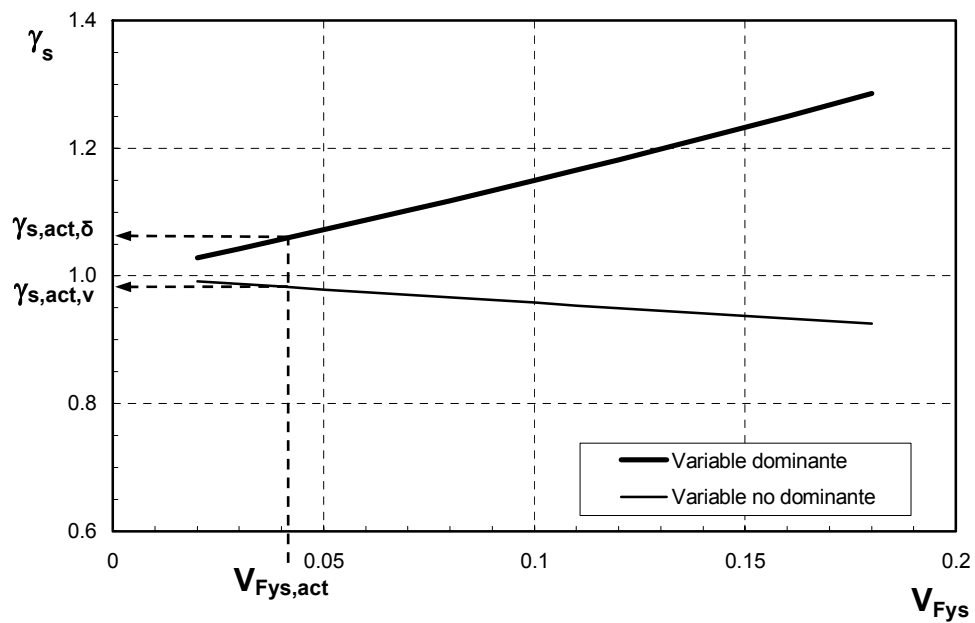


III CONGRESO DE ACHE DE PUENTES Y ESTRUCTURAS

LAS ESTRUCTURAS DEL SIGLO XXI
Sostenibilidad, innovación y retos del futuro

Investigaciones y estudios



SIMPLONES Y CONSERVADORES. MODELOS SEMIPROBABILISTAS PARA LA EVALUACIÓN DE ESTRUCTURAS EXISTENTES DE HORMIGÓN

Peter TANNER ¹, Carlos LARA SARACHE ²

¹ Ing. ETHZ/SIA. Ing. CC y P. Instituto de Ciencias de la Construcción, IETcc - CSIC

² Ing. Civil UPEV (Ucr.). Instituto de Ciencias de la Construcción, IETcc - CSIC

RESUMEN

Se presenta el desarrollo de unos modelos semiprobabilistas para la evaluación de estructuras existentes de hormigón. A partir de ciertas consideraciones teóricas e hipótesis, y empleando un formato similar al adoptado por la norma EHE actual para el dimensionado de estructuras nuevas, se deducen los modelos probabilistas que representan el estado de incertidumbre correspondiente a las reglas de dicha norma. Los modelos probabilistas deducidos conducen a valores de los coeficientes parciales suficientemente próximos a los de la EHE, lo que demuestra la validez de las hipótesis adoptadas. Así mismo, se obtienen representaciones de los coeficientes parciales para las diferentes variables en función de sus coeficientes de variación que permiten tener en cuenta, de manera sencilla, la influencia de la reducción de las incertidumbres asociadas a las variables a través de su actualización.

PALABRAS CLAVE

Estructuras existentes; fiabilidad estructural; evaluación; métodos probabilistas; métodos semiprobabilistas.

1. INTRODUCCIÓN

En la evaluación de la seguridad que presenta una estructura existente para las condiciones actuales y futuras de uso, es necesario abordar problemas distintos de los que habría que resolver en el dimensionado de estructuras de nueva construcción. En un dimensionado, las hipótesis de cálculo se basan en valores esperados de las cargas y de la resistencia de la estructura, y deben tener en cuenta las incertidumbres relacionadas con la ejecución. Cuando la estructura analizada existe ya, son muchas las incertidumbres que se pueden reducir porque es posible afinar los modelos de cálculo para cada caso, aprovechando los resultados de inspecciones, ensayos y mediciones *in situ*. La diferencia fundamental entre la evaluación de una estructura existente y el dimensionado de una de nueva construcción reside en el estado de la información. En estructuras existentes normalmente es posible incrementar el nivel de precisión de los modelos de cálculo a través de la adquisición de más

datos sobre la estructura analizada. En la mayoría de los casos, el coste de la actualización de la información se compensa con una reducción significativa del coste de la intervención o de otros costes, puesto que una evaluación demasiado conservadora puede conducir a limitaciones no justificadas de las cargas variables de uso, así como a refuerzos o demoliciones innecesarias de estructuras existentes.

Actualmente no existen herramientas que permitan abordar fácilmente los problemas relacionados con la evaluación de la fiabilidad de estructuras existentes. El borrador del Código Técnico de la Edificación (CTE) contiene un documento relativo a la evaluación de estructuras existentes [1]. Dicho documento establece el marco global para llevar a cabo las evaluaciones. Incluye un procedimiento de evaluación por fases en el cual partiendo de datos generales se va afinando la precisión de los modelos para la resistencia y para los efectos de las acciones de una fase a otra, mejorando las hipótesis de cálculo a través de la actualización de la información (apartado 2).

En el marco del procedimiento mencionado se incluye un método de evaluación que emplea el mismo formato de verificación que se usa habitualmente en el dimensionado de estructuras nuevas, pero modificando los valores representativos de las variables y los coeficientes parciales en función de la información actualizada. Sin embargo, el documento no contiene información específica relativa a estas modificaciones por lo que su aplicación queda restringida. Se necesitan conocimientos detallados de los métodos probabilistas de cálculo, poco aptos para ser aplicados en la práctica diaria, para poder aprovechar las ventajas inherentes al procedimiento de evaluación por fases que permite tener en cuenta la influencia de la reducción del nivel de incertidumbre asociada a las variables. Por esta razón, se ha propuesto obtener unos modelos para las acciones y para la resistencia de las estructuras de hormigón que por un lado, permitan aplicar, a efectos de las verificaciones, el mismo formato semiprobabilista que se emplea en el dimensionado de estructuras nuevas y, por otro lado, permitan tener en cuenta la información actualizada sobre la estructura existente, sin la necesidad de emplear métodos probabilistas de cálculo.

2. PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN POR FASES

En la Figura 1 se muestra la idea del procedimiento de evaluación contenido en [1], así como su relación con la actualización de la información. El procedimiento de evaluación comprende tres fases denominadas respectivamente como *Evaluación preliminar*, *Evaluación detallada* y *Evaluación con métodos de análisis de la fiabilidad*. Los modelos particularizados que se ha propuesto obtener serán aplicados en la segunda fase del procedimiento, en la que la verificación de la seguridad de la estructura se lleva a cabo mediante un análisis determinista con modelos actualizados. En dicho análisis se emplean coeficientes parciales particularizados, en el sentido de que tienen en cuenta la actualización de las incertidumbres asociadas con las diferentes variables que intervienen en la Función Límite, conjuntamente con valores representativos actualizados para las mismas variables (relativas a las acciones y la resistencia).

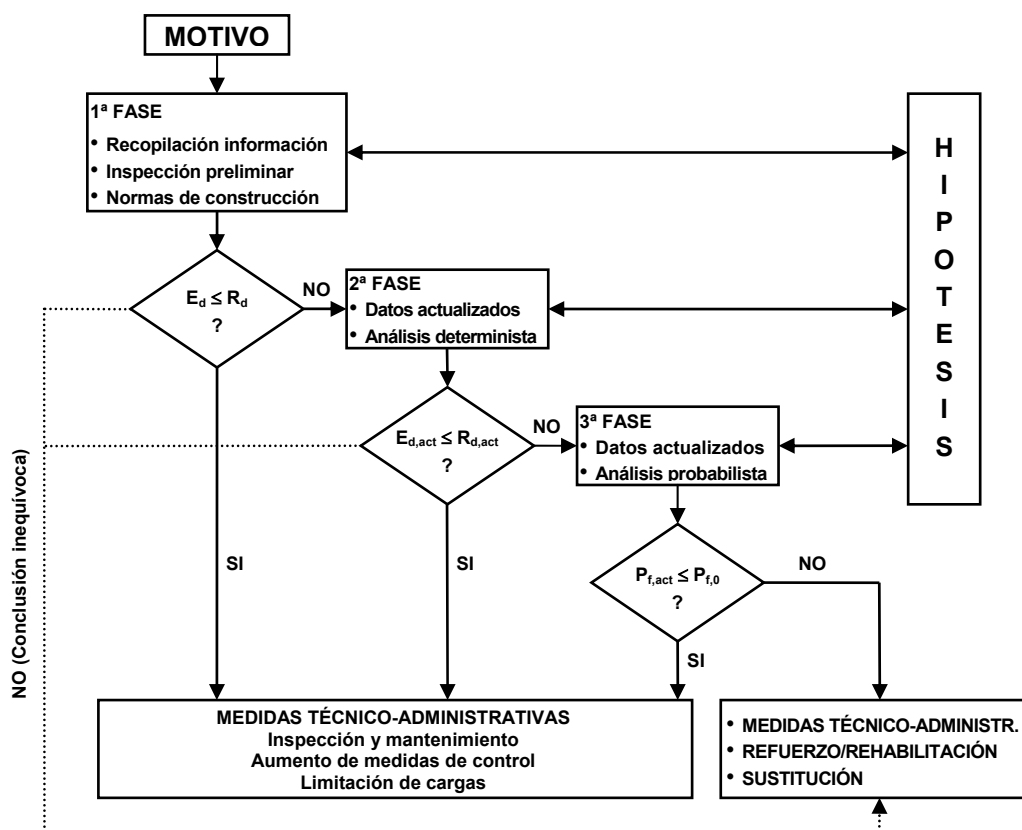


Figura 1. Procedimiento de evaluación por fases

3. INFLUENCIA DE LA ACTUALIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN

3.1. Motivación y objetivos

Para decidir si una estructura existente tiene una fiabilidad adecuada, se suele partir del axioma que estipula que una estructura correctamente dimensionada y construida según un conjunto consistente de normas que estén en vigor, por definición, se puede considerar suficientemente segura. De acuerdo con este axioma es posible determinar la probabilidad de fallo admisible o, lo que es equivalente, la fiabilidad requerida de una estructura existente. No obstante, a estos efectos es necesario conocer los modelos probabilistas de las variables que estén detrás de las reglas de las normas en vigor. El conocimiento de estos modelos también es necesario a efectos de la actualización de la información para la evaluación de una estructura existente.

La dificultad reside en que los modelos mencionados no se han establecido explícitamente ya que la norma EHE actual [2] no se ha calibrado mediante métodos probabilistas. Consecuentemente, el desarrollo de los modelos semiprobabilistas para la evaluación de las estructuras existentes de hormigón implica abordar las siguientes tareas:

- Deducción de los modelos probabilistas que representen el estado de incertidumbre correspondiente a las reglas de la norma EHE actual.
- Estimación de la influencia de la actualización de la información relativa a las variables sobre los modelos semiprobabilistas de cálculo. Una vez conocida esta influencia, resulta relativamente fácil adaptar los modelos de cálculo de la norma EHE, pensados para el dimensionado de estructuras nuevas, a efectos de la evaluación de estructuras existentes de hormigón.

3.2. Alcance

La deducción de los modelos probabilistas en los que se basan implícitamente las reglas de la norma EHE, así como el estudio de la influencia de la actualización de la información en los modelos semiprobabilistas de cálculo se realiza para los elementos estructurales más representativos:

- Elementos solicitados por momentos flectores;
- Elementos solicitados por esfuerzos axiales de compresión;
- Elementos solicitados por esfuerzos cortantes.

Se consideran únicamente elementos de hormigón armado, ejecutados *in situ*. Las consideraciones relativas a estos elementos se podrían ampliar fácilmente a los elementos pretensados. En cuanto a los elementos prefabricados, la norma EHE no contiene modelos semiprobabilistas que diferencien específicamente entre elementos *in situ* y elementos prefabricados. Por este motivo, los desarrollos realizados se refieren a los primeros. Además, la diferencia entre los elementos prefabricados y los elementos *in situ* se puede manifestar en una reducción de las incertidumbres asociadas con algunas de las variables (resistencia del hormigón, geometría). Esta diferencia resulta irrelevante a efectos de la deducción de los modelos probabilistas que están detrás de las reglas de la norma EHE. En caso de que sea relevante a efectos de la evaluación de una estructura existente, la reducción de las incertidumbres se podrá tener en cuenta a través de la actualización de la información sobre la estructura. Por motivos similares (entre otros), para la deducción de los modelos probabilistas *a priori* sólo se tienen en cuenta las reglas de la EHE correspondientes a un control intenso de la ejecución. En relación con los efectos de las acciones solo se tienen en cuenta los debidos a las situaciones persistentes y transitorias. Los efectos debidos a situaciones extraordinarias no se contemplan, básicamente por falta de los datos necesarios para establecer los modelos probabilistas correspondientes.

3.3 Modelos probabilistas *a priori*

La deducción de los modelos probabilistas simplificados que representen el estado de incertidumbre correspondiente a las reglas de la norma EHE actual, está basada en consideraciones teóricas y en una serie de hipótesis. Unas y otras se resumen en [9], que también contiene la definición del procedimiento iterativo adoptado para la deducción de los modelos probabilistas *a priori*. Estos deben cumplir con los siguientes requisitos:

- deben ser consistentes con los modelos del *JCSS Probabilistic Model Code* [4];

- su aplicación debe conducir a coeficientes parciales suficientemente próximos a los coeficientes admitidos en la norma EHE, para que representen el estado de incertidumbre correspondiente a las reglas de esta norma.

Tabla 1. Modelos probabilistas *a priori* para las acciones y sus efectos, y para la resistencia de los elementos de hormigón armado

Variable	Notación	Tipo	Sesgo ¹⁾	CoV ²⁾
Acciones y sus efectos en los elementos de hormigón				
Peso propio del hormigón <i>in situ</i>	g_c	N	1,0	0,04
Otras cargas permanentes	g_p	N	1,0	0,1
Sobrecarga variable	q_i	Gumbel	0,68	0,26
Carga de nieve	q_i	Gumbel	0,33	0,81
Incertidumbres del modelo para el cálculo de los efectos de las acciones:				
- Momentos flectores	$\xi_{E,M}$	LN	1,0	0,1
- Esfuerzos axiales	$\xi_{E,N}$	LN	1,0	0,05
- Esfuerzos cortantes	$\xi_{E,V}$	LN	1,0	0,1
Resistencia de los elementos de hormigón				
Resistencia a compresión del hormigón	f_c	LN	1,24	0,18
Límite elástico del acero de armar	f_{ys}	LN	1,12	0,053
Área del acero de armar	A_s, A_{sw}	N	1,0	0,02
Dimensiones exteriores de las secciones de hormigón	a, b, h, b_w	N	1,0	0,03
Canto útil	d	N	1,0	0,04
Incertidumbres del modelo de resistencia				
- Flexión	$\xi_{R,M}$	LN	1,0	0,05
- Compresión	$\xi_{R,N}$	LN	1,0	0,05
- Tracción en el alma	ξ_{R,V_s}	LN	1,0	0,05
- Compresión oblicua en el alma	ξ_{R,V_c}	LN	1,4	0,25

¹⁾ El sesgo es el ratio entre el valor medio y el valor representativo de una variable básica.

²⁾ El coeficiente de variación es el ratio entre la desviación típica y el valor medio de una variable básica.

Los modelos probabilistas para las variables que intervienen en las reglas de la norma EHE, deducidos de acuerdo con el procedimiento definido en [9], están resumidos en la Tabla 1. Se distingue entre los modelos para las variables de

las acciones y de sus efectos por un lado, y los modelos para las variables de resistencia de los elementos de hormigón armado por otro lado.

3.4 Influencia de la información actualizada en los modelos semiprobabilistas

No es posible deducir directamente, con métodos deterministas, la influencia de la actualización de la información relativa a las variables que intervienen en un análisis estructural sobre los modelos semiprobabilistas de las mismas variables. La estimación de esta influencia requiere la consideración de aspectos teóricos así como la adopción de algunas hipótesis. Debido a que la actualización de la información sobre una estructura existente conlleva una reducción de las incertidumbres asociadas con las variables arriba mencionadas, el estudio de la influencia de esta reducción está estrechamente relacionado con la deducción de los modelos probabilistas simplificados para las mismas variables que representen el estado de incertidumbre correspondiente a las reglas de dimensionado de la normativa en vigor. Por este motivo, los aspectos teóricos y la mayoría de las hipótesis necesarias para estudiar la influencia de la actualización de la información relativa a las variables sobre los modelos semiprobabilistas son comunes a los aspectos teóricos y las hipótesis requeridos para la deducción de los modelos probabilistas simplificados [9]:

- A efectos de la representación de la influencia de la información actualizada sobre los modelos semiprobabilistas de las variables se emplea un formato de los coeficientes parciales que es equivalente al de la EHE, pero que se ajusta mejor a la aplicación en la evaluación de las estructuras existentes de hormigón.
- Para poder estimar el beneficio de la reducción de las incertidumbres asociadas con las variables que intervienen en una evaluación estructural, es necesario disponer de una base de comparación. En otras palabras, es necesario conocer el estado de incertidumbre *a priori*. De acuerdo con el axioma mencionado en el apartado 3.1, el enfoque más lógico para determinar la probabilidad de fallo admisible de una estructura existente consiste en fijarla en los niveles aceptados según la práctica habitual, que a su vez queda reflejada en la normativa en vigor. La probabilidad de fallo

admisible depende del estado de incertidumbre correspondiente a las reglas de esta normativa.

- Por todo lo anterior, el conocimiento de los modelos probabilistas *a priori* que representen el estado de incertidumbre correspondiente a las reglas de la norma EHE (apartado 3.3) resulta indispensable para estimar la influencia de un cambio en las incertidumbres sobre los modelos semiprobabilistas.
- En un análisis semiprobabilista de la seguridad de una estructura existente, los coeficientes parciales para las acciones y para la resistencia se emplean conjuntamente con los valores representativos de las acciones y de la resistencia. La actualización de la información relativa a una variable mediante la colección de datos específicos, cuyo objetivo consiste en la reducción de las incertidumbres asociadas con esta variable, influye tanto en su valor representativo como en el coeficiente parcial correspondiente. La influencia de este cambio de la información en el valor representativo se puede deducir evaluando los resultados experimentales según métodos estadísticos, teniendo en cuenta los conocimientos previos disponibles. De esta manera se obtiene el valor representativo actualizado de la variable.
- La estimación de la influencia del cambio de la información en el coeficiente parcial es más compleja. A estos efectos se representan los coeficientes parciales en función de los valores representativo y de cálculo, respectivamente, de las variables cuyas incertidumbres representan. A efectos de la representación de los valores de cálculo de las variables se emplea el método FORM [3] y se tienen en cuenta el tipo de distribución probabilista asumida para la variable, el índice de fiabilidad requerido según la norma EHE, así como los factores de sensibilidad normalizados según el método FORM. Las incertidumbres asociadas con las variables se tienen en cuenta a través de sus coeficientes de variación. Los valores representativos de las variables se representan según su definición (el valor medio en el caso de las acciones permanentes; un valor con una determinada probabilidad de no ser superado en el caso de las acciones variables; etc.), en función de sus parámetros probabilistas.

- A partir de los valores de cálculo de las variables y de sus valores representativos se deducen los coeficientes parciales. Estos coeficientes parciales tienen en cuenta las incertidumbres asociadas con las diferentes variables, según el formato de coeficientes parciales establecido. Normalmente, la actualización de la información relativa a una variable no solamente se traduce en una variación de su valor esperado, sino también en una variación de su dispersión. Ya que ésta es representada a través de su coeficiente de variación, los coeficientes parciales para las diferentes variables se establecen en función de sus coeficientes de variación.
- Conjuntamente con la influencia arriba mencionada en los valores representativos de las variables, esta relación entre los coeficientes parciales y los coeficientes de variación de las mismas variables caracteriza la influencia de la variación del estado de incertidumbre en los modelos semiprobabilistas.
- Es necesario validar los resultados obtenidos sobre la base de las anteriores consideraciones. En particular, es necesario asegurar que resulten adecuadas las hipótesis adoptadas en el marco del método FORM. A estos efectos se elabora un procedimiento para deducir el nivel de fiabilidad implícito en la norma EHE.

4. COEFICIENTES PARCIALES ACTUALIZADOS

Como se ha dicho antes (apartado 3.4), la actualización de la información relativa a una variable influye, no solamente en su valor representativo, sino también en el valor del coeficiente parcial que tiene en cuenta las incertidumbres asociadas a esta variable. Para estimar la influencia del cambio de la información en los coeficientes parciales, se ha determinado que estos últimos han de representarse en función de sus coeficientes de variación. Con este propósito, se han obtenido representaciones de los coeficientes parciales para las variables, tanto de las acciones como de la resistencia, que resultan necesarias para el análisis de los mecanismos de fallo representativos. A título de ejemplo, la Figura 2 muestra la representación del coeficiente parcial para la resistencia de la armadura pasiva. Mediante representaciones de este tipo es posible tener en cuenta la variación en la dispersión de la información relativa a

las variables. A efectos de la aplicación del método FORM, las variables se distribuyen en dominantes y no dominantes, y en función de este criterio se les asignan los factores de sensibilidad correspondientes. Por este motivo, se obtienen, para cada coeficiente parcial, dos curvas: una para el caso cuando la variable es dominante y otra para cuando no lo es.

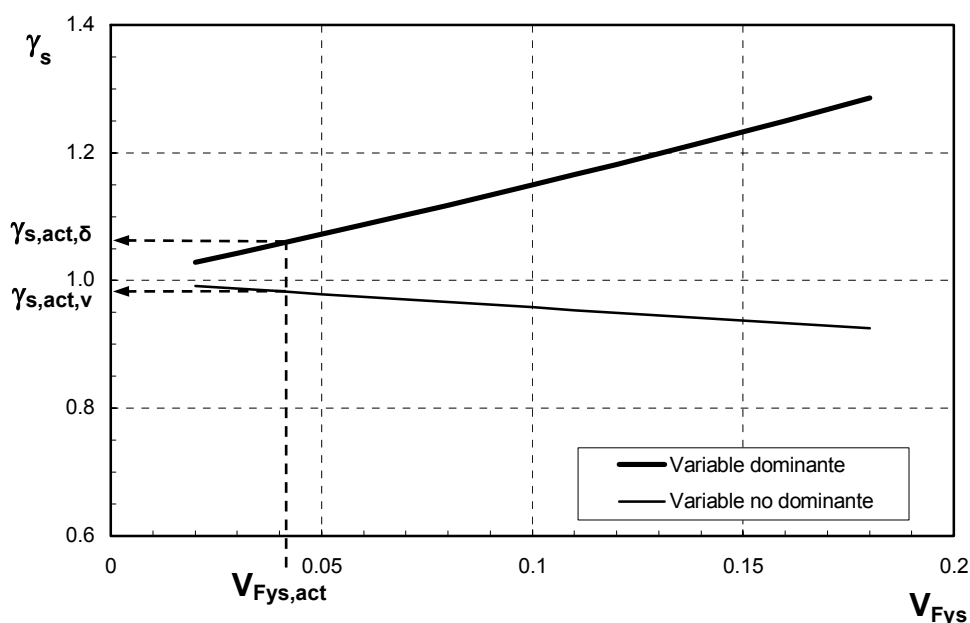


Figura 2. Representación del coeficiente parcial para la resistencia de la armadura pasiva, γ_s , en función del coeficiente de variación, V_{Fys}

5. APLICACIÓN DE LOS MODELOS SEMIPROBABILISTAS ACTUALIZADOS

El procedimiento para la aplicación de los modelos semiprobabilistas particularizados se describe a continuación. Para ilustrar como se obtienen, en el marco de este procedimiento y a partir de la información actualizada, el valor actualizado del coeficiente parcial y el valor de cálculo actualizado de la variable correspondiente, se toma como ejemplo el caso del coeficiente parcial para la resistencia de la armadura pasiva, que tiene en cuenta las incertidumbres asociadas al límite elástico de la armadura pasiva, f_{ys} , y al área de su sección transversal, A_s . Se asume que los datos relativos a f_{ys} hayan sido actualizados mediante ensayos de tracción realizados sobre probetas extraídas de una viga existente. El procedimiento, que es análogo para las otras variables que intervienen en los cálculos, se divide en 6 pasos:

1. Evaluación estadística de los resultados de la adquisición de datos (evaluación de la muestra).

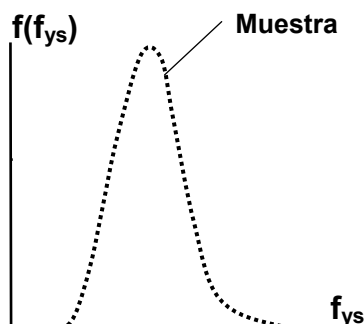


Figura 3. Evaluación estadística de los resultados de los ensayos de tracción

2. Combinación de los resultados de la muestra con la información previa.

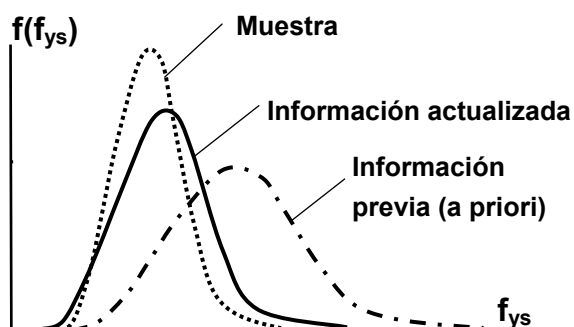


Figura 4. Combinación de los resultados de la muestra con la información previa

3. Determinación de los parámetros de la Función de Distribución de Probabilidad (FDP) actualizada. En el caso del límite elástico de la armadura, por ejemplo: LN; $\mu_{f_{ys,act}}$; $\sigma_{f_{ys,act}}$; $f_{ys,k,act}$

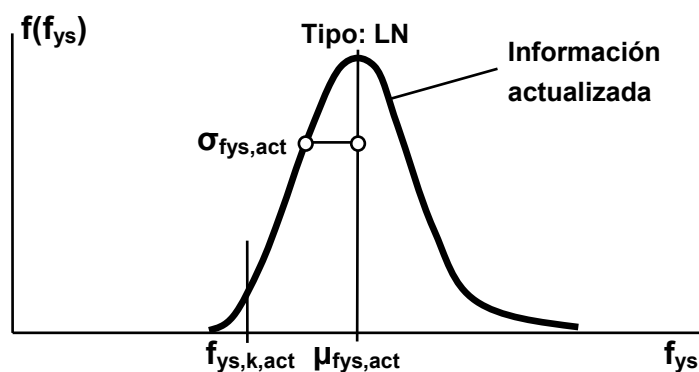


Figura 5. Parámetros de la FDP actualizada para el límite elástico de la armadura pasiva

4. Determinación del coeficiente de variación de la función de las variables actualizadas cuyas incertidumbres se tienen en cuenta a través del coeficiente parcial a actualizar.

Ejemplo:

El coeficiente parcial para la resistencia del acero de armar tiene en cuenta las incertidumbres relativas al límite elástico, f_{ys} , y al área de la sección, A_s . Ambas variables entran en las Funciones de Estado Límite como producto, representando la resistencia a tracción de la armadura pasiva, F_{ys} :

$$F_{ys} = f_{ys} \cdot A_s \quad (1)$$

De acuerdo con las hipótesis del presente ejemplo, sólo se ha actualizado la información relativa al límite elástico. Consecuentemente, el coeficiente de variación actualizado de la fuerza de tracción se escribe:

$$V_{F_{ys,act}} \cong \sqrt{V_{f_{ys,act}}^2 + V_{A_s}^2} \quad (2)$$

$V_{f_{ys,act}}$ coeficiente de variación actualizado para el límite elástico de la armadura pasiva

V_{A_s} coeficiente de variación *a priori* para el área de la sección del acero de armar (Tabla 1)

5. Determinación del coeficiente parcial actualizado, considerando la variable actualizada dominante y no dominante, respectivamente. En caso de que el límite elástico o el área de la sección del acero de armar resulte la variable de resistencia dominante, se deberá emplear el coeficiente parcial $\gamma_{s,act,\delta}$, en caso contrario, el coeficiente parcial $\gamma_{s,act,v}$ (Figura 2).
6. Verificación de la seguridad estructural con modelos semiprobabilistas actualizados. Debido a que de antemano se desconoce cual de las variables de resistencia y de las acciones, respectivamente, resulte dominante, es necesario considerar cada una de ellas como dominante (una variable de resistencia y una de las acciones a la vez) y las otras como no dominantes, hasta encontrar el caso más desfavorable.

Ejemplo:

Se considera una viga de hormigón armado cuya seguridad frente a momentos flectores debe ser verificada. Se asume que la única variable de resistencia actualizada sea el límite elástico del acero de armar, y que la resistencia a tracción de la armadura sea dominante. La seguridad estructural queda verificada si se cumple la siguiente condición:

$$M_{Ed,act} \leq M_{Rd,act} \quad (3)$$

El valor de cálculo de la resistencia a flexión de la viga se obtiene a partir de la relación:

$$M_{Rd,act} = \frac{1}{\gamma_{Rd,M}} \cdot \left(\frac{A_s \cdot f_{ys,k,act}}{\gamma_{s,act,\delta}} \cdot d - 0,5 \cdot \left(\frac{A_s \cdot f_{ys,k,act}}{\gamma_{s,act,\delta}} \right)^2 \cdot \frac{\gamma_c}{\eta_c \cdot f_{ck}} \cdot \frac{1}{b} \right) \quad (4)$$

Para las variables que no hayan sido actualizadas, se empleará la información previa disponible, tanto para sus valores característicos como para los coeficientes parciales correspondientes.

6. OBSERVACIONES FINALES

Los resultados obtenidos en los análisis de validación de los modelos probabilistas *a priori* y de los modelos semiprobabilistas actualizados permiten concluir:

- Utilizando los modelos probabilistas *a priori* desarrollados, se demuestra [9] que para la gran mayoría de los elementos estructurales dimensionados de manera estricta según la norma EHE, el índice de fiabilidad estaría por encima del valor requerido de 3,8. Además, se demuestra también que los factores de sensibilidad normalizados según el método FORM son conservadores. Se puede deducir, por tanto, que es posible fijar un nivel de fiabilidad requerido, aunque esté sometido a una cierta dispersión.
- Este nivel de fiabilidad no se puede dissociar de las hipótesis adoptadas en su determinación.
- Los modelos semiprobabilistas para la evaluación de las estructuras existentes de hormigón se han establecido sobre la base de unas

hipótesis conservadoras y consistentes con las hipótesis que están detrás de las reglas de la normativa en vigor para el dimensionado de estructuras nuevas cuya correcta aplicación, por definición, conduce a estructuras con una fiabilidad adecuada. Por este motivo, los citados modelos son fruto de una interpretación comparativa de los resultados obtenidos. Su correcta aplicación permite deducir si una estructura existente alcanza el nivel de fiabilidad requerido.

- La disponibilidad de los modelos particularizados para la evaluación de las estructuras existentes conlleva beneficios múltiples. En particular, estos modelos permitirán una evaluación sencilla y racional de las estructuras existentes, con el fin de llegar a una decisión inequívoca sobre si tienen o no una fiabilidad suficiente para las condiciones actuales y futuras de uso.

7. BIBLIOGRAFÍA

[1] Código Técnico de la Edificación (CTE): Documento de Aplicación SE-EE Seguridad Estructural. Estructuras Existentes. Borrador de Trabajo, 2002.

[2] EHE: Instrucción de Hormigón Estructural. Ministerio de Fomento, Madrid, 1998.

[3] HASOFER, A. M. and LIND, N. C.; Exact and Invariant Second Moment Code Format. Journal of the Engineering Mechanics Division ASCE, Vol. 100, 1974, p. 111-121.

[4] JCSS, Probabilistic Model Code. The Joint Committee on Structural Safety, Publicado en Internet, 2001.

[5] Ortega L.; Datos de Partida. Fuentes de Información. Planificación de su Actualización. XVI Curso de Estudios Mayores de la Construcción (CEMCO). Seminario S10, "Evaluación de Estructuras Existentes. IETCC. Madrid, 2004.

[6] Tanner P.y Ortega L.; Rehabilitación de Puentes del Pasado. Una Tarea del Futuro. Separata de Hormigón y Acero, Nº 216, 2º trimestre 2000.

[7] Tanner P. Reliability-based evaluation concept for everyday use. In: Saving Buildings in Central and Eastern Europe, IABSE Report Nº 77, Zürich, 1998.

[8] Tanner P. y Bellod J. L.; Ampliar sin Reforzar. El puente Arco sobre el Río Segura en Elche de la Sierra. En: 2º Congreso de Puentes y Estructuras de Edificación de ACHE; Comunicaciones Vol. 2, Madrid, 2002.

[9] Tanner P.; Desconocidas pero Reales. Incertidumbres en Ingeniería Estructural. En: III Congreso de ACHE de Puentes y Estructuras; Zaragoza, noviembre 2005.