

Capítulo 7. **CONCLUSIONES**

Índice

| | | |
|--------|---|-----|
| 7.1. | <i>Mecánica de Flexión y Deslizamiento</i> | 191 |
| 7.2. | <i>Ensayo de Pull-out</i> | 193 |
| 7.3. | <i>Diseño de Chapas</i> | 194 |
| 7.4. | <i>Aspectos Normativos</i> | 196 |
| 7.5. | <i>Propuestas para proseguir la investigación</i> | 197 |
| 7.5.1. | <i>Modelos de Elementos Finitos</i> | 197 |
| 7.5.2. | <i>Ensayos</i> | 198 |
| 7.6. | <i>Aportación original de la tesis</i> | 198 |

Capítulo 7

CONCLUSIONES

7.1. MECÁNICA DE FLEXIÓN Y DESLIZAMIENTO

1. *Plastificación del acero:* Tanto en los modelos numéricos como en los ensayos de flexión instrumentados con galgas extensométricas, se ha comprobado que, a partir del primer deslizamiento, la interacción entre la chapa de acero y el hormigón provoca deformaciones en el acero que superan ampliamente el límite elástico, limitando el valor de la resistencia al deslizamiento (punto 5.3, fig. 5-15). Estas deformaciones están asociadas típicamente a 2 fenómenos distintos: la flexión trasversal y el efecto cúpula.
2. *Flexión transversal:* Es el fenómeno más significativo de la interacción entre el acero y el hormigón durante el deslizamiento. El deslizamiento longitudinal crea por efecto cuña, unos esfuerzos de interacción auto-compensados internamente –gracias a la forma del perfilado– que modifican la curvatura en la chapa, flexionándola básicamente en dirección transversal (punto 5.4, fig. 5-23) y presentando los esfuerzos propios de la flexión de láminas.
3. *Rigidez del hormigón:* Los modelos numéricos han demostrado que la rigidez del hormigón es mucho mayor que la rigidez de flexión de la chapa de acero (punto 5.3.1.3.). Se concluye, por tanto, que su módulo elástico no influye en el rasante longitudinal máximo que puede soportar una losa, aunque sí influye, claro está, en la relación entre el rasante longitudinal y el cortante vertical asociado.
4. *Puntos de interacción:* Al curvarse, la chapa se separa del hormigón excepto en los puntos de interacción con éste, que, en el caso de las embuticiones lineales corresponden a sus extremos (punto 5.4, fig. 5-27).
5. *Influencia de la resistencia del hormigón:* Los ensayos inter-laboratorio demuestran que la resistencia del hormigón influye notablemente en la resistencia al deslizamiento, ya que de ella depende la formación de los surcos por erosión superficial en la trayectoria de contacto de las puntas de las embuticiones (punto 6.1.6, fig. 6-32).
6. *Efecto cúpula:* La chapa de acero sufre esfuerzos de membrana, en los extremos de las embuticiones entrantes en el hormigón, debidas al *efecto cúpula*: esfuerzos de compresión en la cúspide de las embuticiones y de tracción perimetral en la base de las mismas (fig. 5-25 y punto 6.3.2, fig. 6-65). Corresponden a los esfuerzos de membrana propios de la mecánica de láminas. Sus deformaciones pueden superar el límite de fluencia del acero y tienden a provocar un *aplastamiento* de la embutición.
7. *Zonas de máxima deformación:* Las deformaciones máximas asociadas a la flexión transversal (en dirección perpendicular al perfilado) son muy importantes en los puntos de interacción y en las aristas del perfilado, donde los momentos flectores son máximos (fig. 5-24 y 5-26, punto 6.3.2, 6.3.5 y siguientes). Las deformaciones máximas asociadas al efecto cúpula se producen perimetralmente en la base de las embuticiones

(tracción) y en su cúspide (compresión) (Fig. 5-25). En determinados puntos se suman los efectos de flexión y cúpula, alcanzándose las deformaciones máximas (Fig. 5-29).

8. *Resistencia máxima al deslizamiento:* Sin considerar la adherencia inicial, la resistencia máxima al deslizamiento se alcanza en el momento en que las embuticiones de la chapa se desalojan completamente de sus negativos en el hormigón, momento en el cual desaparece la interferencia mecánica longitudinal en los perfiles re-entrantes o, en el caso de los perfiles de ángulo abierto, desaparece completamente cualquier interacción tanto longitudinal como vertical (punto 6.3.2 y fig. 6-67 y siguientes).
9. *Separación vertical del hormigón:* En los perfiles de ángulo abierto sucede que la flexión trasversal de la chapa llega a ser suficientemente intensa como para liberar al hormigón verticalmente, separándose entonces sin ofrecer resistencia (punto 6.3.5). Desaparecen la flexión trasversal y las fuerzas auto-compensadas de interacción que la provocaban, así como las fuerzas que se oponían al deslizamiento. La resistencia cae bruscamente.
10. *Influencia de las condiciones superficiales de la chapa:* El acabado superficial de la chapa tiene una gran influencia en la resistencia final al deslizamiento. La resistencia al deslizamiento en un ensayo *Pull-out* habiendo lubricado la superficie de la chapa ha resultado ser un 40% inferior que la resistencia de la chapa sin lubricar (punto 6.1.5).
11. *Efecto de las embuticiones en las tensiones longitudinales de flexión:* Tanto los resultados experimentales (punto 6.2.2, fig. 6-48) como los modelos de elementos finitos (punto 6.3.2, fig. 6-66), han resultado acordes con la hipótesis de EC-4 de no considerar el material de las bandas longitudinales con embuticiones para el cálculo de la sección eficaz de acero. Las tensiones en esas zonas, flexibilizadas por las embuticiones a modo de fuelle, son muy inferiores a las de las bandas sin embutir, creando un efecto de “sombra de tensión longitudinal”.
12. *Distribución del rasante longitudinal en la flexión:* Los ensayos *m-k* instrumentados con galgas extensométricas adheridas a la chapa han mostrado que, en el caso del perfil de ángulo abierto, la transmisión del esfuerzo cortante longitudinal no es uniforme a lo largo de L_s . En la zona de aplicación de la carga se producen deformaciones de flexión transversal muy superiores a las secciones próximas a los apoyos, siendo igual el deslizamiento en toda la longitud. Esto significa que las diferencias sólo pueden ser debidas a separaciones verticales desiguales entre acero y hormigón, asociadas a curvaturas de flexión distintas de ambos materiales.

En cambio, en el diseño QL60, de ángulo recto, la distribución de deformaciones de flexión transversal en la chapa a lo largo de la luz de rasante, ha demostrado ser constante. No se produce separación vertical del hormigón en ningún punto.

En los perfiles de ángulo abierto la facilidad de separación vertical invalida la hipótesis de uniformidad de transmisión de rasante, así como la igualdad de curvaturas de flexión para el acero y el hormigón.

13. *Interacción flexión-rasante:* El ensayo *m-k* del perfil T80 $L_s=1200$ n°1 demuestra que la resistencia al deslizamiento se ve afectada por la deformación longitudinal de la chapa (punto 6.4.1.1, fig. 6-149). La extensión longitudinal de la zona embutida modifica la geometría de las embuticiones, por ejemplo, disminuyendo la pendiente de embutido. Esta es una de las razones que explican la existencia de la pendiente m en la recta de fallo por deslizamiento: a más flexión menor resistencia.

7.2. ENSAYO DE *PULL-OUT*

14. *Uniformidad de esfuerzos rasantes en el ensayo de Pull-out*: La medida de deslizamientos relativos entre la chapa y el hormigón en ambos extremos, superior e inferior, de la probeta de *Pull-out*, permite afirmar que el deslizamiento longitudinal se produce de forma simultánea a lo largo de toda la longitud de la probeta y por tanto son también iguales los esfuerzos que este deslizamiento provoca en todas las embuticiones de la longitud de la probeta (punto 6.1.1.1).
15. *Deformabilidad longitudinal de la chapa*: También como consecuencia de la igualdad de deslizamientos descrita en el punto anterior, se deduce que la rigidez longitudinal de la chapa es suficientemente elevada como para que las deformaciones longitudinales sean insignificantes en la mecánica del deslizamiento longitudinal del ensayo *Pull-out* y más aún sus diferencias a lo largo de la longitud de la probeta, con lo que se subraya de nuevo la uniformidad de esfuerzos rasantes.

Sin embargo, puede existir una discrepancia importante entre el esfuerzo longitudinal que sufre la chapa en el ensayo de *Pull-out* y la flexión *m-k* para luces de rasante L_s elevadas. Efectivamente, cuando el fallo por flexión empieza a ser próximo, las deformaciones longitudinales de la chapa pueden empezar a ser suficientemente importantes como para deformar la geometría de las embuticiones modificando su resistencia al rasante (ver 13). Esto no queda reflejado en el diseño actual de las probetas para el ensayo de *Pull-out*. Una posible solución consistiría en incrementar la longitud de la probeta hasta un valor equivalente a la longitud L_s , luz de rasante del ensayo *m-k*.

16. *Efecto del aislamiento de un nervio*: El hecho de aislar un nervio no supone ningún cambio de comportamiento, puesto que el bloque de hormigón de la probeta de *Pull-out* es mucho más rígido que la flexión de la chapa y puede considerarse, incluso, como un sólido indeformable (salvo por la erosión local). Las diferencias pueden surgir si las condiciones en los laterales de la chapa no se corresponden con la realidad, por ejemplo, si existe elementos importantes de interacción justo en esa zona, o si los planos laterales corresponden al plano medio de nervios asimétricos.
17. *Efecto del contacto frontal entre las mitades de la probeta de Pull-out*: Las simulaciones numéricas han demostrado que el encarado frontal de las dos mitades de la probeta de *Pull-out* por el lado de la chapa introduce esfuerzos que modifican el comportamiento general de la chapa durante el deslizamiento (punto 6.1.1.2, fig. 6-3).
18. *Nuevo diseño para la probeta de Pull-out*: Se ha propuesto un nuevo diseño de la probeta que elimina el contacto entre las dos mitades (punto 6.1.2.1) y permite el ensayo, no sólo de un entre-nervio (bóveda), sino también de un nervio. Con ello se eliminan los inconvenientes planteados en los puntos 16 y 17 precedentes.
19. *Sistema de medición de la fuerza*: El sistema de aplicación de la carga a ambos lados de la probeta de *Pull-out* según el método 2 es hiperestático. No es posible asegurar que las dos mitades estén siempre soportando la misma fuerza (ello significa también la transmisión de un momento flector a la mordaza de la máquina). Podría suceder perfectamente que, por pequeñas diferencias de rigidez, pequeñas holguras o pequeños deslizamientos bruscos y alternos, la carga total que ejerce la máquina en cada instante circulase en gran parte por sólo una de las mitades, especialmente antes del primer deslizamiento. Se tomaría como valor de resistencia una cantidad que podría ser, en el

límite, la mitad del real. Este hecho puede ser una causa importante de dispersión en la lectura de fuerzas, especialmente las de primer deslizamiento (punto 6.1.2.2)

Creemos necesaria la lectura independiente de carga a cada lado de la probeta y tratar el sistema como dos ensayos independientes realizados simultáneamente. Si las cargas a ambos lados llegasen a ser demasiado dispares, sería necesaria la implementación de un sistema de carga isostático –para eliminar el momento flector en las mordazas de la máquina– con un dispositivo externo de equilibrado horizontal de la probeta.

20. *Sistema de medición del deslizamiento:* El deslizamiento entre el hormigón y el acero debe medirse en puntos lo más próximos posible entre sí, para evitar la lectura de falsos deslizamientos causados por la deformación elástica del material existente entre los puntos de lectura. El sistema usado en el LERMA cumple esta condición, no siendo así en el sistema usado en el ICOM, que mide el deslizamiento entre la placa de rigidización (fijada a los laterales externos de las chapas) y el punto central del bloque de hormigón, puntos éstos demasiado distantes (punto 6.1.2.3, fig. 6-9). En los ensayos del ICOM se aprecian lecturas de deslizamiento, de aspecto elástico, previas a la pérdida de adherencia.
21. *Discrepancia de resultados entre los ensayos inter-laboratorio:* Se demuestra que las discrepancias observadas se deben, principalmente, a la resistencia desigual del hormigón usado en ambos laboratorios. Corrigiendo este parámetro se reducen muy significativamente las diferencias. También se observan diferencias debido a la variabilidad en las pendientes de embutición y al montaje erróneo de algunas probetas respecto a la orientación de dichas pendientes. Considerando estos aspectos, quedarían sólo las diferencias asociadas a la dispersión propia de los ensayos.

7.3. DISEÑO DE CHAPAS

22. *Ángulo de retención f_R :* Se define como el ángulo cerrado máximo que se produce en el perfil, teniendo en cuenta tanto el perfilado como el embutido (punto 6.3.5.1). Es imprescindible disponer de un mínimo ángulo de retención, siendo especialmente crítico en los perfilados en ángulo abierto, puesto que el ángulo de retención depende entonces de la pendiente de embutición. El proceso de deslizamiento deforma la chapa pudiendo llegar a compensar rápidamente ángulos demasiado pequeños.
23. *Ángulo de perfilado b :* Al afectar directamente al ángulo de retención en los perfilados de ángulo abierto, la resistencia al deslizamiento aumenta a medida que aumenta el ángulo de perfilado, puesto que se retarda la separación vertical convirtiéndose en re-entrante en el límite. Obviamente las ventajas de un perfilado en ángulo abierto no son resistentes, sino de ahorro de material y de espacio de apilado para el transporte del producto.
24. *Alternancia en el sentido de embutición:* Se ha comprobado una mejora resistente notable al alternar el sentido de embutición consecutivamente en las embuticiones laterales de los perfiles en ángulo abierto, desde el hormigón hacia la chapa y desde la chapa hacia el hormigón (punto 6.3.5.2). Con ello se consigue disponer de ángulo de retención en ambos extremos de las embuticiones alternadamente. Se disminuye también la dependencia resistente respecto al sentido de inclinación de las embuticiones y se aumenta el momento de inercia de la chapa respecto a la flexión transversal.

25. *Inclinación de las embuticiones f* : No se observan motivos resistentes para inclinar las embuticiones laterales (puntos 6.3.8.6 y 6.3.8.7). Bien al contrario, resultan más eficaces las embuticiones sin inclinación y eliminan la alternancia de resistencias en nervios consecutivos, ya que el sentido de inclinación que favorece la separación vertical es menos resistente que el que tiende a juntar ambas partes (punto 3.6.5.3).
26. *Pendiente de embutición α* : Este parámetro es, sin duda alguna, el que mayor trascendencia tiene en la resistencia al deslizamiento. Afecta al ángulo de retención definido anteriormente en el caso de perfilados abiertos y relaciona las fuerzas normales a la chapa que provocan la flexión con la componente longitudinal que soporta el deslizamiento. Cuanto mayor es el la pendiente de embutición, mayor es la componente longitudinal de fuerza necesaria para provocar el deslizamiento. Lógicamente las limitaciones tecnológicas del proceso de embutido limitan el valor de este parámetro, así como la posible rotura del hormigón para valores de fuerza excesivos (punto 6.3.8.2).
27. *Profundidad de embutición f* : El parámetro causante de una mayor o menor flexión transversal en la chapa, es, evidentemente, la profundidad de la embutición. Es evidente que cuanto mayor sea la profundidad, mayor será la fuerza necesaria para deformar la chapa esa magnitud (punto 6.3.8.4). A partir del punto en que la chapa se encuentra totalmente plastificada, en espesor y anchura, los incrementos de profundidad no aumentan la resistencia (fig. 6-128; fig. 6-120).
- Como en el caso anterior, las limitaciones de profundidad de embutición vendrán determinadas por aspectos tecnológicos del proceso de embutición.
28. *Deslizamiento último d_u* : Se observa en todos los gráficos $F-d$ que la proyección horizontal de la pared lateral de la embutición, o sea, la relación entre la profundidad de embutición y la tangente de la pendiente de embutición: $d_u = f / \tan \alpha$, es exactamente la magnitud del deslizamiento necesario para desalojar las embuticiones de sus negativos en el hormigón, y por tanto, afectará a la ductilidad o fragilidad de la losa (punto 6.3.2).
29. *Espesor de la chapa t* : Las simulaciones numéricas demuestran que la dependencia de la resistencia al deslizamiento respecto al espesor no es lineal, sino que se ajusta bastante bien al cuadrado del espesor en la mayoría de casos (punto 6.3.8.1, fig 6-102). Esto resulta lógico si tenemos en cuenta que la caída de carga se debe a la plastificación de la chapa por flexión transversal. Sólo el perfil CRR se aleja un poco de la dependencia cuadrática, también lógico si pensamos que este perfil incorpora un ligero efecto de arco que trasforma parte de la flexión en esfuerzo de membrana. Como se comenta más adelante la extrapolación lineal hacia espesores mayores está siempre en el lado de la seguridad.
30. *Proximidad de las embuticiones a las aristas del perfilado*: Los cambios de orientación de la chapa propios de las aristas del perfilado actúan a modo de nudos rígidos según la analogía del pórtico. El perfil es mucho más rígido en esos puntos respecto al movimiento trasversal, con lo que, la proximidad de las embuticiones (o de sus extremos) a estos puntos genera fuerzas mucho más elevadas que si las embuticiones se sitúan en las zonas centrales de los tramos planos.

Así, las embuticiones de tipo botón o los extremos de las embuticiones alargadas serán mucho más eficaces cuanto más cercanos estén a las aristas del perfilado (punto 6.3.8.5).

31. *Anchura de las embuticiones*: Cuanto mayor es la anchura de las embuticiones, mayor es el momento de inercia de la chapa respecto a la flexión transversal, por tanto, mayores serán las fuerzas necesarias para deformarla (punto 6.3.8.8). Además, afecta también a posibles roturas del hormigón (fig. 6-132), puesto que, si la embutición es saliente, a mayor anchura, más resistente será la base de su negativo de hormigón. En cambio, en embuticiones entrantes debe tenerse cuidado en no debilitar el espacio entre embuticiones estrechándolo demasiado. La dimensión mínima de dicho espacio puede venir determinada por exigencias de diseño de la maquinaria de embutición y perfilado.
32. *Distancia entre embuticiones (paso)*: Cuanto más próximas están las embuticiones entre sí mayor es el momento de inercia del conjunto de la chapa respecto a la flexión transversal y, por tanto, más resiste, mostrando una fuerte dependencia lineal (punto 6.2.8.9, fig. 6-140). El efecto es parecido a ensanchar las embuticiones pero menos eficaz, ya que las embuticiones anchas alejan más cantidad de material del plano medio de la chapa que las embuticiones estrechas.

7.4. ASPECTOS NORMATIVOS

33. *Acabado superficial de las chapas*: Dada la gran influencia del acabado superficial en la resistencia al deslizamiento, demostrada tanto en las simulaciones, a través del coeficiente de fricción (punto 6.3.3), como en los ensayos de *Pull-out* (punto 6.1.5), creemos que Eurocódigo-4 debería ser más explícito en la especificación relativa a las condiciones superficiales de la chapa en el momento del hormigonado de las losas para los ensayos de flexión reducida *m-k*. Creemos necesario concretar más la expresión “as-rolled”, significando que los lubricantes propios del proceso de perfilado y embutido deben estar presentes, en cantidad no inferior a la máxima previsible, evitando que desaparezcan o se reduzca su cantidad o calidad, no sólo por la realización de limpiezas voluntarias, sino también por el simple paso del tiempo o por exposición a condiciones ambientales adversas, etc. También debería considerarse cualquier otra actuación voluntaria o accidental sobre la superficie de la chapa que pudiera resultar más desfavorable.
34. *Control geométrico de la chapa*: Eurocódigo-4 sólo obliga explícitamente al control de la separación y profundidad de las embuticiones en la siguiente forma: no deben diferir de las nominales en más de un 5% y un 10% respectivamente. A la vista de los resultados de las simulaciones, creemos que dicha especificación es completamente insuficiente. A nuestro entender, la geometría de las chapas usadas en los ensayos debería ser lo más desfavorable admitido según las tolerancias de fabricación, considerándose desfavorables las siguientes condiciones:
- Ángulo de perfilado de los nervios: abierto.
 - Pendiente de embutición: suave.
 - Profundidades de embutición: pequeña.
 - Distancia de las embuticiones a las aristas del perfilado: grande.
 - Ancho de las embuticiones: pequeño.
 - Distancia entre las embuticiones: grande.

Debería estudiarse el efecto favorable o desfavorable de cualquier otro parámetro geométrico. En el caso de presentarse variaciones geométricas de influencia no definida deberían ensayarse ambos extremos.

35. *Espesor de la chapa*: Eurocódigo-4 dispone que los resultados de los ensayos de flexión son válidos para espesores de chapa iguales o superiores al ensayado. Los resultados de las simulaciones muestran que una extrapolación proporcional de la resistencia al deslizamiento hacia espesores superiores está en el lado de la seguridad.

En cualquier caso, creemos que debería añadirse la obligación de comprobar que el uso de espesores superiores de chapa en la maquinaria de perfilado y embutido no perjudica los parámetros geométricos más desfavorables descritos en el punto anterior.

36. *Cargas gravitatorias*: La pérdida de adherencia inicial provoca, en muchos casos, un movimiento brusco de la losa previo a la consecución de la resistencia máxima. Este movimiento puede conllevar una energía cinética del sistema (masa de la losa + masa equivalente a la carga) que podría agotar la energía resistente posterior de la losa sin aumentar el valor de la carga. El uso de sistemas de carga mediante cilindros hidráulicos cuyo control y capacidad de respuesta no sean adecuados para mantener la carga constante (como correspondería a una acción gravitatoria), elimina dicha energía y estabiliza la losa a cargas inferiores a las alcanzadas previamente, por tanto irreales.

Eurocódigo-4 especifica que, después del ciclado, la losa se somete a un proceso de carga creciente, pero también especifica que el proceso puede controlarse, tanto por desplazamiento como por fuerza.

Creemos que sería más adecuado el uso de cargas gravitatorias, de lo contrario pueden darse por dúctiles losas que en realidad no lo son, y cargas últimas superiores a las reales.

7.5. PROPUESTAS PARA PROSEGUIR LA INVESTIGACIÓN

7.5.1. Modelos de Elementos Finitos

1. Re-implementación del mallado del hormigón para evaluar el riesgo de posibles roturas en la base de las embuticiones salientes, base de los nervios re-entrantes o cualquier otro fenómeno en el hormigón (salvo erosión superficial).
2. Caracterización exacta de la rigidez y fricción de los elementos de contacto para mejorar la caracterización de la erosión superficial.
3. Incorporación de la adherencia inicial a las condiciones de contacto. Interacción entre los cambios en la geometría y la adherencia inicial en la resistencia al deslizamiento.
4. Incorporación de tensiones residuales propias del proceso de laminado y embutido en el acero.
5. Extensión del modelo a toda la longitud del ensayo de *Pull-out*, manteniendo planos de simetría longitudinal e incorporando las condiciones exactas de tracción en la parte superior de la chapa. Análisis de la distribución de tensiones longitudinales.
6. Evaluar la viabilidad computacional de la extensión del modelo a la mitad de la luz del ensayo de flexión *m-k*, imponiendo carga vertical a L_S del apoyo, manteniendo planos longitudinales de simetría e incorporando el mallado del hormigón (fisurable). Esta

opción permitiría, por ejemplo, el estudio de la distribución de esfuerzos en las embuticiones a lo largo de la luz de rasante; la interacción entre las deformaciones por flexión y el deslizamiento; el estudio de varios vanos; el efecto de la separación vertical del hormigón; de casos singulares de carga; etc.

7.5.2. Ensayos

7. Desarrollar la propuesta de diseño de nueva probeta de *Pull-out* de nervio o entrenervio y actualizar los ensayos.
8. Efectuar un estudio experimental completo para evaluar qué factores influyen en el coeficiente de fricción, adherencia inicial y erosión superficial entre acero y hormigón y en qué medida.
9. Implementación de galgas extensométricas en losas con chapas de perfilado re-entrante y de ángulo abierto para la evaluación de la uniformidad de distribución del rasante longitudinal.

7.6. APORTACIÓN ORIGINAL DE LA TESIS

1. Se ha estudiado por primera vez la micromecánica de interacción entre la chapa de acero y el hormigón en las losas mixtas, mediante un procedimiento que reproduce fielmente la geometría de las embuticiones y del perfil.
2. Gracias a este procedimiento, se ha profundizado en el conocimiento de la mecánica de fallo por deslizamiento en las losas mixta y se ha estudiado en detalle el efecto resistente de los distintos parámetros que intervienen y que deben definirse en el proceso de diseño de las chapas. Se ha constatado que sólo de esta forma puede describirse completamente la física del problema y se puede abordar con fiabilidad los procesos de optimización de los diseños actuales o el desarrollo de nuevos productos.
3. Se aporta una metodología de simulación mediante el método de los elementos finitos para el diseño y optimización de chapas perfiladas para losas mixtas, con unos requerimientos computacionales mínimos que, con toda seguridad, están al alcance de cualquier productor industrial de este tipo de producto.
4. Se aporta una lista de conclusiones que ayudan a la comprensión del fenómeno y al asentamiento de unos criterios de diseño, claros y rigurosamente razonados.
5. Se han realizado medidas exhaustivas, mediante galgas extensométricas, para investigar la distribución real de las fuerzas de conexión en las embuticiones y para validar el modelo.
6. Se exponen ciertas críticas al actual diseño de las probetas para los ensayos de *Pull-out* y se proponen alternativas. Se apuntan sus limitaciones en la extrapolación a la flexión real de las losas.
7. Se aportan también ciertas críticas a las especificaciones normativas de EC-4.
8. Finalmente, se ha desarrollado un nuevo diseño de chapa perfilada para losas mixtas, denominado *T-80* en el texto, a partir de la metodología aportada en esta tesis. Se demuestra su eficacia en relación a otros diseños existentes en el mercado, con lo que se confirma la validez y aplicabilidad de dicha metodología en la optimización de los diseños existentes y en la investigación y desarrollo de nuevos productos.