

# LAS VENTAJAS Y LIMITACIONES DE LOS ENSAYOS DE ANCLAJES EN OBRA

**No te inventes el diseño, ensáyalo. Pero interprétalo correctamente.**

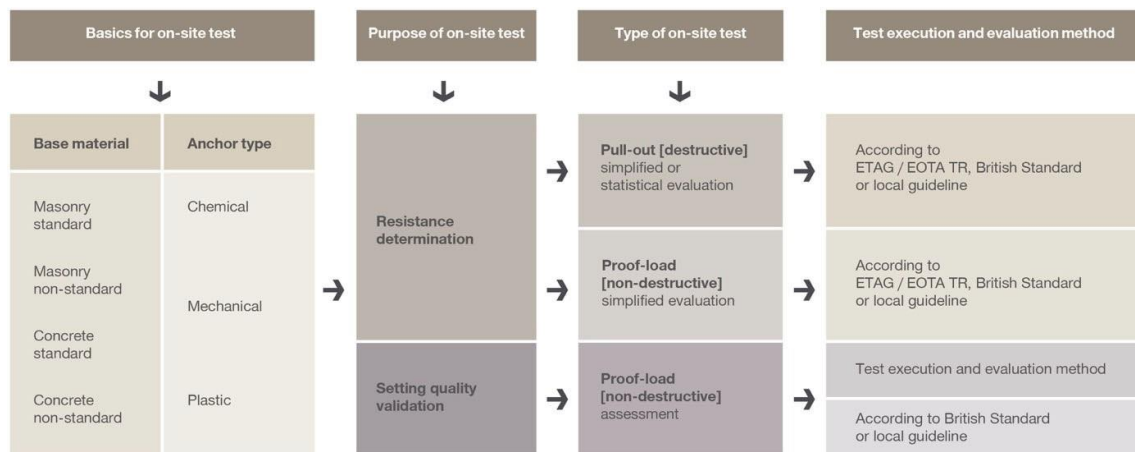
Si tienes alguna de las siguientes preguntas, puedes encontrar las respuestas en este documento.

- «¿Por qué son útiles los ensayos de anclajes en obra y en qué condiciones lo son?»
- «Hicimos ensayos en obra con Hilti y con otros productos. Los resultados fueron los mismos, ¿por qué debería usar Hilti?»

## RESUMEN

Los ensayos en obra son un recurso importante para la inspección de anclajes o de corrugados instalados a posteriori en los que:

- se considera necesaria una garantía adicional de la calidad de instalación (ensayo no destructivo) o en la que:
- la resistencia de diseño del material base es desconocida (ensayo destructivo o no destructivo)



**Fig. 1** Marco Hilti de ejecución y evaluación de ensayos basados en el material base y el tipo de anclaje, el propósito y el tipo de prueba en obra.



Sin embargo, si la interpretación de los resultados de los ensayos en obra no se realiza correctamente, esta evaluación podría comprometer la estabilidad de la estructura, poner vidas humanas en riesgo y/o conllevar consecuencias económicas importantes.

Las afirmaciones anteriores están explicadas y justificadas en las siguientes páginas.

## CONTEXTO GENERAL

Los sistemas de anclajes y corrugados instalados a posteriori de Hilti con homologación e instalados siguiendo las instrucciones de instalación del fabricante y sobre materiales base homologados no requieren ensayos en obra para verificar su rendimiento. Generalmente, te encontrarás tres situaciones en las que se deben realizar ensayos en obra:

- (a) Para **determinar la resistencia del diseño** en un material similar pero no idéntico al que se marca en la homologación correspondiente (ensayos destructivos o no destructivos)
- (b) Para **validar la calidad de la instalación** de anclajes utilizados en la obra (ensayos no destructivos)
- (c) Combinación de (a) con exigencias geométricas adicionales como distancias de borde, diámetros de corrugados/varillas, etc., que difieran de los valores marcados en la homologación correspondiente

Los **ensayos no destructivos** se realizan al aplicar cargas de tracción cuyo nivel de carga es lo suficientemente alto para garantizar la correcta instalación o para determinar valores de resistencia de diseño específicos, pero no tan altos como para provocar daños (por ejemplo, plastificación o deformación permanente) en un anclaje correctamente instalado. La carga debe mantenerse el tiempo suficiente para poder determinar que no hay desplazamiento en los anclajes o corrugados. Teniendo en cuenta este objetivo, debe quedar claro que las cargas de ensayo se calculan como un porcentaje de la capacidad de tracción homologada del anclaje o del corrugado y no de la carga de tracción del diseño.

Obsérvese que, dependiendo de la relación entre la profundidad, el diámetro y la calidad del acero, esta carga podría superar el límite elástico del anclaje. En los casos en los que se utilice acero de baja ductilidad, deberá verificarse que las cargas de ensayo no exceden el 80 % de la resistencia nominal a tracción de los componentes del anclaje de acero.

Si se utiliza el ensayo para verificar que la instalación es adecuada, el equipo de



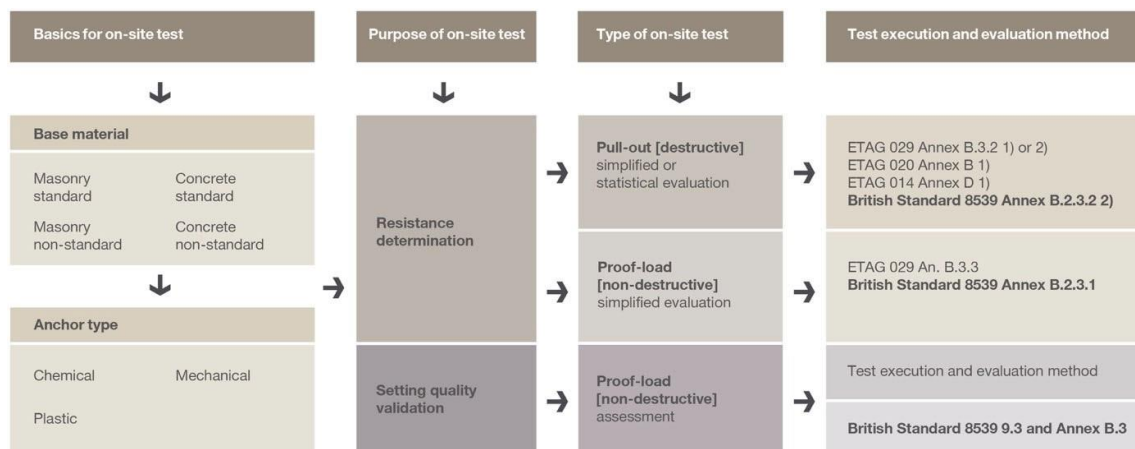
ensayo puede tener reacciones de carga cerca del anclaje, pero con suficiente espacio libre para que cualquier movimiento del mismo sea visible. Si se utiliza el ensayo para determinar los valores de resistencia del diseño, el equipo de ensayo debe tener reacciones de carga lejos del anclaje para determinar la resistencia del material base. Hilti proporciona un servicio completo de ensayos en obra con los equipos más modernos, incluidos informes detallados del ensayo e informes de evaluación.

La **carga destructiva** se realiza al aplicar cargas de tracción con un nivel de carga lo suficientemente alto para provocar daños (por ejemplo, plastificación del anclaje o un fallo del material base).

Los ensayos en obra con uno o varios productos **nunca pueden:**

- (a) Servir como sustitución de los ensayos de homologación para evaluar la idoneidad de un anclaje
- (b) Servir como medio para concluir cuál es un «mejor» producto al comparar las cargas de los ensayos en obra del producto A y el producto B

Aunque en Europa no existe una norma universal para la realización de ensayos en obra, este tipo de evaluación se ha utilizado durante muchas décadas como complementario al control de calidad de las instalaciones de anclajes y para determinar la resistencia del diseño. Por lo tanto, Hilti investigó las normas nacionales y europeas existentes para proporcionar un servicio de ensayos en obra consistente, global y de última generación.



**Fig. 2** Propuesta de Hilti para la ejecución de ensayos y el método de evaluación dependiendo del material base y el tipo de anclaje, el propósito y el tipo de ensayo.



Como se muestra en la Fig. 2, los ensayos y métodos de evaluación relevantes son:

- (a) **ETAG 029 Anexo B**, Anclajes de inyección de metal utilizados en mampostería, se recomienda que los ensayos se realicen en los trabajos de en la obra
- (b) **ETAG 020 Anexo B**, Anclajes plásticos con múltiples usos en hormigón y mampostería para aplicaciones no estructurales, se recomienda que los ensayos se realicen en los trabajos en la obra
- (c) **ETAG 014 Anexo D**, Anclajes plásticos para fijar sistemas mixtos de aislamiento externo térmico con enfoscado, guías para que los ensayos se realicen en los trabajos en la obra
- (d) **British Standard 8539 9.3 y Anexo B**, Código de buenas prácticas para la selección e instalación de anclajes instalados a posteriori en hormigón y mampostería, ensayos para comprobar la calidad de instalación y regímenes de ensayos en la obra

## ¿CUÁNTOS ANCLAJES/CORRUGADOS INSTALADOS A POSTERIORI DEBERÍAN ENSAYARSE?

No existe una norma universal sobre el porcentaje de anclajes o corrugados que debe ensayarse ni tampoco existe una base estadística para los porcentajes que se suelen especificar. Por lo tanto, Hilti volvió a investigar las normativas nacionales y europeas existentes para proporcionar una propuesta sobre el número de ensayos que deberían realizarse.

Sin embargo, las cifras que se muestran en la Fig. 3 deben considerarse únicamente como una muestra, ya que los requisitos pueden variar significativamente de un caso a otro. Evidentemente, el número de anclajes en los que se debe realizar un ensayo viene dictado, por ejemplo, por la seguridad estructural, así como por consideraciones prácticas y el motivo del ensayo. Por ejemplo, si bien es típico que se exija en un trabajo de gran envergadura la realización de ensayos a un valor comprendido entre el 2,5 y el 20 por ciento de los anclajes instalados de un determinado tipo y tamaño, este requisito debe ajustarse cuando, por ejemplo, solo se deban verificar cuatro anclajes grandes en una placa base. En este caso, es razonable exigir que se ensayen los cuatro anclajes, en particular si las consecuencias de fallo son significativas.

Para aplicaciones altamente redundantes y aplicaciones menos importantes, como los pasadores corrugados para aplicaciones en hormigón proyectado o pasadores en losas en gradiente, puede bastar con ensayar un muestreo aleatorio mínimo del 5% de los anclajes. En última instancia, el ingeniero debería



determinar el porcentaje de muestreo.

**Los ingenieros de Hilti están disponibles para asesorarte, pero la decisión sigue siendo de la dirección de obra.**

Purpose	Type	Method	Number of test anchors	Evaluation	Safety concept
Determine resistance	Destructive Pull-out tests to failure	ETAG 029 Annex B.3.2	nTest ≥ 15	Simplified analysis	Partial safety factor
			nTest = 5 to 14	Simplified analysis	
		ETAG 020 Annex B	nTest ≥ 15	Simplified analysis	
		ETAG 014 Annex D	nTest ≥ 15		
Validate quality	Non-destructive Tests to predefined load	British Standard 8539 Annex B.2.3.2	nTest = 5 to 15 (or more)	Simplified analysis	Global safety factor
		ETAG 029 Annex B.3.3	nTest ≥ 15	Simplified analysis	Partial safety factor
		British Standard 8539 Annex B.2.3.1	nTest = 5		Global safety factor
		British Standard 8539 9.3 + Ann. B.3	nTest ≥ 2,5% OR nTest ≥ 5% Min. 3 fastenings	Assessment	

**Fig. 3** Número de ensayos que deben realizarse según el método de evaluación, el propósito y la razón (tipo)



## VAYAMOS A LA OBRA Y VEAMOS DISTINTOS ESCENARIOS

### Escenario A

**a1) Anclajes homologados para mampostería instalados en un ladrillo de mampostería no estándar**

**a2) Anclaje o corrugado instalado a posteriori homologado para hormigón que se instalarán en un hormigón del que no se conoce la resistencia.**

**¿Es este un escenario adecuado para los ensayos en obra de Hilti?**

La respuesta es claramente «sí»

**¿Por qué?**

No se dispone de datos técnicos para el diseño del anclaje o los datos técnicos de la solución de fijación específica están incompletos. Esto se basa en el hecho de que, como se ha mencionado anteriormente, el material base no se conoce lo suficiente y no está adecuadamente cubierto por una homologación, pero está dentro de la categoría (similitud) y por lo tanto es comparable con el material base de la homologación.

¿Por qué es tan importante la «similitud» del material base?

Conocemos muy bien el parámetro que influye en la carga de fallo del cono de hormigón de los anclajes anclados en hormigón o mampostería de peso normal. Los principales parámetros para el fallo del cono de hormigón son la profundidad de empotramiento ( $h_{ef}$ ) y la resistencia a compresión del hormigón ( $f_c$ ). Sin embargo, no tenemos ninguna muestra de cómo se comporta un anclaje en un material base como el hielo o la mantequilla. Aunque los ensayos en obra nos dieran «resultados», todavía no podemos diseñarlo, porque no conocemos los parámetros decisivos sobre el fallo, por lo que el material base debería ser similar al que está en el marco de la homologación

**La información necesaria o las preguntas que deben hacerse para el**

**Escenario A:** ¿Es la estructura sensible a posibles daños o hay otros problemas de apariencia arquitectónica?

Si la respuesta es «no», se pueden aceptar los daños resultantes de los ensayos en obra y se pueden realizar ensayos en obra destructivos para determinar la resistencia de la solución de fijación.

Es importante señalar que en estos casos se puede realizar una evaluación simplificada o



estadística. En ese caso se necesitarán menos ensayos.

Si la respuesta es «sí», no se puede aceptar el daño de los ensayos. Hay que confiar en los ensayos en obra no destructivos para determinar la resistencia de la solución de fijación. Se necesitarán un mayor número de ensayos cuando solo es posible una evaluación simplificada.

### **Experiencia en la obra:**

Las propiedades mecánicas de un material base, especialmente en el caso de la mampostería, no siempre son lo que se espera. Algunos ladrillos de aspecto más débil entregarán los valores de tracción que te esperas, mientras que otros que esperarías que aguantaran cargas de tracción más altas, se quedarán cortos.

En un caso específico, Hilti asistió a un equipo en obra que estimó que la capacidad de un anclaje instalado en un muro de ladrillos sería al menos el mínimo de nuestra carga permitida. Se estimó correctamente, pero aun así se tuvo que cambiar el diseño.

La resina se instaló eficazmente en el ladrillo - nada que comentar a este respecto. Al realizar los ensayos en obra con la carga permitida como ensayo no confinado (soporte ancho) el ladrillo fue sacado directamente de la pared de mampostería. El culpable de esto fue el mortero de la mampostería, que era como un polvo de grano fino. Así que el ingeniero decidió reevaluar su diseño gracias a esta aleccionadora demostración.



## Escenario B

(b<sub>1</sub>) El sistema de anclaje o de corrugado homologado debe instalarse en material base conocido y homologado. El proyectista incluyó los requisitos de prueba de carga en las notas generales de los planos estructurales.

### ¿Es este un escenario adecuado para los ensayos en obra de Hilti?

La respuesta es claramente «sí»

### ¿Por qué?

Incluir ensayos de anclajes en su diseño estructural es clave para asegurar la calidad de la instalación. Los sistemas de anclajes químicos (como el mortero epoxi) tienen requisitos especiales para asegurar que el adhesivo se mezcle y se dispense correctamente. Estos suelen incluir el desecho de una pequeña cantidad de resina desde la boquilla de mezcla antes de inyectarlo en el taladro. Durante la inyección de resina se debe evitar que haya aire retenido. En el caso de los agujeros largos y los agujeros perforados horizontalmente o por encima de la cabeza, puede especificarse la necesidad de un equipo especial, como tubos de extracción, tapones y tapas, para lograr una inyección correcta. Por lo tanto, se necesitan técnicas de instalación adecuadas para que los anclajes funcionen correctamente.

Esto, en general, también puede conseguirse si:

- (a) El personal que realiza la instalación del anclaje tiene experiencia y está cualificado para instalar correctamente los anclajes (esta formación puede solicitarse a Hilti). Por ejemplo, en los EE. UU. los adhesivos instalados a posteriori deben manejarlos instaladores certificados, mientras que en Alemania esta certificación solo es necesaria en las conexiones de corrugados instaladas a posteriori.
- (b) Durante la instalación se realizan inspecciones periódicas. Esto rara vez se hace en Europa.

Por lo tanto, se pueden realizar ensayos en obra no destructivos para validar la calidad de la instalación de las fijaciones instaladas de acuerdo con la Fig.1 y la Fig. 2.

### La información necesaria o las preguntas que deben hacerse:

¿Cuáles son las consecuencias en el caso en el que un anclaje falle en el ensayo? Las consecuencias deben estar especificadas de antemano por el ingeniero responsable para mantener el proyecto de construcción en marcha.





## Escenario C

Antes de nada, debes saber que esta no es una situación adecuada para los ensayos en obra, aunque ocurra con bastante frecuencia

**(c<sub>1</sub>) El rendimiento de los anclajes o de los corrugados instalados a posteriori de diferentes productos se compara en la obra mediante ensayos en obra, comparando los valores de carga medidos de cada uno de los productos.**

### ¿Es este un escenario adecuado para los ensayos en obra de Hilti?

La respuesta es claramente **«no»**. Extraer conclusiones erróneas de los ensayos en obra podría comprometer la estabilidad de la estructura, poner vidas humanas en riesgo y/o conllevar consecuencias económicas importantes.

### ¿Por qué?

Ahora nos toca profundizar un poco más.

Fundamentalmente, todos los tipos de anclajes relevantes para la seguridad deben ser diseñados de tal manera que sean resistentes y duraderos bajo cargas de servicio y que proporcionen un margen adecuado de seguridad frente a fallos. Por lo tanto, en la Unión Europea, los Estados Unidos y otros países existen procesos de homologación para proporcionar una evaluación independiente.

Las homologaciones se basan en ensayos destinados a verificar la **idoneidad de un sistema** y determinar las **condiciones de servicio admisibles**.

Los ensayos de idoneidad están diseñados para verificar la eficacia del anclaje en condiciones de aplicación desfavorables. Estos ensayos se realizan generalmente en hormigón con una resistencia en los extremos inferior y superior del campo de aplicación habitual. Se pueden elegir ensayos en muestras de hormigón fisurado y no fisurado, en función del uso previsto del anclaje. Los efectos de las desviaciones de la instalación se comprueban en la medida en que estas son relevantes. Entre los factores investigados y contemplados en los documentos de homologación pueden figurar:

- Tolerancias extremas de la broca
- Técnica y esfuerzo variados aplicados a la limpieza del orificio
- Variaciones en el grado de expansión del anclaje
- Proximidad del anclaje a las barras de refuerzo
- Variaciones en el contenido de humedad y temperatura en el hormigón
- Sustancias agresivas/reactivas.

Estos ensayos pueden explicar la influencia de las cargas sostenidas y repetitivas que



actúan sobre el propio anclaje, así como sobre el componente en el que se coloca el anclaje.

En los ensayos de idoneidad también se tienen en cuenta las circunstancias que pueden darse al instalar el anclaje y durante su vida útil. En resumen, podemos decir que un producto sensible a estas circunstancias puede tener cargas de prueba comparables durante los ensayos en obra en comparación con un producto no sensible. Sin embargo, si se sometieran a ensayo todas las circunstancias (lo que implica cientos de ensayos, como los realizados durante el proceso de homologación), las diferencias podrían ser significativas o incluso podría suceder que un producto de este tipo nunca obtuviera una homologación.

Otra palabra de moda para el escenario C es «comportamiento a largo plazo» y debemos recordar que la vida útil esperada de un anclaje o un corrugado es de al menos 50 años.

El comportamiento a largo plazo de los anclajes o de los corrugados instalados a posteriori también se comprueba dentro del proceso de homologación con los ensayos más relevantes que se mencionan a continuación.

- Funcionamiento bajo carga sostenida (ensayo de fluencia)
- Ensayo de movimiento de grietas (anclajes mecánicos y de unión)
- Funcionamiento en condiciones de congelación/descongelación (solo en anclajes de unión)
- Ensayos para comprobar la durabilidad (solo en anclajes de unión)

Este comportamiento tampoco **puede comprobarse nunca** por un «simple ensayo en obra» y una comparación de valores.

**Por lo tanto, la conclusión errónea del Escenario C puede llevar a alcanzar un valor crítico de desplazamiento del anclaje o del corrugado instalado a posteriori durante la vida útil por un fallo de extracción.**

Analicemos más a fondo el ensayo de movimiento de grietas mencionado anteriormente. Puede parecer sorprendente, pero este ensayo es decisivo para la mayoría de los productos de anclaje.

Los productos que muestran valores de carga más altos en un ensayo de extracción pueden fallar en el ensayo de movimiento de grietas.

Sin entrar en detalles sobre el procedimiento exacto, los ensayos se realizan de la siguiente manera:

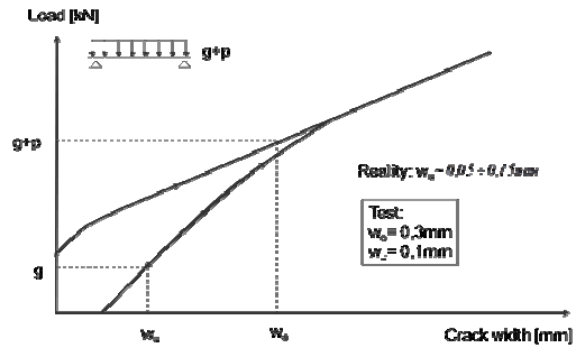
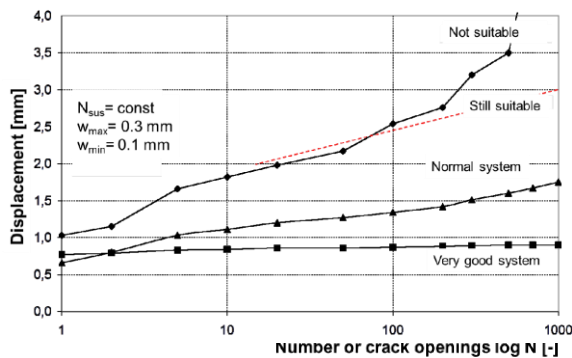
Tras instalar los anclajes en el hormigón fisurado, los anclajes están sometidos a una **carga sostenida** basada en la carga característica evaluada en un ensayo de corto plazo/ensayo de extracción.

Mientras los anclajes están cargados bajo tracción, las grietas se abren entre 0,1 mm y 0,3 mm 1000 veces y se mide el desplazamiento del anclaje bajo tracción. Durante estas pruebas el desplazamiento medido debe estar por debajo del valor constante de 3 mm.

La Fig. 4a muestra los resultados de tres productos diferentes mediante el trazado del desplazamiento medido en función del número de aperturas de grietas. Mientras que dos sistemas cumplirían los requisitos relativos al desplazamiento máximo, el otro no los cumpliría debido a que el desplazamiento medido es mayor que el desplazamiento límite de 3 mm, lo que resulta en un fallo de extracción durante su vida útil.

La siguiente pregunta es: «¿Por qué realizamos estos ensayos?»

Al responder a una carga permanente, una estructura experimenta un desplazamiento y, por consiguiente, una deformación. Esta deformación conduce a la formación de grietas.



a) Desplazamiento medido en función de las aberturas de las grietas para el ensayo de apertura de grietas

b) La carga que actúa en una viga en función del ancho de la grieta



**Fig.4** Resultados del ensayo de movimiento de grietas (a) y explicación razonable del ensayo de movimiento de grietas (b)

Este comportamiento se muestra esquemáticamente en la Fig. 4b. En la Fig. 4b la carga permanente «g» y la carga variable «p» se dan en función de la anchura de la grieta de una viga. En la vida de la viga probablemente no se producirán grietas si la carga permanente actúa sobre la viga la primera vez. Sin embargo, si la carga variable se considera combinándola con la carga permanente (g+p) la deformación aumentará y provocará la apertura de grietas en la viga. Si la viga se descarga al nivel de la carga permanente de nuevo, la deformación disminuirá mediante la reducción del ancho de la grieta. Sin embargo, debido a la superficie rugosa de la superficie agrietada, la grieta no estará completamente cerrada.

Por lo tanto, el ancho de la grieta inferior es de alrededor de 0,1 mm. Durante la vida útil de la viga esta apertura de la grieta se repetirá. La ETAG evalúa 1000 aperturas y cierres de la grieta para representar la vida útil del adhesivo/anclajes de unión.

Este comportamiento de los anclajes nunca puede comprobarse mediante ensayos en obra. Sin embargo, esto se incluye en los valores básicos de resistencia de la adherencia característicos proporcionados en el documento de homologación correspondiente.

**En palabras de un ingeniero experimentado:**

«Los ensayos son fáciles si sabes lo que estás haciendo. No tiene que llevarte mucho tiempo si utilizas el servicio de ensayos en obra de Hilti. Y puede darte la tranquilidad de saber que no estás adivinando. ¿Cómo sabes cuándo estás adivinando? Tal vez pienses en tu diseño cuando llegues a casa. Sueñas con una cierta conexión. Algo no está del todo bien pero no estás seguro de lo que es».

**«No intentes adivinarlo. Ensáyalo. Pero interprétalo correctamente. ¡Y deja de preocuparte!»**