
Capítulo 1. INTRODUCCIÓN**Índice**

1.1. Objeto	3
1.1.1. Descripción	3
1.1.2. El Problema.....	4
1.2. Objetivos	6
1.2.1. Modelo de elementos finitos local, no lineal y tridimensional	6
1.2.2. Descripción de los Mecanismos Resistentes al Deslizamiento.....	6
1.2.3. Evaluación de Sensibilidad de la Resistencia al Deslizamiento	7
1.2.4. Recomendaciones para el diseño de chapas	7
1.2.5. Determinación de la distribución de esfuerzos rasantes.....	7
1.2.6. Cuantificación las <i>sombras de tensión</i> longitudinal	7
1.2.7. Nuevo diseño de chapa y propuestas innovadoras.....	7
1.3. Contenido	8

*Capítulo 1***INTRODUCCIÓN****1.1. OBJETO****1.1.1. Descripción**

Una losa mixta consiste en una chapa nervada de acero conformada en frío, de espesores entre 0,75 y 1,25 mm, apoyada sobre las vigas de la estructura, en la que se dispone la malla de negativos o refuerzo contra retracciones, y donde se vierte el hormigón fresco durante el proceso constructivo. Actúa así como sistema de encofrado durante el proceso de construcción –debe resistir las cargas de construcción– y como armadura de tracción una vez el hormigón ha fraguado. Habitualmente se añade también una pequeña armadura de tracción en la base de los nervios para resistir la flexión de la losa en caso de exposición al fuego.

Para cumplir las funciones encomendadas a la chapa, encofrado y armadura de tracción, existen muchos tipos de diseño, creados sobre la base de la experiencia acumulada y cuya eficacia debe siempre ser evaluada empíricamente.

El estudio de la eficacia de la chapa como encofrado, resulta del análisis de la flexión individual de la chapa como perfil de acero de paredes delgadas, fenómeno físico de abordaje analítico notablemente definido y contrastado, aunque no suficientemente respecto al efecto de las embuticiones.

La dificultad de diseño de chapas para losas mixtas, reside en cómo asegurar el comportamiento efectivamente mixto de las mismas. En otras palabras, la clave del éxito consiste en diseñar sistemas de retención que consigan un mínimo deslizamiento longitudinal relativo entre ambos elementos.

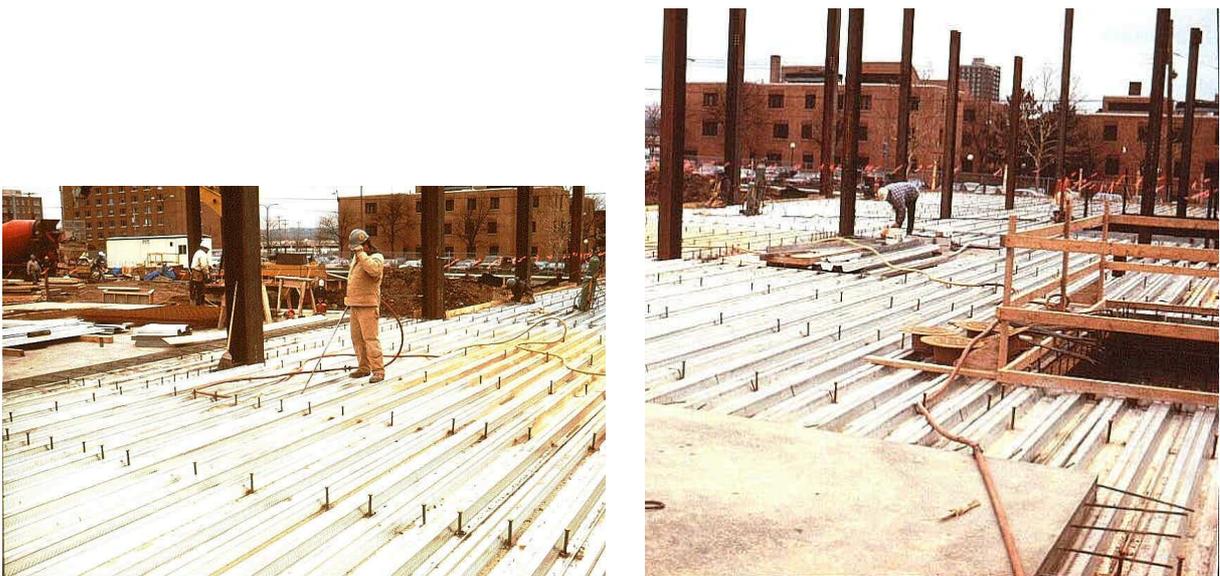


Figura 1-1 Losas mixtas en construcción

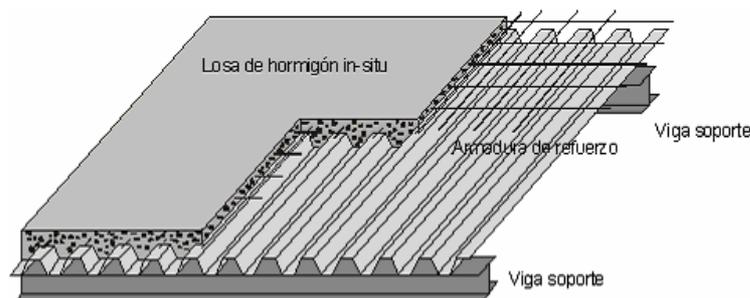


Figura 1-2 Esquema constructivo

La utilización de las losas mixtas como sistema de forjado para edificios empezó a utilizarse a finales de los años 30. Su principal ventaja reside en el hecho de que se consigue aligerar la losa y reducir notablemente el tiempo de construcción, ya que la chapa hace las funciones de encofrado. Estos dos puntos son de especial trascendencia en la construcción de edificios de gran altura.

Hoy en día las losas mixtas son utilizadas en todo tipo de estructuras –acero, hormigón armado y pretensado o madera–, en todo tipo de edificios nuevos –vivienda, oficinas, aparcamientos o industriales– y, especialmente, en rehabilitación de edificios.

1.1.2. El Problema

El fallo resistente de las **losas mixtas** se produce generalmente –excepto en los casos de alta relación luz / canto– por el **deslizamiento longitudinal** entre la chapa nervada de acero y el hormigón; deslizamiento correspondiente al esfuerzo cortante generado en la flexión simple. Esto es, la pérdida de la función *colaborante* de la losa.

La presente tesis se enmarca en una línea de investigación en cuyo horizonte se pretende la consecución de nuevos conceptos y/o diseños que garanticen la conexión total entre el acero y el hormigón de las losas mixtas, análogamente a lo que significaron las barras de acero corrugado para el hormigón armado. Entendemos que el éxito definitivo de este sistema constructivo frente a sus alternativas, pasa necesariamente por la consecución de dicha meta.

Son tres los aspectos que intervienen directamente en la resistencia frente a este modo de fallo: *la adherencia química inicial, el rozamiento y la interferencia mecánica*. Para que este último fenómeno –íntimamente relacionado con el rozamiento– tenga lugar, los diseños de chapas nervadas para losas mixtas incorporan un patrón de embuticiones, de las formas y tamaños más diversos, que se repiten a lo largo de toda la longitud de la chapa. Su función es análoga a la del corrugado de las barras para el armado del hormigón, aunque sus mecanismos resistentes son completamente distintos.

La siguiente analogía, que quizás resulte algo simple, consideramos que ilustra intuitiva y claramente cuál es la diferencia resistente entre las losas mixtas y el hormigón armado, y cuál es el problema mecánico abordado en la presente tesis.

Pongámonos en el lugar del acero:

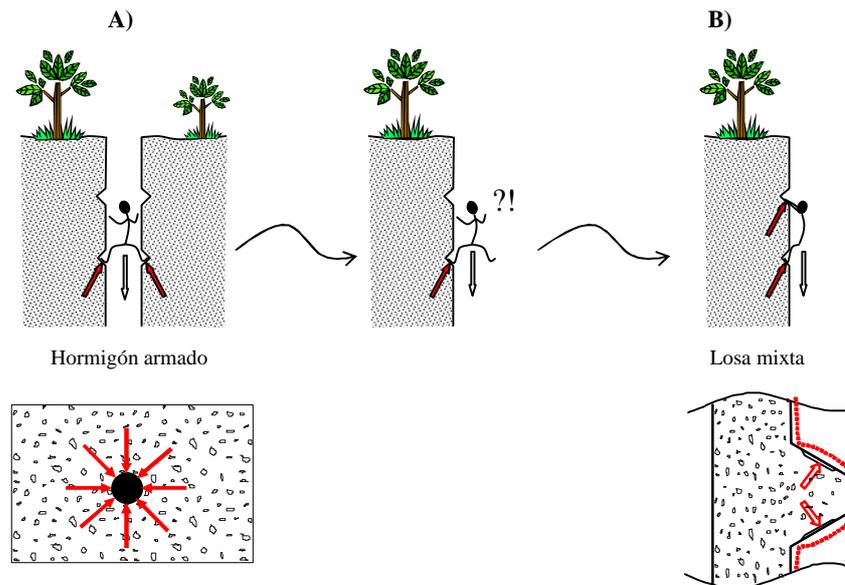


Figura 1-3 Analogía del comportamiento del hormigón armado y las losas mixtas

Es evidente que la opción A resulta mucho más cómoda, incluso en superficies deslizantes. Nos basta una resistencia suficiente en las piernas para soportar unas cargas de compresión sobre las mismas. Este es el caso del hormigón armado, donde se produce un efecto de cuña que transforma el deslizamiento en esfuerzos radiales de compresión sobre las barras corrugadas y expansión radial en el hormigón, ambos elementos presentan una gran rigidez.

En cambio, en la situación B, las componentes que tienden a separarnos de la superficie tienen difícil solución. Los alpinistas saben bien que lo más importante son las fuerzas puntuales que ejercen con los dedos de las manos y la punta de los pies, sobre las hendiduras, necesariamente angulosas, de la superficie. Más claro resulta aún si se imagina el caso de tratarse de superficies deslizantes. Es un caso parecido al de las losas mixtas, donde el efecto de cuña de los actuales sistemas de retención –embuticiones en la chapa análogas al corrugado de las barras– transforma el deslizamiento en esfuerzos perpendiculares a la chapa que provocan su flexión local y, en algunos casos, la desconexión total.

El ángulo de conformado que define los nervios de la losa, la pendiente de las paredes de las embuticiones, la profundidad de las mismas, etc., son algunos de los parámetros importantes de diseño, ya que contribuyen significativamente a bloquear el deslizamiento.

El proceso de diseño y optimización de esta geometría, y también la comprobación de su eficacia, se realiza actualmente de forma completamente empírica.

También los métodos de cálculo adoptados por las normativas de todo el mundo para el cálculo de losas mixtas, están basados en parámetros experimentales, obtenidos del ensayo de modelos estándar reducidos.

Estos ensayos intentan reproducir, con mayor o menor fidelidad, las condiciones reales de funcionamiento. El presente trabajo se centra en uno de ellos, el ensayo de *Pull-out*, que pretende reproducir exclusivamente el modo de fallo por deslizamiento longitudinal.

La tesis se ha desarrollado siguiendo dos vías paralelas:

- Experimental: ensayos de *Pull-out* inter-laboratorio entre la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) y la École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), así como ensayos de flexión de losas completas según método normativo *m-k*, aunque instrumentadas con galgas extensométricas.
- Método de los Elementos Finitos: establecimiento de un procedimiento validado para la elaboración de modelos numéricos. Simulación del fallo por deslizamiento y análisis de sensibilidad.

La presente tesis aporta una metodología de análisis numérico local tridimensional y no-lineal de la interacción entre la embutición de la chapa y el hormigón, con la que se describe exactamente la mecánica de funcionamiento.

Con el fin de profundizar en el conocimiento de los mecanismos de fallo y mejorar los diseños actuales, se analiza con detalle el efecto que tienen distintos parámetros físicos y geométricos en la resistencia de la losa mixta frente al deslizamiento longitudinal: coeficiente de rozamiento, profundidad y ángulo de embutición, ángulo de conformado, espesor de la chapa, etc.

El análisis de los resultados, ha producido una serie de recomendaciones generales de diseño, materializadas en el nuevo perfil T-80 desarrollado en la presente tesis y en proceso de patentado. Dicho diseño está ya siendo producido en serie y ha sido ensayado experimentalmente, presentando resultados más que satisfactorios.

1.2. OBJETIVOS

Con el objetivo general de aportar conocimiento y afianzar la comprensión del comportamiento mecánico de la losa mixta, la tesis aborda el estudio numérico y experimental del fallo por deslizamiento longitudinal, a fin de alcanzar los siguientes objetivos particulares:

1.2.1. Modelo de elementos finitos local, no lineal y tridimensional

Como principal objetivo y motivación de la presente tesis, se pretende establecer un procedimiento para la construcción de modelos de elementos finitos, con los que simular numéricamente la mecánica de interacción local entre la chapa de acero y el hormigón y que permitan reproducir fielmente cualquier geometría de chapa.

Se pretende también adecuar el tamaño de los modelos al uso de procesadores convencionales y en tiempos de computación razonables, de forma que cualquier industria productora de chapa pueda incorporar fácilmente a su ingeniería lo que en esta tesis se aporta. Así, intentará evitarse el uso de supercomputadores o computación paralela, aunque sabiendo que se cuenta con dicha posibilidad en la UPC si fuera necesario.

1.2.2. Descripción de los Mecanismos Resistentes al Deslizamiento

Descripción detallada de los mecanismos resistentes y de fallo por deslizamiento longitudinal, para diferentes tipologías de chapa y de embutición, mediante el análisis de resultados de las simulaciones numéricas y de los ensayos.

1.2.3. Evaluación de Sensibilidad de la Resistencia al Deslizamiento

Elaboración de macros paramétricas que permitan el cálculo sistemático de modelos con pequeñas o grandes variaciones en los parámetros físicos y geométricos del sistema, para el estudio de sensibilidad de la resistencia de las losas mixtas frente al deslizamiento longitudinal. Los principales parámetros analizados serán los siguientes:

- Coeficiente de rozamiento m
- Espesor de la chapa t
- Profundidad de embutición f
- Inclinación de la embutición f'
- Longitud de la embutición en la base l
- Anchura de la embutición en la base w
- Pendiente de embutido a
- Ángulo de perfilado b

Los modelos numéricos de elementos finitos reproducirán el ensayo de *Pull-out*. El proceso de simulación deberá, en la medida de lo posible, ajustarse experimentalmente y validarse su fiabilidad y estabilidad numérica.

1.2.4. Recomendaciones para el diseño de chapas

Las conclusiones que se obtengan del análisis y descripción de los modos de fallo, del estudio paramétrico y de los ensayos, constituyen el *Capítulo 7*, donde se pretenden resumir los puntos clave que afectan a la resistencia frente al deslizamiento, de los diseños de chapas basados en los mecanismos resistentes convencionales.

1.2.5. Determinación de la distribución de esfuerzos rasantes

Las losas ensayadas a flexión se han instrumentado, en los tramos de luz rasante, con galgas extensométricas fijadas en varias secciones situadas a distintas distancias de los apoyos. Con ello se ha conseguido evaluar la veracidad de la hipótesis de uniformidad de la distribución de esfuerzos rasantes transmitidos por las embuticiones.

1.2.6. Cuantificación de las *sombras de tensión longitudinal*

Se pretenden aprovechar los modelos de elementos finitos para evaluar el perfil de distribución de tensiones longitudinales en tracción simple, con el fin de cuantificar las *sombras de tensión* que provocan las embuticiones y contrastar los resultados con las hipótesis de cálculo adoptadas por la normativa europea Eurocódigo-4.

1.2.7. Nuevo diseño de chapa

Como valor añadido de aplicación industrial, se aprovecharán las conclusiones del análisis para proponer un nuevo diseño de chapa conformada optimizada en cuanto al funcionamiento colaborante, aunque basada en la mecánica resistente convencional de los diseños actuales.

1.3. CONTENIDO

En el *capítulo 2* de la tesis, se resume el estado actual de las investigaciones específicamente referidas a la descripción de la interacción local entre la chapa de acero y el hormigón.

En el *capítulo 3* se expone detalladamente la mecánica de flexión de la losa mixta, especialmente lo referido al funcionamiento colaborante entre la chapa y el hormigón, así como sus mecanismos de fallo y aspectos relativos a las normativas de cálculo y los ensayos más comunes usados en la caracterización su comportamiento.

El *capítulo 4* trata específicamente los ensayos de *Pull-out* y reducido de flexión, se describen ambos y se presentan las probetas ensayadas y sus resultados.

El *capítulo 5* presenta las particularidades del método de simulación numérica utilizado, las características de los modelos numéricos, así como los casos analizados y los resultados.

El *capítulo 6* constituye el cuerpo central de la tesis, donde se analizan y contrastan todos los resultados.

En el *capítulo 7* se resumen las conclusiones, se proponen nuevas posibilidades de investigación y se resumen las principales aportaciones de la tesis.

El *capítulo 8* contiene un resumen bibliográfico comentado.