacia borde o 'splitting'¹. Debe tenerse en cuenta el recubrimiento del hormigón, la armadura transversal, y la distancia entre barras.

Para corrugados a posteriori sólo se puede utilizar barras en prolongación recta por motivos constructivos. En casos donde se suelen emplear ganchos o patillas para anclar o solapar la barra, el anclaje de la barra a posteriori debe ser estudiado en profundidad. Además del estudio general del anclaje o solape de barras, en el apartado 3.3 se hace referencia a casos especiales, los cuales han sido estudiados por Hilti en base a un modelo de bielas y tirantes. Por lo general, deben cumplirse todos los requisitos de las normativas vigentes. Solo se permiten consideraciones especiales si existe evidencia de que otras soluciones son adecuadas.

Debe prestarse particular atención a la transmisión de las fuerzas al elemento estructural. Para resolver estas situaciones se pueden emplear los métodos de diseño usuales de hormigón armado. Es responsabilidad del proyectista, aplicando su criterio ingenieril, el asegurar el correcto flujo de fuerzas y el equilibrio del elemento de hormigón.

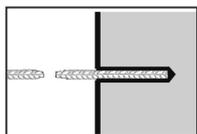
3.1.2. Transmisión de fuerzas de cortante: especificar la rugosidad de la junta

Generalmente, para la transferencia de cargas en hormigón armado sólo se consideran fuerzas de tracción o compresión en las barras. De hecho, la transmisión de cargas de cortante es debida al rozamiento, en lugar de ser absorbidas por los corrugados. Los esfuerzos cortantes son transferidos entre elementos estructurales gracias a la rugosidad de la interfase, según un modelo de bielas y tirantes.

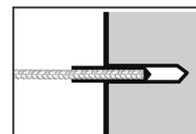
Para más detalles consultar el Apéndice A3.

3.1.3. Modos de rotura considerados

Rotura del acero:

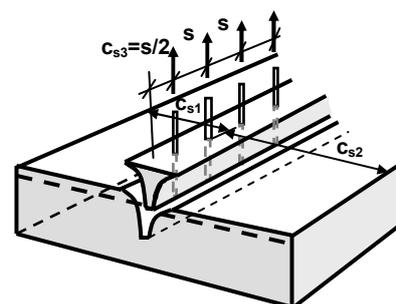
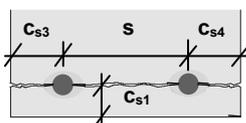
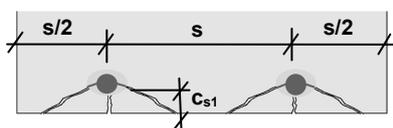


Fallo de la adherencia:



consultar la tabla 3.2 para valores detallados

Rotura del hormigón:



a) Fisuración hacia borde (*Splitting*) o fisuración entre barras (*Spalling*)¹

b) Rotura cono o por corte del hormigón

Ver tablas 3.2.5 a+b

Ver tablas 3.5 a+b

Para calcular del modo de rotura determinante utilizar la hoja de cálculo Hilti EXBAR²

¹ De aquí en adelante no se distinguirá entre fallo por *splitting* o fallo por *spalling*. Ambas fisuraciones son debidas al mismo fenómeno y lo único que las distingue es la dirección de las fisuras. Salvo que se indique lo contrario, el término *splitting* se empleará para denominar ambos modos de fallo.

²Hilti EXBAR: Hoja de cálculo de Excel para *splitting* y la comprobación de la rotura de cono, Oficina Técnica de Hilti

3.2. Diseño según la teoría de hormigón armado¹: caso en que no pueda producirse el fallo por extracción de cono (sin considerar distancia a borde y separación entre anclajes)

3.2.1. Valores básicos de diseño de adherencia y plastificación de acero

- La longitud de empotramiento básica es la longitud en prolongación recta requerida para anclar la máxima fuerza a la que puede estar sometida la barra (cuando está plastificada), asumiendo que en estado límite último la tensión de adherencia es constante a lo largo de la barra.
- Los valores mostrados en la Tabla 3.2 son válidos para condiciones nominales. Dichos valores deben ser multiplicados por los factores de influencia indicados en las Tablas 3.2 (a – d).
- La longitud básica de empotramiento, ℓ'_{bo} es la necesaria para anclar una barra en un hormigón de calidad C20/25 sin considerar la distancia al borde, la separación entre barras, ni las condiciones de carga.

Tabla 3.2: ℓ'_{bo} [cm] Longitud básica de empotramiento para anclar la fuerza que agota la barra (capacidad de acero y adherencia) sin influencia de la distancia al borde ni de separación entre barras (acero definido según EC-2 anclado en hormigón C20/25)

1	Tamaño de barra	\varnothing [mm]	10	12	14	16	20	25	28	32	36	40
2	Tamaño de broca	D_0 [mm]	12-14	16-18	18-20	20-22	25-28	30-32	35-37	39-42	42-46	48-52
3	Área transversal de barra	A_s [mm ²]	79	113	154	201	314	491	616	804	1018	1257
4	Resistencia de diseño de barra ¹⁾	$F_{yd,s}$ [kN]	34	49	67	87	137	213	268	350	443	547
5	Hilti HIT-HY 150 ²⁾	Longitud de anclaje ℓ'_{bo} [cm]	22	29	37	44	61	90	Para barras de tamaño > 25 mm se recomienda Hilti HIT-RE 500			
6		múltiplos de \varnothing	22	24	27	28	31	36				
7		Tensión de adherencia de diseño [N/mm ²]	5.0	4.5	4.1	3.9	3.5	3.0				
8	Hilti HIT-RE 500 ³⁾	Longitud de anclaje ℓ'_{bo} [cm]	16	19	22	25	31	39	50	62	76	91
9		múltiplos de \varnothing	16	16	16	16	16	16	18	19	21	23
10		Tensión de adherencia de diseño [N/mm ²]	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.0	5.6	5.2

1) $F_{yd,s} = \varnothing^2 \times \pi/4 \times f_{yk} / \gamma_{ms}$, $f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$; $\gamma_{ms} = 1.15$

2) Taladro seco, rugoso y limpio al instalar la barra, $\gamma_b = 1.5$ (coeficiente parcial de seguridad para la adherencia)

3) Hormigón no saturado de agua al instalar la barra, taladro limpio, $\gamma_b = 1.8$ (coeficiente parcial de seguridad para la adherencia)

Tabla 3.2a $f_{B,N}$
Influencia de la clase de hormigón

Clase de hormigón	Hilti HIT-HY 150	Hilti HIT-RE 500
1 C20/25	1.00	1.00
2 C25/30	0.91	0.98
3 C30/37	0.82	0.95
4 C35/45	0.82	0.91
5 C40/50	0.82	0.89
6 C45/55	0.82	0.87

C20/25: resistencia característica del hormigón medida en probeta cilíndrica = 20 MPa

Tabla 3.2b f_{Temp}
Influencia de temperatura

Temperatura de la material de base	Hilti HIT-RE 500	
	Fijación del anclaje	Vida de servicio
1 -5 °C	1.25	-
2 0 °C	1.10	-
3 5 °C	1.00	-
4 50 °C	-	1.00
5 60 °C	-	1.15

Tabla 3.2c f_{fisura}
Influencia de las fisuras longitudinales

Hilti HIT-HY 150	Hilti HIT-RE 500
1 2.0	1.5

Tabla 3.2d $f_{w,sat}$
Hormigón saturado de agua

HIT-HY 150	HIT-RE 500
1 n.a.	1.4

n.a. = no aplicable

¹ El diseño según teoría de hormigón armado se corresponde con el *Splitting design* en la hoja de cálculo EXBAR
Edición 11/2003

Factores de influencia para el cálculo de la longitud básica de anclaje

Ajustar la profundidad básica de empotramiento ℓ'_{b0} al multiplicar por los factores especificados en las Tablas 3.2 (1-d):

$$\ell_{b0} = \ell'_{b0} \cdot f_{B,N} \cdot f_{Temp} \cdot f_{crack} \cdot f_{w,sat}$$

3.2.2. Consideración de la fuerza efectiva en la barra

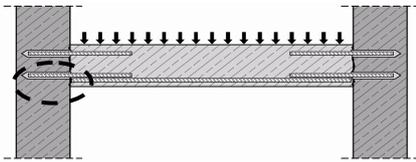
Si no se utiliza totalmente la capacidad del acero, la longitud de anclaje se reduce proporcionalmente a la relación entre la sollicitación y la capacidad máxima

$$\ell_{ef,req} = \ell_{b,0} \cdot \frac{F_{d,req}}{F_{yd,s}}; \quad (F_{d,req} \leq F_{yd,s})$$

La profundidad de empotramiento necesaria para anclar la capacidad total de la barra dada en la tabla 3.2 está calculada para acero de límite elástico 500 MPa; en el caso de tratarse de otro tipo de acero la longitud básica ℓ'_{b0} se puede calcular con las fórmulas que figuran al pie de dicha tabla.

3.2.3. Ejemplos de anclaje a partir del punto donde deja de ser necesaria la barra

Apoyo simple



Para la armadura superior: ver sección 3.4.

Para conexiones inferiores: dos posibles enfoques.

a) detalle según la normativa

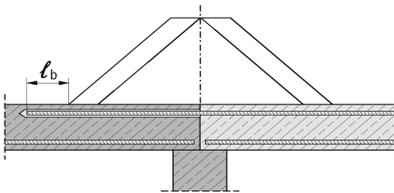
{Sección 5.4.2.1.4, EC 2:1992}

b) -calcular la fuerza según un modelo de bielas y tirantes

-calcular la profundidad básica de empotramiento según la sección 3.2 del presente texto.

-comprobar el fallo por *splitting*

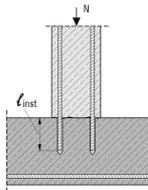
Corte y anclaje de barras para momentos negativos



Detalle según la normativa. Tener en cuenta el decalaje de la envolvente de momentos debida a la fisuración por cortante.

{Sección 5.4.2.1.3, EC 2:1992}

Anclaje de barras en compresión



Comprobar el punzonamiento en la losa

Para el anclaje de barras: dos posibles enfoques:

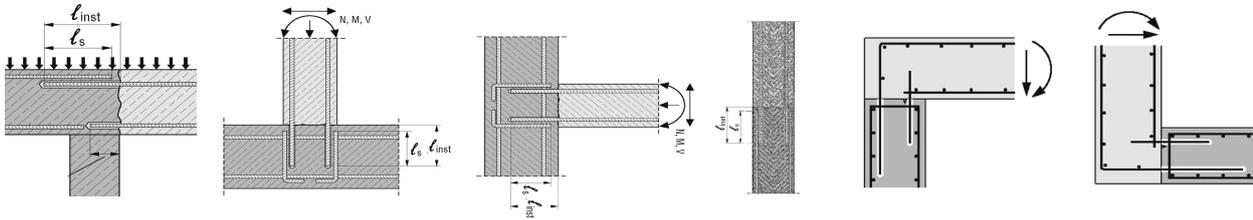
a) según la normativa: {Sección 5.2.3.4, EC 2:1992}

b) - calcular la fuerza en cada barra

- calcular la profundidad de empotramiento según la sección 3.2

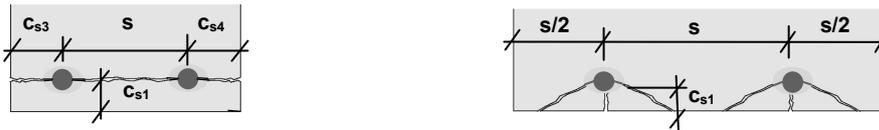
- si la barra está cerca de borde, comprobar el *splitting* como en Sección 3.3.3

3.2.4. Solape de barra a posteriori con barra existente

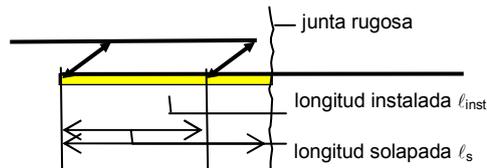


Procedimiento de diseño

- Barras a posteriori:
Determinar la profundidad de empotramiento ℓ_{b1} para barras a posteriori utilizando la hoja de cálculo de Hilti EXBAR¹ (escoger el modo de cálculo *Splitting design*)
- Barras in situ:
Determinar la longitud del solape ℓ_{b2}
- según la normativa {EC 2, apartado 5.2.4}
- según la norma norteamericana ACI 318 usando el Diseño de Hilti EXBAR¹ (*Splitting design*)
- Deducir el valor determinante ℓ_s (longitud solapada) como el máximo de los dos: $\ell_s = \max\{\ell_{b1}, \ell_{b2}\}$



Nota: Se debe distinguir entre la longitud instalada y longitud solapada. La longitud instalada es la longitud total que debe introducirse en el hormigón. De esa longitud, sólo una parte, denominada longitud solapada, está trabajando realmente como un solape, debido a la transmisión de fuerzas a 45° (ver modelo de bielas y tirantes en el siguiente esquema).



Si la separación entre barras es mayor a 4ϕ , la longitud de solape debe incrementarse según se indica en el apartado 5.2.4.1.1 del Eurocódigo 2 (ENV 1992-1-1:1991) o en el anejo A4 de este documento B 2.11.

¹ Hilti EXBAR: Hoja de cálculo Excel para comprobación según *Splitting design* (diseño según la normativa de hormigón armado) o *Shear design* (diseño según la teoría de anclajes), Oficina técnica de Hilti

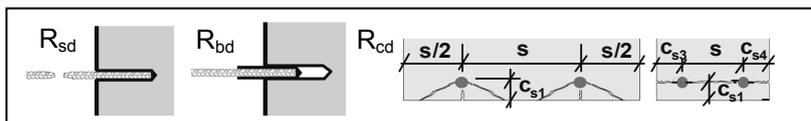
3.2.5. Tablas para splitting y spalling

Tabla 3.2.5a

Hilti HIT-HY 150

Resistencia de diseño por barra

$\text{Min}\{R_{sd}; R_{bd}; R_{cd}\}$



1	Tamaño de barra	Ø	[mm]	10	12	14	16	20	25		
2	Tamaño de broca	D_0	[mm]	12-14	16-18	18-20	20-22	25-28	30-32		
3	Área transversal de la barra	A_s	[mm ²]	78.5	113	154	201	314	491		
4	Valor de diseño de la capacidad resistente de la barra ¹⁾	$F_{yd,s}$	[kN]	34.1	49.2	66.9	87.4	136.6	213.4		
5	Datos básicos para el diseño ²⁾	Longitud de anclaje	l'_{bo}	[cm]	22	29	37	44	61	90	
6		Múltiplos de Ø		22	24	27	28	31	36		
7		Valor de diseño de la tensión de adherencia [N/mm ²]		5.0	4.5	4.1	3.9	3.5	3.0		
8	Distancia min. a borde/separación	c_{s1}/s	cm	4.5/9	4.5/9	5/10	5.5/11	6.5/13	8/16		
9	Longitud requerida para anclar toda la capacidad de la barra	l_b	cm	22	29	37	44	61	90		
10	<p>Barras corrugadas de alta adherencia, $f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$ en hormigón C20/25</p> <p>Carga de Diseño³⁾ en [kN] (parámetros determinantes: acero, adherencia y splitting del hormigón)</p>	Longitud de anclaje l_{ob}	10	cm	15.8						
11			12	cm	18.9	20.2					
12			14	cm	22.1	23.6	25.0				
13			16	cm	25.2	27.0	28.6	31.6			
14			18	cm	28.4	30.3	32.2	35.6			
15			20	cm	31.5	33.7	35.8	39.5	44.6		
16			22	cm	34.1	37.1	39.3	43.5	49.1		
17			25	cm		42.1	44.7	49.4	55.8	59.6	
18			30	cm		49.2	53.6	59.3	66.9	71.5	
19			35	cm			62.6	69.2	78.1	83.5	
20			40	cm			66.9	79.1	89.2	95.4	
21			45	cm				87.4	100.4	107.3	
22			50	cm					111.5	119.2	
23			55	cm					122.7	131.1	
24			60	cm					133.8	143.1	
25			70	cm					136.6	166.9	
26			80	cm						190.7	
27			90	cm							213.4

¹⁾ $F_{yd,s} = \varnothing^2 \times \pi/4 \times f_{yk} / \gamma_{ms}$, $f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$; $\gamma_{ms} = 1.15$

²⁾ Los taladros deben estar ser secos, rugosos y limpios al instalar las barras, $\gamma_b = 1.5$ (factor parcial de seguridad para la adherencia) para barras de diámetros mayores a 25 mm es necesario emplear la resina Hilti HIT-RE 500

³⁾ Se pueden interpolar y extrapolar linealmente valores de carga hasta la longitud necesaria para anclar la capacidad mecánica de las barras

Para otras consideraciones emplee:

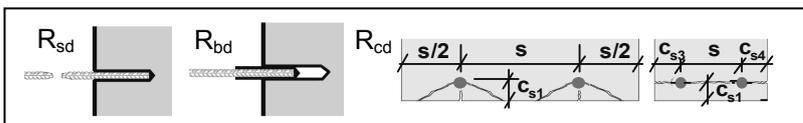
Hilti EXBAR: Hoja de cálculo para cálculo según Splitting design (según teoría de hormigón armado) y Shear design (cálculo según la teoría de anclajes, posible fallo de extracción de cono).

Tabla 3.2.5b

Hilti HIT-RE 500

Resistencia de diseño por barra

$$\text{Min}\{R_{sd}; R_{bd}; R_{cd}\}$$



1	Tamaño de barra	Ø	[mm]	10	12	14	16	20	25	28	32	36	40	
2	Tamaño de broca	D_0	[mm]	12-14	16-18	18-20	20-22	25-28	30-32	35-37	39-42	42-46	48-52	
3	Área transversal de la barra	A_s	[mm ²]	79	113	154	201	314	491	616	804	1018	1257	
4	Valor de diseño de la capacidad resistente de la barra ¹⁾	$F_{yd,s}$	[kN]	34.1	49.2	66.9	87.4	136.6	213.4	267.7	349.7	442.6	546.4	
5	Datos básicos para el diseño ²⁾	Longitud de anclaje	l_{bo}	[cm]	16	19	22	25	31	39	50	62	76	91
6		Múltiplos de Ø			16	16	16	16	16	16	18	19	21	23
7		Valor de diseño de la tensión de adherencia [N/mm ²]			6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.0	5.6	5.2	4.8
8	Min. Distancia a borde/entre barras	c_{s1}/s	cm	5/10	6/12	7/14	8/16	10/20	12.5/25	12.5/25	15/30	15/30	15/30	
9	Longitud requerida para anclar toda la capacidad de la barra	l_b	cm	18	21	25	28	38	56	69	75	93	113	
10	Barras corrugadas de alta adherencia, $f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$ Hormigón C20/25 Carga de Diseño ³⁾ en [kN] (parámetros determinantes: acero, adherencia y <i>splitting</i> de hormigón)	Longitud de anclaje l_{bo}	10	cm	19.2									
11			12	cm	23.1	27.7								
12			14	cm	26.9	32.3	37.6							
13			16	cm	30.7	36.9	43.0	49.2						
14			18	cm	34.1	41.5	48.4	55.3						
15			20	cm		46.1	53.8	61.5	71.5					
16			22	cm		49.2	59.2	67.6	78.7					
17			25	cm			66.9	76.8	89.4	96.0				
18			30	cm				87.4	107.3	115.3	117.2			
19			35	cm					125.2	134.5	136.8	162.9		
20			40	cm					136.6	153.7	156.3	186.2	189.7	193.2
21			45	cm						172.9	175.8	209.4	213.4	217.3
22			50	cm						192.1	195.4	232.7	237.1	241.5
23			55	cm						211.3	214.9	256.0	260.8	265.6
24			60	cm						213.4	234.5	279.2	284.5	289.8
25			70	cm							267.7	325.8	331.9	338.1
26			80	cm								349.7	379.3	386.4
27			90	cm									426.8	434.7
28			100	cm									442.6	483.0
29			110	cm										531.3
30			120	cm										546.4

¹⁾ $F_{yd,s} = \varnothing^2 \times \pi/4 \times f_{yk} / \gamma_{ms}$, $f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$; $\gamma_{ms} = 1.15$

²⁾ El valor de la adherencia es el obtenido en condiciones de recubrimiento y separación entre barras óptimos, esto es, cuando no es determinante el *splitting* (ver anejo A07)

³⁾ Los valores de resistencia que figuran en esta tabla están calculados teniendo en cuenta la separación entre barras y a borde que figuran en la fila 8. Por tanto el valor de la adherencia empleado no es el que figura en la fila 7.

Valido para temperaturas de servicio menores que +50°C

- El taladro debe estar limpio y la temperatura de la resina debe ser mayor que +5°C al instalar la barra
- Para hormigón saturado de agua al instalar la barra: multiplicar la longitud de anclaje por 1.4
- Se pueden interpolar y extrapolar linealmente valores de carga hasta la longitud necesaria para anclar la capacidad mecánica de las barras
- Factor parcial de seguridad $\gamma_s = 1.15$ y $\gamma_b = 1.8$.

Para otras consideraciones emplee:

Hilti EXBAR: Hoja de cálculo para cálculo según *Splitting design* (según teoría de hormigón armado) y *Shear design* (cálculo según la teoría de anclajes, posible fallo de extracción de cono).

3.3. Casos especiales. Modelos de bielas y tirantes.

Para conexiones a posteriori sólo se puede emplear anclaje de barras en prolongación recta. En esta sección se tratan los casos en los que, para transmitir la fuerza de tracción a las barras existentes o a las bielas de compresión, la conexión con barras in situ se realizaría con anclaje en gancho o patilla. Por este motivo hay que tener especial cuidado para asegurar una transmisión correcta de los esfuerzos. El diseño debe buscar la rotura dúctil del acero y evitar la rotura frágil del hormigón (tanto en tracción como en compresión).

Hay que tener en cuenta que todo modelo de cálculo es una simplificación de la realidad, por lo que es responsabilidad del proyectista emplear su criterio ingenieril para asegurar el diseño correcto.

Tabla 3.3: Aplicaciones generales:

Sección	Embebido	A posteriori	Embebido	A posteriori
3.3.1				
Nudo de pórtico: sometido a cortante y un momento flector				
3.3.2				
Nudo de pórtico: sujeto a cortante y momento de apertura				
3.3.3				
Nudo de pórtico: sujeto a cortante y a un momento de cierre				
3.3.4			3.3.5	
Ménsula			Uniones sometidas principalmente a tracción	

3.3.1. Nudo de pórtico con momento flector

Si desea una explicación en detalle de los ensayos y la deducción de las fórmulas, consulte documento correspondiente¹⁾.

Evaluación de fuerzas actuantes en el nudo:

Es necesario que se cumpla el equilibrio de fuerzas en el nudo. La distribución de fuerzas entre las diferentes caras del nudo depende de la rigidez y las condiciones de apoyo; normalmente se emplea el diseño plástico. Debe cuidarse que exista una lógica en la transmisión de esfuerzos y flujo de tensiones.

Procedimiento de cálculo (use la hoja de cálculo Frame Node²⁾)

Si se comprueba el equilibrio de fuerzas, tomando momentos con relación a

P, resulta:

$$\sum M_p = M_1 + M_2 + M_3 + V_1 \cdot \frac{z}{2} + (V_2 + V_3) \cdot \frac{z_1}{2} = 0$$

$$\sum H = V_1 - N_2 + N_3 = 0 \quad \sum V = N_1 + V_2 - V_3 + A = 0$$

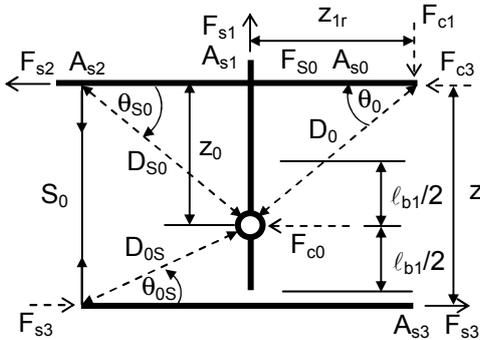


Fig. 3.3b Modelo de bielas y tirantes
Limitación: $0.58 \leq \cot\theta_i \leq 2.0$

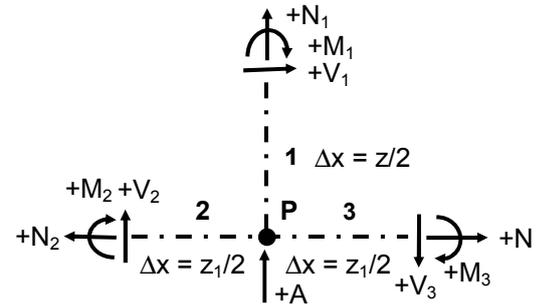


Fig. 3.3a Nomenclatura empleada para designar los esfuerzos. La dirección de las flechas indica el valor positivo.

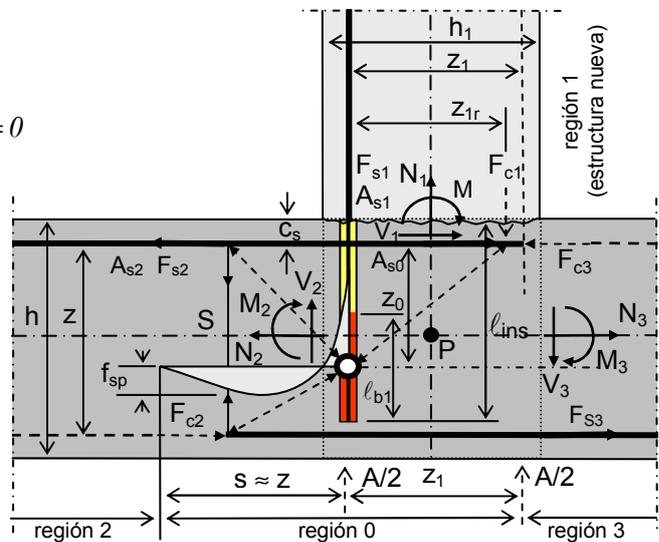


Fig. 3.3c Nudo pórtico con modelo de bielas y tirantes

Las condiciones de diseño para armadura de tracción son:

$$F_{s1d} = \frac{|M_{1d}|}{\kappa \cdot z_1} + N_{1d} \left(1 - \frac{1}{2 \cdot \kappa} \right) \leq A_{s1} \cdot f_{yd}, \text{ donde normalmente } \kappa = 0,85 \text{ y } \kappa = 1.0 \text{ sólo para momento de cierre}$$

$$F_{s2d} = \frac{|M_{2d}|}{z} + \frac{N_{2d}}{2} \leq A_{s2} \cdot f_{yd}; \quad F_{s3d} = \frac{|M_{3d}|}{z} + \frac{N_{3d}}{2} \leq A_{s3} \cdot f_{yd}$$

$$F_{S0d} = F_{S2d} + \Delta F_{S2d} \leq A_{S0} \cdot f_{yd} \quad \text{donde:} \quad \Delta F_{S2d} = \left(M_{1d} + (V_{2d} + V_{3d}) \cdot \frac{z_1}{2} \right) \cdot \left(\frac{1}{z_0} - \frac{1}{z} \right) \cdot V_{1d} \cdot \left(\frac{z_1}{z_0} - 1 \right)$$

Nota: F_{s0} y F_{s3} deben estar anclados adecuadamente en la zona comprimida.

Longitud de anclaje l_{b1} y brazo de palanca z_0 :

$$l_{b1} = \frac{F_{S1,d}}{f_{bd} \cdot \sum u}; \quad f_{bd} \text{ ver Tabla 3.2; } \sum u = \text{suma de los perímetros de las barras } A_{s1}; \quad z_0 = h - c_s - \frac{l_{b1}}{2}$$

Fuerza *splitting* S_0 , a resistir por la armadura de cortante o la armadura de borde:

$$S_{0d} = \frac{M_{spd}}{z_{sp}} = \left(M_{1d} + (V_{2d} + V_{3d}) \cdot \frac{z_1}{2} \right) \cdot \left(1 - \frac{z_0}{z} \right) \cdot \left(1 - \frac{l_{b1}}{2z} \right) \cdot \frac{2}{z} \leq A_{sp} \cdot f_{yd}$$

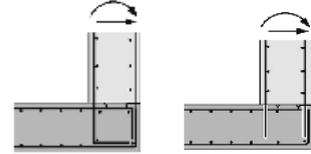
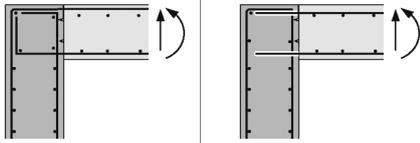
Tensión debida a *splitting*, f_{sp} , atribuida al hormigón:

$$f_{spd} \approx \frac{M_{spd}}{W_{sp}} + \frac{V_{2d}}{b \cdot d} = \left(M_{1d} + (V_{2d} + V_{3d}) \cdot \frac{z_1}{2} \right) \cdot \left(1 - \frac{z_0}{z} \right) \cdot \left(1 - \frac{l_{b1}}{2z} \right) \cdot \frac{2.41}{b \cdot z^2} + \frac{V_{2d}}{b \cdot d} \leq f_{ctd}; \text{ donde } f_{ctd} \approx \frac{0.7 \cdot 0.3}{1.8} \cdot f_{ck}^{2/3}$$

¹⁾Diseño de corrugados con el sistema Hilti HIT: Cálculos para las conexiones en nudo de pórtico, puede solicitar una copia a la Oficina Técnica de Hilti

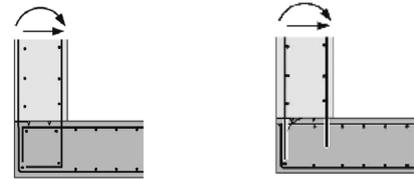
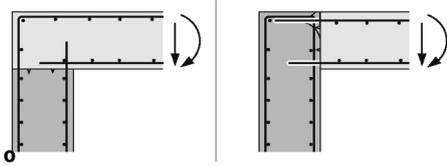
²⁾Hilti Frame Node: Hoja de cálculo Excel para cálculo de nudos de pórticos, puede solicitar una copia a la Oficina Técnica de Hilti

3.3.2. Nudo de pórtico sometido a momento de apertura



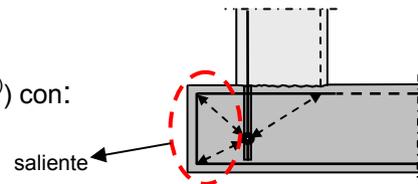
Use el mismo enfoque que en la sección 3.3.1 (EXBAR Frame Node¹⁾)
 con: $M_3 = 0, V_3 = 0, N_3 = 0$

3.3.3. Nudo de pórtico sometido a momento de cierre



a) Conexión a una pieza con saliente:

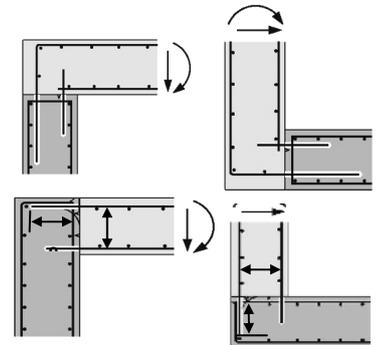
Use el mismo enfoque que en la sección 3.3.1 (EXBAR Frame Node¹⁾) con:
 $M_2 = 0, V_2 = 0, N_2 = 0$



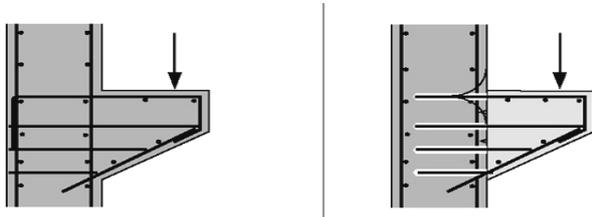
b) Conexión a una pieza sin saliente:

El mejor enfoque es cambiar el sistema a una unión con solape:

Para cargas de poca importancia, se puede emplear el diseño simplificado indicado en la sección 3.4. Asegúrese que la armadura existente está bien anclada, dado que se le van a transmitir cargas para las que no estaba pensada en principio y puede producirse fisuración por *spalling*.

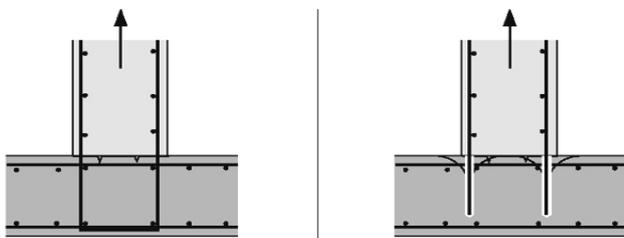


3.3.4. Ménsulas



Diseñar la armadura a posteriori (tirante de tracción) y los estribos según el modelo de bielas y tirantes

3.3.5. Conexiones a tracción



Comprobar la resistencia a la extracción de cono o corte de hormigón según el diseño Hilti EXBAR Corrugados²⁾. Vigilar la fisuración en el plano de las barras.

¹⁾ Diseño de corrugados con el sistema Hilti HIT: Cálculos para las conexiones en nudo de pórtico, puede solicitar una copia a la Oficina Técnica de Hilti
²⁾ Hilti Frame Node: Hoja Excel de Cálculo para cálculos de nudos de pórtico.

3.4. Enfoque simplificado tipo teoría de anclajes. Puede producirse un fallo por extracción de cono de hormigón.

3.4.1. Generalidades

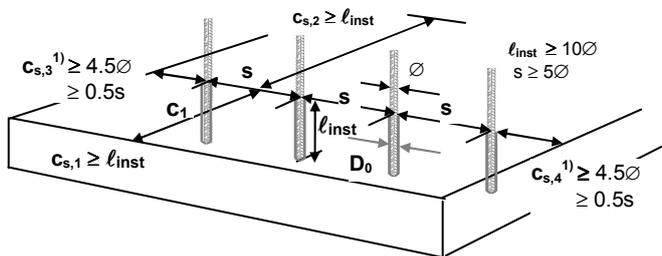
En los casos en que normalmente se emplearían ganchos o patillas para anclar la fuerza de tracción de la barra, la profundidad de empotramiento de una barra a posteriori puede determinarse utilizando el **Método CC de Hilti para corrugados**, que es una ampliación del método CC para cálculo de anclajes (para barras a posteriori solo se pueden emplear barras en prolongación recta por motivos constructivos).

3.4.2. Consideraciones de diseño para las tablas 3.4a y 3.4b

La resistencia de una sola barra perteneciente a una fila de barras es el mínimo de tres resistencias: rotura de acero, fallo de la adherencia y la resistencia de hormigón por rotura por cono (*corte de hormigón*).

Min{ $R_{sd}; R_{bd}; R_{cd}$ }		
Acero	Adherencia (pull-out)	Rotura de cono / <i>corte de hormigón</i>
R_{sd} 	R_{bd} 	R_{cd}

Además de lo especificado en las tablas, deben tenerse en cuenta las siguientes limitaciones y consideraciones geométricas.



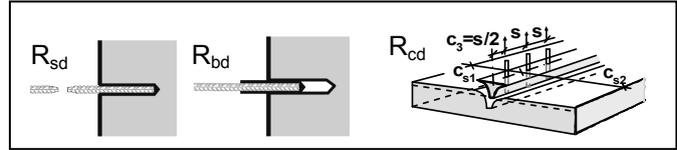
¹⁾ Si $c_{s,3} < 0.5 s$ o $c_{s,4} < 0.5 s$: deben colocarse estribos en el borde para evitar el fallo por *splitting*.

Para otras consideraciones emplee:

Hilti EXBAR: Hoja de cálculo para cálculo según *Splitting design* (según teoría de hormigón armado) y *Shear design* (cálculo según la teoría de anclajes, posible fallo de extracción de cono).

Tabla 3.4a
Hilti HIT-HY 150

Min{ R_{sd} ; R_{bd} ; R_{cd} } Fuerza de diseño por barra



1	Tamaño de barra	\varnothing	[mm]	10	12	14	16	20	25		
2	Tamaño de broca	D_0	[mm]	12-14	16-18	18-20	20-22	25-28	30-32		
3	Área transversal de la barra	A_s	[mm ²]	79	113	154	201	314	491		
4	Valor de diseño de la capacidad resistente de la barra ¹⁾	$F_{yd,s}$	[kN]	34.1	49.2	66.9	87.4	136.6	213.4		
5	Datos básicos para el diseño ¹⁾	Longitud de anclaje	ℓ'_{b0}	[cm]	22	29	37	44	61	90	
6		Múltiplos de \varnothing			20	24	27	28	31	36	
7		Valor de diseño de la tensión de adherencia [N/mm ²]			5.0	4.5	4.1	3.9	3.5	3.0	
8	Separación mínima	s_{min}	cm	18	22	26	29	36	45		
9	Longitud requerida para anclar toda la capacidad de la barra	ℓ_b	cm	22	29	37	44	61	90		
10	Barras de armadura de alta adherencia, $f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$ Clase de Hormigón C20/25 Carga de diseño²⁾ en [kN] (parámetros determinantes : acero, adherencia y la rotura del cono hormigón)	Longitud de anclaje ℓ_{inst}	10	cm	15.8						
11			12	cm	18.9	20.2					
12			14	cm	22.1	23.6	25.0				
13			16	cm	25.2	27.0	28.6	31.6			
14			18	cm	28.4	30.3	32.2	35.6			
15			20	cm	31.5	33.7	35.8	39.5	44.6		
16			22	cm	34.1	37.1	39.3	43.5	49.1		
17			25	cm		42.1	44.7	49.4	55.8	59.6	
18			30	cm			49.2	53.6	59.3	66.9	71.5
19			35	cm				62.6	69.2	78.1	83.5
20			40	cm					66.9	79.1	89.2
21			45	cm						87.4	100.4
22			50	cm							111.5
23			55	cm							122.7
24			60	cm							133.8
25			70	cm							136.6
26			80	cm							166.9
27			90	cm							190.7
									213.4		

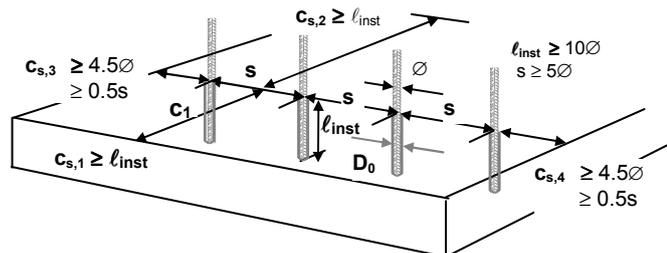
1) $F_{yd,s} = \varnothing^2 \times \pi/4 \times f_{yk} / \gamma_{ms}$, $f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$; $\gamma_{ms} = 1.15$

2) Los taladros deben estar ser secos, rugosos y limpios al instalar las barras para barras de diámetros mayores a 25 mm es necesario emplear la resina Hilti HIT-RE 500

factores parciales de seguridad: $\gamma_s = 1.15$ para acero, $\gamma_s = 1.5$ para hormigón y $\gamma_c = 1.5$ para la adherencia

Se pueden interpolar y extrapolar linealmente valores de carga hasta la longitud necesaria para anclar la capacidad mecánica de las barras

3) para distancias al borde, ver dibujo:



Para otras consideraciones emplee:

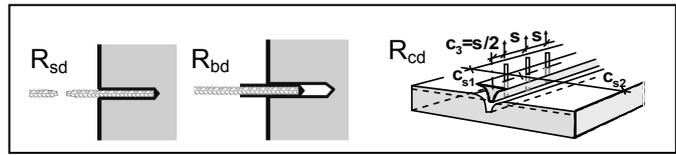
Hilti EXBAR: Hoja de cálculo para cálculo según Splitting design (según teoría de hormigón armado) y Shear design (cálculo según la teoría de anclajes, posible fallo de extracción de cono).

Tabla 3.4b

Hilti HIT-RE 500

Resistencia de diseño por barra

$\text{Min}\{R_{sd}; R_{bd}; R_{cd}\}$

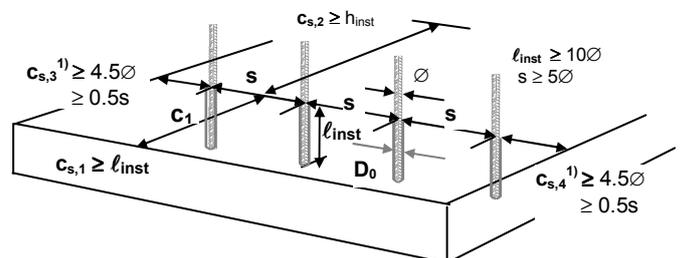


1	Tamaño de barra	Ø	[mm]	10	12	14	16	20	25	28	32	36 ³	40 ³	
2	Tamaño de broca	D ₀	[mm]	12-14	16-18	18-20	20-22	25-28	30-32	35-37	39-42	42-46	48-52	
3	Área transversal de la barra	A _s	[mm ²]	79	113	154	201	314	491	616	804	1018	1257	
4	Valor de diseño de la capacidad resistente de la barra ¹⁾	F _{yd,s}	[kN]	34.1	49.2	66.9	87.4	136.6	213.4	267.7	349.7	442.6	546.4	
5	Datos básicos para el diseño ⁴⁾	Longitud de anclaje	ℓ _{bo}	16	19	22	25	31	39	50	62	76	91	
6		Múltiplos de Ø			16	16	16	16	16	16	18	19	21	23
7		Valor de diseño de tensión de adherencia [N/mm ²]			6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.0	5.6	5.2	4.8
8	Separación mínima	s _{min}	cm	18	22	26	29	36	45	54	60	65	72	
9	Longitud requerida para anclar toda la capacidad de la barra	ℓ _b	cm	16	19	22	25	31	39	50	67	87	110	
10	Barra de armadura de alta adherencia, f _{yk} = 500 N/mm ² Clase de Hormigón C20/25 Cargas de diseño ²⁾ in [kN] (parámetros determinantes: acero, adherencia y rotura por cono del hormigón)	Longitud de la anclaje ℓ _{bo}	10	cm	21.8									
11			12	cm	26.1	31.4								
12			14	cm	30.5	36.6	42.7							
13			16	cm	34.1	41.8	48.8	55.8						
14			18	cm		47.1	54.9	62.7						
15			20	cm		49.2	61.0	69.7	87.1					
16			22	cm			66.9	76.7	95.8					
17			25	cm				87.1	108.9	136.1				
18			30	cm				87.4	130.7	163.4	159.6			
19			35	cm					136.6	190.6	186.1	197.1		
20			40	cm						213.4	212.7	225.3	233.4	239.8
21			45	cm							239.3	253.4	262.5	269.8
22			50	cm							265.9	281.6	291.7	299.7
23			55	cm							267.7	309.8	320.9	329.7
24			60	cm								331.2	350.1	359.7
25			70	cm								349.7	393.2	419.6
26			80	cm									422.4	455.6
27			90	cm									442.6	485.6
28			100	cm										515.5
29			110	cm										545.5
30			120	cm										546.4

1) $F_{yd,s} = \frac{\pi}{4} \times \pi/4 \times f_{yk} / \gamma_{ms}$; $f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$; $\gamma_{ms} = 1.15$

- 2) El taladro debe estar limpio y la temperatura de la resina debe ser mayor que +5°C al instalar la barra
 -Válido para temperaturas de servicio menores que +50°C
 - Para hormigón saturado de agua al instalar la barra: multiplicar la longitud de anclaje por 1.4
 - Se pueden interpolar linealmente valores de carga
 - Factor parcial de seguridad $\gamma_s = 1.15$ para el acero, y $\gamma_c = 1.5$ para el hormigón y $\gamma_b = 1.8$ para la adherencia

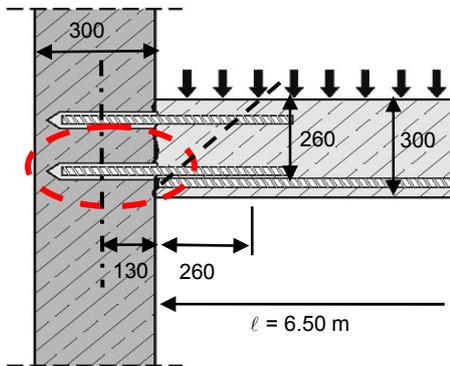
- 3) No se pueden emplear barras mayores que Ø32 en flexión
 4) Para distancias a borde, ver dibujo:



Para otras consideraciones emplee:
Hilti EXBAR: Hoja Excel de Cálculo para Splitting y extracción de cono, EC2.

4. Ejemplos de cálculo

4.1. Losa calculada como simplemente apoyada (ver sección 3.2.3)



- losa: $\ell = 6.50$ m; $p = 5$ kN/m²; $h = 300$ mm; $d = 260$ mm
- muro: $h = 300$ mm; $d = 260$ mm, armadura vert.: $\varnothing 12$ $s = 200$ mm
- hormigón: C20/25, calidad de acero: 500 N/mm²
- resistencia al fuego: F90 (1 1/2 h)
- cargas: $g_{sd} = 1.35 \times 7.5 = 10.1$ kN/m²; $p_{sd} = 1.5 \times 5.0 = 7.5$ kN/m²
 $\Rightarrow q_{sd} = 17.6$ kN/m²

Análisis estructural (fuerzas de diseño):

$$m_{sd} = 17.6 \times 6.76^2 / 8 = 100.5 \text{ kNm/m};$$

$$V_{sd} = 17.6 \times (6.5 / 2) = 57.2 \text{ kN/m}$$

Armadura inferior requerida en el centro de vano:

$$A_{s,req} = 100.5 \times 1.15 / (0.26 \times 0.9 \times 0.5) = 988 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$\Rightarrow \text{armadura empleada: } \varnothing 16 ; s = 200 \text{ mm}; A_{s,real} = 1010 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Armadura inferior en el soporte:

$$A_{s,min} = 0.4 \times 0.8 \times 3 \times 150 \times 1000 / 500 = 288 \text{ mm}^2/\text{m}$$

{Apartado 4.4.2.2, EC 2 : 1992}

$$A_{s,min} = 0.50 \times 988 = 494 \text{ mm}^2/\text{m}$$

{Apartado 5.4.3.2.2, EC 2 : 1992}

$$A_{s,req} = 57.2 \times 1.15 / 0.5 = 132 \text{ mm}^2/\text{m}$$

{Apartado 5.4.3.2.1(1), EC 2 : 1992}

$$\Rightarrow \text{armadura proporcionada: } \varnothing 12, s = 150 \text{ mm}; A_{s,rea} = 754 \text{ mm}^2/\text{m}$$

a) Anclaje según la normativa {Apartado 5.2.3.4.1 y 5.4.2.1.4, EC 2 : 1992}

$$\ell_b = (12 / 4) \times 500 / (1.15 \times 2.3) = 567 \text{ mm}; \ell_{b,net} = 2 / 3 \times (567 \times 494 / 754) = 248 \text{ mm}$$

$$\ell_{b,min} = 2 / 3 \times (\text{máx.}\{0.3 \times 567; 10 \times 12; 100\}) = 113 \text{ mm}$$

b) Diseño con hoja de Excel Hilti EXBAR (según *Splitting design*):Armadura real empleada: $\varnothing 12$, $s = 200$ mm; $A_{s,real} = 565$ mm²/m

(nótese que la armadura requerida se puede reducir al utilizar el cálculo de Hilti EXBAR)

$$F_{yd,s} = 494 \times 0.5 / 1.15 = 215 \text{ kN/m}$$

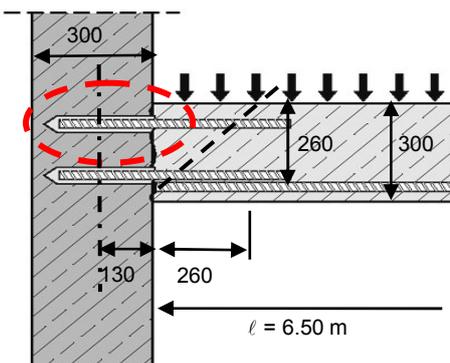
Hilti HIT-HY150: $\ell_{inst} = 26$ cm, $N_{Rd} = 219$ kN/m > 215 kN/m okHilti HIT-RE 500: $\ell_{inst} = 17$ cm, $N_{Rd} = 222$ kN/m > 215 kN/m ok

Resistencia al fuego: Clase de resistencia al fuego F 90 (1 1/2h) (tabla de diseño, ver Apéndice A10):

$$F_{sT,req} = 0.6 \times 57.2 = 34.3 \text{ kN/m} = 6.9 \text{ kN/barra} \quad \{\text{ENV 1992 (EC 2), Parte 1-2:1995, Apartado 2.4.3 (4) y (5)}\}$$

Hilti HIT-HY 150: $\varnothing 12 \Rightarrow \ell_{inst} = 26$ cm; $F_{s,T} > 36.4$ kN > 6.9 kN okHilti HIT-RE 500: $\varnothing 12 \Rightarrow \ell_{inst} = 17$ cm; $F_{s,T} = 12.4$ kN > 6.9 kN ok

Armadura superior (ver sección 3.4)

Armadura mínima: el 25% de la armadura inferior del centro de vano
{Apartado 5.4.3.2.2 (2), EC 2 : 1992}

$$A_{s,req} = 0.25 \times 988 = 247 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$A_{s,min} = 0.4 \times 0.8 \times 3 \times 150 \times 1000 / 500 = 288 \text{ mm}^2/\text{m}$$

{Apartado 4.4.2.2, EC 2 : 1992}

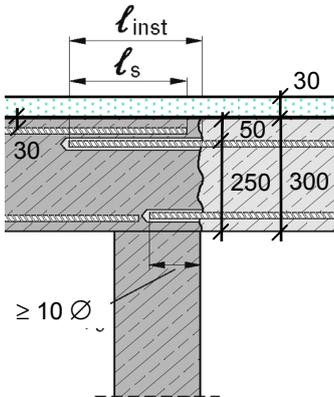
$$\text{Empleada: } \varnothing 12 \quad s = 300 \text{ mm}; A_{s,real} = 377 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Diseño con hoja de Excel Hilti EXBAR (según *Shear design*):

$$F_{yd,s} = 288 \times 0.5 / 1.15 = 125.2 \text{ kN/m}$$

Hilti HIT-HY 150: $\ell_{inst} = 23$ cm $N_{Rd} = 129.3$ kN/m > 125.2 kN/m okHilti HIT-RE 500: $\ell_{inst} = 15$ cm $N_{Rd} = 130.7$ kN/m > 125.2 kN/m ok

4.2. Ejemplo con solape (ver sección 3.2.4)



- Momento flector: $m_{sd} = 120 \text{ kNm/m}$; Cortante en la junta: $v_{sd} = 50 \text{ kN/m}$
 $h = 300 \text{ mm}$; $d = 250 \text{ mm}$, $c = 4 \text{ cm}$
- Material: Hormigón C25/30, Calidad de acero: 500 N/mm^2
- Resistencia al fuego: F60 (1 h),
Material ignífugo para protección contra el fuego: 3 cm
- Armadura superior: $\varnothing 16$ s = 150 mm; $A_{s,real} = 1340 \text{ mm}^2/\text{m}$
Recubrimiento $c_f = 3 \text{ cm}$
- Armadura inferior: $\varnothing 10$; s = 200 mm; $A_{s,real} = 390 \text{ mm}^2/\text{m}$
- Nota: la fuerza actuante en la armadura existente es menor debido a un brazo mayor para absorber el momento: $\eta = 25 / 27 = 0.93$

a) Solape según normativa { 5.2.4, EC 2 : 1992}

$d_{s2} = 250 \text{ mm}$, $z_2 \approx 0.9 \times 250 = 225 \text{ mm}$;

$$A_{s,req} = 120 \times 1.15 / (0.225 \times 0.5) = 1227 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Longitud de solape: $l_s = 16 / 4 \times 500 / (2.7 \times 1.15) \times 1.4 \times 1227 / 1340 = 826 \text{ mm}$

Profundidad de empotramiento requerida l_{inst} :

Distancia libre entre barras $s_1 \leq 14 \text{ cm}$ (distancia entre bordes de barras, { fig 5.4, EC 2 : 1992}), el caso más desfavorable de las barras a posteriori será la que esté en el punto medio entre dos barras existentes:

⇒ aumentar la longitud de solape para aquellas situaciones en las que la separación entre las dos barras solpadas exceda $4\varnothing$

$$s_2 = s_1 / 2 - 4\varnothing = 14 / 2 - 4 \times 1.6 = 0.6 \text{ cm} \sim 1 \text{ cm}$$

$$\Rightarrow l_{inst} = l_s + c_f + s_2 = 83 + 3 + 1 = \underline{87 \text{ cm}}$$

b) Enfoque alternativo: Diseño con hoja de cálculo Hilti EXBAR (según *Splitting design*):

$F_{sd} = 1227 \times 0.5 / 1.15 = 533 \text{ kN/m}$, $c_{s1} = 5 \text{ cm}$ (al eje de la barra)

HIT HY 150 + HIT RE 500 (en que el *splitting* es determinante) ⇒ $l_b = 46 \text{ cm}$

Longitud del solape según ACI 318 ⇒ $l_s = 53 \text{ cm}$ ⇒ ACI es determinante

⇒ $l_{inst} = l_s + c_f + s_2 = 53 + 3 + 1 = \underline{57 \text{ cm}}$ (pero según el apartado siguiente resulta determinante la resistencia al fuego)

Resistencia al fuego (Apéndice A10):

Clase de resistencia al fuego F 60 (1 h)

Recubrimiento incluida la capa de material ignífugo: $c = 4 + 3 = 7 \text{ cm}$

$$F_{sT} = 0.6 \times 120 / 0.225 + 50 \times 0.6 = 350 \text{ kN/m} = 52.2 \text{ kN/barra}$$

{ENV 1992 (EC 2), parte 1-2:1995, sección 2.4.3 (4) y (5)}

$$\tau_{F,req} = 52 \text{ 200} / (16 \times \pi \times 530) = 1.96 \text{ N/mm}^2$$

Hilti HIT-HY 150: $\tau_T = 2.2 \text{ N/mm}^2 > 1.96 \text{ N/mm}^2$ ok

Hilti HIT-RE 500: $\tau_T = 1.0 \text{ N/mm}^2 < 1.96 \text{ N/mm}^2$ ⇒ i.e. incrementar la profundidad de empotramiento ($l_{inst} = \underline{63 \text{ cm}}$) e incrementar el material ignífugo a 5 cm

4.3. Conexión en muro sometido a flexión (Nudo de pórtico, ver sección 3.3)

4.3.1. Momento de apertura (presión de agua)

Análisis estructural (cálculo de la armadura de la conexión):

$$V_{1d} = \gamma_s \times p \times h^2 / 2 = 1.4 \times 10 \times 3.5^2 / 2 = 86 \text{ kN/m}$$

$$e = h / 3 = 3.5 / 3 = 1.17 \text{ m}$$

$$M_{1d} = V_{1d} \times e = 86 \times 1.17 = 100 \text{ kNm/m}$$

$$-M_{2d} = M_{1d} + V_{1d} \times z / 2 = 100 + 0.25 \times 86 = 121.5 \text{ kNm/m}$$

$$N_{2d} = V_{1d} = 86 \text{ kN/m}$$

$$M_{s3} = 0; V_2 = V_3 = 0; N_1 = N_3 = 0$$

Material:

Hormigón: C20/25, Calidad de acero: 500 N/mm²

$$h_1 = 420 \text{ mm}; h_2 = h_3 = 600 \text{ mm};$$

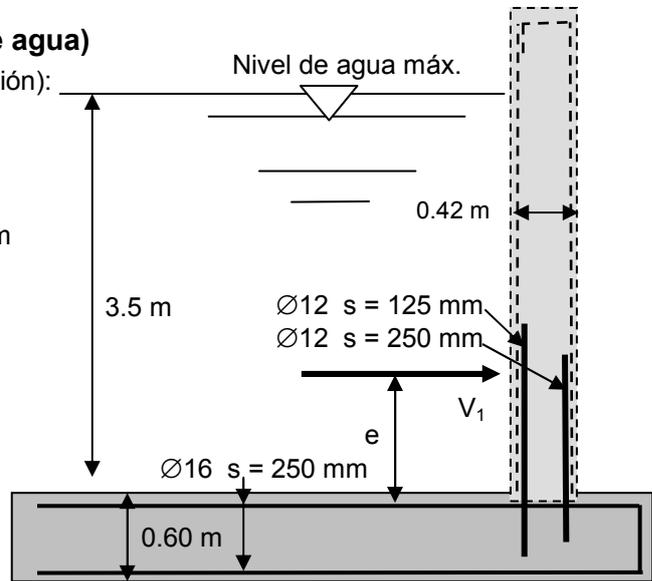
$$d_1 = 380 \text{ mm}; d_2 = d_3 = 560 \text{ mm};$$

$$z \approx 0.9 d: z_1 = 340 \text{ mm}; z_2 = z_3 = 500 \text{ mm}$$

$$A_{s1} = 905 \text{ mm}^2/\text{m} (\text{Ø}12 \text{ s} = 125 \text{ mm})$$

$$A_{s0} = A_{s2} = A_{s3} = 804 \text{ mm}^2/\text{m} (\text{Ø}16 \text{ s} = 250 \text{ mm})$$

$$c_s = h_2 - d_2 = 40 \text{ mm}$$



Nota: no figura el armado transversal

Profundidad de empotramiento de barras a posteriori: $\ell_{inst} = 54 \text{ cm}$

(Cálculo con EXBAR Frame Node: use nudo de pórtico con esfuerzos nulos)

Cálculo:

Fuerza en armadura a posteriori:

$$z_{1r} = 0.85 \times z_1 = 0.85 \times 340 = 289 \text{ mm}$$

$$F_{s1d} = M_{1d} / z_{1r} = 100.0 / 0.289 = 346 \text{ kN/m}$$

Resina: Hilti HIT-HY 150: $\ell_{b1} = 26 \text{ cm}$

$$\text{brazo } z_0 = \ell_{inst} - c_s - \ell_{b1} / 2$$

$$= 540 - 40 - 260 / 2 = 370 \text{ mm}$$

Fuerza adicional, ΔF_{s2d} , en la armadura:

$$\Delta F_{s2d} = M_{1d} \times (1 / z_0 - 1 / z) + V_{1d} \times (z_1 / z_0 - 1)$$

$$= 100.0 \times (1 / 0.37 - 1 / 0.50) + 86 \times (0.34 / 0.37 - 1)$$

$$= 63 \text{ kN/m}$$

Fuerza, F_s , en la armadura:

$$F_{s0d} = M_{2d} / z_2 + N_{2d} / 2 + \Delta F_{s2d} = 121.5 / 0.50 + 86 / 2 + 63 = 349 \text{ kN/m}$$

$$F_{s2d} = M_{2d} / z_2 + N_{2d} / 2 = 121.5 / 0.50 + 86 / 2 = 286 \text{ kN/m}$$

Comprobación:

$$A_{s1} \geq F_{s1d} \times \gamma_s / f_{yk}: A_{s1, req} = 346 \times 1.15 / 0.5 = 796 \text{ mm}^2/\text{m} \leq A_{s1, prov} = 905 \text{ mm}^2/\text{m} \quad \text{ok}$$

$$A_{s0} \geq F_{s0d} \times \gamma_s / f_{yk}: A_{s0, req} = 349 \times 1.15 / 0.5 = 803 \text{ mm}^2/\text{m} \leq A_{s0, prov} = 804 \text{ mm}^2/\text{m} \quad \text{ok}$$

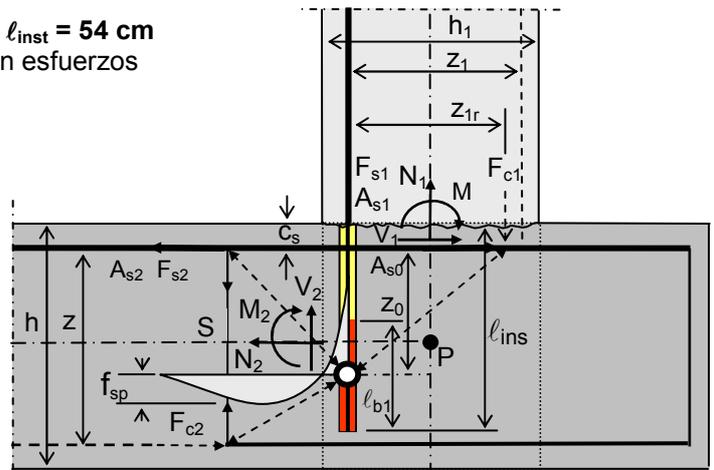
$$A_{s2} \geq F_{s2d} \times \gamma_s / f_{yk}: A_{s2, req} = 286 \times 1.15 / 0.5 = 658 \text{ mm}^2/\text{m} \leq A_{s2, prov} = 804 \text{ mm}^2/\text{m} \quad \text{ok}$$

Tracción en el hormigón debido a la fuerza de *splitting*, S_0 :

$$\text{Tracción de diseño: } f_{ctd} \approx \frac{0.7 \cdot 0.3}{\gamma_{ct}} \cdot f_{ck}^{2/3} = 0.117 \cdot 20^{2/3} = 0.86 \text{ N/mm}^2 \quad \{\text{Apartado 3.1.2.3, EC 2}\}$$

$$f_{sp,d} = M_{1d} \times (1 - z_0 / z) \times (1 - \ell_{b1} / 2z) \times 2.41 / (b z^2) = 100 \times (1 - 0.37 / 0.50) \times (1 - 0.26 / (2 \times 0.5))$$

$$\times 2.41 / (1.0 \times 0.5^2) = 185 \text{ kN/m}^2 = 0.18 \text{ N/mm}^2 \leq f_{ctd} = 0.86 \text{ N/mm}^2 \quad \text{ok}$$



4.3.2. Momento de cierre

Requisito:

Anclar las barras para que desarrollen su capacidad máxima y así resistir el máximo máximo de cierre posible.

$$A_{s1} = 452 \text{ mm}^2/\text{m} (\varnothing 12 ; s = 250 \text{ mm})$$

$$z_1 = 340 \text{ mm}$$

$$F_{s1d} = A_{s1} \times f_{yk} / \gamma_s = 452 \times 0.5 / 1.15 = 196.5 \text{ kN/m} = 49.1 \text{ kN/bar}$$

$$M_{1d} = F_{s1d} \times z_1 = 196.5 \times 0.34 = 66.8 \text{ kNm/m}$$

$$V_{1d} = M_{1d} / e = 66.8 / 1.2 = 55.7 \text{ kN/m}$$

$$-N_{3d} = V_{1d} = 55.7 \text{ kN/m}$$

$$-M_{3d} = M_{1d} - N_{3d} \times z_3/2 = 66.8 + 55.7 \times 0.25 = 80.7 \text{ kNm/m}$$

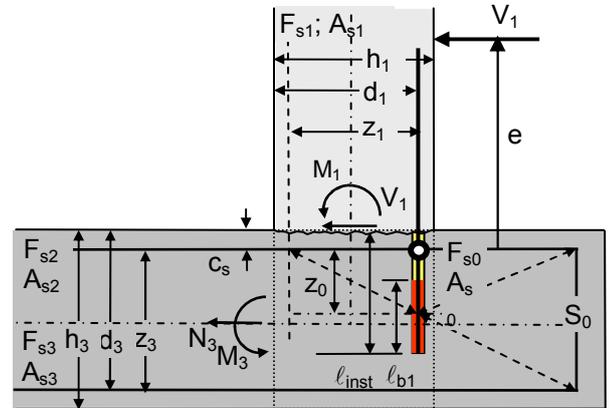
$$M_{2d} = 0; V_2 = V_3 = 0; N_1 = N_2 = 0$$

Material: Hormigón: C20/25, Calidad de acero: 500 N/ mm²

$$h_1 = 420 \text{ mm}; h_2 = h_3 = 600 \text{ mm}; d_1 = 380 \text{ mm}; d_2 = d_3 = 560 \text{ mm};$$

$$z \approx 0.9 d: z_1 = 340 \text{ mm}; z_2 = z_3 = 500 \text{ mm}$$

$$A_{s0} = A_{s2} = A_{s3} = 804 \text{ mm}^2/\text{m} (\varnothing 16 s = 250 \text{ mm}) \quad c_s \approx 40 \text{ mm}$$



Empotramiento de las barras a posteriori: $l_{inst} = 39 \text{ cm}$

Resina: Hilti HIT-HY 150: $l_b = 29 \text{ cm}$

$$\text{Cálculo: brazo } z_0 = l_{inst} - c_s - l_{b1} / 2 = 39 - 40 - (29 / 2) = 205 \text{ mm}$$

Fuerza adicional, ΔF_{s2d} , en la armadura:

$$\Delta F_{s2d} = M_{1d} \times (1/z_0 - 1/z) + V_{1d} \times (z_1/z_0 - 1) = 66.8 \times (1/0.205 - 1/0.50) + 55.7 \times (0.34/0.205 - 1) = 229 \text{ kN/m}$$

Fuerza, F_s , en la armadura:

$$F_{s0d} = \Delta F_{s2d} = 229 \text{ kN/m}$$

$$F_{s3d} = M_{3d} / z_3 + N_{3d}/2 = 80.7 / 0.50 - 55.7 / 2 = 133.5 \text{ kN/m}$$

$$\text{Comprobación: } A_{s1} \geq F_{s1d} \times \gamma_s / f_{yk}: A_{s1, req} = 196.5 \times 1.15 / 0.5 = 452 \text{ mm}^2/\text{m} = A_{s1, prov} = 452 \text{ mm}^2/\text{m} \quad \text{ok}$$

$$A_{s0} \geq F_{s0d} \times \gamma_s / f_{yk}: A_{s0, req} = 229 \times 1.15 / 0.5 = 527 \text{ mm}^2/\text{m} \leq A_{s0, prov} = 804 \text{ mm}^2/\text{m} \quad \text{ok}$$

$$A_{s3} \geq F_{s3d} \times \gamma_s / f_{yk}: A_{s3, req} = 133.5 \times 1.15 / 0.5 = 307 \text{ mm}^2/\text{m} \leq A_{s3, prov} = 804 \text{ mm}^2/\text{m} \quad \text{ok}$$

Fuerza de *splitting* S_0 : es absorbida por el armado que figura en el croquis como prolongación de A_{s3}

$$S_{0d} \approx M_{1d} \times (1 - z_0/z) \times (1 - l_b / (2 \times z)) \times 2/z = 66.8 \times (1 - 0.205/0.5) \times (1 - 0.29 / (2 \times 0.5)) \times 2 / 0.5 = 112 \text{ kN/m}$$

$$A_{s, req} = 112 \times 1.15 / 0.5 = 258 \text{ mm}^2/\text{m} \leq A_{s3, prov} = 804 \text{ mm}^2/\text{m} \quad \text{ok}$$

5. Homologaciones/ Bibliografía

5.1. Lista de homologaciones de la resina Hilti HIT-HY 150

País: EE.UU.
 Organización: International Conference of Building Officials (ICBO)
 Documento: Evaluation Report # 5193
 Título: Hilti HIT HY-150 Sistema de Fijaciones Adhesivos
 Comentario: Cubre varillas roscadas y aplicaciones de barras corrugadas en hormigón

País: EE.UU.
 Organización: Ciudad de Los Ángeles (COLA)
 Documento: Research Report 25257

País: EE.UU.
 Organización: Southern Building Code Congress International (SBCCI)
 Documento: Report No. 9930

País: Alemania
 Organización: Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt)
 Documento: Z-12.8-1648
 Título: Bewehrungsanschluß mit Hilti-Injektionsmörtel HIT-HY 150 (Conexión de corrugados con la resina Hilti HIT-HY 150)
 Comentario: Conexiones con corrugados a posteriori para acero B-500-S Ø8 – Ø25, según la norma DIN 1045 / EC 2

País: Francia
 Organización: SOCOTEC
 Documento: BX 1032
 Título: HY 150 fers à béton
 Comentario: Corrugado

5.2. Lista de homologaciones de la resina Hilti HIT-RE 500

País: EE.UU.
 Organización: International Conference of Building Officials (ICBO)
 Documento: Evaluation Report # 6010
 Título: Hilti HIT RE 500 Adhesive Anchor System
 Comentario: Cubre varillas roscadas y aplicaciones de barras corrugadas en hormigón

País: Francia
 Organización: SOCOTEC
 Documento: KX 0893
 Título: HIT-RE500 pour l'ancrage d'armatures pour béton armé
 Comentario: Corrugado

5.3. Apéndices (disponibles en la Oficina técnica de Hilti)

- A01 Detalles de redacción
- A02 Volumen aproximado de resina y marca de profundidad de la inyección
- A03 Diseño de anclajes y solapes a posteriori
- A04 Resumen de las especificaciones del Eurocódigo 2 (ENV 1992-1-1 :1992).
- A05 Comportamiento adherente de barras corrugadas en hormigón
- A06 Interacción entre 'splitting' y adherencia
- A07 Diseño de conexiones con corrugados empleando el sistema Hilti HIT y el enfoque del ACI 318-02
- A08 Estados límite de servicio (ELS)
- A09 Comportamiento frente a corrosión de armadura colocada a posteriori
- A10 Diseño contra el fuego
- A11 Fatiga de armadura colocada a posteriori sometida a cargas cíclicas

Herramientas de diseño (disponibles en la Oficina técnica de Hilti)

Hilti EXBAR: Hoja de cálculo Excel para el cálculo según teoría de hormigón armado (*splitting design*) y extracción de cono según teoría de anclajes (*shear design*)

Hilti Frame Node: Hoja de cálculo Excel para el cálculo de nudos de pórticos, EC2