



Tesis Doctoral

ESTRUCTURAS MIXTAS DE HORMIGÓN – MADERA APLICADAS A LA REHABILITACIÓN DE FORJADOS

Autor : José Luíz Pardo Ros
Arquitecto

Director : D. José Monfort Lleonart
Dr. Arquitecto, Catedrático de Universidad en el
Departamento de Mecánica de los Medios
Continuos y Teoría de Estructuras de la
Universidad Politécnica de Valencia.

Valencia, Noviembre de 1997

INDICE

1. Introducción	5
2. Estado de la cuestión:	12
2.1. Tipología constructiva	12
2.2. Conectores	25
2.2.1. G.Turrini – M.Piazza	25
2.2.2. E.Giurani – P.Ronca	34
2.2.3. P.Gelfi – P.Ronca	35
2.3. Cálculo	39
2.3.1. C.Alongi – F.Buccino	42
2.3.2. G.Turrini – M.Piazza	52
2.3.3. C. Messina - L. Paolini	58
2.3.4. S. Capretti - A. Ceccotti	61
3. Estudio teórico	68
3.1. Hipótesis de cálculo	68
3.2. Flexibilidad de los conectadores	70
3.3. Estado de cargas	72
3.4. Tensiones iniciales	73
3.5. Deformaciones	80
3.6. Esfuerzo rasante	82
3.7. Efectos reológicos sobre el hormigón: tensiones modificativas y deformaciones	83

4. Programa de cálculo	88
4.1. Entrada de datos	89
4.2. Salida de resultados	93
4.2.1. Valores de cálculo directo	93
4.2.2. Cargas de agotamiento. Criterios	97
4.3. Comparación de resultados	110
4.3.1. S. Capretti - A. Ceccotti	110
4.3.2. G.Turrini – M.Piazza	112
4.3.3. P.Gelfi – P.Ronca	115
4.3.4. Sistema Llear	116
4.3.5. Elementos finitos sólidos por SAP 90	118
4.4. Ensayos realizados	124
4.4.1. Escuelas Pías de Gandía	124
4.4.2. Marqués del Turia nº 5 de Valencia	138
5. Abacos de dimensionado	151
5.1. Curvas que representan cargas de agotamiento	160
5.2. Abacos finales	165
6. Conclusiones y líneas de actuación futura	175
7. Referencias bibliográficas	179
8. Anejo 1. Listados de Programa	185

1. INTRODUCCIÓN

El creciente desarrollo que están teniendo en la actualidad los problemas relacionados con la rehabilitación de edificios antiguos, ha traído consigo la necesidad de incrementar la capacidad portante de los forjados con viguetas de madera existentes, al tiempo que se mantiene la tipología de la estructura original; esto nos lleva directamente al estudio de estas técnicas de refuerzo, tanto desde el punto de vista teórico como práctico.

En este campo, se plantea frecuentemente la recuperación de un forjado formado por viguetas de madera y un entrevigado con soluciones constructivas muy diversas, dependiendo de la época y lugar de construcción; en ocasiones, esta situación responde a motivos puramente económicos, mientras que otras veces se hace por el valor histórico-artístico del edificio, que justifica este refuerzo aunque sea más costoso que la sustitución. Las causas que generalmente obligan a adoptar este tipo de medidas son:

1. la degradación de la madera, que se traduce en una disminución de su sección resistente
2. el cambio de utilización del edificio, que equivale normalmente a un incremento de las cargas de servicio
3. motivos funcionales, tales como deformaciones, vibraciones, etc.
4. otras razones diversas, para adaptarse a normativas recientes (protección contra incendios, insonorización, etc.) que quedan fuera del ámbito estructural en que se plantea este trabajo

Además de estas causas, consecuencia directa de una degradación o cambio de uso de la estructura, las crecientes exigencias en materia de seguridad hacen que estos forjados deban realizar también funciones que no se consideraban prioritarias en su época de construcción, tales como:

1. capacidad para funcionar como diafragma rígido en su plano, solidarizando todos los elementos verticales enlazados a él, de manera que tengan un comportamiento de caja que permita absorber las acciones horizontales
2. capacidad para redistribuir las cargas gravitatorias entre los distintos elementos lineales que lo componen, de forma que si alguno de ellos resulta sobrecargado pueda trabajar conjuntamente con los adyacentes

además de los problemas de flechas citados en el párrafo anterior, a los que no se ha prestado suficiente atención hasta época relativamente reciente.

Una solución que tradicionalmente se ha venido aplicando, y que en ocasiones constituye una mala práctica constructiva, es la colocación de una solera de hormigón ligeramente armado sobre el forjado existente previamente saneado, sin ningún tipo de conexión entre ambos. Esto hace que las dos partes del forjado así constituido trabajen independientemente, con lo que el incremento de la capacidad portante y de la rigidez del conjunto es escaso; la única ventaja de este procedimiento es que permite la redistribución de cargas entre las viguetas, teniendo como inconveniente el incremento del peso propio que puede llegar a compensar, e incluso superar, la eficacia del refuerzo que se consigue.

El estudio que nos proponemos realizar, corresponde al comportamiento de esta misma solera de hormigón como refuerzo del forjado, cuando se disponen adecuadamente elementos de conexión con la vigueta para que el conjunto trabaje solidariamente como una pieza mixta de hormigón y madera. El objetivo es lograr que el hormigón, o la mayor parte de él, trabaje a compresión, con lo que se consigue aumentar el canto resistente del forjado, y el de todas las características mecánicas que condicionan su comportamiento a flexión; para ello, es preciso que los conectadores sean capaces de absorber los esfuerzos rasantes que se generan en la superficie de contacto entre ambos materiales.

Tal como está planteado el problema hasta aquí, se limita al análisis de una pieza mixta similar a las que con frecuencia se proyectan de hormigón y acero, pero con algunas variaciones como consecuencia de la tipología específica que vamos a considerar:

1. Los conectadores. Estos elementos, generalmente metálicos, producen el aplastamiento de la madera al transmitir los esfuerzos rasantes, lo que equivale a un deslizamiento relativo entre hormigón y madera, que influye sensiblemente en la distribución de esfuerzos. Aunque en piezas mixtas de hormigón y acero, en ocasiones también se plantea el problema de la flexibilidad de los conectadores, en este caso su influencia es mayor al ser la madera un material blando.
2. El espesor de la solera de hormigón. Para no incrementar excesivamente el peso propio del forjado, que condicionaría negativamente el campo de aplicación de esta solución, tenemos que ir a espesores de hormigón pequeños, que no permiten la colocación de armaduras longitudinales y transversales en la posición que sería deseable.
Por ello, nos tenemos que limitar a la colocación de un mallazo, generalmente en la cara inferior del hormigón donde no es muy eficaz, y en estas condiciones no podemos considerar que los diagramas de cálculo en este material sean los que habitualmente se consideran para el hormigón armado; tenemos que prescindir de la armadura a efectos de cálculo, sólo ejercerá una función constructiva, considerando un comportamiento de la solera como hormigón en masa.
3. La vigueta de madera. Por tratarse de un estudio de rehabilitación en el que la madera es un material existente, sus características las hemos de determinar a partir de ensayos; teniendo en cuenta la heterogeneidad propia de este material, más aun en construcciones antiguas a las que nos estamos refiriendo, y que la toma de

muestras, la mayor parte de las veces, no puede hacerse ni en el número ni en la localización que sería deseable, este valor sólo lo podemos determinar con aproximación, lo que obliga a utilizar coeficientes de seguridad razonablemente conservadores.

4. Los efectos reológicos. Este tipo de fenómenos, aunque de forma diferente, afectan tanto al hormigón como a la madera.

En este caso concreto, el hormigón es un material de nueva colocación que va a experimentar estos efectos, por lo que deben ser evaluados; pero la madera, tanto por su antigüedad como por el tiempo que ha estado cargada, ya ha experimentado todos sus movimientos diferidos, por lo que no los tendremos en cuenta, considerando que no se ve afectada por ellos.

Aunque estos fenómenos reológicos, en parte, tienen carácter reversible y podríamos estimar que se recuperan al descargar el forjado y vuelven a producirse al cargarlo de nuevo, el tiempo que va a permanecer descargado durante la ejecución de la obra es muy corto en comparación con el tiempo anterior de carga; teniendo en cuenta que la recuperación de estas deformaciones también tiene carácter lento, y que afectan más a la zona comprimida que a la traccionada de la madera, se puede considerar aceptable la hipótesis enunciada de desprestigiar el comportamiento reológico de la madera en este caso.

A partir de este planteamiento general, el trabajo se inicia con una revisión del estado de la cuestión, recopilando y analizando tanto las soluciones constructivas que se han desarrollado para resolver este problema, como las tipologías de conectadores y procedimientos de cálculo teóricos y/o experimentales. De los procedimientos estudiados se desprende que, o bien abordan el problema desde una perspectiva parcial, o cuando lo enfocan con carácter general llegan a resultados excesivamente complejos que hacen inviable su aplicación práctica.

Con esta premisa hemos trazado el objetivo del trabajo: elaborar un procedimiento de cálculo que permita utilizar las soluciones constructivas usuales con sus variantes (cabeza de hormigón rectangular o en T, distintas tipologías de conectadores y calidades diversas de hormigón y madera), cuya aplicación práctica sea viable, a la vez que se puedan evidenciar claramente las relaciones que existen entre las distintas variables para facilitar las decisiones desde la fase inicial del proyecto.

Con este objetivo, se ha realizado inicialmente un análisis teórico del problema que incluye las variables representativas de las magnitudes y situaciones de proyecto que se pueden plantear; como era de esperar, los resultados obtenidos son complejos, tanto por la propia naturaleza del problema como por la cantidad de variables que intervienen.

Por ello, se ha desarrollado a continuación un programa de cálculo interactivo, que se puede implementar en cualquiera de los ordenadores personales que existen usualmente en una oficina técnica, y permite, fijando los valores de las magnitudes que consideramos como datos del problema, obtener los valores de las demás variables que definen el dimensionado completo del forjado, de manera que se verifiquen las condiciones de equilibrio y compatibilidad, a la vez que tenga en cuenta la influencia de los efectos reológicos con las premisas que se han indicado anteriormente.

Este programa resuelve el problema de cálculo, entendido en el sentido de que permite definir las dimensiones de una solución ya proyectada. Pero en las estructuras arquitectónicas, antes que este problema aparece otro: el diseño de una solución previa, con dimensiones razonablemente aproximadas, que sea viable tanto desde el punto de vista constructivo como económico; por lo que también hemos querido incluir esta perspectiva en el trabajo.

Para ello, utilizando las relaciones analíticas obtenidas y aplicando el programa desarrollado, se han elaborado unas gráficas que interrelacionan las distintas variables y permiten determinar con suficiente aproximación en los

casos estudiados (que corresponden a los que habitualmente se suelen plantear) los valores de las variables consideradas como incógnitas.

Para esta última fase del problema, teniendo en cuenta que las representaciones gráficas que resultan como aplicación inmediata de los resultados teóricos, no corresponden a líneas sino que son nubes de puntos que delimitan la tendencia de la ley de variación, se ha intentado emplear criterios de regresión que, posteriormente se han tenido que desechar por quedar en muchos casos del lado de la inseguridad.

Como todo trabajo de investigación que se desarrolla en el campo analítico, es necesario verificar sus resultados comparándolos con otros experimentales; para ello se han seguido dos líneas: por un lado, se han comparado los resultados que se obtienen por el procedimiento propuesto, con otros de problemas similares publicados en la bibliografía sobre la materia, verificando que se obtiene una buena aproximación.

La otra línea de experimentación hemos tratado que fuera de elaboración propia, siendo conscientes desde el principio de que por limitación de medios el número de experiencias que podríamos realizar sería insuficiente para que la muestra pudiera considerarse representativa. Para ello, en dos proyectos en los que hemos tenido ocasión de aplicar estos criterios, se han realizado pruebas de carga para efectuar comparaciones; como se indica en el capítulo correspondiente, el comportamiento real de la solución propuesta es sensiblemente más rígido que lo que se desprende del estudio analítico realizado.

Consideramos que esto es debido a que el material de entrevigado, que no se ha considerado en el cálculo, presenta una notable rigidez a compresión para cargas de servicio, y el rozamiento entre hormigón y madera (que en muchos casos no se produce solamente en la cara superior de la vigueta de madera, sino también en las laterales, si, como es frecuente, el hormigón se emplea también para relleno de senos en el entrevigado) equivale a un incremento notable en la rigidez de la conexión.

Aunque los ensayos realizados, como ya se ha indicado, son insuficientes para poder considerar esto como una conclusión del trabajo, la evidencia observada de que el comportamiento del forjado en su conjunto resulta bastante más favorable que el de cada uno de sus elementos longitudinales considerados aisladamente, que es como se suelen analizar, nos hace considerar esto como una de las líneas de actuación futura por donde podría desarrollarse la propuesta que seguidamente se plantea.

2. ESTADO DE LA CUESTIÓN:

2.1. TIPOLOGÍA CONSTRUCTIVA

Si diseñamos el refuerzo de un forjado de viguetas de madera mediante una capa de hormigón, colocando una solera superpuesta sin ningún tipo de conexión con la estructura original, estaremos repartiendo la carga, y tal vez mejorando muy poco su comportamiento frente a deformaciones (ref. 10); en cambio, la capacidad portante no aumentará, debido a que el refuerzo supone un peso muerto que reduce la sobrecarga de uso.

Por tanto, cualquier refuerzo que planteemos, pasa por la necesidad de hacer trabajar ambos materiales de forma solidaria, diseñando soluciones constructivas que conecten el hormigón con la madera, para que el sistema estructural formado tenga una rigidez a flexión superior a la que se obtiene si simplemente superponemos la solera a las viguetas. El criterio expuesto, ofrece un amplio abanico de posibilidades constructivas, que tienen como diferencia sustancial la materialización de la conexión entre las dos partes, o bien, una mejora de la puesta en obra, que favorece su uso en procesos industriales y abarata costes.

Se puede establecer una primera clasificación de los elementos de conexión, con carácter general, en función de su disposición atendiendo al esquema de la Fig. 2.1.1 :

A. Conexión de forma continua:

Chapa metálica continua. Colocada en la vigueta de madera donde se ha practicado previamente una acanaladura para alojarla, fijándola con resina sintética o en seco mediante bulones; es

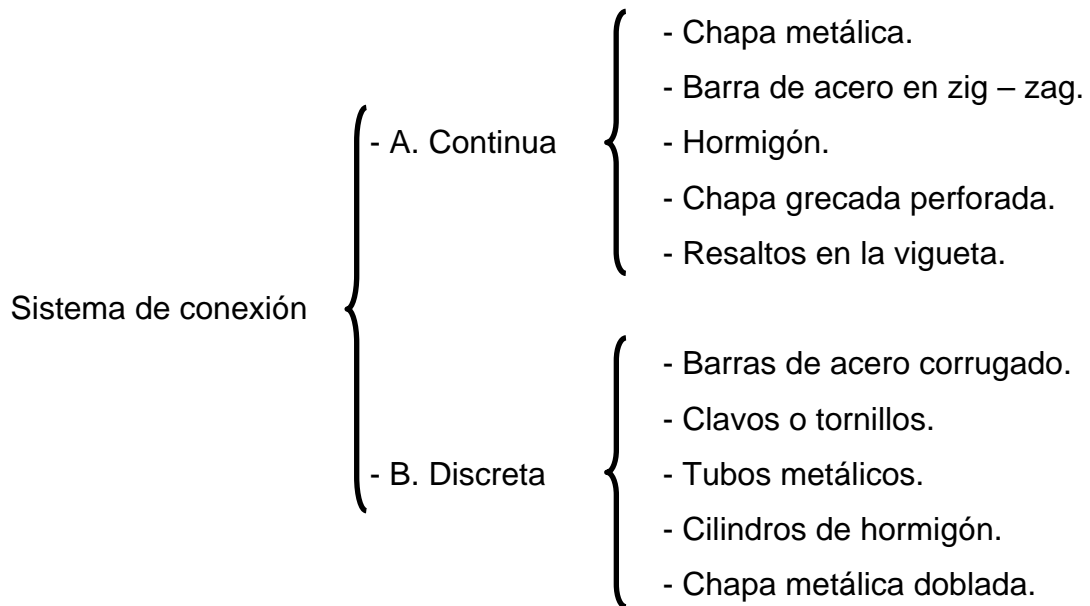


Fig. 2.1.1 Clasificación de los elementos de conexión en función de su disposición.

precisamente esta chapa, la encargada de transmitir los esfuerzos rasantes entre hormigón y madera (Fig. 2.1.8).

Barra de acero en zig-zag. Dispuesta de igual forma que el caso anterior (Fig. 2.1.16 y Fig. 2.1.17), consiguiendo mejor anclaje tanto en el hormigón como en la madera así como un ahorro importante en peso y por tanto en economía.

Hormigón . Se realiza una acanaladura lo suficientemente ancha y profunda en la vigueta para que el hormigón que forma la capa de compresión pueda penetrar formando una conexión de tipo continuo (Fig. 2.1.13); en este caso, existe el peligro de una rotura frágil debido a que en la zona donde se van a transmitir los esfuerzos rasantes no hay armadura a cortante.

Chapa metálica grecada con perforaciones. Anclada a la vigueta de madera en seco mediante clavos o tornillos (Fig. 2.1.21).

Resaltos en la vigueta. Realizados en la cara de contacto con el hormigón, están siempre complementados por otro tipo de

conector (clavos, tornillos) que puedan absorber los efectos de despegue entre los dos materiales, ya que los resaltes solo responden frente a esfuerzos rasantes en una dirección y no son capaces de transmitir las pequeñas tracciones que se desarrollan para que ambas secciones flecten por igual (ver Fig. 2.1.5, Fig. 2.1.7.a y Fig. 2.1.12).

B. Conexión discreta (conectores dispuestos de forma puntual):

Barras de acero corrugado para hormigón. Se anclan a la madera mediante un taladro previo y posterior relleno de resina epoxi, mientras que en el hormigón la conexión se produce por adherencia (ver Fig. 2.1.3, Fig. 2.1.11, y Fig. 2.1.14)

Clavos y tornillos. Colocados en seco sobre la madera, ofrecen bien el vástago o bien una cabeza de forma alargada para transmitir esfuerzos rasantes (ver Fig. 2.1.2, Fig. 2.1.5, Fig. 2.1.7.b y Fig. 2.1.7.c)

Tubos metálicos de acero con zona dentada. Para fijar sobre la vigueta de madera mediante presión, aunque se realiza una perforación previa; en algunos casos, se complementa con la adición de resinas epoxi (ver Fig. 2.1.15, Fig. 2.1.19, y Fig. 2.1.22).

Cilindros de hormigón. Para conseguir un efecto similar a los conectores metálicos, se ejecutan unos taladros de mayor diámetro que en el caso de barras de acero sobre la vigueta de madera, que posteriormente son ocupados por el mismo hormigón que forma la cabeza de la sección mixta.

Chapa metálica doblada. Similar en ejecución a los conectores formados por clavos, es decir, se ejecutan en seco mediante clavado (Fig. 2.1.4).

Los tipos de conexión enunciados, se pueden materializar mediante los siguientes procedimientos constructivos, clasificados por orden cronológico:

Sistema Ew (Suecia 1970)

Consiste en la ejecución de una solera de hormigón armado aligerado, solidarizada a listones esbeltos de madera mediante clavos, (Fig. 2.1.2).

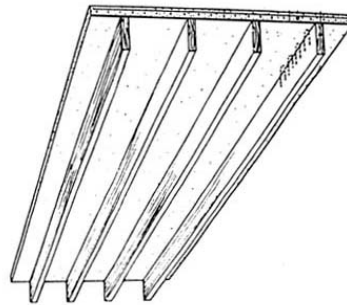


Fig. 2.1.2 Sistema Ew (ref. 33)

Turrini - Piazza (Italia 1983)

Los conectores son barras de acero corrugado, colocados en perforaciones realizadas en la vigueta de madera y fijados con resina sintética, que transmiten esfuerzos al hormigón por adherencia.

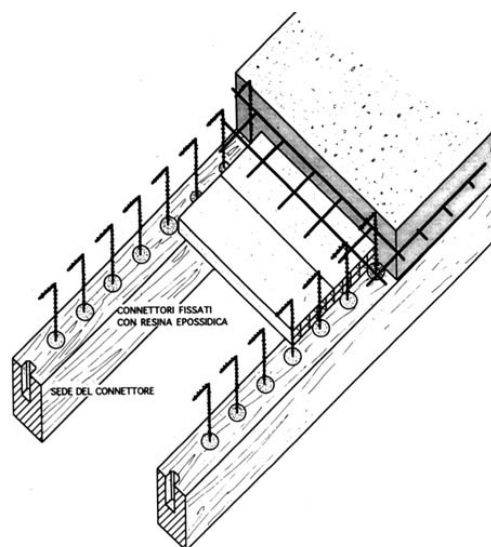


Fig. 2.1.3 Turrini - Piazza (ref. 33)

Messina - Paolini (Italia 1983)

Los conectores están formados por chapa metálica doblada, parcialmente clavada en la vigueta de madera y embebida en la capa de hormigón; el tablero que sirve de encofrado, bajo ciertas condiciones, puede tener función resistente.

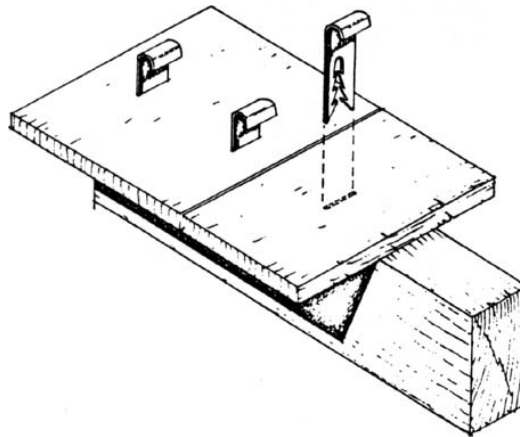


Fig. 2.1.4 Messina – Paolini (ref. 8)

Godycki, Pawlica y Kleszczewski (Polonia 1984)

El sistema consiste en hacer resaltos en la superficie de la vigueta de madera que va a estar en contacto con la solera de hormigón a fin de poder transmitir el esfuerzo rasante, complementándose con la utilización de conectores tipo clavo para evitar el despegue entre ambas secciones.

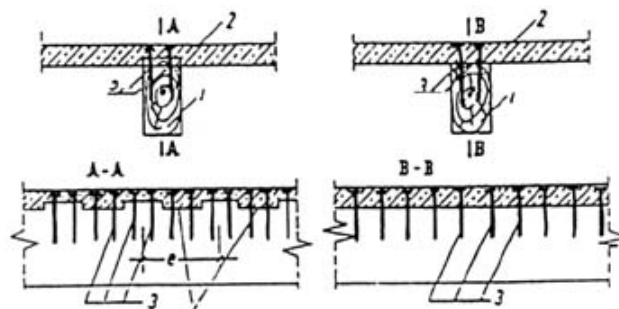


Fig. 2.1.5 Godycki, Pawlica y Kleszczewski (ref. 33)

Te.Co (Italia 1984)

Se utiliza madera laminada encolada y los conectadores son varillas metálicas incrustadas desde fábrica en la vigueta de madera.

Schweizerisch Technische Zeitschrift (Suiza 1985)

Sistema de conectadores roscados sobre la vigueta de madera con un resalto que sirve de anclaje a la sección de hormigón; el detalle se completa con un tablero que sirve solamente de encofrado perdido, sin entrar a formar parte de la sección resistente.

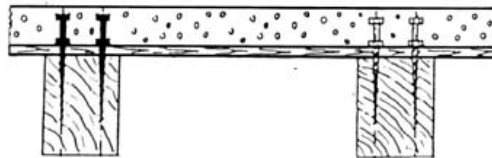


Fig. 2.1.6 Schweizerisch Technische Zeitschrift (ref. 33)

Sistema Poutanen (Finlandia 1987)

Los conectadores son chapas metálicas clavadas lateralmente a las viguetas similar a Fig. 2.1.7.d.

Natterer, Hoefft (Suiza 1987)

Las conexiones utilizadas son:

- a). Resaltos en la vigueta de madera para transmitir el esfuerzo rasante.
- b). Conectores a base de tornillos
- c). Conectores formados por clavos con cabeza inclinados 30°.
- d). Chapas metálicas grecadas entre dos viguetas de madera unidas lateralmente a estas y emergiendo a fin de poder producir la conexión entre hormigón y madera.

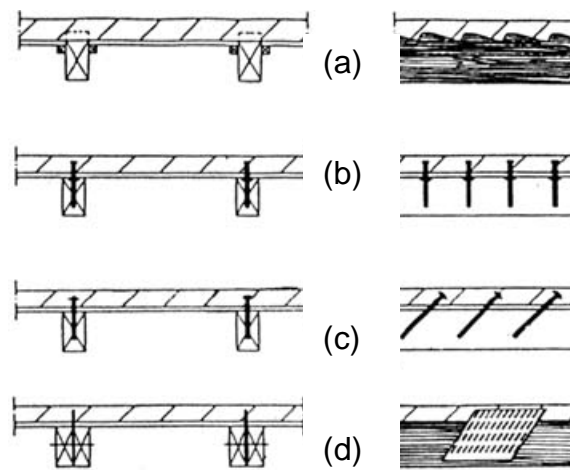


Fig. 2.1.7 Natterer, Hoefl (ref. 33)

Tampone, Campa (Italia 1987)

El sistema consiste en incrustar una o varias chapas metálicas en la vigueta, uniéndolas con resinas epoxi o bien en seco mediante bulones; de este modo, se mantiene la continuidad en las fibras de la madera y, para conseguir el anclaje con el hormigón se coloca una barra de acero doblada en zig-zag o bien conectadores tipo barra, unidos a la chapa por soldadura.

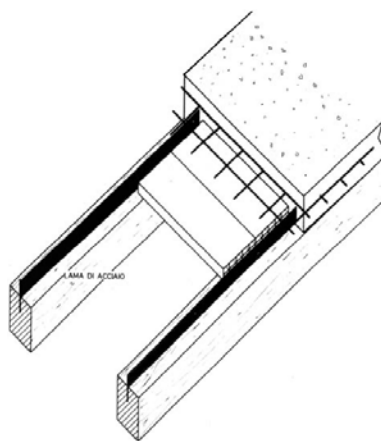


Fig. 2.1.8 Chapa metálica sin más elementos

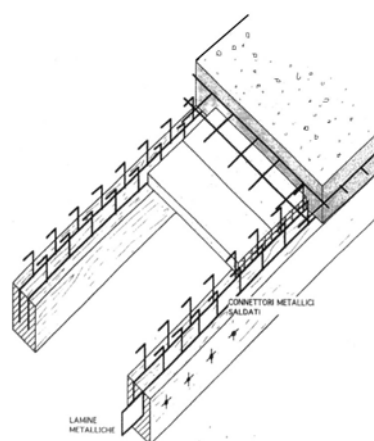


Fig. 2.1.9 Chapa metálica adherida a la madera con bulones y al hormigón mediante conectadores tipo barra.

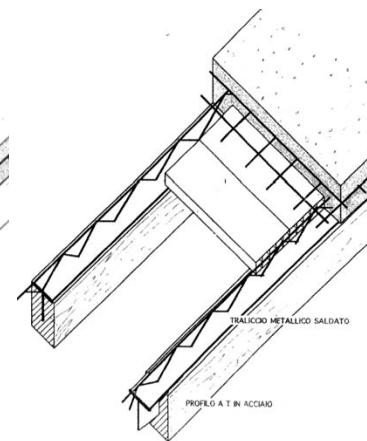


Fig. 2.1.10 La chapa es un perfil en T, pegado a la madera con resinas epoxi y anclado al hormigón por una barra en zig-zag.

Variantes del Sistema Tampone, Campa (ref. 33)

Alessi, Raffagli, Lamborghini (Italia 1989)

Sistema formado por barras rectas de acero incrustadas en taladros practicados en la vigueta de madera y fijados con resina sintética; el detalle se completa con dos barras de acero dispuestas en sentido longitudinal embebidas en el hormigón, con el fin reforzar la conexión en la superficie de contacto entre los dos materiales.

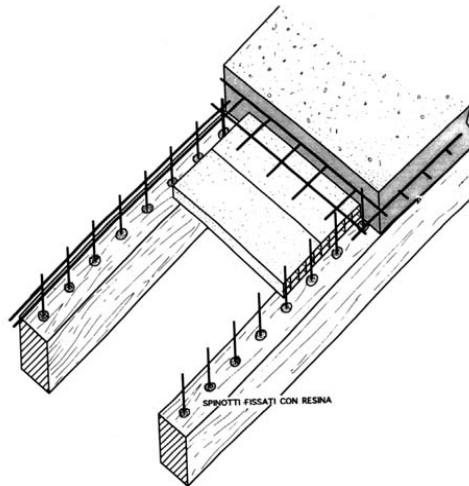


Fig. 2.1.11 Alessi, Raffagli, Lamborghini (ref. 33)

Kessel, Stallkamp (Alemania 1989)

Resaltos en la vigueta de madera para transmitir el esfuerzo rasante complementados con conectadores tipo tornillo o clavos, a fin de evitar el despegue entre las dos secciones.

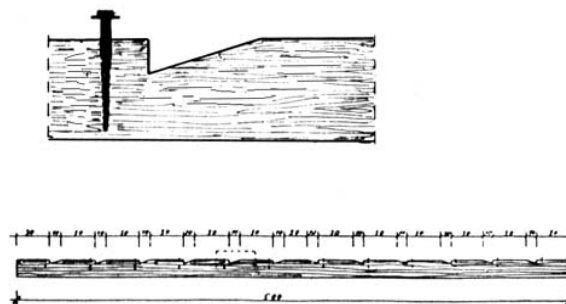


Fig. 2.1.12 Kessel, Stallkamp (ref. 33)

Erler (Alemania 1989)

En este caso, se consigue una conexión continua mediante la formación de una acanaladura en la vigueta de madera completando la sección con la adición de hormigón; existe la posibilidad de rotura frágil, debido a que la zona encargada de transmitir los esfuerzos rasantes, no está armada.

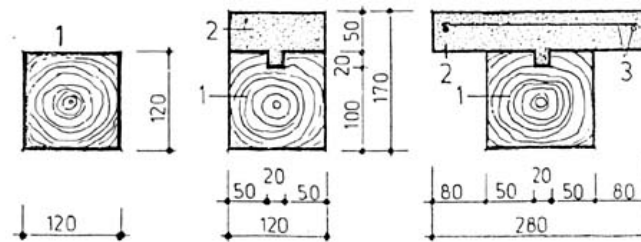


Fig. 2.1.13 Erler (ref. 33)

Cecchi (Italia 1989)

Sistema de conectores tipo barra, que van desde la vigueta a la solera formada por un tablero sobre listones; aparece por tanto una zona en la sección mixta en la cual no hay hormigón, trabajando la conexión a esfuerzo cortante y flexión.

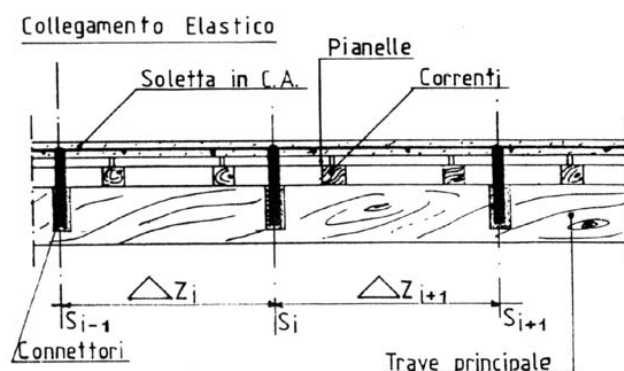


Fig. 2.1.14 Cecchi (ref. 17)

Sylva-Structure (Francia 1989)

El sistema esta formado por tubos metálicos de 70 mm. de diámetro incrustados en la vigueta de madera previamente perforada.

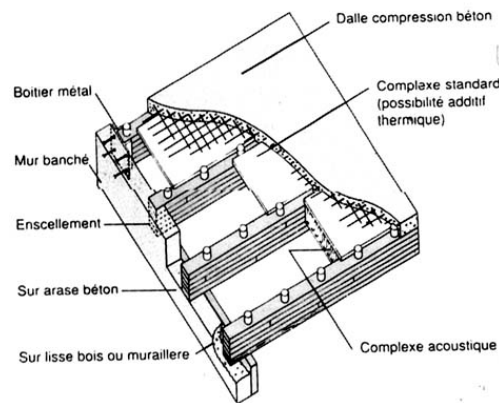


Fig. 2.1.15 Sylva-Structure (ref. 33)

Blassi, Ceccotti (Italia 1989)

Sistema utilizado para viguetas de madera laminada encolada, donde la conexión se realiza mediante una chapa metálica grecada fijada a la madera mediante clavos similar a la Fig. 2.1.7.d.

Wood Beton (Italia 1990)

Consiste en la formación de huecos cilíndricos taladrados en la madera, que son ocupados posteriormente por el hormigón que forma la solera; como sección transversal, es válida la Fig. 2.1.13, la diferencia está en que la conexión formada con los cilindros de hormigón es discreta.

Llear, Rdb-Habitat (Italia 1991)

El sistema de conexión, es una barra metálica en zig-zag fijada a la vigueta de madera mediante una acanaladura practicada en esta y posteriormente rellenada con resina epoxi. Este sistema supone un salto cualitativo respecto a los anteriores, debido a la facilidad de puesta en obra y

economía en la colocación de la conexión, nace de la colaboración entre la empresa del sector del ladrillo y prefabricados “Rbd” y la empresa del sector de madera laminada encolada “Habitat Legno di Edolo”.

En sus inicios la conexión consistía en un elemento de acero doblado de forma triangular y reforzado por dos redondos soldados (primera generación ver Fig. 2.1.16) para pasar posteriormente a la barra metálica en zig-zag, eliminando las dos longitudinales que no están contribuyendo a transmitir el esfuerzo rasante (segunda generación ver Fig. 2.1.17).

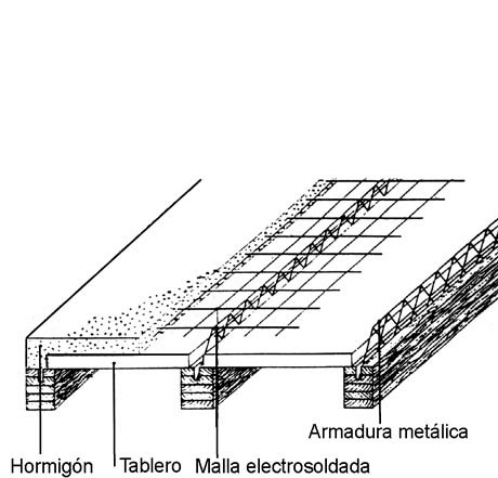


Fig. 2.1.16

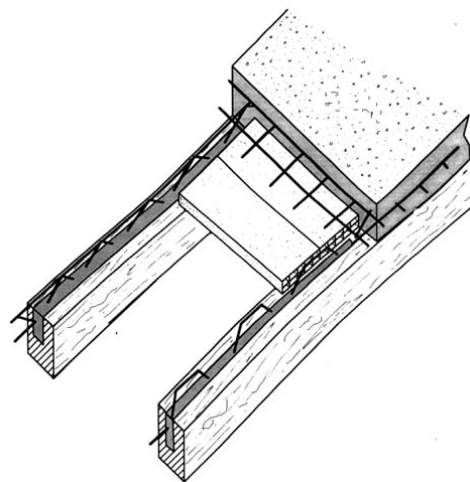


Fig. 2.1.17

Variantes del sistema Llear, Rdb-Habitat, primera y segunda generación (ref. 33 y 34)

Meirhofer, Wieland, Wilhelm (Suiza 1992)

Conectores con filete para roscar en la madera y cabeza alargada en la zona de conexión con la solera de hormigón, es un sistema similar a Fig. 2.1.6
Schweizerisch Technische Zeitschrift



Fig. 2.1.18 Conector Meirhofer, Wieland, Wilhelm (ref.32)

Gelfi, Ronca (Italia 1993)

Los conectadores están formados por tubos metálicos de acero con zona dentada para fijar sobre la vigueta de madera mediante presión, aunque se realiza una perforación previa; en algunos detalles, se complementa con la adición de resinas epoxi y la colocación de dos chapas cuadradas soldadas al tubo (ref.31).

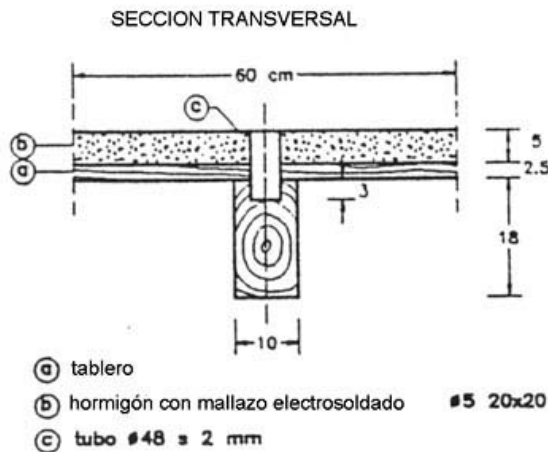


Fig. 2.1.19 Gelfi, Ronca

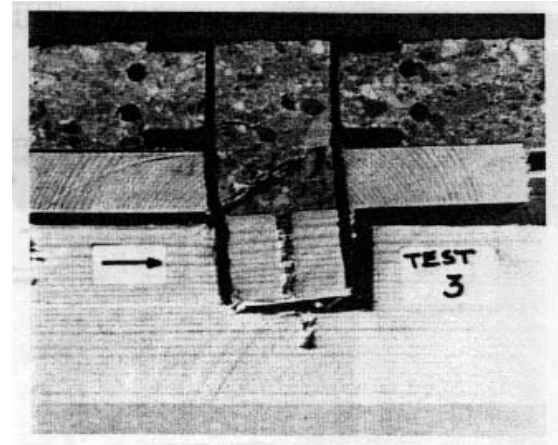


Fig. 2.1.20 Conector ensayado hasta la rotura.

L.P.R. , Peter Cox (Italia 1993)

La conexión se consigue mediante la colocación de una chapa metálica doblada con perforaciones y fijada en seco a la madera mediante tornillos o clavos. Este sistema también supone un salto cualitativo para su uso en procesos industriales; nace de la colaboración entre la empresa Peter Cox y el

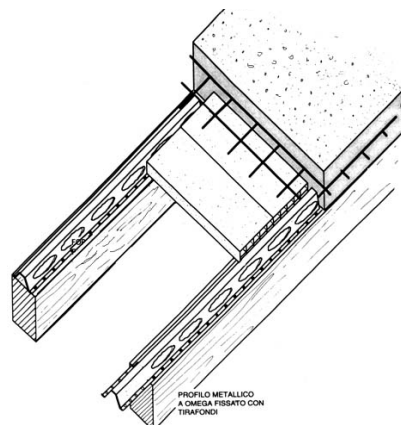


Fig. 2.1.21 L.P.R. , Peter Cox (ref. 33 y 34)

Laboratorio de ensayos de materiales del Instituto Universitario de Arquitectura de Verona.

Flap, Laner (Italia 1994)

Los conectadores son tubos con la cabeza recortada formando dientes, complementados con un tirafondos central y van colocados en seco mediante roscado.

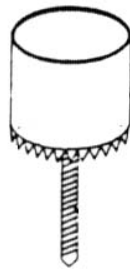


Fig. 2.1.22 Conector tipo Flap, Laner (ref. 33)

2.2 CONECTADORES

La rigidez a flexión de la sección mixta hormigón - madera está estrechamente ligada a la rigidez de la conexión entre los dos materiales, siendo muy pocos los autores que han estudiado y ensayado estos elementos (G.Turrini – M.Piazza, E.Giuriani - P.Ronca y P.Gelfi – P.Ronca) que hayan publicado los resultados obtenidos.

2.2.1 G.Turrini – M.Piazza

Analizan un tipo de conector formado por barras de acero corrugado, que se ancla en la madera practicando una perforación y rellenando con resina sintética, mientras que la unión con el hormigón se produce simplemente por adherencia; en primer lugar, establecen una clasificación en función de la forma de trabajo (ref.11), distinguiendo:

Conectores a cortante.

El esfuerzo rasante que se desarrolla en la fibra de contacto entre hormigón y madera, es absorbido por el conector trabajando exclusivamente a esfuerzo cortante.

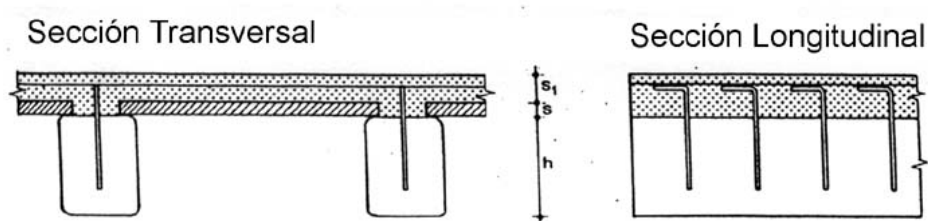


Fig. 2.2.1 Esquema de conectores trabajando a esfuerzo cortante. El hormigón está en contacto con la viga de madera.

Conectores a cortante y flexión.

En este caso, las secciones parciales de hormigón y madera a efectos resistentes no están en contacto debido a la disposición del tablero que sirve de encofrado, por lo que el esfuerzo rasante que se desarrolla entre las dos secciones, provoca sobre el conector esfuerzos de corte y flexión debido a la excentricidad.

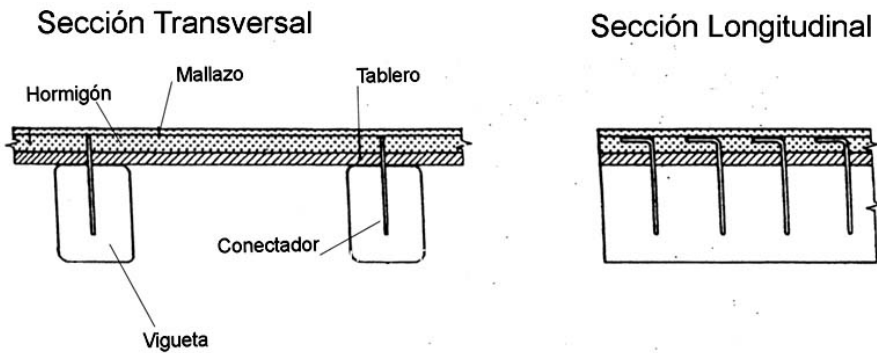


Fig. 2.2.2 Conectores a cortante y flexión. La sección de hormigón no está en contacto directo con la viga de madera.

Conectores a esfuerzo axial.

Debido a la inclinación de los conectores, el esfuerzo rasante queda compensado por la componente horizontal que se produce en las barras cuando trabajan en la dirección axial.

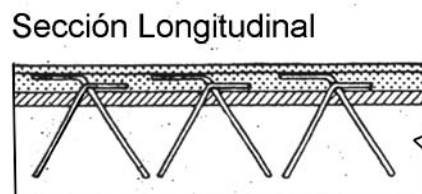
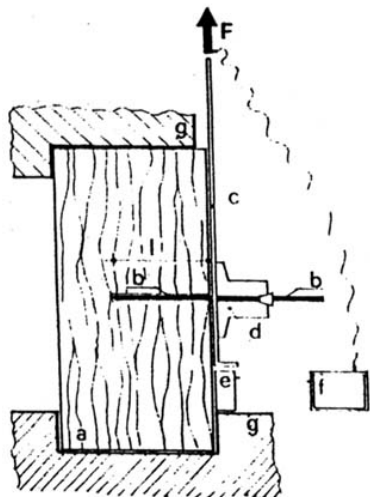


Fig. 2.2.3 Conectores a esfuerzo axial.

Los ensayos con conectores, no se realizan sobre una sección mixta real hormigón – madera trabajando a flexión, sino sobre dispositivos de laboratorio según los esquemas de las figuras siguientes:



- a. Vigueta de madera
- b. Conector
- c. Eje de tracción
- d. Bloqueo del conector
- e. Registro de movimientos
- f. Interprete de los movimientos
- g. Base rígida de vínculo y referencia

Fig. 2.2.4 Esquema de ensayo a cortante.

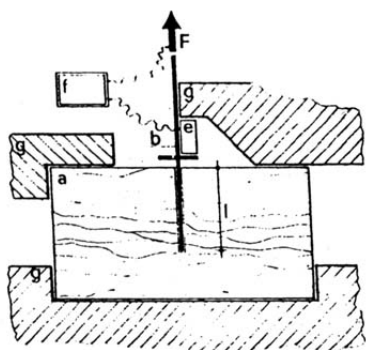


Fig. 2.2.5 Esquema de ensayo a esfuerzo axial del conector en la dirección perpendicular a la vigueta.

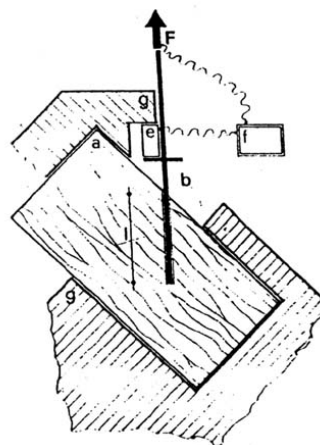


Fig. 2.2.6 Esquema de ensayo a esfuerzo axial en dirección oblicua a la vigueta.

Conectores a cortante

La forma de trabajo de este tipo de conector queda representada en la Fig. 2.2.8 ; del ensayo realizado, se ha obtenido el diagrama F- δ de la Fig. 2.2.7, donde se observa que su comportamiento sigue una ley aproximadamente lineal hasta que comienzan a producirse grandes desplazamientos.

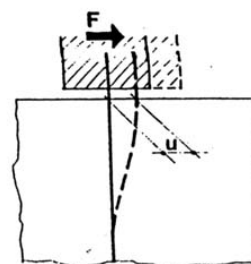
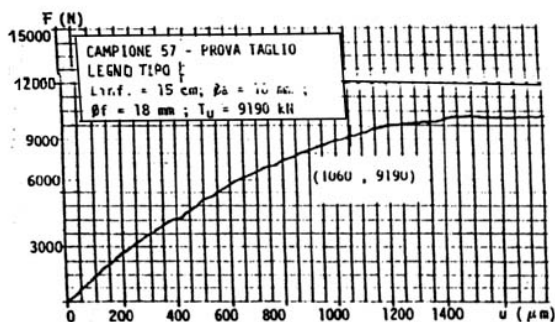


Fig. 2.2.7 Gráfico F- δ del conector trabajando a esfuerzo cortante. (ref. 11).

Fig. 2.2.8 Esquema de trabajo del conector..

Se ha adoptado como fuerza última del conector F_u , aquella que produce un deslizamiento de 1mm. y como valor constante de la rigidez k, en régimen lineal, el valor correspondiente a una fuerza del orden del $90 \approx 95\%$ de F_u .

Estos valores, pueden expresarse analíticamente en función del módulo de deformación de la madera y del diámetro del conector, con las siguientes expresiones:

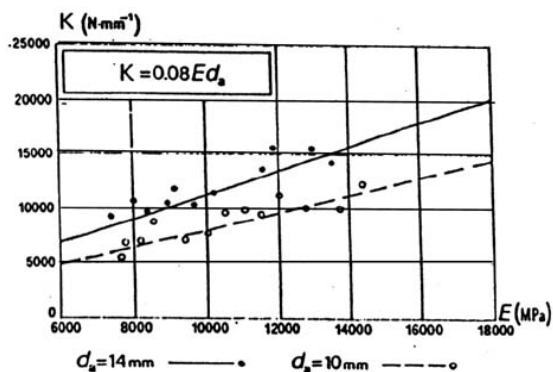


Fig. 2.2.9 Gráfico k - E_w (ref. 11).

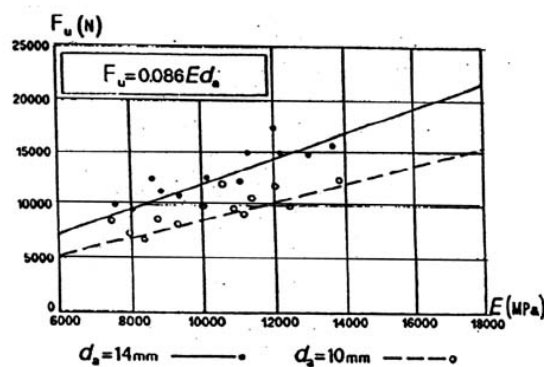


Fig. 2.2.10 Gráfico F_u - E_w (ref. 11).

$$k = 0'08 \cdot E_w \cdot d_a \quad ; \quad F_u = 0'086 \cdot E_w \cdot d_a$$

ec. 2.2.1

siendo E_w el módulo de deformación de la madera y d_a el diámetro del conector; las expresiones anteriores, responden a los gráficos de la Fig. 2.2.9 y Fig. 2.2.10, donde las unidades empleadas han sido, Newtons y mm.

Conectores a cortante y flexión

El esquema de funcionamiento es más complejo y responde al señalado en la Fig. 2.2.11, las expresiones que se obtienen para la rigidez k y la fuerza F_u , son similares a las anteriores pero teniendo en cuenta la deformación producida por la flexión, según el modelo de viga apoyada en medio elástico, correspondiendo el conector a la viga y la madera al medio elástico; resultan las siguientes expresiones:

$$k = r \cdot (0'08 \cdot E_w \cdot d_a) \quad ; \quad F_u = r \cdot (0'086 \cdot E_w \cdot d_a)$$

ec. 2.2.2

que son similares a la ec. 2.2.1, pero afectadas por el coeficiente corrector "r", cuyo valor viene dado por

$$r = 3 \cdot ((\alpha \cdot h_0 - 1)^3 + 4)^{-1}$$

ec. 2.2.3

siendo α un parámetro característico del modelo analítico descrito,

$$\alpha = 0'7413 \cdot d_a^{-1} \cdot (E_w/E_a)^{1/3}$$

ec. 2.2.4

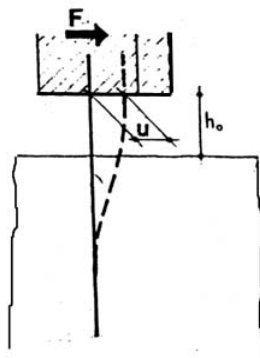


Fig. 2.2.11 Esquema de funcionamiento del conector a cortante y flexión

Conectores a esfuerzo axial.

Los resultados que se indican a continuación, se han obtenido a partir del ensayo de un redondo anclado en la madera y sometido a esfuerzo axial, según el esquema de la Fig. 2.2.12, del que se desprenden las siguientes consideraciones:

- 1 Si la inclinación del redondo con respecto al eje de la vigueta varía entre 45° y 90° , no se aprecian diferencias sustanciales; parece por tanto aconsejable, mantener inclinaciones comprendidas entre 45° y 60° para obtener el esquema de barra comprimida – barra traccionada, tal como se muestra en la Fig. 2.2.13, que proporcione un comportamiento eficiente frente a esfuerzo axial, resultando bajo estas condiciones, esfuerzos similares tanto en el conector que se encuentra traccionado como en el comprimido.

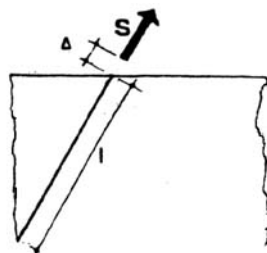


Fig. 2.2.12 Esquema de funcionamiento del conector a esfuerzo axial.

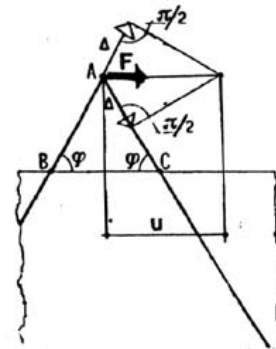


Fig. 2.2.13 Esquema de funcionamiento barra traccionada barra comprimida.

- 2 La longitud de anclaje en la madera, debe estar comprendida entre 15 y 18 veces el diámetro del taladro, en tales condiciones, la rotura se produce por el deslizamiento del cilindro de resina que envuelve al conector; por este motivo la rigidez de la sección viene referida al diámetro del taladro y no al diámetro de la barra.

En la Fig. 2.2.14 se representa el resultado del ensayo mediante el diagrama $S-\delta$ (fuerza axial – deslizamiento), observándose de forma similar al

caso anterior, un comportamiento aproximadamente lineal hasta que empiezan a producirse deslizamientos importantes.

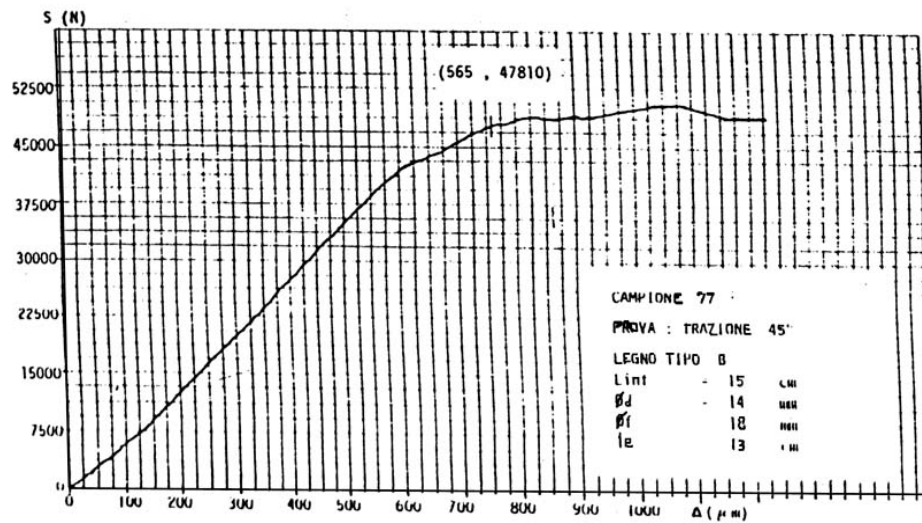


Fig. 2.2.14 Diagrama S - δ (fuerza axial – deslizamiento) correspondiente al ensayo del conector a esfuerzo axial (ref. 11).

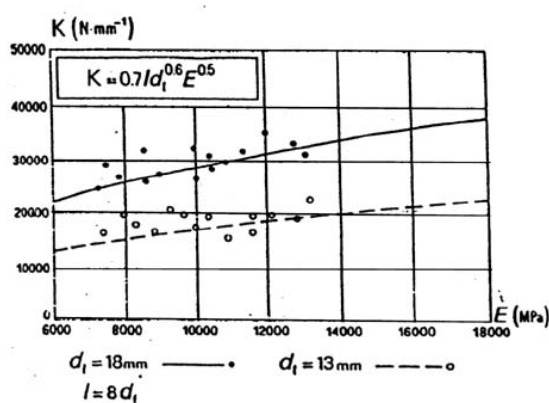


Fig. 2.2.15 Gráfico K - E_w correspondiente al ensayo a esfuerzo axial. (ref. 11).

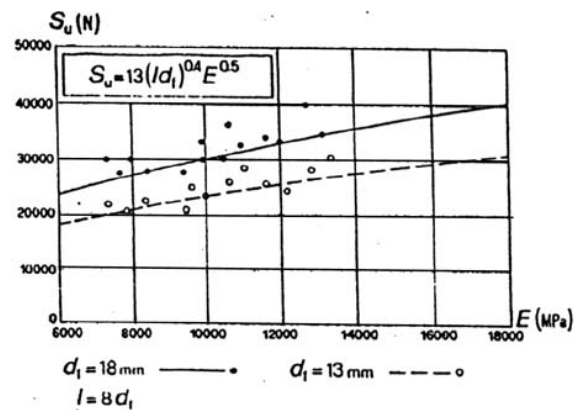


Fig. 2.2.16 Gráfico S_u - E_w correspondiente al ensayo a esfuerzo axial. (ref. 11).

En el gráfico de la Fig. 2.2.15 vemos la relación existente entre la rigidez k , el diámetro del taladro d_f , la longitud “ l ” de anclaje del conector en la vigueta y módulo de deformación de la madera E_w , mientras que el gráfico siguiente Fig. 2.2.16, relaciona la resistencia a esfuerzo axial S , el diámetro del taladro, la longitud de anclaje y el módulo de deformación de la madera.

Los gráficos anteriores responden a las expresiones analíticas de rigidez y resistencia dadas por la ec. 2.2.5, obtenidas para un solo conector trabajando a esfuerzo axial

$$K = S/\Delta = 0'7 \cdot 1 \cdot d_f^{0'6} \cdot E_w^{0'5} ; \quad S_u = 13 \cdot (1 \cdot d_f)^{0'4} \cdot E_w^{0'5}$$

ec. 2.2.5

donde las fuerzas vienen expresadas en newtons y las longitudes en mm., teniendo en cuenta que el valor de S_u viene limitado por la resistencia a tracción del conector, que para aceros usuales no llega a alcanzarse. Si queremos obtener la rigidez conjunta de dos conectores, uno trabajando a tracción y otro a compresión, viene dada por

$$K_1^{-1} = K^{-1} + k^{-1}$$

ec. 2.2.6

siendo k la rigidez propia de la parte de conector que sobresale de la madera; si despreciamos la rigidez a flexión del redondo, la rigidez de dos conectores y el esfuerzo rasante último vienen dados por

$$K^* = F/u = 2 \cdot K_1 \cdot \cos^2 \varphi ; \quad F_u = 2 \cdot S_u \cdot \cos \varphi = 26 \cdot (1 \cdot d_f)^{0'4} \cdot E_w^{0'5} \cdot \cos \varphi$$

ec. 2.2.7

donde las magnitudes, corresponden a las señaladas en la Fig. 2.2.13. Como disposiciones constructivas de carácter general para los tipos de conectores estudiados, los autores fijan los siguientes valores:

- Los redondos de acero corrugado que forman los conectores serán de 10, 12 ó 14 mm. de diámetro.
- Los conectores a cortante se mantendrán a distancias comprendidas entre 8 y 15 diámetros, mientras que en los conectores a esfuerzo axial, por motivos constructivos esta distancia podrá ser algo mayor.
- El diámetro del taladro será entre 2 y 4 mm. superior al del conector.
- El adhesivo, compuesto a base de resinas sintéticas, deberá ser lo suficientemente fluido para permitir su trabajabilidad y suficientemente denso para evitar fugas por fisuras.

- La rama horizontal de anclaje de los conectores a cortante, o flexión y cortante, deberá tener una longitud de 10 a 12ϕ .
- En conectores a esfuerzo axial, hay que evitar la posibilidad de rotura del hormigón por efecto del conector comprimido, por lo que es aconsejable que el traccionado quede por encima del comprimido.
- Como armadura de la solera de hormigón, se dispondrá como mínimo una malla electrosoldada de $100 \times 100 \times 4$ mm. o similar.

2.2.2 E.Giuriani – P.Ronca

Estos autores han ensayado en bancos de prueba secciones reales hormigón – madera con soluciones diversas de conexión; en todos los casos los conectadores están trabajando a esfuerzo cortante y obtienen como resultado el diagrama $F-\delta$ (esfuerzo rasante - deslizamiento producido) que se indica en la Fig. 2.2.17 .

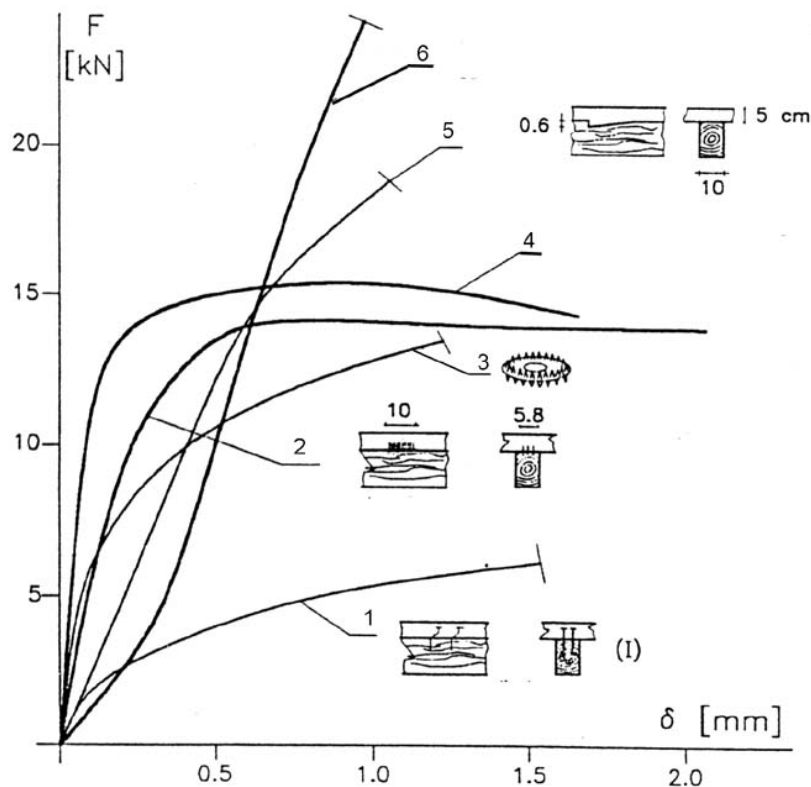


Fig. 2.2.17 Conectores ensayados por E.Giuriani - P.Ronca, así mismo se ha graficado la curva correspondiente a conectadores tubulares, ensayados por P.Gelfi – P.Ronca (ref. 31)

Los conectadores analizados han sido:

- 1 Grupos de cuatro clavos de 5mm. de diámetro dispuestos cada 100 mm. según el eje longitudinal de la vigueta.
- 2 Chapa metálica de 100x58x2 mm. con 18 puntas en cada cara, de 20 mm. de altura.

- 3 Coronas circulares de catorce puntas.
- 4 Conectores de hormigón.
- 5 Resaltos en la madera formando un dentado en la capa de hormigón.
- 6 Conectores formados por tubos metálicos de 2mm. de espesor y 50mm. de diámetro anclados en seco a la madera y rellenos de hormigón. Se corresponden a los ensayados por P.Gelfi – P.Ronca, obteniendo mejores resultados comparados con los anteriores sistemas.

Para cada una de las tipologías, a partir del correspondiente gráfico $F-\delta$, podemos obtener la rigidez del conector fijando como esfuerzo rasante último F_u , aquel que prácticamente está al final de lo que aproximadamente podemos considerar la fase lineal, sin entrar en zona de grandes deslizamientos (<1 mm.), obteniendo la rigidez de un conector $k = F/\delta$ en N/mm.

2.2.3 P.Gelfi – P.Ronca

Los conectores que han ensayado estos autores, son tubos metálicos huecos de dos milímetros de espesor, en los que varía tanto el diámetro como la longitud de anclaje en la madera; la unión se realiza en seco o con resinas sintéticas (ref.31).

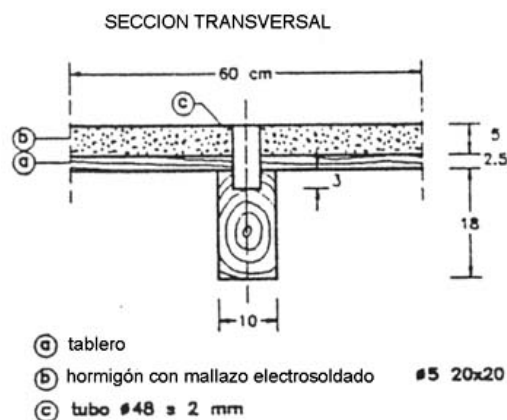


Fig. 2.2.18 Sección transversal con conectores tubulares, ensayados por P.Gelfi – P.Ronca

Los esquemas básicos para la realización de los ensayos, se indican en la Fig. 2.2.19, donde las probetas corresponden a una estructura real, es decir, sección de hormigón – conector – madera.

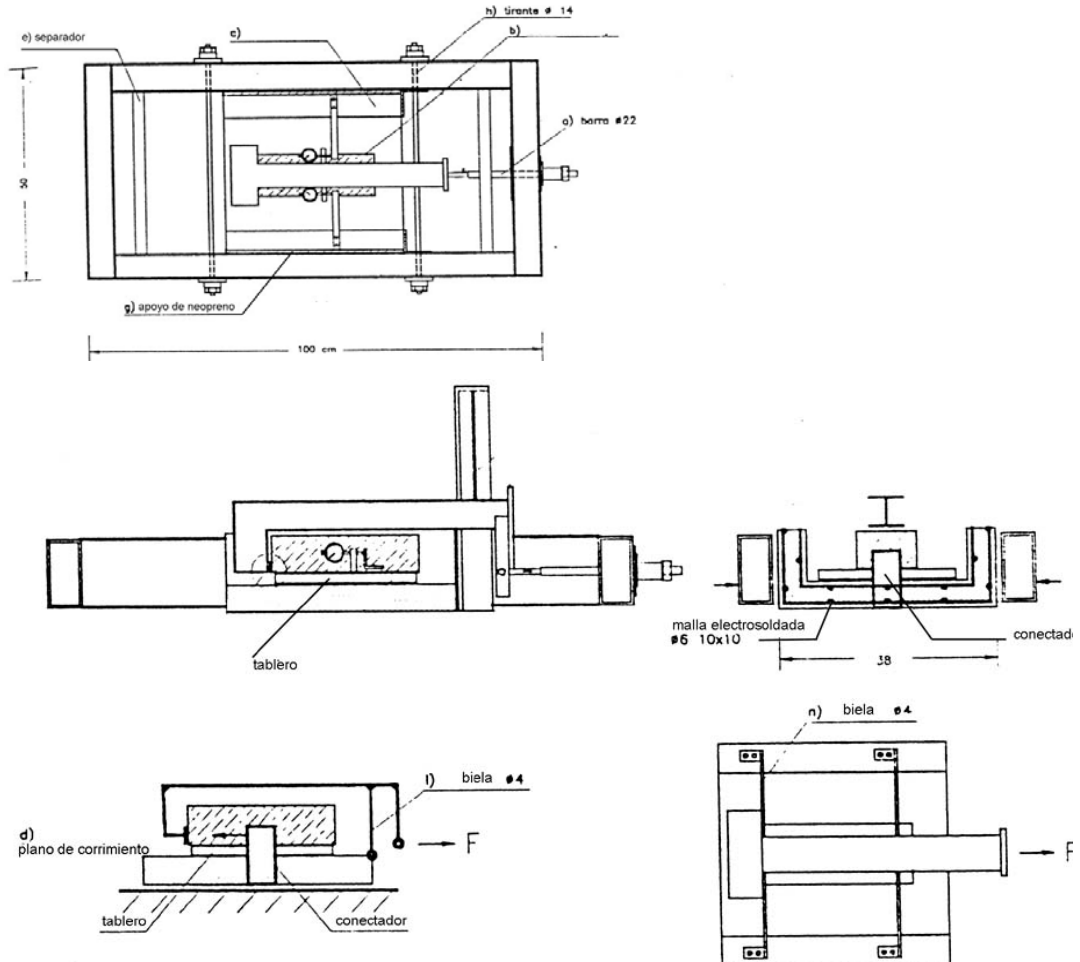


Fig. 2.2.19 Esquemas básicos para la realización de los ensayos, P.Gelfi – P.Ronca (ref.31)

Con los ensayos realizados, llegan a la conclusión que los conectores marcados como Test 3 son los que han dado mejores resultados y corresponden a tubo metálico de $\phi 48 \times 2$ mm. incrustados 32mm. en la madera, que atraviesan por completo la solera, con la particularidad de que el conector queda relleno de hormigón, añadiéndole además dos chapas metálicas a las que se une una malla electrosoldada 200x200x5 mm. (ver Fig. 2.2.18).

La calidad del hormigón utilizado en los ensayos tiene una resistencia característica de $F_{ck} = 42 \text{ Mpa.}$, mientras que la madera es de abeto cuya tensión en rotura, hallada en un ensayo de flexión, es de 40 Mpa. y módulo de deformación medio $E_w = 6200 \text{ Mpa.}$

La Fig. 2.2.20 muestra el resultado de los ensayos en gráficos $F-\delta$, que corresponden a la prueba de carga completa, es decir, proceso de carga hasta llegar a un valor donde comienzan a producirse grandes desplazamientos y plastificaciones, para posteriormente descargar de forma progresiva quedando una deformación remanente muy grande, debido a que se ha llegado de forma práctica a la rotura de la conexión.

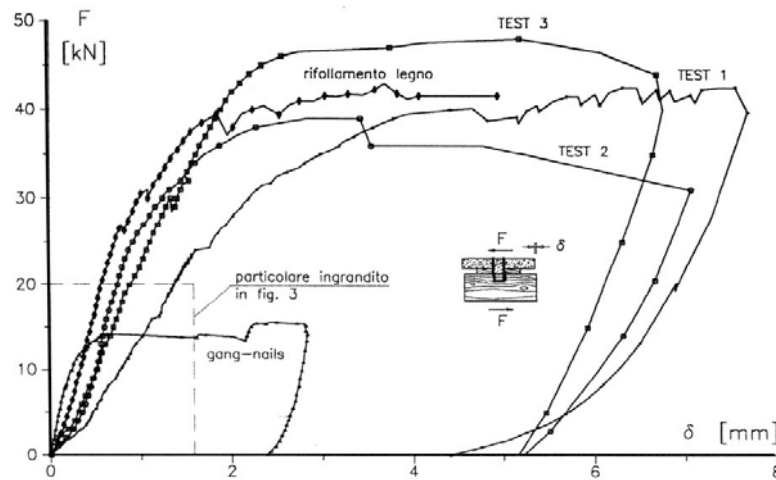


Fig. 2.2.20 Gráficos $F-\delta$ de los diversos ensayos realizados por P.Gelfi - P.Ronca

Del gráfico obtenido, el mayor interés se centra sobre todo en los valores de carga que producen deslizamientos inferiores a un milímetro, en la Fig. 2.2.21 podemos apreciar la simplificación hecha a partir de los resultados anteriores de los ensayos, donde se adopta una relación lineal para $F-\delta$ que queda del lado de la seguridad y proporciona una rigidez para este tipo de conector $k = F/\delta = 10000 \text{ N.} / 0,8 \text{ mm.} = 12500 \text{ N./mm.}$

Como valor de cálculo del esfuerzo rasante máximo F que puede soportar un conector tubular, han adoptado 10000 Newtons. , lo que supone un coeficiente de seguridad mínimo de 4 para cualquiera de los ensayos realizados.

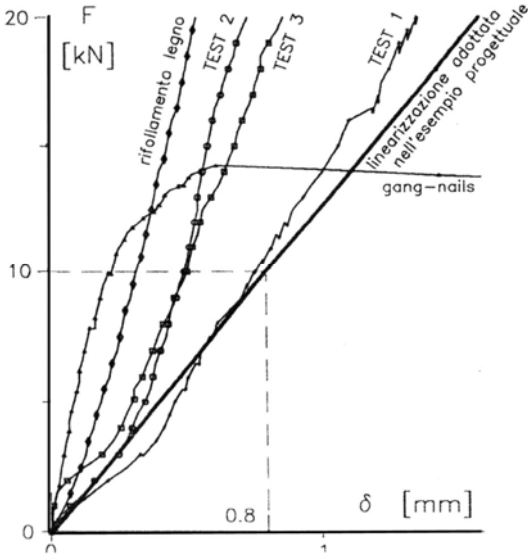


Fig. 2.2.21 Zona que podemos denominar de fase elástica de los conectadores, adoptándose para el cálculo, el valor de rigidez representado por la línea recta.

2.3 CÁLCULO

El Eurocódigo 4, que podemos considerar como normativa actual de referencia, aplicable a estructuras mixtas de hormigón y acero, clasifica los conectadores de acuerdo a dos criterios; el primero de ellos se basa en cómo se producirá el agotamiento de la sección mixta a flexión, diferenciando entre:

- Conexión completa.** En este caso se puede asegurar que primero se produce el agotamiento por flexión en la sección mixta completa que el fallo por deslizamientos relativos entre las dos secciones parciales.
- Conexión parcial.** Cuando se produce el deslizamiento relativo entre las secciones parciales de hormigón y acero antes del agotamiento por flexión de cualquier sección transversal, debiendo ser tenido en cuenta en el análisis. Dicho tipo de conexión no tiene porqué desestimarse, debido a que pueden plantearse casos en que no sea necesario utilizar toda la capacidad resistente de la viga, como por ejemplo cuando el dimensionado responda a limitaciones de servicio y no a criterios de resistencia.

El segundo criterio obedece a la deformación que experimentan los elementos de conexión antes de alcanzar el agotamiento, pudiendo hablar de:

- Conectores rígidos.** Son aquellos que no permiten ningún deslizamiento relativo entre hormigón y acero, entendiéndose como deslizamiento cero aquel del que podemos prescindir en el cálculo de la sección mixta a flexión.

Conectores flexibles. Tienen gran capacidad de deformación cuando se somete la viga a carga, por lo que el deslizamiento relativo entre hormigón y acero debe ser tenido en cuenta en el cálculo.

El primer criterio, se podría aplicar a estructuras mixtas hormigón – madera, aunque en algún caso, la utilización de conexión completa puede dar lugar a disposiciones constructivas de los conectores que encarezcan, de forma poco razonable, el proceso de ejecución; sin embargo, al tratar de aplicar el segundo criterio a secciones mixtas hormigón – madera, es prácticamente imposible alcanzar la conexión rígida, por ser la madera un material relativamente blando, que se aplasta con deformación apreciable contra el acero que normalmente constituye el conector. Por ello, en el proceso de cálculo debemos tener en cuenta su flexibilidad, que se traduce en deslizamientos significativos entre las secciones parciales de hormigón y madera.

En la Fig. 2.3.1 podemos apreciar la influencia que los criterios anteriormente enunciados tienen sobre la deformación de la sección transversal de la estructura mixta; ante una conexión de tipo rígido, podemos considerar que la deformación que se produce en la sección transversal completa cumple la hipótesis de Navier, es decir, permanece plana después de

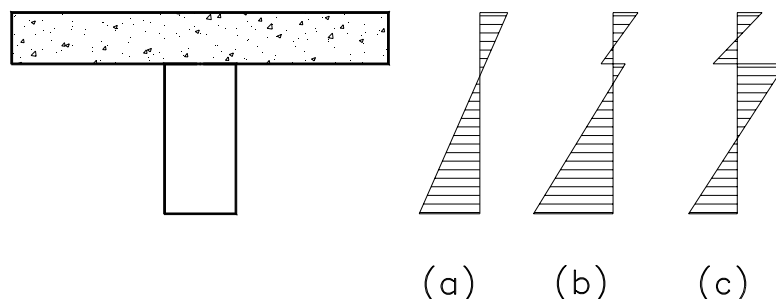


Fig. 2.3.1 Deformación de la sección transversal.

(a) Conexión rígida. (b) Conexión deformable. (c) Conexión nula.

deformar Fig. 2.3.1.a ; ante una conexión de tipo flexible, la hipótesis anterior debemos aplicarla ahora diciendo que las secciones parciales de hormigón y madera que son planas antes de deformar, siguen siendo planas después de que se haya producido la deformación Fig. 2.3.1.b

La Fig. 2.3.1.c representa el diagrama de deformación de una sección hormigón - madera sin ningún tipo de conexión, siendo válida la hipótesis realizada para el caso anterior, respondiendo el diagrama de deformación al de dos secciones superpuestas trabajando a flexión de forma independiente, que absorben en función de su rigidez el momento flector exterior, con estados tensionales de tracción y compresión del mismo valor en cada uno de los materiales.

Por tanto podemos afirmar que la conexión de tipo flexible es un caso intermedio entre conexión rígida y nula; las hipótesis seguidas para el cálculo de secciones compuestas con conexión deformable que se exponen a continuación, en general, se pueden resumir en:

- 1 Conservación de las secciones planas antes y después de deformar (hipótesis de Navier) para las dos secciones parciales hormigón y madera pero no para la sección total.
- 2 Tanto el hormigón como la vigueta de madera tienen un comportamiento elástico y lineal así como los elementos de conexión.
- 3 Se supone igualdad de flecha y curvatura para las dos partes de la pieza mixta.
- 4 Ley lineal entre la fuerza de corte transmitida por la conexión y el deslizamiento producido $F = k.u$, siendo k el módulo de rigidez de un conector.

- 5 El sistema de conexión discreta lo transformamos a efectos de cálculo en su equivalente en continuo.

Vamos a exponer a continuación algunos trabajos que se han desarrollado para el cálculo de este tipo de piezas a partir de estas hipótesis.

2.3.1 C. Alongi - F. Buccino

Los autores desarrollaron esta formulación en 1983 para estructuras mixtas hormigón – madera (ref.5), basándose en primer lugar en los trabajos de Newmark, Siess y Viest en 1951 para estructuras mixtas hormigón - acero con conexión deformable (ref.1), y en el estudio para vigas de madera de varias capas con conexiones mecánicas realizado por Goodman, Asce y Popov en 1968. (ref.2).

De entrada se tienen 4 incógnitas que son los esfuerzos actuantes en las secciones parciales de hormigón y madera,

$$F_1(x), F_2(x), M_1(x) \text{ y } M_2(x)$$

ec. 2.3.1

siendo el momento flector exterior $M(x)$ conocido, si se establece el equilibrio de fuerzas y momentos en la sección, Fig. 2.3.2,

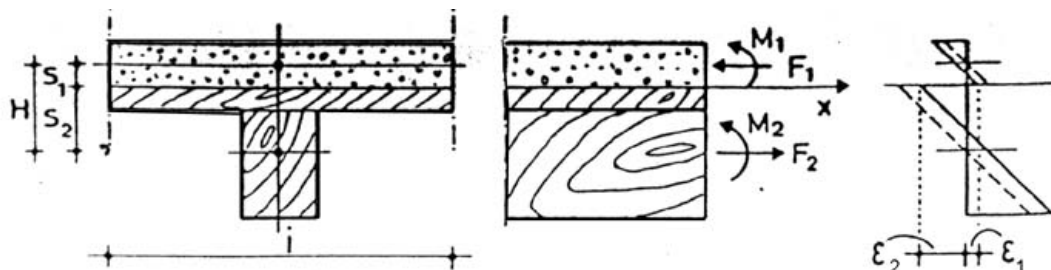


Fig. 2.3.2 Sección transversal, sección en equilibrio y deformaciones de las secciones de hormigón y madera (ref. 5).

$$\left. \begin{aligned} \sum F(x) = 0 &\Rightarrow F_1(x) - F_2(x) = 0 \\ \sum M(x) = 0 &\Rightarrow M_1(x) + M_2(x) + F_1(x) \cdot s_1 + F_2(x) \cdot s_2 = M(x) \end{aligned} \right\}$$

ec. 2.3.2

teniendo en cuenta que el estado de deformaciones es función de las fuerzas y momentos, y de las características mecánicas de las dos partes de la sección; en particular, en la fibra superior de la viga de madera y en la inferior de hormigón,

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_1(x) &= -\frac{F_1(x)}{E_1 \cdot A_1} + \frac{M_1(x)}{E_1 \cdot J_1} \cdot s_1 \\ \varepsilon_2(x) &= +\frac{F_2(x)}{E_2 \cdot A_2} - \frac{M_2(x)}{E_2 \cdot J_2} \cdot s_2 \end{aligned} \right\}$$

ec. 2.3.3

la condición de compatibilidad de deformaciones entre ambas partes, correspondiente al modelo estático descrito, impone que la diferencia entre las deformaciones anteriores sea igual a la del conector,

$$\varepsilon_s(x) = \frac{d\Delta_s(x)}{dx}$$

ec. 2.3.4

es decir,

$$\varepsilon_2(x) - \varepsilon_1(x) = \varepsilon_s(x)$$

ec. 2.3.5

la deformación ε_s es función de la carga unitaria transmitida entre las caras de contacto del hormigón y madera $q_c(x)$, que se puede expresar en función de "k" (rigidez del conector), del interese "s" y del deslizamiento relativo $\Delta_s(x)$

$$q_c(x) = k \cdot \frac{\Delta_s(x)}{s}$$

ec. 2.3.6

siendo $q_c(x)$ la carga que se transmite a través de los conectadores por unidad en longitud, si despejamos $\Delta_s(x)$ de ec. 2.3.6

$$\Delta_s(x) = \frac{s}{k} \cdot q_c(x)$$

ec. 2.3.7

y sustituimos en la ec. 2.3.4,

$$\varepsilon_s = \frac{s}{k} \cdot \frac{dq_c(x)}{dx}$$

ec. 2.3.8

hemos relacionado la deformación del conectador con la fuerza que la produce, por unidad de longitud.

El equilibrio a la traslación relativa entre las dos secciones transversales a distancia dx , en la fibra de contacto hormigón – madera, impone que

$$q_c(x) = \frac{dF_i(x)}{dx} \quad (\text{con } i = 1 \text{ ó } 2)$$

ec. 2.3.9

por lo que sustituyendo la anterior ecuación en la ec. 2.3.4

$$\varepsilon_s = \frac{s}{k} \cdot \frac{d^2F(x)}{dx^2}$$

ec. 2.3.10

las ecuaciones de compatibilidad se pueden expresar por una parte, igualando flechas en las secciones parciales de hormigón y madera

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{M}{E.I} \quad \Rightarrow \quad \frac{M_1(x)}{E_1 \cdot J_1} = \frac{M_2(x)}{E_2 \cdot J_2}$$

ec. 2.3.11

por otra, igualando deformaciones en la fibra de contacto entre los dos materiales, sustituyendo las expresiones de la ec. 2.3.3 y la ec. 2.3.10 en la condición de compatibilidad ec. 2.3.5 , resulta

$$+\frac{F_1(x)}{E_1 \cdot A_1} - \frac{M_1(x)}{E_1 \cdot J_1} \cdot s_1 + \frac{F_2(x)}{E_2 \cdot A_2} - \frac{M_2(x)}{E_2 \cdot J_2} \cdot s_2 = \frac{s}{k} \cdot \frac{d^2 F_1(x)}{dx^2}$$

ec. 2.3.12

imponiendo la condición de compatibilidad de flechas entre las dos partes que forman la pieza mixta resulta un sistema de cuatro ecuaciones; para calcular las incógnitas $F_1(x)$, $F_2(x)$, $M_1(x)$ y $M_2(x)$, se dispone de dos ecuaciones de equilibrio ec. 2.3.2, la ec. 2.3.11 y la ecuación diferencial ec. 2.3.12. De la primera ecuación de equilibrio ec. 2.3.2, el esfuerzo axial en el hormigón es igual al esfuerzo axial sobre la madera

$$F_1(x) = F_2(x) = F(x)$$

ec. 2.3.13

del equilibrio de momentos:

$$M_1(x) + M_2(x) = M(x) - F(x) \cdot H$$

ec. 2.3.14

despejando $M_1(x)$ ó $M_2(x)$, de la ec. 2.3.11,

$$M_1(x) = \frac{E_1 \cdot J_1}{E_2 \cdot J_2} \cdot M_2(x) \quad ; \quad M_2(x) = \frac{E_2 \cdot J_2}{E_1 \cdot J_1} \cdot M_1(x)$$

ec. 2.3.15

y sustituyendo en la ec. 2.3.14,

$$\left. \begin{aligned} M_1(x) &= \frac{E_1 \cdot J_1}{E_1 \cdot J_1 + E_2 \cdot J_2} \cdot [M(x) - F(x) \cdot H] \\ M_2(x) &= \frac{E_2 \cdot J_2}{E_1 \cdot J_1 + E_2 \cdot J_2} \cdot [M(x) - F(x) \cdot H] \end{aligned} \right\}$$

ec. 2.3.16

si en la expresión anterior hacemos

$$\alpha = \frac{E_2 \cdot J_2}{E_1 \cdot J_1} \quad ; \quad \beta = \frac{E_2 \cdot A_2}{E_1 \cdot A_1}$$

ec. 2.3.17

las ec. 2.3.16, quedan

$$\left. \begin{aligned} M_1(x) &= \frac{1}{1 + \alpha} \cdot [M(x) - F(x) \cdot H] \\ M_2(x) &= \frac{\alpha}{1 + \alpha} \cdot [M(x) - F(x) \cdot H] \end{aligned} \right\}$$

ec. 2.3.18

por lo que, la condición de compatibilidad ec. 2.3.12 , puede ahora expresarse en función de $F(x)$ como única incógnita; sustituyendo las expresiones de la ec. 2.3.18 en la ec. 2.3.12

$$-\frac{H}{E_1 \cdot J_1 \cdot (1 + \alpha)} \cdot [M(x) - F(x) \cdot H] + \frac{F(x) \cdot (\beta + 1)}{E_2 \cdot A_2} = \frac{s}{k} \cdot \frac{d^2 F(x)}{dx^2}$$

ec. 2.3.19

si en esta ecuación, llamamos

$$U = \frac{H}{E_1 \cdot J_1 \cdot (1 + \alpha)} \quad ; \quad V = \frac{(\beta + 1)}{E_2 \cdot A_2} \quad ; \quad T = \frac{(\beta + 1)}{\beta \cdot E_1 \cdot A_1}$$

$$V = H \cdot U + T \quad ; \quad W = \frac{U}{V}$$

ec. 2.3.20

podremos expresarla de la forma siguiente:

$$\frac{dF^2(x)}{dx^2} - \frac{k}{s} \cdot V \cdot F(x) = -\frac{k}{s} \cdot U \cdot M(x)$$

ec. 2.3.21

que es una ecuación diferencial de segundo orden de coeficientes constantes; llegado a este punto, las formulaciones hechas por Newmark (ref. 1) y Goodman (ref. 2), son prácticamente idénticas a la aquí desarrollada; Newmark (ref. 1) resuelve la ecuación diferencial fijando las condiciones de contorno para el caso de viga biapoyada y una carga puntual, cuyo resultado se resume en la Tabla 1.

La solución general de la ec. 2.3.21, será igual a la suma de la solución general de la ecuación homogénea asociada

$$\frac{dF^2(x)}{dx^2} - \frac{k}{s} \cdot V \cdot F(x) = 0$$

ec. 2.3.22

Función	Sección a la izquierda de la carga “ P ” $x < u$
Esfuerzo “ F ” transmitido	$F_L = \frac{\overline{E.A.z}}{E.I} . P.L. \left\{ \left(1 - \frac{u}{L} \right) \frac{x}{L} - \frac{\sqrt{C}}{\pi} \frac{\sinh \left[\frac{\pi}{\sqrt{C}} \cdot \left(1 - \frac{u}{L} \right) \right]}{\sinh \frac{\pi}{\sqrt{C}}} \cdot \sinh \left[\frac{\pi}{\sqrt{C}} \cdot \frac{x}{L} \right] \right\}$
Esfuerzo horizontal “ q ”	$q_L = \frac{\overline{E.A.z}}{E.I} . P. \left\{ \left(1 - \frac{u}{L} \right) - \frac{\sinh \left[\frac{\pi}{\sqrt{C}} \cdot \left(1 - \frac{u}{L} \right) \right]}{\sinh \frac{\pi}{\sqrt{C}}} \cdot \cosh \left[\frac{\pi}{\sqrt{C}} \cdot \frac{x}{L} \right] \right\}$
Deslizamiento “ γ ”	$\gamma = \frac{s}{k} . q_L$
Deformación en hormigón “ ϵ_s ”	$\epsilon_{sL} = \left[\frac{y_s}{\sum E.I} - \frac{F_L}{F_L'} \frac{\overline{E.A.z}}{E.I} \left(\frac{y_s.z}{\sum E.I} + \frac{1}{E_s.A_s} \right) \right] . M_L$
Deformación en viga met. “ ϵ_b ”	$\epsilon_{bL} = \left[\frac{y_b}{\sum E.I} - \frac{F_L}{F_L'} \frac{\overline{E.A.z}}{E.I} \left(\frac{y_b.z}{\sum E.I} - \frac{1}{E_b.A_b} \right) \right] . M_L$
Flecha “ y ”	$y_L = \frac{P.L^3}{E.I} \cdot \left(1 - \frac{u}{L} \right) \cdot \frac{x}{L} \cdot \left\{ \frac{1}{6} \left[2 \frac{u}{L} - \left(\frac{u}{L} \right)^2 - \left(\frac{x}{L} \right)^2 \right] + \frac{\overline{E.A.z}^2}{\sum E.I} \frac{C}{\pi^2} \frac{F_L}{F_L'} \right\}$

$$F' = \frac{\overline{E.A.z}}{E.I} . M$$

Tabla 1 Resultado resumen de los valores obtenidos por Newmark, Siess y Viest para el caso de viga biapoyada sometida a una carga puntual.

más una solución particular de la ecuación completa. La solución general de la ecuación homogénea asociada es de la forma

$$F(x) = A . \text{Sh} \left[\sqrt{\frac{k.V}{s}} . x \right] + B . \text{Ch} \left[\sqrt{\frac{k.V}{s}} . x \right]$$

ec. 2.3.23

siendo A y B constantes de integración.

Si el momento flector se representa de forma genérica por una parábola completa de 3^{er} orden,

$$M(x) = a.x^3 + b.x^2 + c.x + d$$

ec. 2.3.24

sustituyendo el valor de M(x) en la ec. 2.3.21 ,

$$\frac{dF^2(x)}{dx^2} - \frac{k}{s} \cdot V \cdot F(x) = -\frac{k}{s} \cdot U \cdot (a \cdot x^3 + b \cdot x^2 + c \cdot x + d)$$

ec. 2.3.25

la solución particular de la ecuación completa ec. 2.3.25 es de la forma

$$F(x) = -(A \cdot x^3 + B \cdot x^2 + C \cdot x + D)$$

ec. 2.3.26

siendo las constantes A, B, C y D

$$A = -\frac{U}{V} \cdot a; \quad B = -\frac{U}{V} \cdot b; \quad C = -\frac{U}{V} \cdot (c + \frac{s}{V \cdot k} \cdot 6 \cdot a); \quad D = -\frac{U}{V} \cdot (d + \frac{s}{V \cdot k} \cdot 2 \cdot b)$$

ec. 2.3.27

en definitiva, la solución de la ec. 2.3.21 , como suma de la solución general de la homogénea asociada más una solución particular de la completa, vale

$$F(x) = A \cdot \text{Sh} \left[\sqrt{\frac{k \cdot V}{s}} \cdot x \right] + B \cdot \text{Ch} \left[\sqrt{\frac{k \cdot V}{s}} \cdot x \right] + W \cdot \left[M(x) + \frac{s}{k \cdot V} \cdot (6 \cdot a \cdot x + 2 \cdot b) \right]$$

ec. 2.3.28

donde los valores de A y B dependen de las condiciones de contorno, una vez conocida $F(x) = F_1(x) = F_2(x)$ se conocen los esfuerzos axiales en hormigón y madera; los momentos flectores $M_1(x)$ y $M_2(x)$ se calculan sustituyendo $F(x)$ en las expresiones ec. 2.3.18 .

Condición límite sobre la rigidez de la conexión.

El límite inferior que se puede obtener de $\varepsilon_s(x)$ es que no exista deslizamiento relativo entre hormigón y madera, es decir, conexión rígida

$$\varepsilon_s(x) = 0$$

ec. 2.3.29

el límite superior, se corresponde con la ausencia de conexión entre hormigón y madera, por lo que cada una de las secciones trabaja por separado, en este caso $\varepsilon_s(x)$ vale,

$$\varepsilon_s(x) = -U \cdot M(x)$$

ec. 2.3.30

comparando la ec. 2.3.10 y la ec. 2.3.21 de $\varepsilon_s(x)$,

$$\varepsilon_s(x) = \frac{S}{k} \cdot F''(x) = -U \cdot M(x) + V \cdot F(x)$$

ec. 2.3.31

se deduce que en la condición límite ec. 2.3.29 la función $V \cdot F(x)$ y la función $U \cdot M(x)$ son iguales, verificando las condiciones de contorno; por otra parte, a menos que el momento flector $M(x)$ no sea una función lineal en x , la función $F(x)$ será distinta de cero, por lo que la condición ec. 2.3.29 requiere que $k = \infty$, que corresponde a un ligamento infinitamente rígido entre los dos materiales, $\Delta s(x) = 0$ y $q_c(x) \neq 0$.

En la condición ec. 2.3.30 la igualdad entre las dos funciones $\frac{S}{k} \cdot F''(x)$ y $U \cdot M(x)$ con $F(x) = 0$; $F'(x) = 0$ y $F''(x) = 0$, por lo que deberá ser: $k = 0$, que corresponde a un enlace infinitamente deformable, que da paso a la condición de ausencia de conexión entre los dos materiales, es decir, $\Delta s(x) \neq 0$ y $q_c(x) = 0$, de lo anterior, se deduce que la función $F(x)$, integral completa de la ec. 2.3.21 las siguientes condiciones:

$$\lim_{k \rightarrow \infty} F(x, k) = \frac{U}{V} \cdot M(x) \quad ; \quad \lim_{k \rightarrow 0} F(x, k) = 0$$

ec. 2.3.32

Línea elástica de la estructura mixta.

La ecuación diferencial de la línea elástica de la estructura mixta hormigón - madera, en virtud de las ecuaciones de equilibrio y compatibilidad vistas, se puede expresar en función del momento flector exterior y de la función $F(x)$, que se traduce en la solidaridad transversal producida por la conexión; en el caso que no exista conexión entre partes, la flecha vale

$$\frac{d^2 \eta(x)}{dx^2} = -\frac{U}{H} \cdot M(x)$$

ec. 2.3.33

cuando existe conexión, la expresión de flecha se transforma en

$$\frac{d^2\eta(x)}{dx^2} = -\frac{U}{H}.M(x) + U.F(x)$$

ec. 2.3.34

despejando $F(x)$ de la ec. 2.3.21 y sustituyendo en la ec. 2.3.34 se obtiene

$$\frac{d^2\eta(x)}{dx^2} = Z.M(x) + W.\frac{s}{k}.\frac{d^2F(x)}{dx^2}$$

ec. 2.3.35

siendo

$$Z = \frac{U^2}{V} - \frac{U}{H} \quad ; \quad W = \frac{U}{V}$$

ec. 2.3.36

por integraciones sucesivas se obtiene la expresión de giros $\phi(x)$ y de deflexión $\eta(x)$

$$\phi(x) = \int M(x).dx + W.\frac{s}{k}.\frac{dF(x)}{dx} + C_1$$

ec. 2.3.37

$$\eta(x) = Z.\int\left[\int M(x).dx\right].dx + W.\frac{s}{k}.F(x) + C_1.x + C_2$$

ec. 2.3.38

donde los valores de las constantes C_1 y C_2 , dependen de las condiciones de contorno y de que la función $F(x)$ sea determinada; en el caso concreto de viga biapoyada sometida a carga uniforme, las condiciones de contorno para la determinación de las constantes A, B, C y D, son

$$F(0) = F\left(\frac{L}{2}\right) = \eta(0) = \eta\left(\frac{L}{2}\right) = 0$$

ec. 2.3.39

siendo el momento flector, en este caso, una parábola de 2º orden

$$M(x) = -\frac{P}{2}.x^2 + \frac{P.L}{2}.x$$

ec. 2.3.40

si comparamos estos valores con la ec. 2.3.24, tenemos

$$a = d = 0 \quad ; \quad b = -\frac{P}{2} \quad ; \quad c = \frac{P.L}{2}$$

ec. 2.3.41

la solución de la ec. 2.3.28 , podemos escribirla

$$F(x) = A \cdot \text{Sh} \left[\sqrt{\frac{k \cdot V}{s}} \cdot x \right] + B \cdot \text{Ch} \left[\sqrt{\frac{k \cdot V}{s}} \cdot x \right] + W \cdot \left[M(x) + \frac{s \cdot P}{k \cdot V} \right]$$

ec. 2.3.42

donde las constantes A y B, con la ayuda de las condiciones vistas en la ec. 2.3.39, valen

$$A = \frac{W \cdot s \cdot P}{k \cdot V} \text{Sh} \left(\sqrt{\frac{k \cdot V}{s}} \cdot \frac{L}{2} \right) \quad ; \quad B = \frac{W \cdot s \cdot P}{k \cdot V}$$

ec. 2.3.43

si sustituimos F(x) en la ec. 2.3.38 , la línea elástica queda

$$\eta(x) = Z \cdot \left(-\frac{P \cdot x^4}{24} - \frac{P \cdot L \cdot x^3}{12} \right) + W \cdot \frac{s}{k} \cdot F(x) + C_1 \cdot x + C_2$$

ec. 2.3.44

siendo

$$C_1 = -Z \cdot \frac{P \cdot L^3}{24} \quad ; \quad C_2 = 0$$

ec. 2.3.45

si queremos calcular el valor de la flecha máxima, que se produce en centro de vano, para $x = L/2$

$$\eta\left(\frac{L}{2}\right) = -Z \cdot \frac{5}{384} \cdot P \cdot L^4 + W \cdot \frac{s}{k} \cdot F\left(\frac{L}{2}\right)$$

ec. 2.3.46

si llamamos η^* , a la flecha que corresponde a conexión rígida:

$$\eta^*\left(\frac{L}{2}\right) = \frac{U}{H} \cdot \frac{5}{384} \cdot P \cdot L^4$$

ec. 2.3.47

la flecha η^{**} , en el caso de que no existan conectadores, $F(L/2) = 0$,

$$\eta^{**}\left(\frac{L}{2}\right) = -Z \cdot \frac{5}{384} \cdot P \cdot L^4$$

ec. 2.3.48

la flecha correspondiente a la viga mixta con conexión deformable, será un caso intermedio entre los límites de conexión nula y conexión rígida

$$\eta^{**}\left(\frac{L}{2}\right) > \eta\left(\frac{L}{2}\right) > \eta^*\left(\frac{L}{2}\right)$$

ec. 2.3.49

2.3.2 Método simplificado Turrini - Piazza

Los autores proponen en principio un análisis mucho más riguroso basado en el método de los elementos finitos, que aun consiguiendo una mejor modelización, no resulta demasiado operativo desde el punto de vista del predimensionado de la estructura a fin de poder tomar decisiones previas sobre el comportamiento de la misma (ref. 12).

El método consiste en calcular un momento de inercia eficaz J^* que haga equivalente la conexión deformable a una rígida, y que permita utilizar las fórmulas habituales de resistencia de materiales sin más que tener en cuenta este valor para considerar el incremento de flexibilidad de la pieza como consecuencia del comportamiento de la conexión.

Para evaluar los estados tensionales, correspondientes a la conexión empleada, se parte de las ecuaciones de equilibrio y compatibilidad, obteniéndose esfuerzos distribuidos en ambos materiales N_c^* , M_c y N_L^* , M_L donde el símbolo $*$ representa el esfuerzo axial para el caso de conexión deformable, que será función de N_∞ correspondiente al caso de conexión rígida, $N^* = v \cdot N_\infty$. Las hipótesis de partida, además de las enunciadas con carácter general, están fijando el campo de validez del método propuesto y son las siguientes:

- 1 La pieza mixta constituida por hormigón y madera es de sección constante.
- 2 La viga mixta está simplemente apoyada en sus extremos y con carga asimilable a uniformemente repartida.
- 3 El canto de la sección de hormigón toma valores de 5 a 6 cm.
- 4 La distancia entre la cara superior de la viga de madera y la cara inferior de la sección de hormigón está comprendida entre 0 y 4 cm.
- 5 El módulo de elasticidad lineal del hormigón toma valores alrededor de 30.000 Mpa. (equivalente a H-250).

- 6 La conexión entre madera y hormigón presenta una rigidez específica k_1 como valor máximo en los extremos, y de $1/2$ a $1/4$ de k_1 en la zona central (donde el esfuerzo cortante es muy pequeño).

Trabajan en términos de sección homogénea, transformando la madera en hormigón a través del coeficiente de equivalencia "n", relacionando los módulos de deformación

$$n = \frac{E_L}{E_c}$$

ec. 2.3.50

se define un coeficiente adimensional ρ , relación entre las secciones parciales de hormigón y madera transformada a su equivalente en hormigón

$$\rho = \frac{A_L \cdot n}{A_c}$$

ec. 2.3.51

que debe mantenerse en el intervalo $0.2 \leq \rho \leq 1$, para garantizar que la mayor parte de hormigón quede comprimido

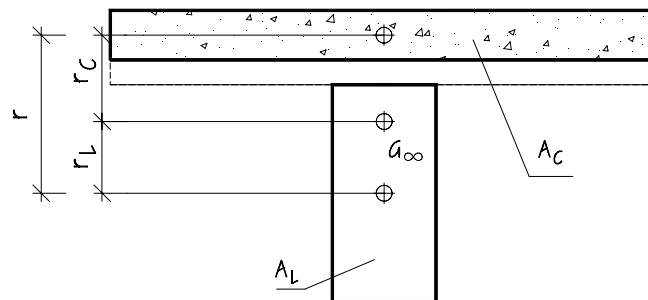


Fig. 2.3.3 Sección transversal de la viga mixta, valores estáticos.

Se procede al cálculo del momento de inercia de la sección homogénea en la hipótesis de conexión nula J_0 , es decir, se suman los momentos de inercia de cada una de las secciones parciales.

$$J_0 = J_{0c} + J_{0L} \cdot n$$

ec. 2.3.52

siendo J_{0C} y J_{0L} , los momentos de inercia de hormigón y madera equivalente, respecto a sus propios centros de gravedad; si ahora calculamos el momento de inercia J_{∞} considerando la sección completa con conexión rígida, aparecerán los términos propios del teorema de Steiner ,(ver Fig. 2.3.3)

$$J_{\infty} = J_0 + A_C \cdot r_C^2 + A_L \cdot r_L^2 \cdot n$$

ec. 2.3.53

si definimos el coeficiente f_0 , como el cociente entre los momentos de inercia correspondientes a conexión nula y conexión rígida calculados,

$$f_0 = \frac{J_0}{J_{\infty}}$$

ec. 2.3.54

el momento de inercia eficaz J^* de la sección mixta con conexión deformable estará comprendido entre $J_0 \leq J^* \leq J_{\infty}$, siendo $J^* = f \cdot J_{\infty}$; la función "f", obtenida experimentalmente responde a

$$f = \frac{\gamma + 15 \cdot \rho^{2/3} \cdot f_0}{\gamma + 15 \cdot \rho^{2/3}}$$

ec. 2.3.55

donde el coeficiente γ que se indica a continuación, depende de la rigidez de la conexión, y es función del valor ρ definido en la ec. 2.3.51 y de la rigidez k correspondiente a un conector, que si consideramos un intereje " i_1 " entre ellos, vendrá dado por $k_1 = k / i_1$

$$\gamma = \frac{1000 \times k_1}{E_L}$$

ec. 2.3.56

una vez obtenida "f" y trabajando con sección homogénea podemos obtener la flecha η_{\max} en centro de vano, utilizando expresiones de resistencia de materiales con el valor del momento de inercia eficaz J^* ,

$$J^* = f \cdot J_{\infty}$$

ec. 2.3.57

$$\eta_{\max} = \frac{5}{384} \frac{q.L^4}{E_C.J^*}$$

ec. 2.3.58

Para el cálculo de tensiones, estableceremos el equilibrio en la sección (ver Fig. 2.3.4),

$$M_0 = M_C + M_L + N^*.H$$

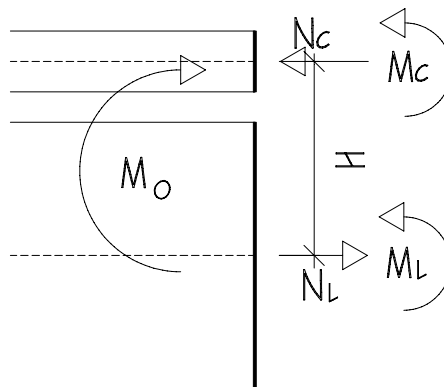


Fig. 2.3.4 Sección en equilibrio.

ec. 2.3.59

imponiendo la igualdad de curvaturas en las secciones parciales, puesto que estamos considerando el comportamiento de la sección equivalente con conexión rígida, despejando bien M_C ó M_L :

$$\frac{M_C}{E_C.J_C} = \frac{M_L}{E_L.J_L} \quad \left\{ \begin{array}{l} M_C = \frac{E_C.J_C}{E_L.J_L} . M_L \\ M_L = \frac{E_L.J_L}{E_C.J_C} . M_C \end{array} \right.$$

ec. 2.3.60

sustituyendo estos valores en la ec. 2.3.59 y despejando, se obtiene

$$\left\{ \begin{array}{l} M_C = [M_0 - N^*.H] \cdot \frac{E_C.J_C}{E_L.J_L + E_C.J_C} \\ M_L = [M_0 - N^*.H] \cdot \frac{E_C.J_C}{E_L.J_L + E_C.J_C} \end{array} \right.$$

ec. 2.3.61

siendo N^* el esfuerzo axil en la situación de conexión deformable; si definimos v como variable adimensional obtenida de forma experimental,

$$v = \frac{\gamma}{\gamma + 1'2.n.\rho^{0'85}}$$

ec. 2.3.62

relaciona el esfuerzo axil para conexión deformable y conexión rígida

$$v = \frac{N^*}{N_\infty}$$

ec. 2.3.63

siendo:

N^* esfuerzo axil en la situación de conexión deformable.

N_∞ esfuerzo axil en la situación de conexión rígida.

S_∞ momento estático de la sección de hormigón respecto al centro de gravedad de la sección homogénea en la situación de conexión rígida.

el esfuerzo axil N_∞ para conexión rígida, se obtiene de la expresión

$$N_\infty = M_0 \cdot \frac{S_\infty}{J_\infty}$$

ec. 2.3.64

cuando estamos en la situación de conexión deformable, N^* lo podremos expresar como

$$N^* = v \cdot N_\infty$$

ec. 2.3.65

una vez obtenido N^* , se pueden calcular también M_C y M_L sustituyendo el valor de N^* en las expresiones de la ec. 2.3.61

$$\left\{ \begin{array}{l} M_C = M_0 \cdot \left[1 - v \cdot \frac{S_\infty}{J_\infty} \cdot H \right] \cdot \frac{E_C \cdot J_C}{E_L \cdot J_L + E_C \cdot J_C} \\ M_L = M_0 \cdot \left[1 - v \cdot \frac{S_\infty}{J_\infty} \cdot H \right] \cdot \frac{E_C \cdot J_C}{E_L \cdot J_L + E_C \cdot J_C} \end{array} \right.$$

ec. 2.3.66

con lo cual se han calculado los esfuerzos distribuidos N_c , M_c , N_L y M_L , y se pueden evaluar las tensiones de la forma habitual, siendo estas, en la fibra superior e inferior del hormigón,

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_c^s = -\frac{N^*}{A_c} - \frac{M_c}{I_c} \cdot \frac{h_c}{2} \\ \sigma_c^i = -\frac{N^*}{A_c} + \frac{M_c}{I_c} \cdot \frac{h_c}{2} \end{array} \right.$$

ec. 2.3.67

así mismo, las tensiones en la fibra superior e inferior de la vigueta de madera responderán a

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_L^s = +\frac{N^*}{A_L} - \frac{M_L}{I_L} \cdot \frac{h_L}{2} \\ \sigma_L^i = +\frac{N^*}{A_L} + \frac{M_L}{I_L} \cdot \frac{h_L}{2} \end{array} \right.$$

ec. 2.3.68

Para obtener el esfuerzo rasante máximo sobre un conector, se establece el equilibrio de fuerzas horizontales correspondientes a media vigueta en el diagrama de la Fig. 2.3.5 ; como se estudia el caso concreto de viga biapoyada sometida a carga uniforme

$$\frac{F^*}{i_1} \cdot \frac{L}{2} \cdot \frac{1}{2} = N^*$$

ec. 2.3.69

siendo N^* el valor del esfuerzo axil en la sección parcial de hormigón o madera, dado por la ec. 2.3.65 , correspondiente al centro de la pieza; despejando F^* , se obtiene la fuerza máxima que puede actuar sobre un conector

$$F^* = \frac{4 \cdot N^* \cdot i_1}{L}$$

ec. 2.3.70

si ahora se calcula el esfuerzo último F_u que puede soportar un conector con las expresiones indicadas en el apartado 2.2.1 para conectores a cortante, cortante y flexión o bien conectores a esfuerzo axil, se puede estimar la seguridad a la rotura F_u / F^* , fijando como mínimo para este cociente, valores que superen 1'5.

El planteamiento conceptual de este estudio es similar al anterior, pero introduce en el proceso coeficientes intermedios determinados experimentalmente, que hacen más sencilla su aplicación práctica.

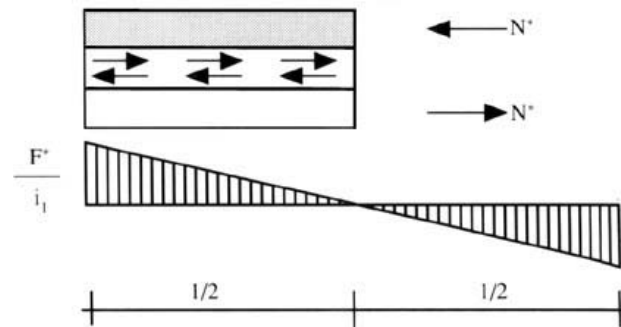


Fig. 2.3.5 Diagrama de esfuerzos rasantes.

2.3.3 C. Messina - L. Paolini

El estudio se realiza en la sección central de una viga biapoyada sometida a flexión pura; en dicha sección, se mide la deformación en la cara inferior de la sección de hormigón ε_c y en la cara superior de la vigueta de madera ε_L , con la ayuda de un equipo adecuado de extensómetros.

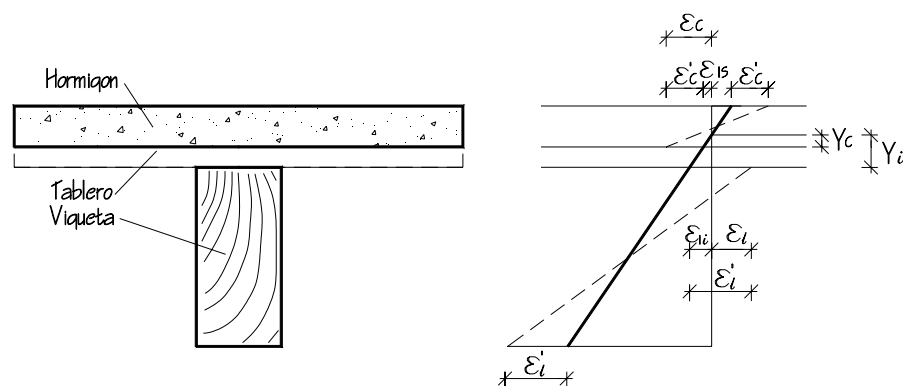


Fig. 2.3.6 Sección transversal y diagramas de deformación de la sección a flexión.

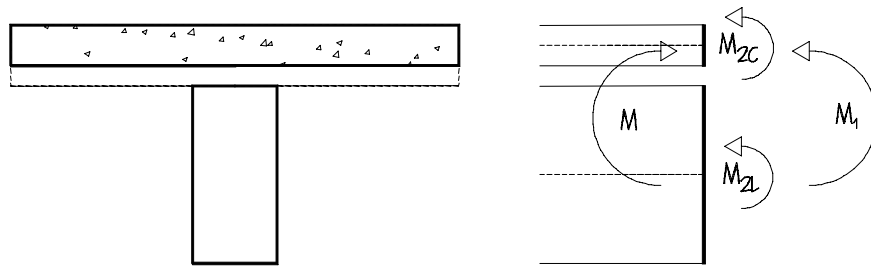


Fig. 2.3.7 Sección transversal en equilibrio.

Partiendo de las hipótesis de cálculo definidas anteriormente para secciones mixtas, se asigna una parte de la sollicitación exterior M (momento flector) a cada una de las secciones (hormigón M_{2c} y madera M_{2L}) y otra parte de momento M_1 , a la estructura completa trabajando como sección mixta con conexión rígida; esta última parte de sollicitación, dependerá del grado de conexión obtenido (ver Fig. 2.3.7).

Representando en línea discontinua (Fig. 2.3.6) las deformaciones correspondientes a la parte de sollicitación que se asigna a hormigón (M_{2c}) y madera (M_{2L}) por separado, mientras que la línea continua representa la deformación correspondiente a la parte de sollicitación que se asigna a la sección mixta completa (M_1), deberán cumplirse las siguientes expresiones referidas a deformaciones

$$\varepsilon_c = \varepsilon_{1S} + \varepsilon_c' \geq \varepsilon_{1S} \quad \varepsilon_L = \varepsilon_{1i} + \varepsilon_L' \geq \varepsilon_{1i} \quad ; \quad \varepsilon_c \leq 0$$

ec. 2.3.71

siendo,

ε_{1S} deformación producida en la fibra inferior de la sección de hormigón por la cuota de sollicitación que se le asigna a la sección completa con conexión rígida.

ε_{1i} deformación producida en la fibra superior de la sección de madera por la cuota de sollicitación que se le asigna a la sección completa con conexión rígida.

el equilibrio de momentos en la sección, impone que

$$M = M_1 + M_{2C} + M_{2L}$$

ec. 2.3.72

como las deformaciones ε_{1S} y ε_{1i} son generadas por M_1 , podemos escribir

$$\varepsilon_{1S} = \frac{M_1}{E_0 \cdot J_0} \cdot y_S$$

ec. 2.3.73

$$\varepsilon_{1i} = \frac{M_1}{E_0 \cdot J_0} \cdot y_i$$

ec. 2.3.74

donde los valores de E_0 y J_0 corresponden al módulo de deformación y momento de inercia de la sección mixta homogénea, en el supuesto de conexión rígida. Las deformaciones en la fibra de contacto cuando actúa el momento M_{2C} , deben cumplir

$$\varepsilon_C - \varepsilon_{1S} = \frac{M_{2C}}{W_C \cdot E_C} = \varepsilon'_C$$

ec. 2.3.75

y cuando actúa M_{2L} ,

$$\varepsilon_{1i} - \varepsilon_L = \frac{M_{2L}}{W_L \cdot E_L} = -\varepsilon'_L$$

ec. 2.3.76

sustituyendo la ec. 2.3.73 en la ec. 2.3.75 y despejando M_{2C}

$$\varepsilon_C - \frac{M_1}{E_0 \cdot J_0} \cdot y_S = \frac{M_{2C}}{W_C \cdot E_C} \quad \Rightarrow \quad M_{2C} = W_C \cdot E_C \cdot \left[\varepsilon_C - \frac{M_1}{E_0 \cdot J_0} \cdot y_S \right]$$

ec. 2.3.77

si ahora se sustituye la ec. 2.3.74 en la ec. 2.3.76 y despejamos M_{2L}

$$\frac{M_1}{E_0 \cdot J_0} \cdot y_i - \varepsilon_L = \frac{M_{2L}}{W_L \cdot E_L} \quad \Rightarrow \quad M_{2L} = W_L \cdot E_L \cdot \left[\frac{M_1}{E_0 \cdot J_0} \cdot y_i - \varepsilon_L \right]$$

ec. 2.3.78

donde los valores de las deformaciones ε_C y ε_L se han obtenido mediante ensayo; si consideramos la condición de equilibrio de momentos en la sección, ec. 2.3.72 y sustituimos en ella M_{2C} y M_{2L}

$$M = M_1 + W_C \cdot E_C \cdot \left[\varepsilon_C - \frac{M_1}{E_0 \cdot J_0} \cdot y_s \right] + W_L \cdot E_L \cdot \left[\frac{M_1}{E_0 \cdot J_0} \cdot y_i - \varepsilon_L \right]$$

ec. 2.3.79

despejando de la anterior ecuación, se obtiene el valor de M_1

$$M_1 = \frac{M - W_C \cdot E_C \cdot \varepsilon_C + W_L \cdot E_L \cdot \varepsilon_L}{\left[1 - \frac{W_C \cdot E_C}{E_0 \cdot J_0} \cdot y_s + \frac{W_L \cdot E_L}{E_0 \cdot J_0} \cdot y_i \right]}$$

ec. 2.3.80

El grado de conexión obtenido se expresa en función de la lectura directa mediante ensayo de ε_C y ε_L ; tales valores, se pueden determinar para un sistema de conectadores, y permiten obtener la cuota de solicitaciones asignadas a hormigón y madera. Por tanto, el grado de conexión ensayada puede estar asociado al reparto de esfuerzos entre hormigón y madera; si bien, este planteamiento introduce medidas experimentales igual que el anterior, es más un procedimiento de comprobación de la solución realizada que de proyecto, aunque si se dispone de resultados suficientes, sería posible extrapolarlos para poder predecir el comportamiento de una solución proyectada.

2.3.4 S. Cappretti – A. Ceccotti

Los autores, miembros del grupo redactor del Eurocódigo 5, proponen un método de cálculo simplificado para la sección compuesta hormigón - madera ref.24, del cual se van a exponer las expresiones esenciales, quedando recogido en la ref.40 (EC-5 Anexo B “Vigas compuestas con uniones mecánicas”, para secciones madera – madera).

Si se adoptan las hipótesis habituales descritas anteriormente para secciones compuestas, el método es aplicable a vigas con longitudes hasta siete u ocho metros, para luces mayores es oportuno hacer referencia a un modelo más riguroso.

Rigidez a flexión:

La rigidez a flexión para conexión nula, viene dada por la suma de rigideces de cada una de las dos secciones parciales respecto a su propio centro de gravedad

$$[E.I]_0 = E_C \cdot I_C + E_L \cdot I_L$$

ec. 2.3.81

quedando representadas por el subíndice "C" las características estáticas y elásticas del hormigón y "L" para la madera; la rigidez a flexión para conexión rígida, contendrá términos de área por distancia al cuadrado propios del teorema de Steiner

$$[E.I]_\infty = E_C \cdot I_C + E_L \cdot I_L + E_L \cdot A_L \cdot r_L^2 + E_C \cdot A_C \cdot r_C^2$$

ec. 2.3.82

donde las magnitudes, corresponden a las expresadas en la Fig. 2.3.8. El comportamiento de la sección mixta con conexión deformable será un caso intermedio entre los dos casos límite vistos, de conexión rígida y nula; recordando que para dos áreas concentradas A_1 y A_2 colocadas a distancia "r", el momento de inercia respecto al baricentro global G_∞ vale

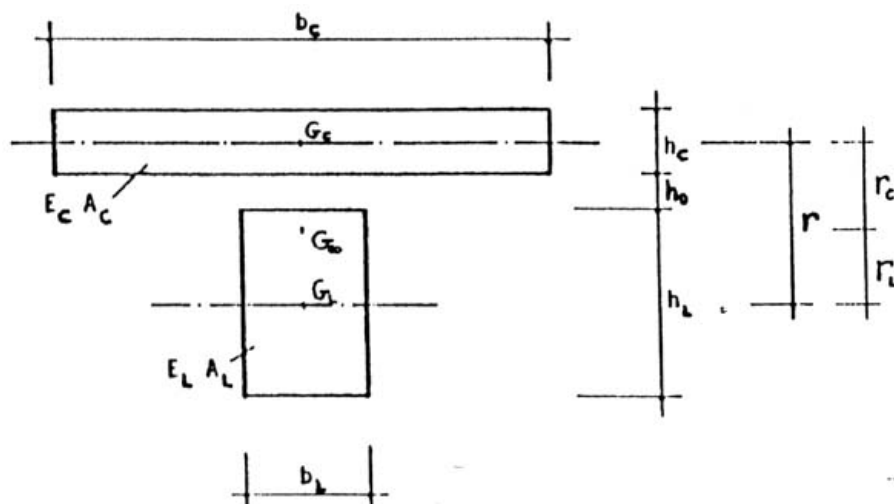


Fig. 2.3.8 Sección transversal de la viga mixta.

$$\frac{A_1 \cdot A_2 \cdot r^2}{A_1 + A_2}$$

ec. 2.3.83

el segundo término de la ec. 2.3.82 podremos expresarlo independientemente de la posición de G_∞ , mediante la expresión

$$[E.I]_\infty = [E.I]_0 + \frac{[E.A]_P}{[E.A]_S} \cdot r^2$$

ec. 2.3.84

siendo:

$$[E.A]_S = E_C \cdot A_C + E_L \cdot A_L \qquad [E.A]_P = E_C \cdot A_C \times E_L \cdot A_L$$

ec. 2.3.85

el último término del segundo miembro de la ec. 2.3.84, representa el incremento de la rigidez a flexión en la sección compuesta cuando la conexión es rígida; en el caso de conexión deformable, la rigidez a flexión eficaz de la sección compuesta vendrá expresada como

$$[E.I]_{EF} = [E.I]_0 + \gamma \frac{[E.A]_P}{[E.A]_S} \cdot r^2$$

ec. 2.3.86

siendo γ un coeficiente que representa la eficacia de la conexión, teniendo como casos límite, la conexión nula (0) y rígida (1), puede calcularse mediante la siguiente expresión

$$\gamma = \left[1 + \pi^2 \frac{[E.A]_P}{[E.A]_S} \frac{i}{k \cdot L^2} \right]$$

ec. 2.3.87

donde k es la rigidez del conector e “ i ”, la distancia entre conectadores; otro parámetro útil para caracterizar la influencia de la deformabilidad de la conexión, es “ η ”, que representa el coeficiente de reducción de la rigidez a flexión debida a la flexibilidad de los elementos de conexión, variando en el intervalo

$$\frac{[E.I]_0}{[E.I]_\infty} \leq \eta \leq 1$$

ec. 2.3.88

siendo el cociente entre la rigidez a flexión para el caso conexión deformable y conexión rígida

$$\eta = \frac{[E.I]_{EF}}{[E.I]_{\infty}}$$

ec. 2.3.89

Hay que recalcar, que cuando estamos analizando una estructura con conexión deformable, no tiene ningún sentido físico hablar del baricentro de la rigidez de la sección global, ya que la deformada de la sección completa no es plana; por comodidad de esquematización de la estructura mixta, se hace referencia convencional a G_{∞} , atribuyendo a la sección completa la rigidez flexional eficaz $[E.I]_{EF}$.

Tensiones normales en la sección compuesta:

Si se establece el equilibrio en la sección (ver Fig. 2.3.9),

$$M = M_C + M_L + N.r \quad \text{o bien} \quad M - N.r = M_C + M_L$$

ec. 2.3.90

y si se impone la igualdad de curvaturas en las secciones parciales y en la sección total

$$\frac{M_C}{E_C \cdot I_C} = \frac{M_L}{E_L \cdot I_L} = \frac{M}{[E.I]_{EF}}$$

ec. 2.3.91

operando con las ec. 2.3.90, ec. 2.3.91 y ec. 2.3.86,

$$\frac{M}{[E.I]_{EF}} = \frac{M_C}{E_C \cdot I_C} = \frac{M_L}{E_L \cdot I_L} = \frac{M_C + M_L}{[E.I]_0} = \frac{M - N.r}{[E.I]_0} = \frac{M - N.r}{[E.I]_{EF} - \gamma \frac{[E.A]_P}{[E.A]_S} \cdot r^2}$$

ec. 2.3.92

de la anterior ecuación, se deduce

$$\frac{M}{[E.I]_{EF}} = \frac{M - N.r}{[E.I]_{EF} - \gamma \frac{[E.A]_P}{[E.A]_S} \cdot r^2}$$

ec. 2.3.93

despejando el esfuerzo axial N de la ec. 2.3.93

$$\sigma_{M,C} = \frac{1}{2} \cdot h_C \cdot \frac{M_C}{I_C} = \frac{1}{2} \cdot h_C \cdot E_C \cdot \frac{M}{[E.I]_{EF}}$$

ec. 2.3.99

de forma análoga, las tensiones en la madera debidas a N_L

$$\sigma_{N,L} = \frac{N}{A_L} = \gamma \cdot E_L \cdot r \cdot \frac{E_C \cdot A_C}{E_C \cdot A_C + E_L \cdot A_L} \cdot \frac{M}{[E.I]_{EF}} = \gamma \cdot E_L \cdot r_L \cdot \frac{M}{[E.I]_{EF}}$$

ec. 2.3.100

y las producidas por M_L , con ayuda de la ec. 2.3.96

$$\sigma_{M,L} = \frac{1}{2} \cdot h_L \cdot \frac{M_L}{I_L} = \frac{1}{2} \cdot h_L \cdot E_L \cdot \frac{M}{[E.I]_{EF}}$$

ec. 2.3.101

Esfuerzo rasante :

Para calcular el esfuerzo rasante máximo F sobre un conector, derivando la ec. 2.3.94,

$$\frac{dN}{dx} = \gamma \cdot \frac{[E.A]_P}{[E.A]_S} \cdot r \cdot \frac{1}{[E.I]_{EF}} \cdot \frac{dM}{dx} = \gamma \cdot \frac{[E.A]_P}{[E.A]_S} \cdot r \cdot \frac{T}{[E.I]_{EF}}$$

ec. 2.3.102

que representa el esfuerzo rasante por unidad de longitud, por tanto, si los conectores están colocados a intereje “ i ”

$$F = i \cdot \gamma \cdot \frac{[E.A]_P}{[E.A]_S} \cdot r \cdot \frac{T}{[E.I]_{EF}}$$

ec. 2.3.103

Fluencia :

La evaluación del fenómeno de la fluencia sobre el comportamiento mecánico de la sección mixta hormigón - madera es, en general, un problema muy complejo y en caso de condiciones ambientales particularmente fuertes (rápidas y altas variaciones de humedad y temperatura) es necesario un

estudio más profundo, para los casos prácticos de proyecto, se puede tener en cuenta la fluencia de manera simplificada sobre las tensiones y las deformaciones, mediante una reducción convencional del módulo de elasticidad instantáneo de los materiales; para uso en estructuras a cubierto en condiciones ambientales poco variables y con madera estable, son razonables los siguientes coeficientes: $E_{Cdif} = 0'4 \times E_C$, $E_{Ldif} = 0'6 \times E_L$.

3 ESTUDIO TEÓRICO

El estudio que se plantea a continuación está enfocado a forjados de madera existente, contando con que el refuerzo formado por la capa de compresión de hormigón es de pequeño espesor.

En el dimensionado de secciones de hormigón armado a flexión, partimos de la hipótesis de que no puede soportar tensiones de tracción, ya que se fisura, y está generalmente aceptado por multitud de normas que este valor es cero, si bien es verdad que es capaz de soportar pequeñas tensiones de tracción, que nunca se tienen en cuenta, quedándonos del lado de la seguridad.

Cuando estamos analizando una estructura mixta con conexión deformable sometida a flexión, ocurre con frecuencia que en la fibra inferior de la sección de hormigón aparecen tensiones de tracción, que obligan, según lo expuesto anteriormente, a reconsiderar la sección a efectos resistentes contando sólo con la parte comprimida más la sección completa de madera, repitiendo los cálculos de forma iterativa hasta conseguir que la sección de hormigón considerada en cálculo este comprimida.

3.1 HIPÓTESIS DE CÁLCULO

1. Deformación plana de las dos secciones parciales hormigón y madera pero no de la sección total, tal como se ha expuesto en el apartado 2.3, puesto que en este tipo de estructuras solo es posible conseguir una conexión deformable.

2. Solo consideramos a efectos resistentes la vigueta de madera más la sección de hormigón comprimido, realizando el análisis en régimen de fisuración.
3. Los dos materiales tienen un comportamiento elástico y lineal así como los elementos de conexión; teniendo en cuenta que la solera de refuerzo se comporta como hormigón en masa, ya que la armadura es una malla electrosoldada que no entra a formar parte en el cálculo, no existe armadura a cortante por ser el espesor del refuerzo muy pequeño, y no cumple prácticamente ninguno de los requisitos de la normativa vigente para hormigón armado y por tanto no queda garantizado que se puedan desarrollar los diagramas típicos de flexión, como son, el rectangular o parábola rectángulo.
4. No se produce el despegue entre hormigón y madera por efecto de la flexión, suponiendo por tanto la igualdad de flecha y curvatura para las dos partes de la pieza.
5. Ley lineal entre la fuerza rasante transmitida por la conexión y el deslizamiento producido $F = k.u$, siendo k el módulo de rigidez de un conector.
6. El sistema de conexión discreta, lo transformamos a efectos de cálculo en su equivalente continuo a lo largo de la vigueta de madera, siendo los elementos todos iguales y colocados a interese constante "s".
7. Se supone sección constante tanto en el hormigón como en la madera.
8. Todas las cargas, incluido el peso propio, son soportadas por la sección mixta completa; la situación de montaje se comprueba independientemente.

3.2 FLEXIBILIDAD DE LOS CONECTADORES

El tipo de pieza mixta objeto del análisis supone una conexión flexible, que como se ha visto anteriormente, es un caso intermedio situado entre la conexión rígida y nula (apartado 2.3).

El enlace que se plantea en la práctica no es continuo, sino que en la gran mayoría de ocasiones son elementos metálicos colocados a intereje constante; con el fin de evitar dicha discontinuidad, a efectos de cálculo consideraremos una deformación idealizada constante en el entorno de cada conector, por lo que la conexión se comportará como un medio deformable de rigidez k/s distribuido a lo largo del intereje (hipótesis 6).

La relación entre el esfuerzo rasante F y el deslizamiento relativo producido en las superficies de contacto del hormigón y madera, vendrá dada por la expresión $F = -k.u$, siendo:

- u deslizamiento relativo entre hormigón y madera en el centro de gravedad de la sección parcial de hormigón.
- k la rigidez de un conector.
- F fuerza paralela al eje de la vigueta que se transmite a través de cada conector.

Si consideramos la rigidez del conector uniformemente distribuida a lo largo de la fibra de contacto entre hormigón y madera, tendremos una rigidez unitaria k/s cuya relación con el esfuerzo rasante será

$$F = -\frac{k}{s}.u$$

ec. 3.1

si planteamos el equilibrio de fuerzas horizontales (ver Fig. 3.1) en la cabeza de hormigón,

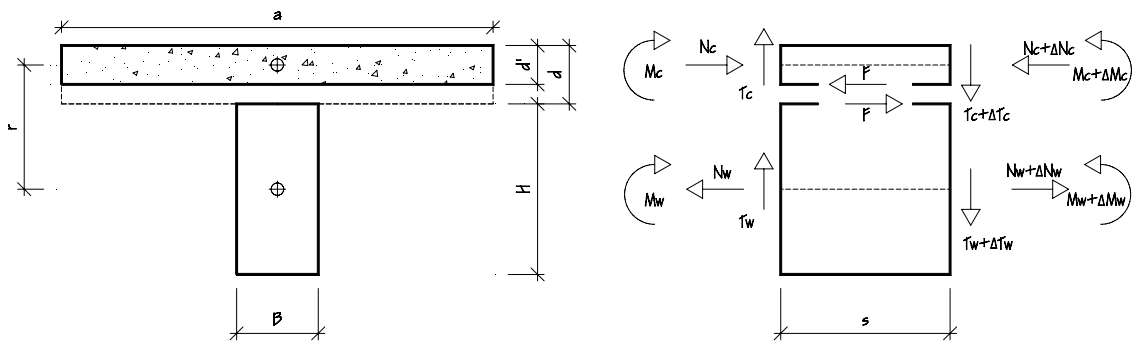


Fig. 3.1 Sección transversal no fisurada y rebanada en equilibrio.

$$F = \Delta N_c$$

ec. 3.2

que aplicado al caso de una rebanada de espesor dx

$$F = \frac{dN_c}{dx}$$

ec. 3.3

si igualamos esta expresión con la ec. 3.1, resulta

$$\frac{dN_c}{dx} = -\frac{k}{s} \cdot u$$

ec. 3.4

y su derivada vale

$$\frac{d^2 N_c}{dx^2} = -\frac{k}{s} \cdot \frac{du}{dx}$$

ec. 3.5

si tenemos en cuenta que la deformación es la variación del desplazamiento, y por tanto su derivada

$$\varepsilon = \frac{du}{dx}$$

ec. 3.6

que sustituido en la ec. 3.5 ,

$$\frac{d^2 N_c}{dx^2} = -\frac{k}{s} \cdot \frac{du}{dx} = -\frac{k}{s} \cdot \varepsilon$$

ec. 3.7

despejando ε de la anterior ecuación,

$$\varepsilon = -\frac{k}{s} \cdot \frac{d^2 N_c}{dx^2}$$

ec. 3.8

expresión que define la diferencia entre deformación de hormigón y madera en la fibra de contacto bajo la hipótesis de rigidez continua para la conexión entre los dos materiales.

3.3 ESTADO DE CARGAS

La puesta en obra del refuerzo juega un papel fundamental al evaluar los estados tensionales que se van a producir, siguiendo habitualmente las siguientes pautas:

1. Demolición del pavimento existente y mortero de agarre, dejando al mínimo posible el forjado original (viguetas de madera, revoltones si existen o tal vez, un tablero cubriendo el entrevigado).
2. Apuntalamiento de las viguetas de madera de la forma más continua posible, ya que a efectos de cálculo se supone que todas las cargas incluido el peso propio de la estructura (hormigón, viguetas, etc...) son soportadas por la sección mixta completa (hipótesis 8).
3. Colocación de los elementos de conexión (normalmente barras de acero corrugado), ancladas a la madera con resina epoxi previo taladrado, y a la sección de hormigón simplemente por adherencia.
4. Colocación de una malla electrosoldada que no entra a formar parte en el cálculo de la sección mixta, dispuesta para cubrir los efectos de retracción del hormigón y para dar monolitismo al conjunto.
5. Adecuada conexión con los muros de carga mediante un zuncho perimetral de hormigón armado, reforzando perimetralmente el forjado y su enlace con los apoyos.

6. Vertido, compactado y curado del hormigón.

La carga total uniforme q que actúa sobre la sección mixta completa se puede descomponer en $q = q_0 + q_1 + q_2$, siendo:

- q_0 carga unitaria correspondiente a peso propio de la vigueta de madera y solera de hormigón más el posible revoltón o tablero de entrevigado (fase de montaje).
- q_1 carga unitaria variable (sobrecarga de uso).
- q_2 carga unitaria de carácter permanente o casi – permanente, equivalente a la sobrecarga de tabiquería y solado.

Supondremos la viga mixta biapoyada y sometida a carga q , por tanto, el momento flector en una sección vendrá dado por

$$M(x) = \frac{q \cdot x}{2} \cdot (L - x)$$

ec. 3.9

esta flexión provocará estados tensionales y deformaciones en las secciones de hormigón y madera, que equivalen a unas sollicitaciones parciales actuando sobre cada uno de los dos materiales como las indicadas en la Fig. 3.2, de valor N_c , M_c , N_w y M_w esfuerzos distribuidos sobre la solera y la vigueta, que han de equilibrar al momento flector exterior; estas son las incógnitas del problema a resolver, ya que una vez halladas podemos calcular el estado tensional en cada uno de los materiales por separado y a cualquier altura de fibra.

3.4 TENSIONES INICIALES

Para el desarrollo de la formulación nos vamos a basar en la ref. 35, fijando los cambios necesarios a fin de descontar con facilidad el hormigón que quede en tracción; haremos referencia al parámetro "r", distancia entre centros de gravedad de las secciones de hormigón no fisurado y madera.

Si suponemos la rebanada de la Fig. 3.2 sometida a flexión, en la que se ha descontado a efectos de cálculo el hormigón traccionado, estableciendo el equilibrio de fuerzas y momentos ,

$$\sum F = 0 \quad N_c(x) = N_w(x) = N(x)$$

ec. 3.10

$$\sum M = 0 \quad M_c(x) + M_w(x) + N(x).r = M(x)$$

ec. 3.11

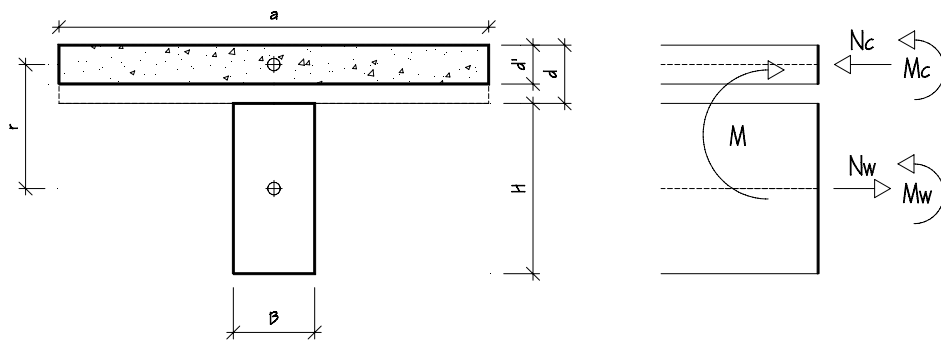


Fig. 3.2 Sección transversal en equilibrio. Los esfuerzos distribuidos en las secciones parciales equilibran al momento flector exterior.

la igualdad de flechas en las dos secciones parciales, en cualquier posición definida por su distancia x al apoyo, requiere

$$\frac{M_c(x)}{E_c I_c} = \frac{M_w(x)}{E_w I_w}$$

ec. 3.12

si despejamos de la ec. 3.11 $M_c(x)$ o bien $M_w(x)$ y sustituimos en la ec. 3.12, obtenemos los momentos parciales que actúan en el hormigón y la madera, en función de $M(x)$ y $N(x)$.

$$M_c(x) = (M(x) - N(x).r) \frac{E_c . I_c}{E_c . I_c + E_w . I_w}$$

ec. 3.13

$$M_w(x) = (M(x) - N(x).r) \frac{E_w . I_w}{E_c . I_c + E_w . I_w}$$

ec. 3.14

el deslizamiento en las fibras de contacto entre hormigón y madera, dado por la ec. 3.8 , ha de ser igual a la diferencia entre las elongaciones de cada una de estas fibras originales por las tensiones producidas

$$\left[-\frac{N(x)}{A_c \cdot E_c} + \frac{M_c(x) \cdot \left(r - \frac{h}{2} \right)}{E_c \cdot I_c} \right] - \left[\frac{N(x)}{A_w \cdot E_w} - \frac{M_w(x) \cdot \frac{h}{2}}{E_w \cdot I_w} \right] = -\frac{s}{k} \cdot \frac{d^2 N(x)}{dx^2}$$

ec. 3.15

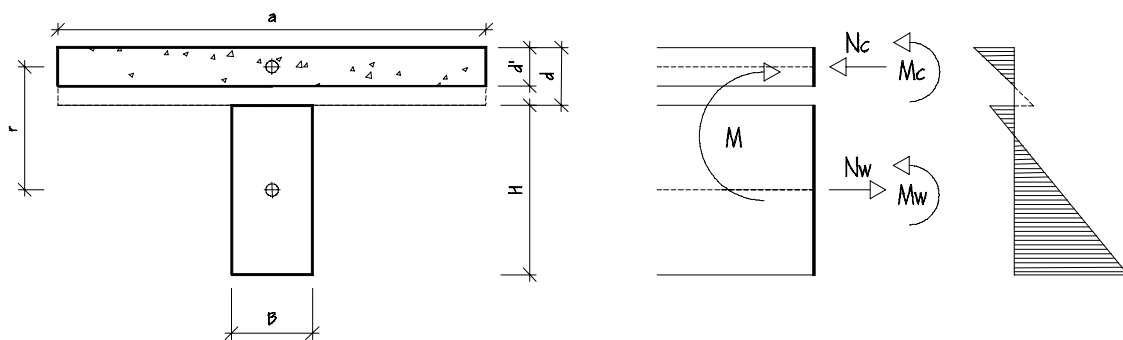


Fig. 3.3 Sección en equilibrio y diagrama de deformación resultante.

siendo:

$A_c = a \cdot d'$ sección de hormigón no fisurado.

$I_c = \frac{a \cdot d'^3}{12}$ momento de inercia de la sección de hormigón no fisurado respecto a su propio c.d.g.

E_c módulo de deformación del hormigón.

$A_w = B \cdot H$ sección de la vigueta de madera.

$I_w = \frac{B \cdot H^3}{12}$ momento de inercia de la vigueta de madera respecto a su propio c.d.g.

E_w módulo de deformación de la madera.

Las ec. 3.10, ec. 3.11, ec. 3.12 y ec. 3.15 constituyen un sistema de cuatro ecuaciones con cuatro incógnitas que nos proporcionarán las variables que vamos buscando.

Sustituyendo $M_c(x)$ y $M_w(x)$ en la ec. 3.15 , por los valores obtenidos en la ec. 3.13 y ec. 3.14

$$\frac{s}{k} \frac{d^2 N(x)}{dx^2} - (\alpha + r^2 \cdot \beta) \cdot N(x) = -\beta \cdot r \cdot M(x)$$

ec. 3.16

siendo α y β

$$\alpha = \frac{1}{E_c \cdot A_c} + \frac{1}{E_w \cdot A_w} \quad \beta = \frac{1}{E_c \cdot I_c + E_w \cdot I_w}$$

ec. 3.17

la ec. 3.16 es una ecuación diferencial de 2º orden de coeficientes constantes, completa, que integrada nos proporcionará el valor de $N(x)$ pudiéndola escribir de la forma siguiente

$$N''(x) - \chi^2 \cdot N(x) = -\beta \cdot \frac{k}{s} \cdot r \cdot M(x)$$

ec. 3.18

siendo

$$\chi^2 = \frac{k}{s} (\alpha + r^2 \cdot \beta)$$

ec. 3.19

la solución general, será igual a la suma de la solución general de la ecuación homogénea asociada $N''(x) - \chi^2 \cdot N(x) = 0$, más una solución particular de la ecuación completa. La solución general de la ecuación homogénea asociada es de la forma

$$N(x) = C_1 \cdot \text{Sh}(\chi \cdot x) + C_2 \cdot \text{Ch}(\chi \cdot x)$$

ec. 3.20

Para determinar una solución particular de la ecuación completa sustituimos $M(x)$, dado por la ec. 3.9 , en la ec. 3.16

$$N''(x) - \chi^2 \cdot N(x) = -\beta \cdot \frac{k}{s} \cdot r \cdot \frac{q \cdot x}{2} (L - x)$$

ec. 3.21

una solución particular será de la forma

$$N(x) = C_3x^2 + C_4x + C_5$$

ec. 3.22

siendo C_3 , C_4 y C_5 constantes a determinar y que podemos obtener derivando $N(x)$

$$N'(x) = 2C_3x + C_4$$

ec. 3.23

$$N''(x) = 2C_3$$

ec. 3.24

si sustituimos estos valores en la ecuación completa, ec. 3.16

$$2C_3 - \chi^2 \cdot (2C_3x^2 + C_4x + C_5) = -\beta \cdot \frac{k}{s} \cdot r \cdot \frac{q \cdot x}{2} (L - x)$$

ec. 3.25

e igualamos coeficientes de términos del mismo grado, obtenemos

$$C_3 = -\frac{\beta \cdot k \cdot q \cdot r}{2 \cdot s \cdot \chi^2} \quad ; \quad C_4 = +\frac{\beta \cdot k \cdot q \cdot r \cdot L}{2 \cdot s \cdot \chi^2} \quad ; \quad C_5 = -\frac{\beta \cdot k \cdot q \cdot r}{s \cdot \chi^4}$$

ec. 3.26

sustituyendo estos valores en la ec. 3.22, la solución particular de la ecuación completa queda

$$N(x) = +\frac{\beta \cdot k \cdot q \cdot r}{s \cdot \chi^4} \left[-x^2 + L \cdot x - \frac{2}{\chi^2} \right]$$

ec. 3.27

sumando la ec. 3.20 y la ec. 3.27 se obtiene la solución general de la ecuación completa

$$N(x) = C_1 \cdot \text{Sh}(\chi \cdot x) + C_2 \cdot \text{Ch}(\chi \cdot x) + \frac{\beta \cdot q \cdot k \cdot r}{2 \cdot s \cdot \chi^2} \left[-x^2 + L \cdot x - \frac{2}{\chi^2} \right]$$

ec. 3.28

Para calcular C_1 y C_2 , establecemos las condiciones de contorno correspondientes al caso de viga biapoyada con carga repartida que estamos considerando

$$x = 0 \Rightarrow M(x) = 0 \Rightarrow N(x) = 0 \Rightarrow C_2 = \frac{\beta \cdot q \cdot k \cdot r}{s \chi^4}$$

ec. 3.29

$$x = L \Rightarrow M(x) = 0 \Rightarrow N(x) = 0 \Rightarrow C_1 = \frac{\beta \cdot q \cdot k \cdot r}{s \chi^4} \frac{1 - \text{Ch}(\chi \cdot L)}{\text{Sh}(\chi \cdot L)}$$

ec. 3.30

que sustituidos en la ec. 3.28 , nos dan la solución general de la ecuación completa

$$N(x) = \frac{\beta \cdot q \cdot k \cdot r}{s \cdot \chi^4} \left[1 - \frac{\text{Ch}(\chi \cdot L)}{\text{Sh}(\chi \cdot L)} \text{Sh}(\chi \cdot x) + \text{Ch}(\chi \cdot x) \right] + \frac{\beta \cdot q \cdot k \cdot r}{2 \cdot s \cdot \chi^2} \left[-x^2 + L \cdot x - \frac{2}{\chi^2} \right]$$

ec. 3.31

de esta expresión, obtenemos el valor del esfuerzo axil en el hormigón y la madera en cualquier sección dada de la vigueta; en concreto, nos interesa el valor de $N(x)$ donde el momento flector es máximo, es decir, para $x = L/2$ siendo también $N(x)$ un máximo, sustituyendo

$$N(L/2) = + \frac{\beta \cdot k \cdot q \cdot r}{s \cdot \chi^2} \left[\frac{2 \cdot \text{Sh}(\chi \cdot L/2)}{\chi^2 \cdot \text{Sh}(\chi \cdot L)} + \frac{L^2}{8} - \frac{1}{\chi^2} \right]$$

ec. 3.32

si ahora sustituimos el valor de $N(L/2)$ en las expresiones de $M_c(x)$ y $M_w(x)$, ec. 3.13 y ec. 3.14

$$M_w(L/2) = \left[\frac{q \cdot L^2}{8} - N(L/2) \cdot r \right] \cdot \beta \cdot E_w \cdot I_w$$

ec. 3.33

$$M_c(L/2) = \left[\frac{q \cdot L^2}{8} - N(L/2) \cdot r \right] \cdot \beta \cdot E_c \cdot I_c$$

ec. 3.34

hemos obtenido los esfuerzos distribuidos, y ya podemos calcular las tensiones que se producen a cualquier altura de fibra en las dos secciones parciales más solicitadas de forma individualizada; si empezamos por calcular la tensión en la fibra superior del hormigón

$$\sigma_c^s = -\frac{N}{A_c} - \frac{M_c \cdot y_c}{I_c}$$

ec. 3.35

y la tensión en la fibra inferior

$$\sigma_c^i = -\frac{N}{A_c} + \frac{M_c \cdot y_c}{I_c}$$

ec. 3.36

si pasamos a la madera, la tensión en la fibra superior

$$\sigma_w^s = +\frac{N}{A_w} - \frac{M_w \cdot y_w}{I_w}$$

ec. 3.37

y en la fibra inferior

$$\sigma_w^i = +\frac{N}{A_w} + \frac{M_w \cdot y_w}{I_w}$$

ec. 3.38

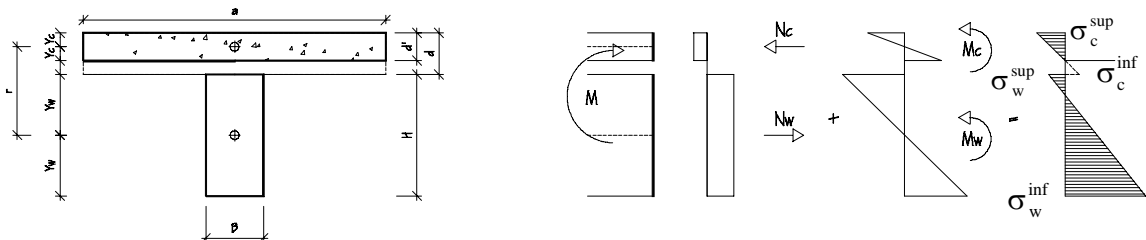


Fig. 3.4 Sección transversal, diagrama de estados tensionales producidos por cada uno de los esfuerzos distribuidos y diagrama tensional resultante

el valor máximo de tensión en el hormigón, siempre se producirá en su fibra superior y será una compresión, mientras que en la madera se producirá en su fibra inferior y siempre será tracción; la tensión en la fibra inferior de hormigón y en la fibra superior de madera podrá ser de tracción o compresión, dependiendo de multitud de factores, siendo los más relevantes la rigidez de los conectadores, los módulos de deformación de los dos materiales, y la geometría de la sección mixta; en cualquier caso, deberemos comprobar que en la sección considerada de hormigón, no aparecen tensiones de tracción, tal como hemos supuesto en la hipótesis 2.

3.5 DEFORMACIONES

Como las secciones parciales de hormigón y madera tienen que deformar lo mismo (hipótesis 4), si analizamos por ejemplo la madera, la ecuación de la elástica viene dada por

$$\frac{d^2 y_w}{dx^2} = -\frac{M_w}{E_w \cdot I_w}$$

ec. 3.39

anteriormente, habíamos calculado el momento flector parcial en la vigueta de madera $M_w(x)$, cuyo valor expresado en la ec. 3.14 , y teniendo en cuenta el parámetro β definido por la ec. 3.17 , se puede escribir

$$M_w(x) = (M(x) - N(x) \cdot r) \cdot \beta \cdot E_w \cdot I_w$$

ec. 3.40

si sustituimos esta expresión en la ec. 3.39 ,

$$\frac{d^2 y_w}{dx^2} = -\beta \cdot M(x) + \beta \cdot r \cdot N(x)$$

ec. 3.41

anteriormente, hemos deducido que

$$N''(x) - \chi^2 \cdot N(x) = -\beta \cdot \frac{k}{s} \cdot r \cdot M(x)$$

ec. 3.42

si despejamos $N(x)$

$$N(x) = \left[N''(x) + \beta \cdot \frac{k}{s} \cdot r \cdot M(x) \right] \frac{1}{\chi^2}$$

ec. 3.43

la ecuación diferencial de la deformada, sustituyendo $N(x)$ en la ec. 3.41 , resulta

$$\frac{d^2 y_w}{dx^2} = -\beta \cdot M(x) + \beta \cdot r \cdot \frac{N''(x)}{\chi^2} + \frac{\beta^2 \cdot r^2 \cdot k \cdot M(x)}{s \cdot \chi^2}$$

ec. 3.44

si agrupamos términos en $M(x)$

$$\frac{d^2 y_w}{dx^2} = \beta \cdot \left[\frac{\beta \cdot r^2 \cdot k}{s \cdot \chi^2} - 1 \right] \cdot M(x) + \frac{\beta \cdot r}{\chi^2} \cdot N''(x)$$

ec. 3.45

e integramos, obtenemos la ecuación de giros de la viga de madera, que por hipótesis, también lo es de la cabeza de hormigón y de la sección mixta

$$\frac{dy_w}{dx} = \Phi(x) = \beta \cdot \left[\frac{\beta \cdot r^2 \cdot k}{s \cdot \chi^2} - 1 \right] \cdot \int M(x) \cdot dx + \frac{\beta \cdot r}{\chi^2} \cdot N'(x) + C_1$$

ec. 3.46

integrando de nuevo, obtenemos la ecuación de la deformada

$$y_w = \beta \cdot \left[\frac{\beta \cdot r^2 \cdot k}{s \cdot \chi^2} - 1 \right] \cdot \iint M(x) \cdot dx^2 + \frac{\beta \cdot r}{\chi^2} \cdot N(x) + C_1 \cdot x + C_2$$

ec. 3.47

si sustituimos $M(x)$ por su valor correspondiente al caso considerado, ec. 3.9 , resulta

$$y_w = \beta \cdot \left[\frac{\beta \cdot r^2 \cdot k}{s \cdot \chi^2} - 1 \right] \cdot \left[\frac{q \cdot L}{12} \cdot x^2 - \frac{q}{24} x^4 \right] + \frac{\beta \cdot r}{\chi^2} \cdot N(x) + C_1 \cdot x + C_2$$

ec. 3.48

si finalmente aplicamos las condiciones de contorno para determinar las constantes de integración

$$x = 0 \Rightarrow y_w = 0 \Rightarrow N(0) = 0 \Rightarrow C_2 = 0$$

ec. 3.49

$$x = L \Rightarrow y_w = 0 \Rightarrow N(L) = 0 \Rightarrow C_1 = \left[1 - \frac{\beta \cdot r^2 \cdot k}{s \cdot \chi^2} \right] \cdot \frac{q \cdot L^3}{24}$$

ec. 3.50

resulta

$$y_w = \beta \cdot \left[\frac{\beta \cdot r^2 \cdot k}{s \cdot \chi^2} - 1 \right] \cdot \left[\frac{q \cdot L}{12} \cdot x^2 - \frac{q}{24} x^4 - \frac{q \cdot L^3}{24} x^3 \right] + \frac{\beta \cdot r}{\chi^2} \cdot N(x)$$

ec. 3.51

la flecha máxima en la viga biapoyada se produce para $x = L/2$; como anteriormente hemos obtenido el valor de $N(L/2)$, ec. 3.32 , sustituyendo resulta

$$f_{\max} = y_w(x = L/2) = \frac{5}{384}q \cdot L^4 \cdot \beta \left[1 - \frac{\beta \cdot k \cdot r^2}{s \cdot \chi^2} \right] + \frac{q \cdot \beta^2 \cdot k \cdot r^2}{s \cdot \chi^4} \left[\frac{2}{\chi^2} \frac{\text{Sh}(\chi \cdot L/2)}{\text{Sh}(\chi \cdot L)} + \frac{2 \cdot L^2}{16} - \frac{1}{\chi^2} \right]$$

ec. 3.52

expresión que nos proporciona la flecha máxima inicial (tiempo = 0) , debida a la carga total q .

3.6 ESFUERZO RASANTE

Para determinar el esfuerzo rasante F , que aparece como consecuencia de la variación de esfuerzos axiales entre las secciones parciales de hormigón y vigueta de madera, podemos escribir

$$F(x) = \frac{dN_c(x)}{dx} = \frac{dN_w(x)}{dx} = \frac{dN(x)}{dx}$$

ec. 3.53

si derivamos $N(x)$ de la ec. 3.31 , y sustituimos resulta

$$F(x) = \frac{dN(x)}{dx} = \frac{\beta \cdot q \cdot k \cdot r}{s \cdot \chi^4} \left[\frac{1 - \text{Ch}(\chi \cdot L)}{\text{Sh}(\chi \cdot L)} \text{Ch}(\chi \cdot x) + \text{Sh}(\chi \cdot x) \right] + \frac{\beta \cdot q \cdot k \cdot r}{2 \cdot s \cdot \chi^2} [-2 \cdot x + L]$$

ec. 3.54

que representa la variación del esfuerzo rasante a lo largo de la directriz de la pieza; el valor de este esfuerzo en la sección central de la vigueta es nulo, al serlo también el cortante en el caso de carga uniforme y tipo de vínculos extremos (vigueta biapoyada) que estamos planteando; si sustituimos en la ec. 3.54 , $x = L/2$ se comprueba que $F(L/2) = 0$. El valor máximo del esfuerzo rasante se produce en los apoyos, para los valores de $x = 0$ y $x = L$, donde la pendiente del diagrama de momentos es máxima y de signo contrario en cada extremo, sustituyendo los valores mencionados en la ec. 3.54

$$F(0) = -F(L) = \frac{\beta \cdot q \cdot k \cdot r}{s \cdot \chi^2} \left[\frac{1}{\chi^2} \cdot \frac{1 - \text{Ch}(\chi \cdot L)}{\text{Sh}(\chi \cdot L)} + \frac{L}{2} \right]$$

ec. 3.55

el valor de este esfuerzo máximo, es el que se utiliza para el dimensionado de los conectadores, ya que hemos considerado que estaban distribuidos a intereje constante (hipótesis 6) y eran todos iguales, deberemos tomar por tanto el valor más desfavorable.

3.7 EFECTOS REOLÓGICOS SOBRE EL HORMIGÓN: TENSIONES MODIFICATIVAS Y DEFORMACIONES FINALES

Debido al tiempo transcurrido desde la puesta en obra, hormigón y madera son materiales que se ven sometidos a efectos reológicos, por lo que podrán apreciarse deformaciones diferidas en ambos materiales.

En el caso de la madera si analizamos el estado tensional de una vigueta sometida a flexión previo a su refuerzo Fig. 3.5, parte de la sección quedará comprimida y parte traccionada trabajando en régimen lineal (fase 1); si vamos aumentando de forma progresiva al carga, el estado tensional pasará a ser el de la fase 2, en el que empiezan a existir fibras en compresión que han llegado a la plastificación; la fase 3, corresponde a la situación de agotamiento, donde en la zona de compresiones la madera llega a plastificar mientras que en tracción el material sigue un comportamiento lineal, así mismo, la posición de la

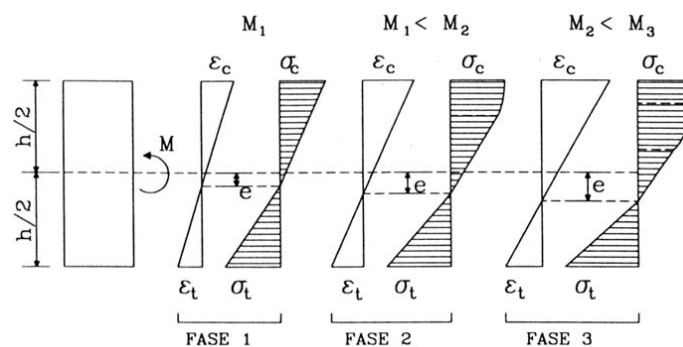


Fig. 3.5 Evolución del diagrama tensional de la vigueta sometida a flexión, observando que a medida que aumenta el momento flector la zona de compresiones plastifica.(ref. 39)

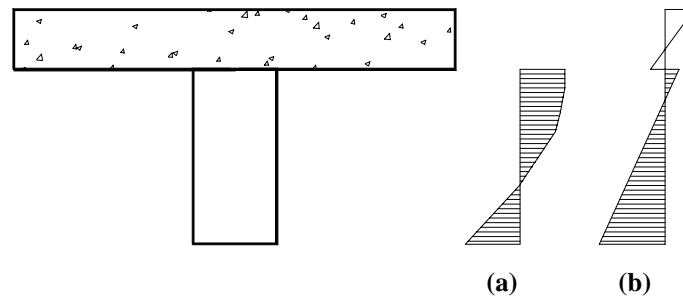


Fig. 3.7 Diagrama tensional sobre la madera, (a) previo al refuerzo. (b) posterior al refuerzo.

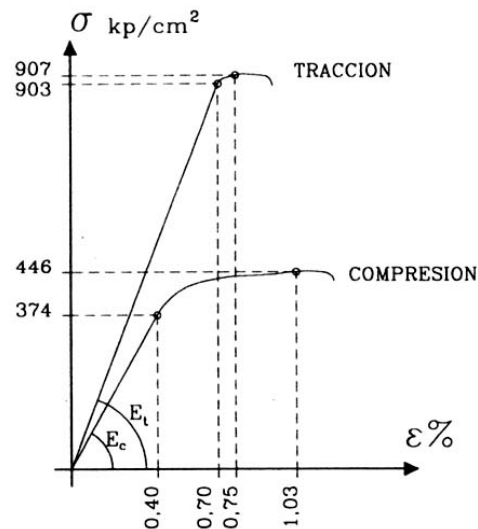


Fig. 3.6 Diagrama tensión – deformación de la madera en tracción y compresión paralela a la fibra. (ref. 39)

fibra neutra ha sufrido un pequeño descenso.

Si observamos el diagrama tensión - deformación en tracción y en compresión de la Fig. 3.6, se aprecia que los módulos de deformación de la madera son bastante desiguales siendo el de tracción del orden de un 50% superior al de compresión, además, la resistencia a tracción prácticamente duplica a la de compresión. Respecto a los efectos de la fluencia, se manifiestan de forma más notable en la zona comprimida que en la traccionada; el refuerzo mediante solera de hormigón, cambiará el estado tensional original sobre la vigueta (ver Fig. 3.7), que pasará a ser más favorable para ésta al situarse prácticamente en zona de tracciones, siendo las compresiones normalmente insignificantes respecto al estado previo al

refuerzo, por tanto, una variación favorable en el estado tensional así como el hecho de que la vigueta ha estado sometida a carga permanente durante largo periodo de tiempo, nos lleva a la conclusión de considerar los efectos reológicos sólo sobre el hormigón.

En el hormigón, al ser un material de nueva colocación sí tendremos en cuenta estos efectos, debido a que su comportamiento mecánico varía con el transcurso del tiempo, tanto si está sometido a la acción de una carga mantenida (fluencia) como si está descargado (retracción); efectos, que influyen en todas las estructuras formadas por este material, y en particular en las estructuras mixtas por su carácter heterogéneo; en el caso que estamos estudiando originará una transferencia de esfuerzos y un incremento de las deformaciones para que se sigan cumpliendo las condiciones de equilibrio y compatibilidad.

Por tanto, consideraremos los efectos reológicos en el hormigón a través de su coeficiente de fluencia φ , que relaciona las deformaciones finales con las instantáneas, adoptando en los casos más usuales para tiempo infinito, valores entre 2 y 2'5. Esto supone que se ha producido una variación en las deformaciones sin que se modifiquen las tensiones, pudiendo asimilar este efecto, a una variación del módulo de deformación del hormigón, que pasará de un valor inicial E_c para tiempo = 0 , a un valor $E_{c\infty}$ para tiempo = ∞

$$E_{c\infty} = \frac{E_c}{(1 + \varphi)}$$

ec. 3.56

sin olvidar que las acciones que provocan la fluencia, son las de carácter permanente, ya que actúan durante largo periodo de tiempo. Por lo expuesto anteriormente, se deduce, que el planteamiento seguido para la obtención de tensiones y deformaciones iniciales, es igualmente válido para calcular los valores de las tensiones modificativas y deformaciones diferidas, teniendo en cuenta que las cargas a considerar son las de carácter permanente ($q_0 + q_2$) y que el módulo de deformación del hormigón ahora es $E_{c\infty}$, al haber cambiado este parámetro, también habrán variado las expresiones anteriores ec. 3.17 y ec. 3.19 , adoptando ahora los valores

$$\alpha' = \frac{1}{E_{c\infty} \cdot A_c} + \frac{1}{E_w \cdot A_w} \quad \beta' = \frac{1}{E_{c\infty} \cdot I_c + E_w \cdot I_w}$$

ec. 3.57

$$\chi'^2 = \frac{k}{s} (\alpha' + r^2 \cdot \beta')$$

ec. 3.58

hay que tener en cuenta que “r”, distancia entre los centros de gravedad de las secciones de hormigón no fisurado y viga de madera también habrá cambiado de valor; siguiendo el mismo planteamiento que en el caso precedente, resultará como solución general de la ecuación completa, una expresión similar a la ec. 3.32

$$N_{\infty}(L/2) = + \frac{\beta' \cdot k \cdot q \cdot r}{s \cdot \chi'^2} \left[\frac{2 \cdot \text{Sh}(\chi' \cdot L/2)}{\chi'^2 \cdot \text{Sh}(\chi' \cdot L)} + \frac{L^2}{8} - \frac{1}{\chi'^2} \right]$$

ec. 3.59

Si sustituimos este valor en las expresiones de momentos que actúan en las secciones parciales de hormigón y madera, obtendremos de forma similar a la ec. 3.33 y ec. 3.34

$$M_{w\infty}(L/2) = \left[\frac{q \cdot L^2}{8} - N_{\infty}(L/2) \cdot r \right] \cdot \beta' \cdot E_w \cdot I_w$$

ec. 3.60

$$M_{c\infty}(L/2) = \left[\frac{q \cdot L^2}{8} - N_{\infty}(L/2) \cdot r \right] \cdot \beta' \cdot E_{c\infty} \cdot I_c$$

ec. 3.61

y de forma análoga, el valor del esfuerzo rasante máximo

$$F_{\infty}(0) = -F_{\infty}(L) = \frac{\beta' \cdot q \cdot k \cdot r}{s \cdot \chi'^2} \left[\frac{1}{\chi'^2} \cdot \frac{1 - \text{Ch}(\chi' \cdot L)}{\text{Sh}(\chi' \cdot L)} + \frac{L}{2} \right]$$

ec. 3.62

Para el cálculo de la flecha diferida, es suficiente con considerar como módulo de elasticidad el valor $E_{c\infty}$, pudiendo utilizar una expresión similar a la

ec. 3.52. Si tenemos en cuenta que las constantes α , β y χ son ahora α' , β' y χ' , con la ayuda de la ec. 3.52 la expresión de flecha máxima diferida será

$$f_{\max, \infty} = y_w \left(x = \frac{L}{2} \right) = \frac{5}{384} q \cdot L^4 \cdot \beta' \left[1 - \frac{\beta' \cdot k \cdot r^2}{s \cdot \chi'^2} \right] + \frac{q \cdot \beta'^2 \cdot k \cdot r^2}{s \cdot \chi'^4} \left[\frac{2}{\chi'^2} \frac{\text{Sh}(\chi' \cdot \frac{L}{2})}{\text{Sh}(\chi' \cdot L)} + \frac{2 \cdot L^2}{16} - \frac{1}{\chi'^2} \right]$$

ec. 3.63

4 PROGRAMA DE CÁLCULO

El estudio analítico anterior nos ha llevado a expresiones de cálculo bastante complicadas, tanto por su naturaleza como por la gran cantidad de variables que incluyen; con el fin de profundizar en el estudio de las secciones mixtas hormigón - madera y seguir su comportamiento al ir variando los parámetros que la definen, así como facilitar su aplicación práctica, se ha implementado una aplicación informática que responde a los requisitos enunciados.

Además, hay que tener en cuenta que el análisis en régimen de fisuración propuesto, hace prácticamente inabordable su utilización de forma manual

ESTRUCTURAS HORMIGON - MADERA APLICADAS A LA REHABILITACION DE FORJADOS

Editor Ayuda Fin Datos inter

Entrada de datos

Datos de la vigueta

Luz (m.) Escuadria

Ew (K/cm2) Sw.ad(K/cm2)

Datos del hormigón

a (cm) d (cm.) Fck (K/cm2) Ec (K/cm2)

a1 (cm.) d1 (cm.) Sc.ad(K/cm2)

Rigidez de los conectadores

K / S.....(Kg/cm2.)

Estado de cargas en (Kg / m2)

Q0 (100 + Cap.) Q1 (Sob. uso) Q2 (Sob. tab)

Valores del cálculo directo

Tensiones iniciales máximas y flecha

Tensión máxima en hormigón = -11.22 Kg/cm2.
Tensión máxima en madera = 19.13 Kg/cm2.
F.max = .1109 cm. L/300 = 1 cm.

Tensiones iniciales

Sc,s = -11.22 Fib. 0.00
Sc,i = 0.00 3.22
Sw,s = -11.60 7.00
Sw,i = 19.13 31.00

Deformación inicial en fibra de contacto.

Hormigón 4.38346835E-05
Madera -1.05080191E-04

Sección y deformada inicial y final

Tensiones finales máximas y flecha

Tensión máxima en hormigón = -8.16 Kg/cm2.
Tensión máxima en madera = 20.03 Kg/cm2.
F.max = .12 cm. L/300 = 1 cm.

Tensiones finales

Sc,s = -8.16 Fib. 0.00
Sc,i = -1.27 4.00
Sw,s = -12.84 7.00
Sw,i = 20.03 31.00

Deformación final en fibra de contacto.

Hormigón 2.57414846E-05
Madera -1.16288573E-04

C.d.g.(ini)= 7.2 C.d.g.(fin)= 12.32

CALCULO

M.D.I. sec. homog. W sec. homog. M.max. (m.Kg) Qtot. máxima Kg/m Agota por: Qvar. kg/m2. **Q agota**

Fig. 4.1 Pantalla principal del programa.

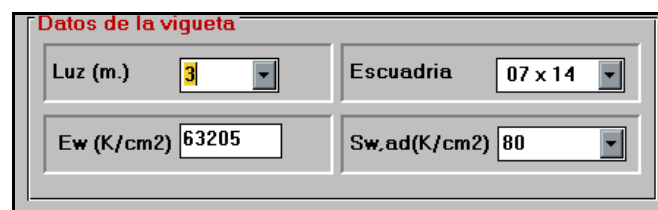
debido a que se trata de un método aplicado de forma iterativa, que finaliza cuando se consigue que en la sección de hormigón contada a efectos resistentes, no aparezcan tensiones de tracción.

El programa de cálculo que ha respondido a estos requisitos se ha implementado en el entorno de programación de Visual Basic V3, funcionando bajo Windows 95, con un procesador Intel Pentium 166 Mhz. y 16 Mb. de memoria RAM.

4.1 ENTRADA DE DATOS

El programa dispone de una pantalla principal Fig. 4.1, con una zona superior de entrada de datos y una inferior de salida de resultados (Valores del cálculo directo); ciñéndonos a la primera zona, está subdividida en cuatro partes, 1º Datos de la vigueta de madera, 2º Datos del hormigón, 3º Rigidez de los conectadores y 4º Estado de cargas en (Kg/m^2), conteniendo cada uno de estos subapartados, los parámetros necesarios que definen el problema a resolver.

1º Datos de la vigueta.



Datos de la vigueta	
Luz (m.)	3
Escuadria	07 x 14
Ew (K/cm2)	63205
Sw.ad(K/cm2)	80

Fig. 4.2 Entrada de datos vigueta de madera.

Aquí aparecen cuatro subapartados luz, escuadría bxh, módulo de deformación y tensión máxima admisible de la madera, en tres de las casillas, se ha dispuesto una caja “combo”, es decir, una ventana desplegable en la que aparecen valores usuales que simplemente hay que elegirlos; cuando en la lista no aparece el valor deseado, siempre se nos ofrece la posibilidad de entrada por teclado.

La casilla que hace referencia al módulo de deformación, no es una caja “combo”, debido a que cambia automáticamente en función de la tensión admisible de la madera elegida, para ello se ha empleado la expresión que relaciona la tensión de rotura de la madera con su módulo de deformación (ref. 11),

$$\sigma_{w,adm} \cdot 3'5 = \sigma_R = 0'845 \cdot E_w^{0.4} \quad (\text{en Mpa.})$$

ec. 4.1

siendo 3'5, el valor del coeficiente de seguridad empleado para el método de cálculo en tensiones admisibles, no obstante, podemos teclear cualquier valor que deseemos, independientemente de la tensión normal máxima que fijemos.

2º Datos del hormigón.

Datos del hormigón			
a (cm)	50	d (cm.)	7
Fck (K/cm2)	250	Ec (K/cm2)	300416.4
a1 (cm.)	10	d1 (cm.)	3
Sc.ad(K/cm2)	85		

Fig. 4.3 Entrada de datos correspondiente al hormigón

En este subapartado se han incluido dos nuevos parámetros a_1 y d_1 , no descritos en el estudio analítico, pero necesarios para abarcar en cálculo la diversidad de soluciones constructivas que se presentan de forma práctica en el refuerzo, sin más que variar los parámetros a , d , a_1 y d_1 , (ver Fig. 4.4); cuando los parámetros a_1 y d_1 son igual a cero, la sección de hormigón definida es

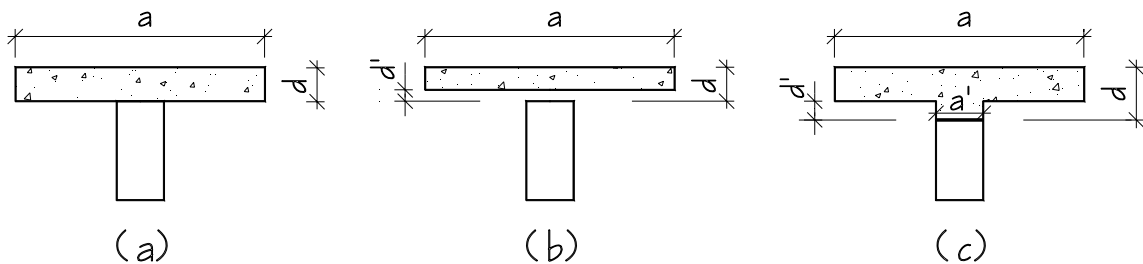


Fig. 4.4 Posibilidades del programa respecto a la sección de hormigón . (a) Sección rectangular en contacto con la vigueta de madera $a_1 = d_1 = 0$. (b) Sección rectangular despegada de la vigueta de madera $a_1 = 0$, $d_1 \neq 0$. (c) Sección en "T". $a_1 \neq 0$, $d_1 \neq 0$.

rectangular y está pegada a la madera Fig. 4.4.a.; si solo el parámetro a_1 es igual a cero, estamos modelizando el caso en que existe un tablero de madera u otro material que no entra a formar parte de la sección resistente Fig. 4.4. b.; en el caso más general en que a_1 y d_1 son distintos de cero, tendremos una sección de hormigón en "T" Fig. 4.4.c .

Así mismo, cualquier intervención sobre los parámetros a , d , a_1 y d_1 incide de forma inmediata sobre la casilla correspondiente al estado de cargas Q_0 , actualizándose el peso propio de la sección de hormigón que se está definiendo en cada momento.

Para los valores de F_{ck} (resistencia característica del hormigón) se ha dispuesto una caja "combo", en la que una vez elegido algún valor, de forma automática cambian las casillas correspondientes a tensión máxima admisible y módulo de deformación, para calcular su valor tanto a tiempo cero como a tiempo infinito, se han seguido los criterios de la IEH-91,

$$E_c = 19000 \cdot \sqrt{F_{ck}} \quad (\text{en Kg/cm}^2)$$

ec. 4.2

$$E_{c,\infty} = \frac{E_c}{(1 + \varphi)} \quad (\text{en Kg/cm}^2)$$

ec. 4.3

donde se ha adoptado para φ el valor de 2'5. En lo que hace referencia al cálculo de la tensión admisible, dado que la IEH-91 lo que establece son criterios para determinar la resistencia característica F_{ck} , utilizaremos la expresión obtenida de la ref.7

$$\sigma_{c,adm} = 60 + \frac{F_{ck} - 150}{4} \quad (\text{en Kg/cm}^2)$$

ec. 4.4

No se tiene en cuenta en el cálculo la armadura del hormigón, aunque constructivamente es conveniente disponer una malla electrosoldada en la zona inferior de solera.

Los valores de tensión admisible no se emplean en el apartado de “Calculo Directo”, ya que sólo necesitamos conocer los módulos de deformación del hormigón y la madera para evaluar estados tensionales y flechas.

3º Rigidez de los conectadores

Los valores de rigidez propuestos en la caja “combo” varían desde prácticamente cero hasta infinito, siendo usual que estén comprendidos entre 2000 y 500 Kg/cm² , corresponden a valores que se pueden obtener aplicando las expresiones vistas en el apartado 2.3.



Fig. 4.5 Ejemplo de caja “combo”, se puede seleccionar cualquier valor o teclear uno nuevo

4º Estado de cargas en (Kg/m2).

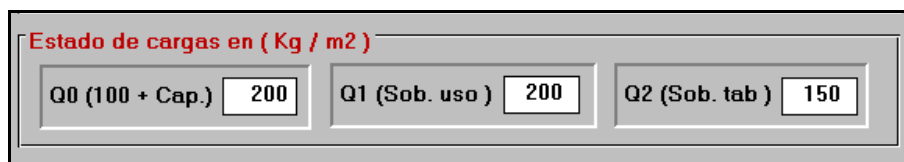


Fig. 4.6 Estado de cargas con los valores propuestos

Esta ventana, responde a las cargas descritas en el estudio teórico, siendo:

Q_0 peso propio, cuya evaluación es automática, estimándose 100 Kg/m² para el forjado original y una densidad de 2500 Kp/m³ para calcular el peso del

refuerzo, no obstante el valor de esta casilla, como el de las restantes, puede variarse a voluntad.

- Q_1 sobrecarga de uso o carga variable, el programa propone 200 Kg/m^2 , que es el valor habitual adoptado para forjados de viviendas.
- Q_2 sobrecarga de pavimento y tabiquería, considerada como carga de carácter casi - permanente, el valor propuesto es 150 Kg/m^2 .

4.2 SALIDA DE RESULTADOS

4.2.1 Valores del cálculo directo

En la zona inferior de la pantalla principal está dispuesta la salida de resultados, "Valores del cálculo directo" (ver Fig. 4.7); aparecen dos subapartados en la zona izquierda que responden a cuadros resumen de 1º "Tensiones iniciales máximas y flecha", y 2º "Tensiones finales máximas y flecha", entre ellos, existe una ventana con los valores del centro de gravedad de la sección mixta homogénea no fisurada, transformada a su equivalente en madera, tanto para $t = 0$, como para $t = \infty$ en la hipótesis de conexión rígida. Estos valores, no se utilizan en ningún momento en los cálculos, debido a que no tiene sentido hablar de dichos parámetros cuando estamos bajo la hipótesis de conexión deformable, pero válidos como valores de referencia y depuración del programa cuando fijamos una rigidez infinita.

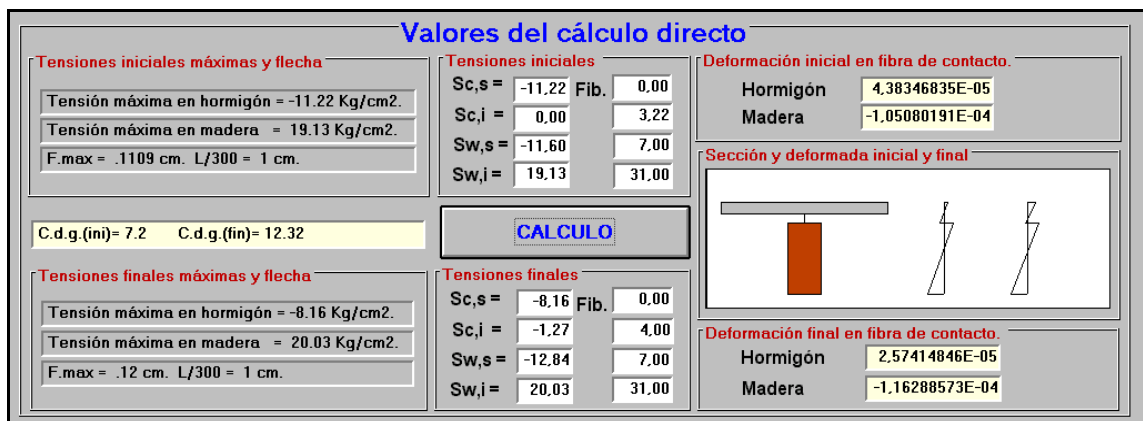


Fig. 4.7 Subapartado de Salida de resultados

En la parte central se pueden apreciar dos subapartados, “Tensiones iniciales” y “Tensiones finales”, que ofrecen los valores más representativos tanto en el hormigón como en la madera, así como la altura de fibra donde se está realizando el cálculo; de las cuatro alturas donde se han evaluado las tensiones, tres son fijas, coincidiendo con la fibra superior e inferior de la vigueta de madera y la fibra superior de la cabeza de hormigón. La situación de la fibra inferior de hormigón, depende de la sección no fisurada con la que se alcanza el equilibrio, en el ejemplo de la Fig. 4.7, la sección de hormigón no fisurada tiene un canto de 3,22 cm. para $t = 0$ (estado inicial), por tanto, en esa altura de fibra, la tensión calculada a partir de los valores N_c y M_c tiene que ser cero, siendo el resultado que evidentemente aparece y sirviendo para ir depurando la salida de resultados.

Los dos subapartados situados a la derecha hacen referencia, de forma numérica, a las deformaciones en el hormigón y madera para $t = 0$ y $t = \infty$, se han obtenido a partir de los estados tensionales dados por los pares de valores (N_c, M_c) y (N_w, M_w) para cuatro alturas de fibra, es decir, se han calculado con las expresiones siguientes, tomando $q = q_0 + q_1 + q_2$; la deformación en la fibra superior de hormigón (Fig. 4.8)

$$\varepsilon_c^s = \frac{1}{E_c} \cdot \left[-\frac{N_c}{A_c} - \frac{M_c \cdot y_c}{I_c} \right]$$

ec. 4.5

y en la fibra inferior contacto con la madera,

$$\varepsilon_c^i = \frac{1}{E_c} \cdot \left[-\frac{N_c}{A_c} + \frac{M_c}{I_c} \cdot (d - y_c) \right]$$

ec. 4.6

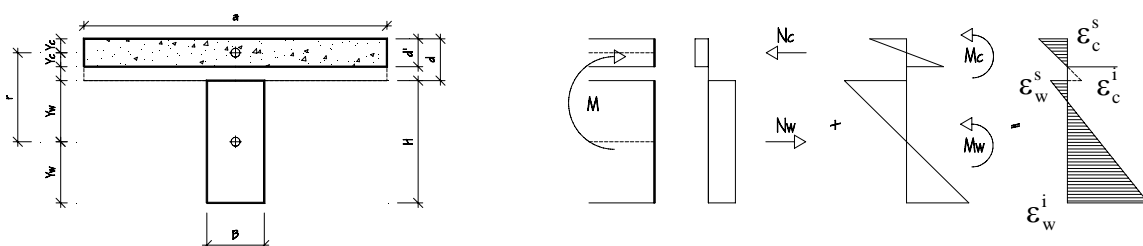


Fig. 4.8 Sección transversal , diagramas de deformación individuales y conjunto.

la deformación en la fibra superior de la madera

$$\varepsilon_w^s = \frac{1}{E_w} \cdot \left[+ \frac{N_w}{A_w} - \frac{M_w}{I_w} \cdot \frac{h}{2} \right]$$

ec. 4.7

y en la fibra inferior,

$$\varepsilon_w^i = \frac{1}{E_w} \cdot \left[+ \frac{N_w}{A_w} + \frac{M_w}{I_w} \cdot \frac{h}{2} \right]$$

ec. 4.8

los valores así calculados corresponden a tiempo $t = 0$. En cuanto al cálculo de deformaciones para tiempo infinito, parte corresponden a carga variable, cuyo valor se obtiene sin más que multiplicar las expresiones anteriores por la relación $q_1 / (q_0 + q_1 + q_2)$ para tiempo $= 0$, y el resto de deformación, corresponde con la debida a carga permanente $(q_0 + q_2)$ para tiempo infinito, resultando por tanto expresiones similares a las vistas. La deformación final en la fibra superior del hormigón

$$\varepsilon_{c,fin}^s = \varepsilon_c^s \cdot \frac{q_1}{(q_0 + q_1 + q_2)} + \varepsilon_{c,\infty}^s \quad \text{siendo} \quad \varepsilon_{c,\infty}^s = \frac{1}{E_{c,\infty}} \cdot \left[- \frac{N_{c,\infty}}{A_c} - \frac{M_{c,\infty} \cdot y_c}{I_c} \right]$$

ec. 4.9

en la fibra inferior, contacto con la madera

$$\varepsilon_{c,fin}^i = \varepsilon_c^i \cdot \frac{q_1}{(q_0 + q_1 + q_2)} + \varepsilon_{c,\infty}^i \quad \text{siendo:} \quad \varepsilon_{c,\infty}^i = \frac{1}{E_{c,\infty}} \cdot \left[- \frac{N_{c,\infty}}{A_c} + \frac{M_{c,\infty}}{I_c} \cdot (d - y_c) \right]$$

ec. 4.10

la deformación final en la fibra superior de la madera, sin variar E_w , por las razones explicadas anteriormente

$$\varepsilon_{w,fin}^s = \varepsilon_w^s \cdot \frac{q_1}{(q_0 + q_1 + q_2)} + \varepsilon_{w,\infty}^s \quad \text{siendo:} \quad \varepsilon_{w,\infty}^s = \frac{1}{E_w} \cdot \left[+ \frac{N_{w,\infty}}{A_w} - \frac{M_{w,\infty}}{I_w} \cdot \frac{h}{2} \right]$$

ec. 4.11

y en la fibra inferior

$$\varepsilon_{w,fin}^i = \varepsilon_w^i \cdot \frac{q_1}{(q_0 + q_1 + q_2)} + \varepsilon_{w,\infty}^i \quad \text{siendo:} \quad \varepsilon_{w,\infty}^i = \frac{1}{E_w} \cdot \left[+ \frac{N_{w,\infty}}{A_w} + \frac{M_{w,\infty}}{I_w} \cdot \frac{h}{2} \right]$$

ec. 4.12

Estos subapartados permiten seguir de forma gráfica y numérica las deformaciones del hormigón y la vigueta de madera en función de la rigidez de los conectadores, comprobando que cuando esta tiende a infinito, la deformada es plana, es decir, no se producen discontinuidades en el diagrama de deformación en la zona de conexión entre los dos materiales.

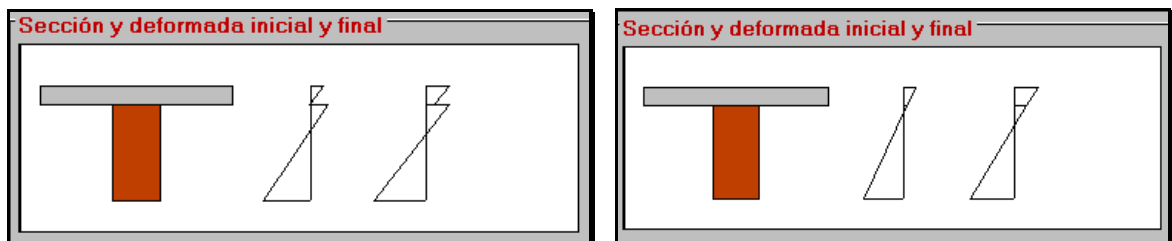


Fig. 4.9 Valor $k/s = 1.000 \text{ Kg/cm}^2$ y $k/s = 200.000 \text{ Kg/cm}^2$

Entre los resultados numéricos de las deformaciones, se encuentra la salida gráfica que representa la sección que estamos calculando (Fig. 4.9), y los diagramas de deformación correspondientes a tiempo $t = 0$ y $t = \infty$. Dentro del apartado de Cálculo directo, aparece un gran botón "CALCULO" que es el que activa el procedimiento del mismo nombre.

4.2.2 Cálculo de cargas que producen el agotamiento. Criterios.

En este subapartado, se aprovecha toda la entrada de datos excepto la correspondiente al valor de carga variable, que ahora es la incógnita a determinar; al valor obtenido le llamaremos carga variable de agotamiento, y corresponde al valor de carga que hace que se alcancen los valores máximos de tensión o deformación fijados, tanto para tiempo cero como tiempo infinito; posteriormente, se incidirá con profundidad en este tema.

M.D.I. sec. homog. 66031.66	W sec. homog. 2769.55	M.max. (m.Kg) 1803.08	Qtot. máxima Kg/m 576.99	Agota por: Flech.fin	Qvar. kg/m2. 778.97	Q agota
--------------------------------	--------------------------	--------------------------	-----------------------------	-------------------------	------------------------	----------------

Fig. 4.10 Subapartado correspondiente a cálculo de la carga variable de agotamiento

Las casillas que aparecen en esta línea corresponden a

M.D.I. sec. homog. Momento de inercia respecto al eje de flexión de la sección homogénea transformada a su equivalente en madera, correspondiente a la sección completa descontando el hormigón fisurado y en la hipótesis de rigidez de la conexión infinita.

W. sec. homog. Módulo resistente de la sección homogénea respecto al eje de flexión, transformada a su equivalente en madera, correspondiente a la sección completa descontando el hormigón fisurado y en la hipótesis de rigidez de la conexión infinita. Estos dos parámetros no entran a formar parte del estudio analítico propuesto, simplemente se calculan para tener valores de referencia.

el resto de las casillas, corresponde a salida propia de resultados

Mmax. (m.kg) Momento flector máximo para el que se produce el agotamiento de la sección, correspondiente al caso de viga biapoyada sometida a carga uniforme.

Qtot. Máxima	Valor de la carga total máxima que produce el agotamiento de la sección en kg/m.
Agota por	Esta casilla indica que condición es la que provoca el agotamiento; en el caso de la figura "Flecha fin.", indica que el agotamiento se ha producido por alcanzar la flecha su valor máximo admisible para tiempo infinito.
Qvar. Kg/m ²	Valor de la carga variable que produce el agotamiento de la sección en Kg/m ² ; se han elegido estas unidades, para poder comprobar de forma rápida si el valor calculado es correcto, para ello se teclea el valor obtenido en la casilla correspondiente a "Q ₁ sob. uso (Kg/m ²)", que se encuentra situada en el subapartado "Estado de cargas". Si ahora se calculan tensiones en el apartado de "Cálculo directo", obtendremos la confirmación del resultado obtenido, debido a que los cálculos que se han realizado corresponden a "Procedimientos" diferentes dentro de la estructura del programa.

Para evaluar cargas de agotamiento, en principio, tendremos que fijar unos criterios especificando el método de cálculo seguido; en este caso, se ha utilizado el método en tensiones admisibles, por lo que tendremos sólo un coeficiente de seguridad que se aplica minorando la resistencia del material, mientras que se adopta para las cargas su valor nominal.

Aunque en general, los Eurocódigos recomiendan para la comprobación de cualquier tipo de estructura el método de los estados límite, en particular el Eurocódigo 5 (ref.16) no excluye, y así lo indica explícitamente en el apartado 1.1.2 "otros métodos tradicionales que hayan sido empleados con éxito durante largo periodo de tiempo"; si nos atenemos a la versión española de la mencionada Norma, de reciente aparición (ref. 40), en el apartado 1.2 P(5) "Se admite la utilización de métodos de cálculo alternativos que difieran de las

Reglas de Aplicación dadas en este Eurocódigo, siempre que se demuestre que las reglas alternativas están de acuerdo con los Principios relevantes y que al menos son equivalentes en lo relativo a la resistencia mecánica, servicio y durabilidad alcanzada en el presente Eurocódigo.”

Una vez definido el método de cálculo y antes de establecer los valores de tensión admisible y flecha que producen el agotamiento de la sección mixta, veamos con que materiales estamos trabajando.

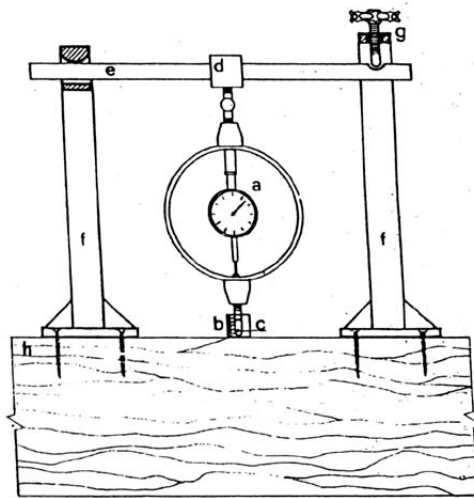


Fig. 4.11 Esquema de ensayo para determinar las características mecánico / resistentes de la madera existente.(ref. 11)

Para establecer el coeficiente de seguridad de la madera, podemos seguir criterios similares a los establecidos en el Eurocódigo 5, y para la determinación de las tensiones básicas, dada la dificultad de realizar ensayos normalizados sobre una estructura existente, podemos apoyarnos en la ref. 11, (G. Turrini, M. Piazza), donde a través de la determinación indirecta de las características resistentes de la madera, se relaciona la tensión de rotura con el módulo de deformación mediante un ensayo que en principio podemos catalogar de no destructivo, ver Fig. 4.11. Dicho ensayo, consiste en medir la fuerza R necesaria para hincar 5mm. un pequeño mandril en la superficie lateral de la vigueta, formado por una varilla metálica de 10 mm. de diámetro y punta redondeada; el valor obtenido, responde a la media de cinco ensayos realizados en el entorno de un punto, sobre una superficie pulida y regularizada.

Los gráficos de la Fig. 4.12(a) y (b), y Fig. 4.13 (a) relacionan la fuerza R con los valores correspondientes a:

- σ_r Tensión normal de rotura a tracción (en Mpa.)
- τ_r Tensión tangencial de rotura a cortante puro (en Mpa.)
- E_w Módulo de elasticidad lineal a tracción (en Mpa.)

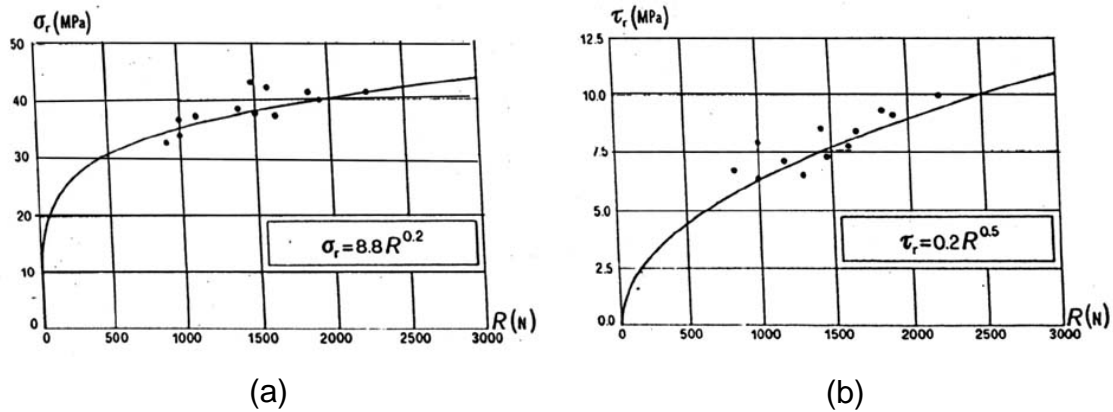
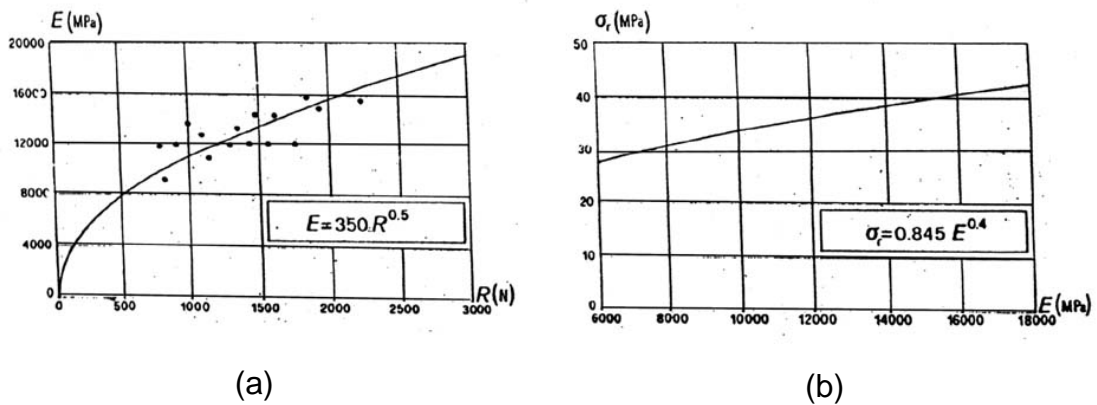


Fig. 4.12 (a) Gráfico $\sigma_r - R$ (b) Gráfico $\tau_r - R$ Expresando las tensiones en Mpa. (N/mm^2) y la fuerza R en Newtons. (ref. 11)

mientras que la Fig. 4.13(b) relaciona σ_r y E_w , respondiendo la curva a la expresión analítica $\sigma_r = 0'845 \cdot E_w^{0'4}$. Todos los valores indicados, corresponden al tipo de madera sana, por lo que deberán ser corregidos por un coeficiente que tenga en cuenta los defectos; a título orientativo, se sugiere un coeficiente de 0'80 para madera con pocos defectos, y 0'50 para madera con muchos defectos.

En cambio el hormigón, al ser un material de nueva colocación, no plantea problemas ya que podemos elegir una calidad concreta, y luego, mediante ensayos característicos de acuerdo a la normativa vigente, comprobar que se está obteniendo la calidad elegida.

De igual forma podemos hablar de los conectadores, que al estar formados por un material de nueva colocación, normalmente acero corrugado, se les puede exigir los ensayos pertinentes. Una vez definidas las características de los materiales, veamos que valores adoptamos para el cálculo.



Las características mecánico - resistentes de la madera, habrá que determinarlas a partir de los ensayos que sea posible realizar, una vez determinado su módulo de elasticidad y basándonos en la ref. 11 Fig. 4.13(b), podemos calcular la tensión de rotura mediante la expresión: $\sigma_r = 0.845 \cdot E_w^{0.4}$; si fijamos un coeficiente de seguridad global de 3.5, la tensión admisible se obtendrá al dividir la tensión de rotura por dicho coeficiente,

$$\sigma_{w,adm} = \frac{\sigma_r}{3.5} = 0.845 \cdot E_w^{0.4}$$

ec. 4.13

un valor medio a adoptar como tensión admisible de la madera, es 100 Kp/cm², que sustituido en la expresión anterior, le corresponde un módulo de deformación de 110.410 Kp/cm² (11.041 Mpa).

En lo que hace referencia al hormigón, para calcular el módulo de deformación tanto a tiempo cero como a tiempo infinito, se han seguido los criterios de la IEH-91, que responden a

$$E_c = 19000 \cdot \sqrt{F_{ck}} \quad (\text{en Kg/cm}^2)$$

ec. 4.14

$$E_{c,\infty} = \frac{E_c}{(1 + \varphi)} \quad (\text{en Kg/cm}^2)$$

ec. 4.15

se ha adoptado para φ el valor de 2'5. Para el cálculo de la tensión admisible del hormigón, dado que la IEH-91 lo que establece son criterios para determinar la resistencia característica F_{ck} , utilizaremos la expresión obtenida de la ref.7 ec. 4.4 .

No se tiene en cuenta en el cálculo la armadura del hormigón, aunque constructivamente es conveniente disponer una malla electrosoldada en la zona inferior de la solera.

El programa de cálculo, después de lo expuesto, permite que en la casilla correspondiente, tecleemos los valores deseados de módulos de deformación y tensiones normales máximas adoptadas para cada uno de los materiales, además, podemos elegir el peso propio del forjado q_0 y la sobrecarga de pavimento y tabiquería q_2 . Todo ello, se traduce en que podemos afectar de coeficientes de ponderación a las cargas y a la resistencia de los materiales, es decir, podemos seguir haciendo un análisis en régimen lineal y abandonar el método de cálculo en tensiones admisibles.

En cuanto a flechas, siguiendo el Eurocódigo 5 (ref. 40) se recomiendan dos criterios para limitar la deformación de la estructura; el primero, tiene relevancia cuando es necesario limitar las deformaciones excesivas que producen daños en elementos no estructurales, limitándose las deformaciones producidas por cargas variables máximas a

$$f_{\max, \text{var}}^{t=0} \leq \frac{L}{300}$$

ec. 4.16

siendo $f_{\max, \text{var}}^{t=0}$, la flecha máxima instantánea provocada por las cargas variables sin incluir la fluencia.

El segundo criterio, limita la deformación debida a la carga total y se utiliza para cumplir requisitos de funcionalidad y aspecto, la limitación de flecha máxima será de

$$f_{\max, \text{tot}}^{t=\infty} \leq \frac{L}{200}$$

ec. 4.17

siendo $f_{\max, \text{tot}}^{t=\infty}$, la flecha máxima producida por carga total (cargas permanentes y variables) contando con el efecto de la fluencia. Las limitaciones anteriores son valores mínimos recomendados por el Eurocódigo 5, en el caso que nos ocupa se ha sido más restrictivo, considerando una limitación de flecha para la carga total en estado inicial (tiempo = 0) y estado final (tiempo = ∞) de

$$f_{\max, \text{tot}}^{t=0} \leq \frac{1}{300} \quad ; \quad f_{\max, \text{tot}}^{t=\infty} \leq \frac{1}{300}$$

ec. 4.18

considerando los fenómenos de fluencia los provocados solo por carga permanente ($q_0 + q_2$) para $t = \infty$.

Si suponemos conocidos todos los valores que definen la sección mixta, es decir, escuadría de madera $b \times h$, entrevigado a , canto de la cabeza de hormigón d , rigidez de los conectadores k/s , luz de la vigueta L , calidades del hormigón y madera además de la carga permanente (parte corresponde a peso propio del forjado reforzado y parte a tabiquería y solado, $q_0 + q_2$), queda como única incógnita el valor de la carga variable que produce el agotamiento de la sección; para su obtención partimos de las siguientes condiciones:

- Condición de tensiones iniciales en hormigón y madera.

$$\sigma_{c, \max}^{t=0} \leq \sigma_{c, \text{adm}} \quad ; \quad \sigma_{w, \max}^{t=0} \leq \sigma_{w, \text{adm}}$$

ec. 4.19

- Condición de tensiones finales en hormigón y madera.

$$\sigma_{c, \max}^{t=\infty} \leq \sigma_{c, \text{adm}} \quad ; \quad \sigma_{w, \max}^{t=\infty} \leq \sigma_{w, \text{adm}}$$

ec. 4.20

- Limitación de flecha ($L/300$) tanto para cargas instantáneas como para efectos diferidos.

$$f_{\max}^{t=0} \leq L/300 \quad ; \quad f_{\max}^{t=\infty} \leq L/300$$

ec. 4.21

El menor valor de carga Q_1 de los seis obtenidos al aplicar cada una de las condiciones, será la carga variable de agotamiento. Del estudio analítico, se deduce a partir de una sollicitación de momento flector exterior actuando sobre la sección mixta completa, dos pares de valores (N_c, M_c) (N_w, M_w) sollicitaciones que actúan sólo en la sección de hormigón no fisurado o en la escuadría de madera; utilizando las expresiones allí expuestas, y tomando como dato valores máximos de tensión o flecha prefijados, vamos a obtener el valor de la carga Q_1 .

Los valores más altos de tensión y deformación, como hemos visto en el estudio teórico, se producen en la sección central, si dejamos fijos los valores máximos admisibles de tensión y flecha máxima, teniendo como única incógnita la carga variable Q_1 , obtendremos:

1. Valor de la carga variable que agota la fibra superior de hormigón para $t = 0$:

La tensión normal en la fibra superior de hormigón será una compresión de valor

$$\sigma = \frac{N_c}{A_c} + \frac{M_c}{I_c} \cdot y_c \leq \sigma_{c,adm}$$

ec. 4.22

si en las ecuaciones que definen el esfuerzo axial ec. 3.32 y momento flector sobre la sección de hormigón ec. 3.34, sustituimos el valor de la carga total q por la suma de dos valores Q_{1ci} y Q_{cte} , tenemos

$$N(L/2) = N_c(L/2) = \frac{\beta \cdot K \cdot r}{s \cdot \chi^2} \cdot \left[\frac{2}{\chi^2} \cdot \frac{\text{Sh}(\chi \cdot L/2)}{\text{Sh}(\chi \cdot L)} + \frac{L^2}{8} - \frac{1}{\chi^2} \right] \cdot (Q_{1ci} + Q_{cte})$$

ec. 4.23

$$M_c(L/2) = \left[\frac{(Q_{1ci} + Q_{cte}) \cdot L^2}{8} - N(L/2) \cdot r \right] \cdot \beta \cdot E_c \cdot I_c$$

ec. 4.24

siendo

Q_{1ci} carga variable que cumple $\sigma = \sigma_{c,adm}$

- Q_{cte} carga constante ($q_0 + q_2$)
 A_c sección de hormigón no fisurado.
 I_c momento de inercia de la sección de hormigón no fisurado, respecto a un eje paralelo al de flexión, que pasa por su centro de gravedad.

Si sustituimos N_c , M_c en la ec. 4.22 y despejamos Q_{1ci} , obtenemos el valor de la carga variable para el cual se alcanza la tensión admisible (o bien tensión normal máxima que hayamos fijado), en la fibra superior de hormigón.

$$Q_{1ci} = \frac{\sigma_{c,adm}}{\left[\frac{\psi}{A_c} + \left(\frac{L^2}{8} - \psi \cdot r \right) \cdot \beta \cdot E_c \cdot y_c \right]} - Q_{cte}$$

ec. 4.25

siendo
$$\psi = \frac{\beta \cdot K \cdot r}{s \cdot \chi^2} \cdot \left[\frac{2}{\chi^2} \cdot \frac{\text{Sh}(\chi \cdot L/2)}{\text{Sh}(\chi \cdot L)} + \frac{L^2}{8} - \frac{1}{\chi^2} \right]$$

ec. 4.26

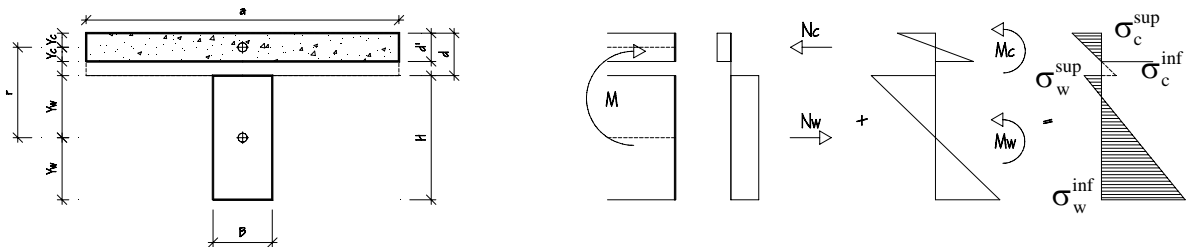


Fig. 4.14 Sección transversal, diagramas tensionales individuales y conjunto.

2. Valor de la carga variable que agota la fibra inferior de la madera para $t = 0$:

Operando de forma análoga al caso anterior, la tensión normal en la fibra inferior de la madera será una tracción de valor

$$\sigma = \frac{N_w}{b \cdot h} + \frac{6 \cdot M_w}{b \cdot h^2} \leq \sigma_{w,adm}$$

ec. 4.27

con ayuda de la ec. 3.32, la ec. 3.33 y descomponiendo la carga total q en la suma de dos valores Q_{1wi} y Q_{cte} , las ecuaciones ec. 4.23 y ec. 4.24 quedan

$$N(L/2) = N_w(L/2) = \frac{\beta \cdot K \cdot r}{s \cdot \chi^2} \cdot \left[\frac{2}{\chi^2} \cdot \frac{\text{Sh}(\chi \cdot L/2)}{\text{Sh}(\chi \cdot L)} + \frac{L^2}{8} - \frac{1}{\chi^2} \right] \cdot (Q_{1wi} + Q_{cte})$$

ec. 4.28

$$M_w(L/2) = \left[\frac{(Q_{1wi} + Q_{cte}) \cdot L^2}{8} - N(L/2) \cdot r \right] \cdot \beta \cdot E_w \cdot I_w$$

ec. 4.29

en las expresiones precedentes,

Q_{1wi} es la carga variable que cumple $\sigma = \sigma_{w,adm}$, y

Q_{cte} carga constante ($q_0 + q_2$)

si sustituimos N_w , M_w en la expresión ec. 4.27 y despejamos Q_{1wi} , obtenemos el valor de la carga variable para el cual se alcanza la tensión admisible, (o tensión normal máxima fijada) en la fibra inferior de la viga de madera.

$$Q_{1wi} = \frac{\sigma_{w,adm} \cdot b \cdot h^2}{\left[h \cdot \psi + \left(\frac{L^2}{8} - \psi \cdot r \right) \cdot 6 \cdot \beta \cdot E_w \cdot I_w \right] - Q_{cte}}$$

ec. 4.30

3. Valor de la carga variable que agota la viga por flecha para $t = 0$:

Parte del valor de flecha para $t = 0$ será debido a la carga variable y parte a la carga permanente, considerando la limitación de flecha expuesta anteriormente

$$f_{max}^{t=0} = f_i \cdot (Q_{1fi} + Q_{cte}) \leq L/300$$

ec. 4.31

si despejamos Q_{1fi} de la ec. 4.31, obtenemos

$$Q_{1fi} = \frac{L}{300 \cdot f_i} - Q_{cte}$$

ec. 4.32

siendo Q_{1fi} , la carga variable que cumple $f_{max}^{t=0} = L/300$

$$\text{siendo } f_i = \left[\frac{5}{384} \cdot L^4 \cdot \beta \cdot \left(1 - \beta \cdot \frac{K}{s} \cdot r^2 \cdot \frac{1}{\chi^2} \right) \right] + \beta^2 \cdot \frac{K \cdot r^2}{s \cdot \chi^4} \cdot \left[\frac{2}{\chi^2} \cdot \frac{\text{Sh}(\chi \cdot L/2)}{\text{Sh}(\chi \cdot L)} + \frac{L^2}{8} - \frac{1}{\chi^2} \right]$$

ec. 4.33

esta expresión se corresponde con la obtenida en el estudio teórico ec. 3.52.

Para calcular valores finales, como se ha expuesto anteriormente, se considera que la vigueta de madera ya ha estado sometida a carga permanente durante largo periodo de tiempo, por lo que no se consideran fenómenos de fluencia; sobre el hormigón, se tiene en cuenta la fluencia a través de la variación de su módulo de deformación, tomando $E_{c,\infty} = E_{c,ini} / (1 + \varphi)$ siendo φ el coeficiente de fluencia, se ha adoptado el valor de 2'5.

4. Valor de la carga variable que agota la fibra inferior de madera para

$t = \infty$:

Si llamamos $\sigma_{w,max2}$ a la máxima tensión en la madera producida por carga permanente para $t = \infty$, para su obtención, hay que calcular α' , β' , χ' , $N_{w,\infty}$, $M_{w,\infty}$. y vendrá dada por la expresión

$$\sigma_{w,max2} = \frac{N_{w,\infty}}{b.h} + \frac{6.M_{w,\infty}}{b.h^2}$$

ec. 4.34

si nos basamos en la ec. 3.59 y ec. 3.60 ,siendo $q = Q_{cte}$.

$$N_{\infty}(L/2) = N_{w,\infty}(L/2) = \frac{\beta'.K.r}{s.\chi'^2} \left[\frac{2}{\chi'^2} \cdot \frac{Sh(\chi'.L/2)}{Sh(\chi'.L)} + \frac{L^2}{8} - \frac{1}{\chi'^2} \right] \cdot Q_{cte}$$

ec. 4.35

$$M_{w,\infty}(L/2) = \left[\frac{Q_{cte}.L^2}{8} - N_{w,\infty}.r \right] \cdot \beta'.E_w.I_w$$

ec. 4.36

el resto de tensión en la fibra inferior de la madera, corresponderá a carga variable hasta cumplir $\sigma_{w,var} + \sigma_{w,max2} = \sigma_{w,adm}$, volviendo a calcular los valores α , β y χ para $t = 0$,

$$\sigma_{w,adm} = \frac{\psi.Q_{1wf}}{b.h} + \frac{\left(\frac{L^2}{8} - \psi.r \right) \cdot 6.\beta'.E_w.I_w.Q_{1wf}}{b.h^2} - \sigma_{w,max2}$$

ec. 4.37

despejando Q_{1wf}

$$Q_{1wf} = \frac{(\sigma_{w,adm} - \sigma_{w,max2}) \cdot b \cdot h^2}{\left[h \cdot \psi + \left(\frac{L^2}{8} - \psi \cdot r \right) \cdot 6 \cdot \beta \cdot E_w \cdot I_w \right]}$$

ec. 4.38

5. Valor de la carga variable que agota la fibra superior de hormigón para $t = \infty$:

Con el mismo razonamiento que en el caso anterior, basándonos en la ec. 3.59 y la ec. 3.61, obtenemos:

$$Q_{1cf} = \frac{(\sigma_{c,adm} - \sigma_{c,max2})}{\left[\frac{\psi}{A_c} + \left(\frac{L^2}{8} - \psi \cdot r \right) \cdot 6 \cdot \beta \cdot E_c \cdot y_c \right]}$$

ec. 4.39

6. Valor de la carga variable que agota la viga por flecha para $t = \infty$:

Si llamamos F_{max2} a la flecha producida por carga permanente para $t = \infty$, para obtenerla, hay que calcular α' , β' , χ'

$$F_{max2} = \left[\frac{5}{384} \cdot Q_{cte} \cdot L^4 \cdot \beta' \cdot \left(1 - \beta' \cdot \frac{K}{s} \cdot r^2 \cdot \frac{1}{\chi'^2} \right) \right] + Q_{cte} \cdot \beta'^2 \cdot \frac{K \cdot r^2}{s \cdot \chi'^4} \cdot \left[\frac{2}{\chi'^2} \cdot \frac{Sh(\chi' \cdot L/2)}{Sh(\chi' \cdot L)} + \frac{L^2}{8} - \frac{1}{\chi'^2} \right]$$

ec. 4.40

expresión que se corresponde con la ec. 3.63, siendo $q = Q_{cte}$; el valor total de la flecha hasta alcanzar su valor máximo, vendrá dado parte por carga variable y parte por carga permanente

$$f_{max}^{t=\infty} = fi \cdot Q_{1Ff} + F_{max2} = \frac{L}{300}$$

ec. 4.41

siendo el valor de "fi" el obtenido en la ec. 4.33 , si despejamos Q_{1Ff} :

$$Q_{1Ff} = \frac{\left[\frac{L}{300} - F_{\max 2} \right]}{f_i}$$

ec. 4.42

hemos obtenido seis valores de carga variable Q_{1ci} ec. 4.25, Q_{1wi} ec. 4.30, Q_{1Fi} ec. 4.32, Q_{1wf} ec. 4.38, Q_{1cf} ec. 4.39, Q_{1Ff} ec. 4.42 que cumplen las condiciones de agotamiento fijadas; el menor valor de los obtenidos, es la carga variable máxima que cumple simultáneamente las seis condiciones.

4.3 COMPARACIÓN DE RESULTADOS

Con el fin de verificar la bondad del estudio analítico propuesto, así como el programa de cálculo basado en dicho estudio, se ha procedido a comparar resultados teóricos obtenidos por algunos de los autores que han estudiado las estructuras mixtas hormigón madera, llegando a la conclusión de que las desviaciones en cuanto a obtención de resultados son mínimas en la mayoría de los casos.

4.3.1 S. Capretti, A. Ceccotti

El ejemplo de cálculo (ref. 24) se desarrolla según el método simplificado visto en el apartado 2.3.4 que se ha adoptado en el Eurocódigo 5 para estructuras madera – madera utilizando conexiones mecánicas; el estudio se ha realizado sobre la sección de la Fig. 4.15, correspondiente a un forjado biapoyado y sometido a carga uniformemente repartida, teniendo como datos los valores siguientes:

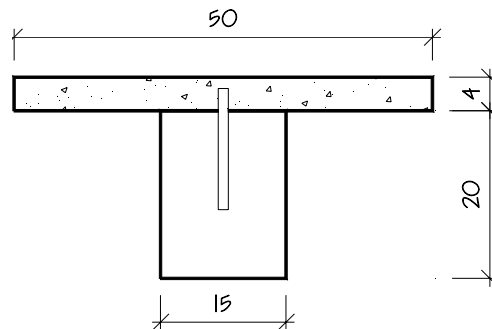


Fig. 4.15 Sección transversal del forjado calculado, S. Capretti, A. Ceccotti.

Luz	= 4m.		
Q_{total}	= 4850 N/m.	$\cong 485 \text{ Kp./m.}$	
E_c	= 30.000 Mpa.	$\cong 300.000 \text{ Kp/cm}^2$	$F_{ck} = 250 \text{ Kp/cm}^2$
E_w	= 10.000 Mpa.	$\cong 100.000 \text{ Kp/cm}^2$	$\sigma_w = 100 \text{ Kp/cm}^2$
k	= 8000 N./mm.		
s	= 120 mm.		

$$k/s = 8000 / 120 = 66,66 \text{ N./mm}^2 \cong 666.66 \text{ Kp./cm}^2$$

la carga total se reparte de la siguiente manera:

$$Q_0 = 250 \text{ Kp/m}^2.$$

$$Q_1 = 400 \text{ Kp/m}^2.$$

$$Q_2 = 320 \text{ Kp/m}^2.$$

$$Q_{\text{total}} = 970 \text{ Kp/m}^2.$$

$$Q_t = 970 * 0.50 = 485 \text{ Kp/m}.$$

La comparación entre los resultados obtenidos por estos autores y el programa que proponemos, se recogen en la tabla siguiente:

	Capretti, Ceccotti	Programa	Dif. %	Comentario
$\sigma_{c,\text{max,ini}}$	-4.74 Mpa. \cong -47.4 Kp/cm ²	-46.79 Kp/cm ²	1.30 %	Hay hormigón traccionado $y_c=3.43$ cm.
$\sigma_{w,\text{max,ini}}$	5.95 Mpa. \cong 59.5 Kp/cm ²	58.85 Kp/cm ²	1.10 %	
$\sigma_{c,\text{max,fin}}$	- 3.87 Mpa. \cong -38.7 Kp/cm ²	-35.14 Kp/cm ²	10.1 %	(*)
$\sigma_{w,\text{max,fin}}$	6.12 Mpa. \cong 61.2 Kp/cm ²	62.32 Kp/cm ²	1.79 %	

(*) No hay hormigón traccionado a tiempo infinito, pero se consideran los efectos de fluencia tanto en el hormigón como en la madera, reduciendo los módulos de deformación de ambos materiales y tomando los siguientes valores para tiempo ∞ en función del módulo de deformación instantáneo, $E_{c,\infty} = 0,4.E_{c,\text{ins}}$ y $E_{w,\infty} = 0,6.E_{w,\text{ins}}$; mientras que en el programa de cálculo, se está considerando que la madera no sufre efectos de fluencia al haber estado sometida a carga permanente con anterioridad, siendo el hormigón el que sufre dichos efectos al ser material de nueva colocación, tomando como módulo de deformación a tiempo $= \infty$, $E_{c,\infty} = E_{c,\text{ins}} / (1 + \varphi)$ siendo el coeficiente de fluencia $\varphi = 2'5$.

En la columna Dif. % queda representada la diferencia de resultados obtenidos en %, observando que solo hay dispersión notable en el cálculo de la tensión final en el hormigón, principalmente porque los criterios que se han tenido en cuenta para evaluar la fluencia han sido diferentes.

4.3.2 G. Turrini – M. Piazza

De estos autores, se tienen dos ejemplos de aplicación del método simplificado visto en el apartado 2.3.2 , recogidos de la ref. 33, en el primero de los casos, la sección transversal del forjado queda representada en la Fig. 4.16.

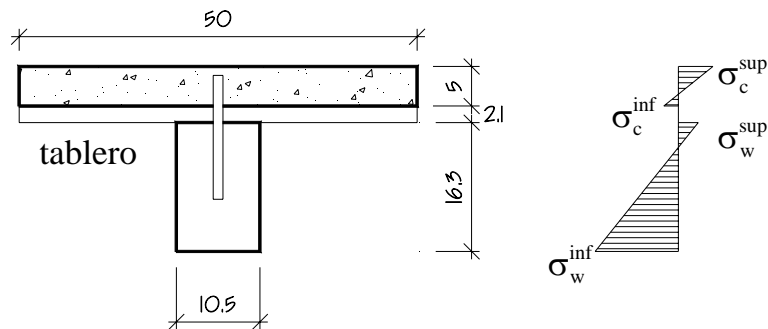


Fig. 4.16 Sección transversal del forjado, G. Turrini – M. Piazza

Luz	=	5m.	
$Q_{cte.}$	=	450 Kp./m ²	= $Q_0 + Q_2$
$Q_{var.}$	=	200 Kp./m ²	= Q_1
E_c	=	30.000 N/mm ²	≅ 300.000 Kp/cm ²
E_w	=	11.000 N/mm ²	≅ 110.000 Kp/cm ²
k/s	=	105.6 N/mm ²	= 1056 Kp/cm ²

En este ejemplo, sólo se calculan tensiones y flecha para estado inicial $t = 0$.

	G. Turrini – M. Piazza	Programa	Dif. %	Comentario
σ_c^{sup}	-5.8 N/mm ² ≅ 58.0 Kp/cm ²	-57.16 Kp/cm ²	1.46 %	Hay hormigón traccionado $y_c=4.16$ cm.
σ_c^{inf}	1.1 N/mm ² ≅ 11.0 Kp/cm ²	--	--	
σ_w^{sup}	-0.7 N/mm ² . ≅ -7.0 Kp/cm ²	-6.40 Kp/cm ²	9.37 %	
σ_w^{inf}	7.6 N/mm ² ≅ 76.0 Kp/cm ²	75.88 Kp/cm ²	1.58%	
Flecha	1.26 cm.	1.23 cm.	2.43 %	

Veamos que mejora supone el refuerzo respecto a la vigueta sola; si comparamos tensión inicial y flecha, calculando el momento de inercia y módulo resistente respecto al eje de flexión

$$I = \frac{10'5 \cdot 16'3^3}{12} = 3789 \text{ cm}^4$$

$$W = \frac{10'5 \cdot 16'3^2}{6} = 465 \text{ cm}^3$$

el máximo momento flector como barra biapoyada que tiene que soportar la vigueta

$$M_{\max.} = \frac{q \cdot L^2}{8} = \frac{650 \cdot 0'5 \cdot 5^2}{8} = 1016 \text{ m.kg}$$

la tensión normal máxima y la flecha en la sección central resultan

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max.}}{W} = \frac{1016 \times 10^2}{465} = 218 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{\max, \text{inicial}} = \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot L^4}{E \cdot I} = \frac{5}{384} \cdot \frac{3'25 \cdot 500^4}{110000 \cdot 3789} = 6'34 \text{ cm.}$$

por tanto, el refuerzo en este caso mejora la flecha en $6'34 / 1'23 \cdot 100 = 515\%$ y la tensión normal máxima en la madera en $218 / 76 \cdot 100 = 286\%$.

Veamos otro ejemplo de los mismos autores.

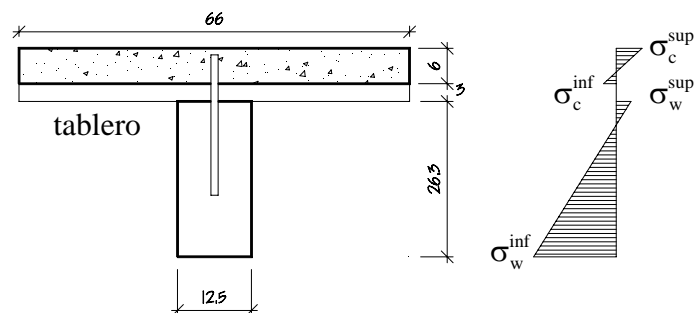


Fig. 4.17 Sección transversal del forjado 2º ejemplo, G. Turrini – M. Piazza

$$\text{Luz} = 6.8 \text{ m.}$$

$$Q_{\text{total.}} = 750 \text{ KN/m}^2 \cong 750 \text{ Kp./m}^2$$

$$E_c = 30.000 \text{ N/mm}^2 \cong 300.000 \text{ Kp/cm}^2$$

$$E_w = 11.000 \text{ N/mm}^2 \cong 110.000 \text{ Kp/cm}^2$$

$$k/s = 62.6 \text{ N/mm}^2 \cong 626 \text{ Kp/cm}^2$$

Solo se calculan tensiones y flecha para estado inicial $t = 0$.

	G. Turrini – M. Piazza	Programa	Dif. %	Comentario
σ_c^{sup}	$-5.8 \text{ N/mm}^2 \cong 58.0 \text{ Kp/cm}^2$	-58.21 Kp/cm^2	0.3 %	Hay hormigón traccionado $y_c = 5.4 \text{ cm}$.
σ_c^{inf}	$0.2 \text{ N/mm}^2 \cong 2.0 \text{ Kp/cm}^2$	--		
σ_w^{sup}	$-2.3 \text{ N/mm}^2 \cong -23.0 \text{ Kp/cm}^2$	-20.00 Kp/cm^2	15 %	
σ_w^{inf}	$8.4 \text{ N/mm}^2 \cong 84.0 \text{ Kp/cm}^2$	83.65 Kp/cm^2	0.41%	
Flecha	1.9 cm.	1.78 cm.	6.7 %	

Veamos que mejora supone el refuerzo respecto a la vigueta sola, calculando el momento de inercia y módulo resistente

$$I = \frac{12'5.26'3^3}{12} = 18949 \text{ cm}^4$$

$$W = \frac{12'5.26'3^2}{6} = 1441 \text{ cm}^3$$

si ahora se calcula el máximo momento flector como barra biapoyada, que tiene que soportar la vigueta para una carga $Q \text{ (kp/m)} = 750 * 0'66 = 495 \text{ kp/m}$.

$$M_{\text{max.}} = \frac{q.L^2}{8} = \frac{495.6'8^2}{8} = 2861 \text{ m.kg}$$

la tensión normal máxima y la flecha en la sección central

$$\sigma_{\text{max}} = \frac{2861 \times 10^2}{1441} = 198 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{\text{max, inicial}} = \frac{5}{384} \cdot \frac{q.L^4}{E.I} = \frac{5}{384} \cdot \frac{4'95.680^4}{110000.18949} = 6'61 \text{ cm.}$$

el refuerzo en este caso, mejora la flecha en $6'61 / 1'78 * 100 = 371 \%$ y la tensión normal máxima en la madera en $198 / 83 * 100 = 237 \%$, si comparamos estos resultados con los del caso anterior, no se alcanzan valores tan altos, ello es debido fundamentalmente a la rigidez del conector, que en el primer caso valía $k/s = 105.6 \text{ N/mm}^2 \cong 1056 \text{ Kp/cm}^2$, mientras que en el

segundo caso $k/s = 62.6 \text{ N/mm}^2 \cong 626 \text{ Kp/cm}^2$, lo que supone una merma del 40%, al haber proyectado una conexión más deformable y por tanto al permitir más deformación entre hormigón y madera, provoca que los resultados de este segundo caso, aun demostrando la bondad del refuerzo, no sean tan espectaculares como los del caso anterior.

4.3.3 P. Gelfi – P. Ronca

El ejemplo de la Fig. 4.18, ha sido recogido de la ref.31, correspondiendo a conectadores tubulares que atraviesan un tablero de madera que sirve de encofrado perdido sin ninguna función resistente.

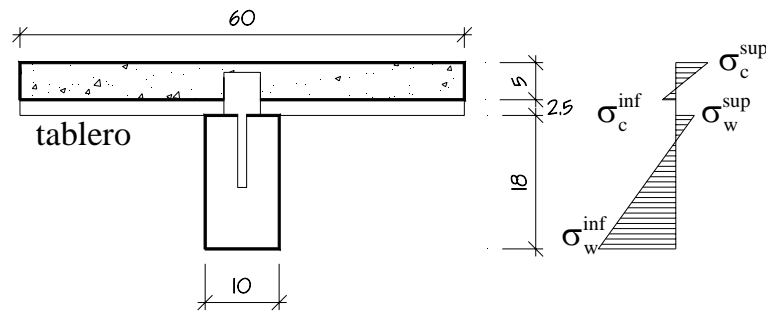


Fig. 4.18 Sección transversal del forjado, P. Gelfi – P. Ronca

Luz	= 5.2 m.		
Q_{total}	= 500 Kp./m ²		
E_c	= 24.000 Mpa.	\cong	240.000 Kp/cm ²
E_w	= 6.000 Mpa.	\cong	60.000 Kp/cm ²
k	= 12500 N./mm.	\cong	12500 Kp/cm.
s	= 25 cm.		
k/s	= 500 Kp/cm ²		

	P.Gelfi – P. Ronca	Programa	Dif. %	Comentario
σ_c^{sup}	-5.77 Mpa. \cong 57.7 Kp/cm ²	-54.47 Kp/cm ²	5.92 %	Hay hormigón traccionado $y_c = 3.29 \text{ cm.}$
σ_c^{inf}	2.38 Mpa. \cong 23.8 Kp/cm ²	--	--	
σ_w^{sup}	-0.9 Mpa. \cong -9.0 Kp/cm ²	-20.00 Kp/cm ²	55%	
σ_w^{inf}	6.54 Mpa. \cong 65.4 Kp/cm ²	64.19 Kp/cm ²	1.18 %	

En la tabla anterior, P.Gelfi – P. Ronca, modelizan la sección mixta como viga Vierendel, existiendo diferencias notables en los resultados, comparados con el programa propuesto. Los autores comparan también resultados para el caso de conexión rígida Tabla1, apreciando que para este caso, los resultados son idénticos.

	P. Gelfi – P. Ronca	Programa	Dif. %	Comentario
$\sigma_{c,max}$	-4.61 Mpa. \cong -46.1 Kp/cm ²	-45.71 Kp/cm ²	0.85 %	Todo el hormigón está comprimido.
$\sigma_{w,max}$	5.61 Mpa. \cong 56.1 Kp/cm ²	56.60 Kp/cm ²	0.88 %	
Flecha	1.25 cm.	1.25 cm.	0.00 %	

Tabla 1 Comparación de resultados para el caso de conexión rígida.

4.3.4 Sistema Llear

De este sistema, no se dispone de información sobre su desarrollo numérico o bien algún método simplificado, no obstante, en la ref. 33 aparece un ejemplo de aplicación práctica, cuyos resultados se transcriben a fin de compararlos con el programa de cálculo propuesto.

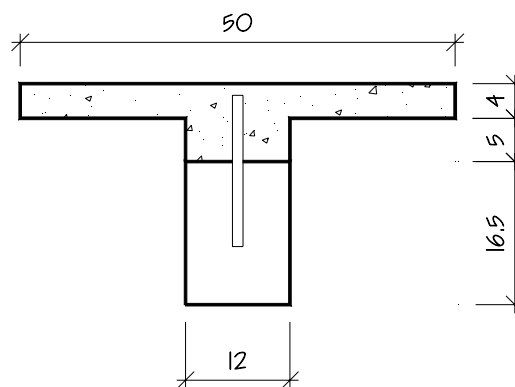


Fig. 4.19 Sección transversal del forjado, Sistema Llear

$$\text{Luz} = 5.5 \text{ m.}$$

$$Q_{\text{total}} = 573 \text{ Kp/m}^2$$

$$E_c = 250.000 \text{ Kp/cm}^2$$

$$E_w = 90.000 \text{ Kp/cm}^2$$

$$k/s = 13500 \text{ Kp./cm}^2$$

la carga total se reparte de la siguiente manera

$$Q_0 = 200 \text{ Kp/m}^2.$$

$$Q_1 = 200 \text{ Kp/m}^2.$$

$$Q_2 = 173 \text{ Kp/m}^2.$$

$$Q_{\text{total}} = 573 \text{ Kp/m}^2.$$

	Sistema Llear	Programa	Dif. %	Comentario
$\sigma_{c,\text{max}}$	-46.06 Kp/cm ²	-45.71 Kp/cm ²	0.76 %	
$\sigma_{w,\text{max}}$	53.92 Kp/cm ²	54.39 Kp/cm ²	0.86 %	
Flecha	0.965 cm.	0.99 cm.	2.52 %	

4.3.5 Elementos finitos sólidos con el programa SAP 90

A fin de tener otro elemento de juicio sobre la validez del método propuesto, a continuación se analiza una sección como la de la figura aplicando el programa de cálculo SAP 90 (ref. 30), idealizando la estructura mixta mediante elementos finitos sólidos, tanto para cada uno de los materiales como para los conectadores.

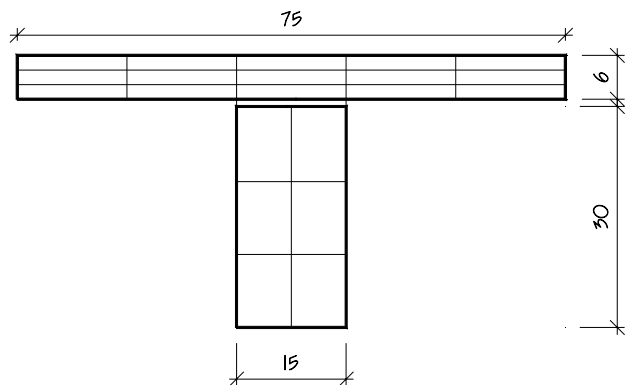


Fig. 4.20 Sección modelizada para entrada de datos en el programa de cálculo SAP 90

La sección de hormigón se ha dividido en 15 partes, tres en vertical y cinco en horizontal, mientras que la sección de madera se ha dividido en seis partes, tres en vertical y dos en horizontal, respecto a la rigidez del conector, se ha idealizado mediante otro elemento finito sólido y continuo, con un ancho de 15 cm. y un espesor de 1 cm.

En sentido longitudinal la viga, de 6m. de luz, se ha dividido en treinta partes, por lo que todos los elementos descritos anteriormente a nivel de sección, tienen una longitud de 20 cm.; respecto al estado de carga, que es uniforme, se ha idealizado a base de pequeñas cargas puntuales aplicadas en los nodos que definen la cara superior de la sección de hormigón.

En cuanto a calidades de los materiales, se ha elegido una madera cuyo módulo de deformación vale $E_w = 110.410 \text{ Kp/cm}^2$ y un hormigón H-250, siendo $E_c = 300.416 \text{ Kp/cm}^2$.

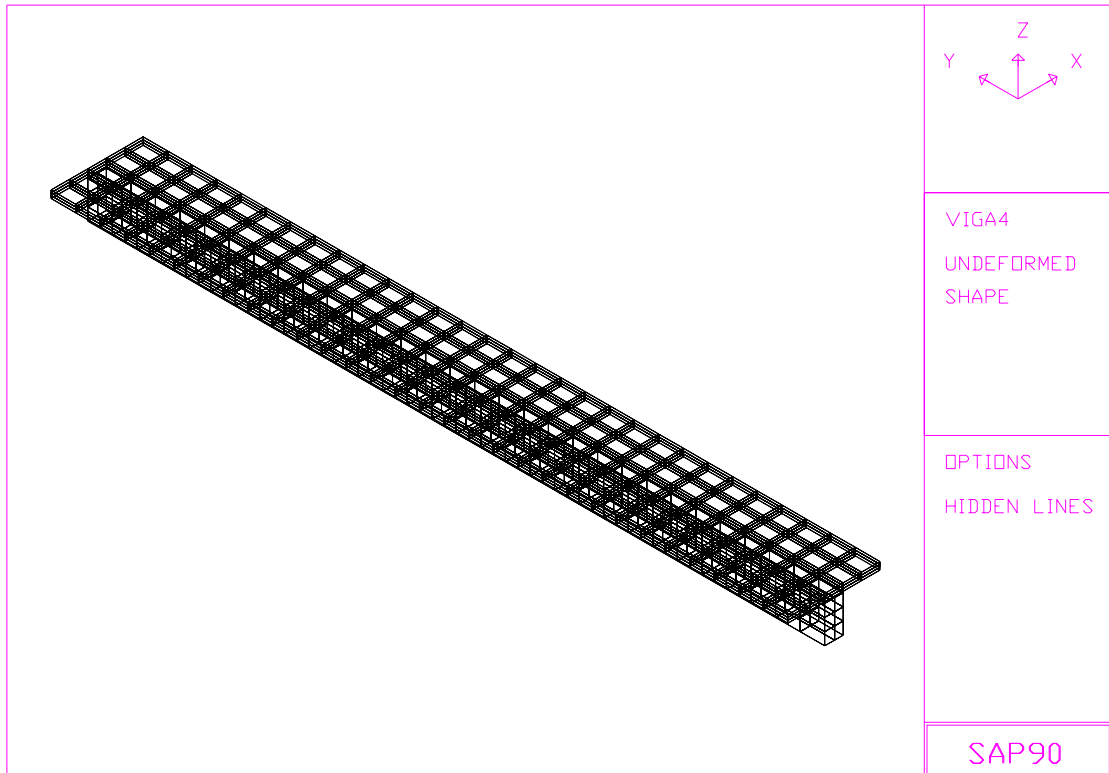


Fig. 4.21 Vista general de la modelización

Para modelizar la rigidez del conector, que en este caso es un elemento prismático de 20 x 15 x 1 cm., se ha utilizado la expresión que relaciona la fuerza F con la deformación transversal que produce, ver Fig. 4.22, siendo G el módulo de deformación transversal y A la sección transversal del elemento sólido que está representando al conector (15 x 20 cm.)

Por otra parte, la rigidez k representa la fuerza que hay que ejercer sobre el conector para producir un desplazamiento unidad, en este caso un centímetro, por tanto, si se ejerce una fuerza F sobre el elemento prismático tal

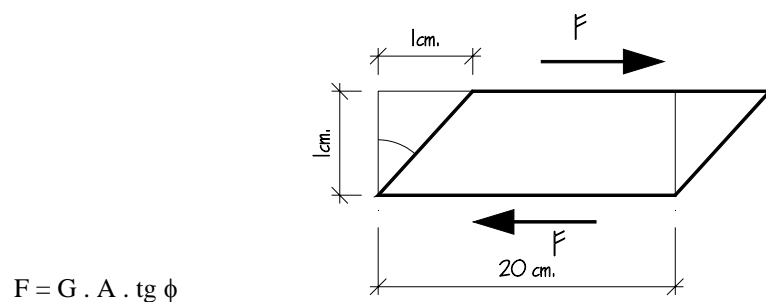


Fig. 4.22 Modelización del conector

que provoque una deformación transversal de 1cm. , ese valor de F coincidirá con el valor k que se ha definido.

Cuando se ha expuesto el estudio teórico, con el fin de evitar discontinuidades a efectos de cálculo, se ha considerado una deformación idealizada constante en el entorno de cada conector, por lo que la conexión se comporta como un medio deformable de rigidez k/s distribuido a lo largo del intereje s entre conectadores, en este caso $s = 20$ cm. y $\phi = 45^\circ$, por lo que las constantes elásticas a considerar para modelizar la rigidez, se obtienen de la siguiente manera:

$$F = G \cdot A \cdot \operatorname{tg} \phi \quad ; \quad k = F / l = G \cdot s \cdot 15 \cdot \operatorname{tg} \phi$$

$$k / s = G \cdot 15 \cdot \operatorname{tg} \phi \quad ; \quad G = \frac{k}{s} \cdot \frac{1}{15 \cdot \operatorname{tg} \phi}$$

fijando el módulo de deformación longitudinal E a partir de la expresión $E = 2 \cdot G \cdot (1 + \mu)$ y tomando $\mu = 0'2$, el resto de datos para definir el problema:

$$\begin{aligned} \text{Luz} &= 6\text{m.} \\ Q_{\text{cte.}} &= 400 \text{ Kp/m}^2 && = Q_0 + Q_2 \\ Q_{\text{var.}} &= 800 \text{ Kp/m}^2 && = Q_1 \\ k / s &= \text{variable.} \\ Q_{\text{tot.}} &= 1200 \text{ Kp/m}^2 \times 0.75 \text{ m.} && = 900 \text{ Kp/m.} \end{aligned}$$

Vamos a establecer sólo una hipótesis de carga a tiempo 0 con $Q_{\text{tot.}} = 900 \text{ Kp/m.}$, en la que queda incluido el peso propio, por lo que obtendremos resultados en estado inicial sin fluencia, comparando los valores de flecha inicial con relación a la rigidez de los conectadores.

A partir de estos valores, se ha elaborado un listado de entrada de datos en formato ASCII, (ver Anejo 2. Fichero ASCII listado SAP 90) resultando que la viga mixta objeto del análisis se ha modelizado mediante 1116 nodos con 6 grados de libertad cada uno, representando a 660 prismas sólidos y sustentada sobre seis apoyos, de los cuales tres son fijos y tres deslizantes.

Los materiales quedan definidos al inicio de la sección "solid" mediante las constantes E y G, correspondiendo el nº1 a hormigón, nº2 acero (no se utiliza), nº3 madera y nº4 al conector, todos los valores del listado tienen las unidades en Toneladas y metros.

```

SOLID
NM=4 X=0 Y=0 Z=0
1  NUMT=1 W=2.5 M=.255102
E=3004160 U=.2 A=.00001 G=1251733
2  NUMT=1 W=7.85 M=.8010204
E=2.1E+07 U=.3 A=.000012 G=8076923
3  NUMT=1 W=.6 M=6.122449E-02
E=1104100 U=.3 A=.000001 G=424653.8
4  NUMT=1 W=1 M=.1020408
E=32000 U=.2 A=.000001 G=13300

```

Fig. 4.23 Parte del listado ASCII, donde se definen las características elásticas, para idealizar la conexión deformable en cada caso, se ha ido variando la línea resaltada en negrita.

Variando en todo el listado únicamente la línea correspondiente al material nº4 ver Fig. 4.23, rigidez del conector, resaltada en negrilla y ejecutando el programa SAP 90, se van obteniendo los ficheros de resultados, en los que se han comparado los valores de flecha inicial obtenidos con SAP 90 y con el programa de cálculo que se propone, variando la rigidez k/s del conector, los valores para los que se ha analizado la viga mixta, son los que aparecen en la siguiente tabla, correspondiendo a efectos de modelización, las siguientes constantes elásticas:

k / s = (∞)	200.000 kg/cm ²	G = 133.333 T/m ²	E= 320.000 T/m ²
k / s =	20.000 kg/cm ²	G = 13.333 T/m ²	E= 32.000 T/m ²
k / s =	2.000 kg/cm ²	G = 1.333 T/m ²	E= 3.200 T/m ²
k / s =	1.000 kg/cm ²	G = 665 T/m ²	E= 1.600 T/m ²
k / s =	750 kg/cm ²	G = 500 T/m ²	E= 1.200 T/m ²
k / s =	500 kg/cm ²	G = 333 T/m ²	E= 800 T/m ²
k / s =	100 kg/cm ²	G = 66'5 T/m ²	E= 160 T/m ²

Se han obtenido los siguientes resultados, de flecha inicial en cm.:

k/s	SAP 90 Flecha (cm.)	PROGRAMA Flecha (cm.)	Dif. %	Altura hormig. Comprimido.
∞	0'881	0'883	0'22%	6'00
20.000 kg/cm ²	0'908	0'912	0'44%	6'00
2.000 kg/cm ²	1'117	1'174	5'10%	6'00
1.000 kg/cm ²	1'297	1'413	8'94%	5'68
750 kg/cm ²	1'394	1'550	11'19%	5'26
500 kg/cm ²	1'551	1'781	14'82%	4'65
100 kg/cm ²	2'204	2'950	33'84%	2'47

Los resultados obtenidos se pueden considerar como muy satisfactorios; analizando la tabla anterior vemos que hasta una rigidez $k/s = 2.000 \text{ Kp/cm}^2$, los valores de flecha se mantienen dentro de un margen de error muy aceptable; cuando vamos disminuyendo la rigidez de la conexión, parte de la sección de hormigón queda traccionada, (ver última columna) apareciendo de forma lógica, divergencias entre la flecha calculada por SAP 90 y la obtenida mediante el programa de cálculo que se propone, ya que SAP 90 siempre

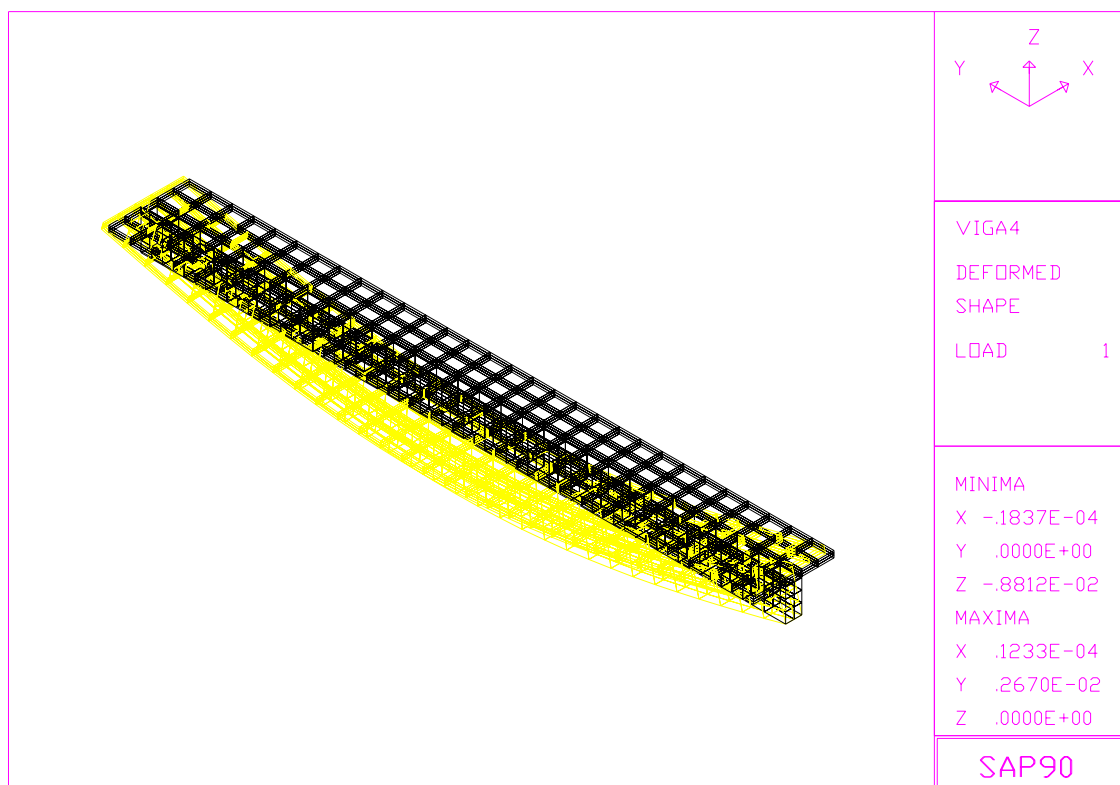


Fig. 4.24 Deformada ampliada de la viga, para el caso de conexión rígida, programa SAP 90

cuenta a efectos resistentes con la sección inicial, mientras que el programa propuesto, al efectuar el cálculo en régimen de fisuración, va variando la sección inicial contando a efectos resistentes solo con el hormigón comprimido.

En la Fig. 4.24 vemos la deformada de la viga ampliada obtenida mediante el módulo SAPLOT, correspondiendo a rigidez del conector ∞ , la flecha máxima puede leerse en el valor mínimo de la coordenada Z, observándose que el desplazamiento es negativo respecto al sistema de referencia. (-.8812E-02 metros).

La comparación de resultados expuesta, demuestra que la dispersión en los valores de tensión y flecha obtenidos, en general es mínima, aún siguiendo métodos de cálculo muy diferentes en cuanto a concepción, debido a que los valores comparados de tensión máxima corresponden a fibras extremas, por lo que las diferencias, siguiendo un análisis en régimen de fisuración, suelen ser mínimas siempre que no haya mucho hormigón traccionado.

4.4. ENSAYOS REALIZADOS

En el apartado anterior se ha comprobado la bondad del estudio propuesto comparándolo con otros resultados obtenidos a partir de planteamientos teóricos; en este apartado, se exponen las experiencias obtenidas de dos obras de rehabilitación, en las que se ha tenido la oportunidad de aplicar los criterios expuestos mediante las oportunas pruebas de carga y la posterior comparación de resultados.

En la descripción que se hace a continuación hay que partir de una premisa: el objeto de los ensayos era el control de la obra en ejecución y no una prueba diseñada específicamente para el trabajo que ahora estamos planteando. Aunque esto supone algunas limitaciones importantes al tratar de contrastar los resultados teóricos con los experimentales, consideramos importante tenerlos en cuenta porque corresponden al comportamiento real del sistema que estamos analizando.

4.4.1 Edificio de las Escuelas Pías de Gandia

Edificio de dos plantas situado en la zona centro de Gandia que data del siglo XV , en siglos pasados fué Universidad, rehabilitándose en la actualidad también para usos docentes.

Los forjados a reforzar responden a la tipología de vigueta de madera

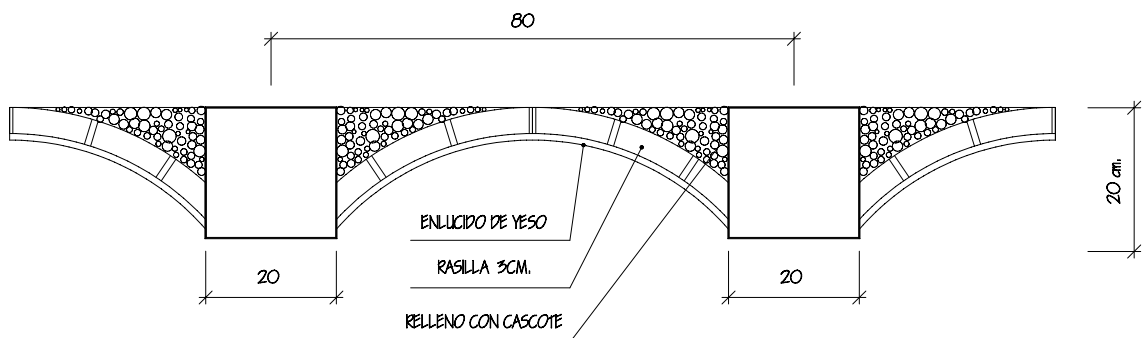


Fig. 4.25 Sección transversal del forjado original.

biapoyada con una rosca de ladrillo formando el revoltón que cubre el espacio de entrevigado, tal como se muestra en la Fig. 4.25, siendo requisito fundamental que el forjado rehabilitado siga manteniendo su aspecto original. Debido a que parte de las viguetas se encontraban bastante deterioradas, se han desmontado en su totalidad desechando en ese momento las más dañadas; para la formación del nuevo forjado, se han tenido que reponer viguetas siguiendo el criterio de colocar la madera original en los lugares más representativos, como son el hall de entrada y zonas de paso del nuevo edificio.

A continuación, vamos a proceder a una descripción de los materiales por separado, y posteriormente en su conjunto, que han entrado a formar parte de las pruebas de carga que se describen en este apartado.

Madera

La calidad de la madera original, visualmente presenta buen aspecto, es decir, prácticamente carece de nudos y los pocos que tiene están bien adheridos, así mismo, la disposición de la fibra coincide con la dirección longitudinal de la vigueta. Para la reposición de nuevas viguetas se ha elegido una madera similar, de la cual no se ha tenido acceso a ensayos.

Los ensayos efectuados sobre la madera existente han consistido en la determinación de la resistencia a compresión axial y flexión estática según UNE 56.535 / 77 y UNE 56.537 / 79 respectivamente, cuyos resultados se resumen en la Tabla 4.2 y Tabla 4.3.

A partir de la tensión media obtenida en el ensayo de flexión estática $713'3 \text{ Kp/cm}^2$, y basándonos en las normas BS británicas, se ha adoptado como tensión de tracción paralela a la fibra el 60% del valor obtenido para la tensión de rotura por flexión estática, es decir,

$$\sigma_r = 0'6. \sigma_f = 0'6. 713'3 = 428\text{Kp/cm}^2 \cong 42'8\text{N/mm}^2$$

Ec. 4.43

Probeta nº	Resistencia a compresión Kp/cm ²	Resistencia media compresión axial de la madera al 14'2 % de humedad en Kp/cm ²
1	442'5	426'2
2	452'5	
3	404'0	
4	429'5	
5	393'0	
6	435'5	

Tabla 4.2 Resultados del ensayo a compresión axial.

Probeta nº	Resistencia a flexión estática Kp/cm ²	Resistencia media a flexión estática de la madera al 14'2 % de humedad en Kp/cm ²
1	729'0	713'3
2	684'0	
3	747'0	
4	715'5	
5	706'5	
6	697'5	

Tabla 4.3 Resultados del ensayo de flexión estática.

Longitud de la probeta entre apoyos $L = 24$ cm.

Anchura medida en dirección radial de la probeta $b = 2$ cm.

Altura medida en dirección tangencial de la probeta $h = 2$ cm.

si ahora utilizamos la expresión que relaciona la tensión de rotura en tracción con el módulo de deformación; despejando E_w (ref. 11) ,

$$E_w = \left[\frac{\sigma_r}{0'845} \right]^{5/2} = \left[\frac{42'8}{0'845} \right]^{5/2} = 18.258 \text{ N/mm}^2 \cong 182.580 \text{ Kp/cm}^2$$

ec. 4.44

y el valor de tensión admisible adoptando un coeficiente de seguridad global de 3'5 según los criterios expuestos,

$$\sigma_{w,adm} = \sigma_r / 3'5 = 122 \text{ Kp/cm}^2$$

ec. 4.45

Conectores

Se han utilizado conectores formados por barras de acero corrugado de acero AEH-400 de 10 mm. de diámetro ver Fig. 4.26, dispuestos a 45° , de tal forma que trabajen según el esquema visto en el apartado 2.2.1 (conectores a esfuerzo axial), sirviendo las expresiones allí expuestas para el cálculo de la rigidez k/s ; para su colocación, se ha dividido la viga en tres partes, situándolos cada 30 cm. en las zonas extremas y cada 42'5 cm. en la zona central, sobre taladros de 14 mm. de diámetro, según el esquema de la Fig. 4.26 , Fig. 4.27 y Fig. 4.28.

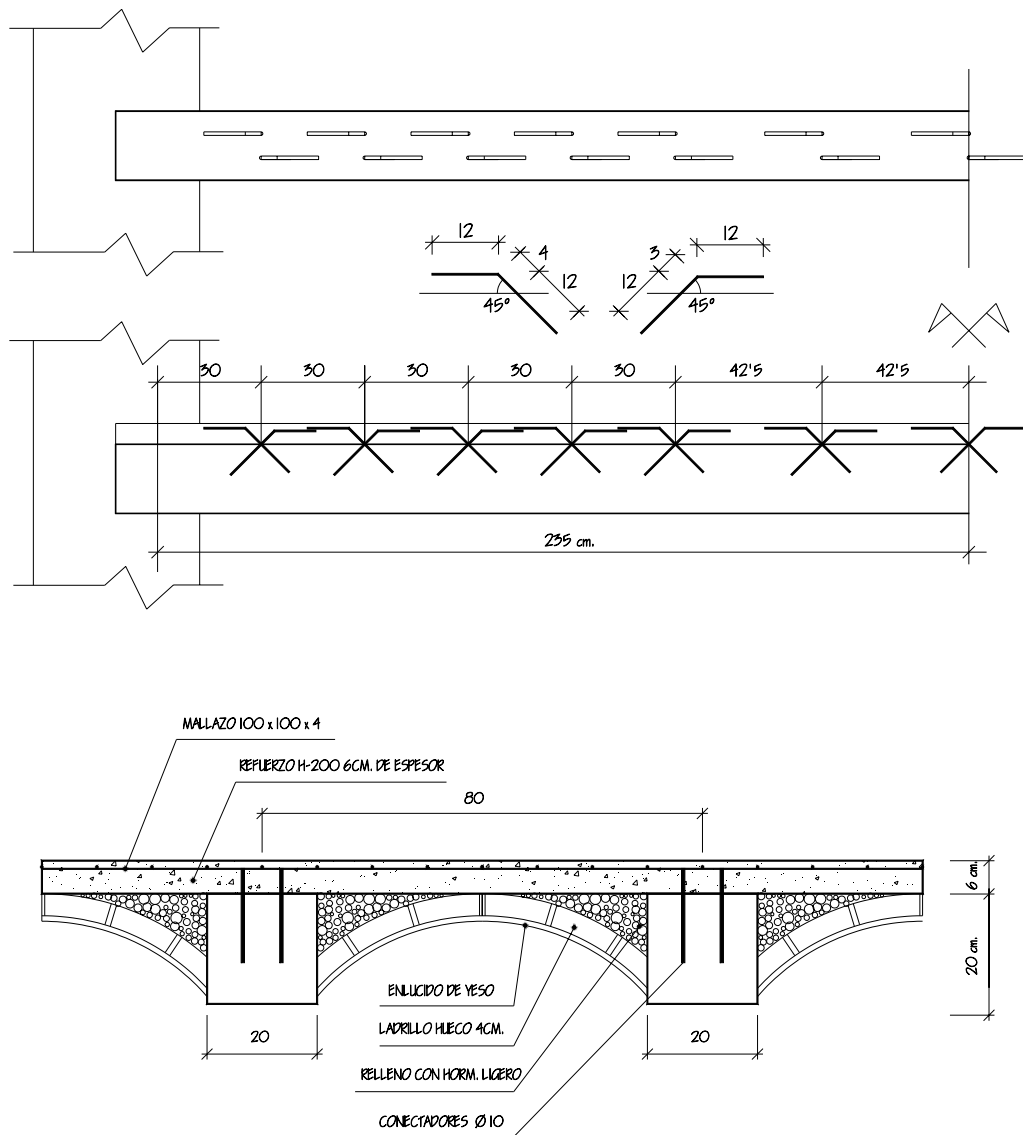


Fig. 4.26 Dimensión de los conectores , situación en la viga y sección transversal del refuerzo.



Fig. 4.28 Vista general de la solución proyectada.



Fig. 4.27 Detalle de los conectores.

El producto empleado para el anclaje de los conectores en la madera, ha sido Sikadur 42 anclajes; se trata de un mortero autonivelante a base de resinas epoxi de tres componentes, de fácil mezclado y buena fluidez, que se coloca por vertido, endureciendo rápidamente y sin retracción, siendo idóneo para la fijación de armaduras bien en el hormigón o sobre la mayoría de los materiales de construcción debido a su alta adherencia.

Para su preparación, hay que remover por separado los componentes marcados como A y B, utilizando para ello preferentemente una batidora eléctrica de baja velocidad (max. 600 r.p.m.), a continuación, se procede a la mezcla de ambos componentes al menos durante un minuto; para después, añadir el componente C y continuar el mezclado hasta lograr un mortero fluido totalmente homogéneo, que se coloca por vertido ya que es un material autonivelante, teniendo la precaución de que las superficies de soporte estén limpias, exentas de grasas, aceites y partículas mal adheridas.

En cuanto a sus características, la densidad es de 1900 Kp/m^3 , el módulo de deformación de 190.000 Kp/cm^2 , la resistencia a compresión $800 - 900 \text{ Kp/cm}^2$ y $300 - 400 \text{ Kp/cm}^2$ la resistencia a flexotracción; la tensión de adherencia supera los 30 Kp/cm^2 .

Hormigón

La calidad de hormigón elegida ha sido H-200, de consistencia plástica y tamaño máximo de árido 20 mm. , por lo que a efectos de cálculo se ha adoptado un módulo de deformación de

$$E_c = 19000 \cdot \sqrt{200} = 268.700 \text{ Kp/cm}^2,$$

agregándole una malla electrosoldada de $100 \times 100 \times 4 \text{ mm.}$, y siendo la solera de refuerzo de 6 cm. de espesor.

Estado de cargas

A los efectos de descomponer las cargas de igual forma a la descrita en el estudio teórico, tendremos:

Densidad de la madera 650 Kp/m^3

Peso por m^2 de forjado. $(0'2 \times 0'2 \times 1) \times 650 / 0'8 = 32'5 \text{ Kp/m}^2$.

Formación del revoltón con rosca

de ladrillo hueco $60 \text{ Kp/m}^2 = 60 \text{ Kp/m}^2$

Guarnecido de yeso $12 \text{ Kp/m}^2 = 12 \text{ Kp/m}^2$

Relleno senos con hormigón ligero		= 20 Kp/m ²
Refuerzo de hormigón 6 cm.	2500 Kp/m ³ x 0'06 m.	= 150 Kp/m ²
Total peso propio por m ²	q ₀	≈ 275 Kp/m ²
Sobrecarga de uso	q ₁	= 300 Kp/m ²
Sobrecarga de pavimento y tabiquería	q ₂	= 150 Kp/m ²
Carga total por m ²	q	= 725 Kp/m ²

Estos valores de carga se han empleado para calcular tensiones y deformaciones (Fig. 4.34); no obstante, la prueba de carga solo mide deformación instantánea producida por la carga variable que estamos aplicando; por tanto, si en el programa variamos los datos de carga haciendo q₀ y q₂ igual a cero, y q₁ = 600 Kp/m², obtendremos la deformación máxima instantánea teórica correspondiente a la prueba (Fig. 4.35).

Sección mixta completa

El forjado reforzado responde al esquema de la Fig. 4.26.

Cálculo de la sección mixta

Los datos obtenidos en los apartados anteriores se han introducido de forma directa en el programa informático, siendo la rigidez de los conectadores el único parámetro que requiere un cálculo previo a la puesta en marcha del programa; para ello, emplearemos las expresiones vistas en el apartado 2.2.1 (conectadores a esfuerzo axial).

La rigidez total del conectador traccionado – comprimido responde a

$$K^* = \frac{F}{u} = 2 \cdot K_1 \cdot \cos^2 \varphi$$

ec. 4.46

siendo

$$K_1^{-1} = K^{-1} + k^{-1}$$

ec. 4.47

donde K se corresponde con la rigidez axial del conector en contacto con la madera; si sustituimos valores de la Fig. 4.26

$$l = 120 \text{ mm. ; } d_f = 14 \text{ mm. ; } E_w = 18.258 \text{ N/mm}^2$$

$$K = 0.7 \cdot l \cdot d_f^{0.6} \cdot E_w^{0.5} = 0.7 \cdot 120 \cdot 14^{0.6} \cdot 18258^{0.5} = 55295 \text{ N/mm.}$$

ec. 4.48

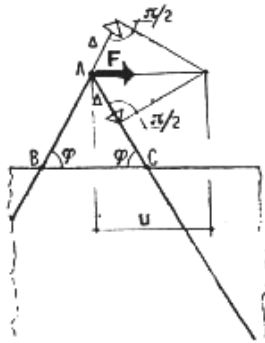


Fig. 4.29

si llamamos F a la fuerza que hay que aplicar para producir una deformación horizontal de 1 cm. en el punto "A" de la Fig. 4.29; el valor así definido, es la rigidez k correspondiente a la parte de conector que queda fuera de la madera. La deformación producida según la dirección axial de los conectadores valdrá

$$\Delta = \frac{u}{2 \cdot \cos 45} = \frac{1}{2 \cdot \cos 45}$$

ec. 4.49

a partir de la expresión que relaciona Δ con el esfuerzo axial producido en la dirección del conector

$$\Delta = \frac{N}{E \cdot A}$$

ec. 4.50

si igualamos estas ecuaciones y despejamos N

$$N = \Delta \cdot E \cdot A = \frac{E \cdot A}{2 \cdot \cos 45}$$

ec. 4.51

sustituyendo valores para este caso

$$N = \frac{2.100.000 \cdot \left[\frac{\pi \cdot 1^2}{4} \right]}{2 \cdot \cos 45} = 1.166.257 \text{ Kp}$$

ec. 4.52

una vez obtenido N podemos calcular el valor de F,

$$F = k = 2 \text{ N} \cos 45 = 1.649.336 \text{ Kp/cm.} \cong 1.649.336 \text{ N./mm.}$$

ec. 4.53

que será fuerza que hay que aplicar para producir una deformación en el punto "A" de 1cm., es decir, la rigidez k que buscamos; si ahora sustituimos en la ec. 4.47 , los valores obtenidos en la ec. 4.48 y la ec. 4.52

$$\frac{1}{K_1} = \frac{1}{K} + \frac{1}{k} = \frac{1}{55295} + \frac{1}{1.649.336} = 1'8691110^{-5}$$

ec. 4.54

$$K_1 = 53501 \text{ N./mm.}$$

ec. 4.55

sustituyendo en la ec. 4.46

$$K^* = 2 \cdot 53501 \cdot \cos^2 45 = 53501 \text{ N./mm.}$$

ec. 4.56

por lo que la rigidez K^*/s expresada por unidad de longitud

$$\frac{K^*}{s} = \frac{53501}{300} = 178'53 \text{ N./mm}^2 \cong 1785'3 \text{ Kp./cm}^2$$

ec. 4.57

Con el valor de rigidez, además del resto de datos introducidos en el programa informático, obtenemos los estados tensionales y deformaciones del cuadro representado en la Fig. 4.34.

Trabajos de campo pruebas de carga.

Con fecha Octubre de 1996, por parte de la Empresa de Control de Calidad " CONTROLEX S.L.", se procede a la realización de dos pruebas de carga sobre el primer forjado del edificio, una situada en la segunda crujía (prueba de carga "A"), mientras que la segunda se ubica en la primera crujía (prueba de carga "B") Fig. 4.30.

Como elemento de carga se ha empleado el agua, por lo que ha sido necesario construir dos balsas de 70 cm. de altura, realizadas con bloque de hormigón e impermeabilizadas con lámina de polietileno de 0'8 mm. de espesor, constituyendo así una zona de carga con una superficie de

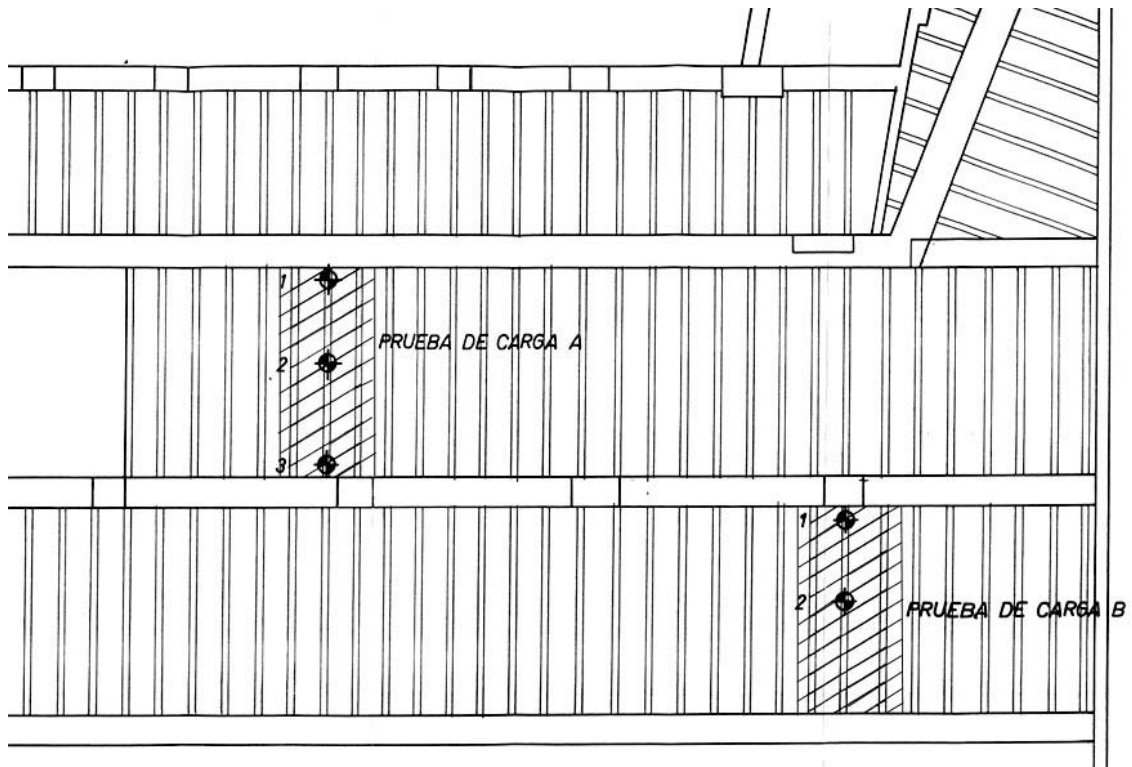


Fig. 4.30 Situación de las pruebas realizadas “A” y “B”, marcando la posición de los flexímetros, luz 4'70 m. para los dos vanos.

4'70 x 2'40 m., es decir, abarcando tres entrevigados completos a fin de obtener datos de la vigueta central Fig. 4.33

Las magnitudes medidas han sido flechas en centro de vano y apoyos, que corresponden bien a muro de carga o a viga central de madera, utilizando flexímetros con un recorrido máximo de 5 cm. y una precisión de 0'01 mm.; el sistema utilizado, consiste en colocar en el punto de lectura de la viga y por su parte inferior, un alambre de acero que va anclado por una parte a la vigueta y en el otro extremo lleva suspendida una pesa (punto móvil), el punto fijo de referencia se materializa mediante un trípode apoyado en el suelo situado en la vertical, que dispone de una plataforma sobre la que apoya el vástago del flexímetro con una guía para la pesa (ver Fig. 4.32 y Fig. 4.31).

La carga de ensayo ha estado en todo momento dentro de una tolerancia de $\pm 5\%$, las condiciones ambientales, temperatura y humedad, se han determinado en el momento de realizar las lecturas.



Fig. 4.33 Balsa realizada para efectuar la prueba de carga. A

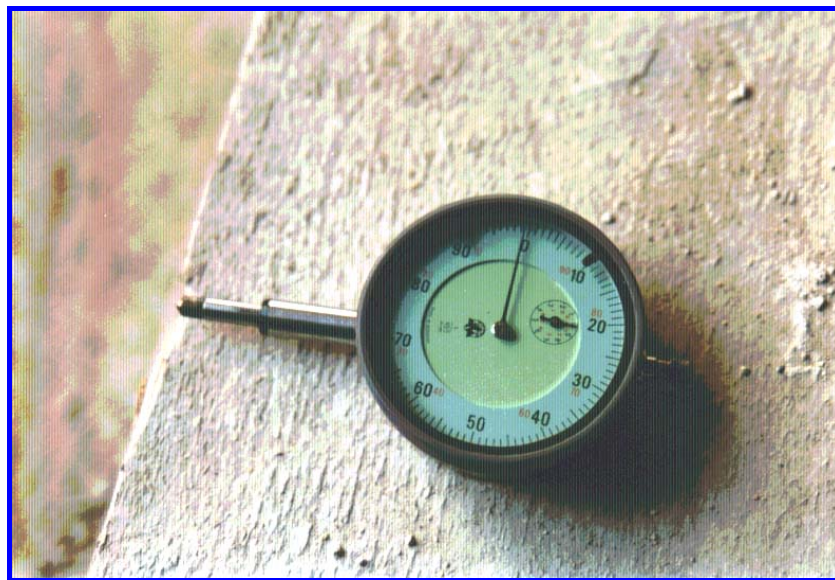


Fig. 4.32 Detalle del equipo de medida. Precisión 0'01 mm.



Fig. 4.31 Equipos de medida situados sobre trípodes.

Se adopta como origen, el escalón de carga cero, esperando el tiempo necesario para la estabilización de los elementos de medida; el resto de escalones, para las dos pruebas efectuadas, corresponde a la siguiente distribución:

Escalones de Carga.	Escalones de Descarga.
Escalón N° 1 : 200 Kp/m ²	Escalón N° 4 : 400 Kp/m ²
Escalón N° 2 : 400 Kp/m ²	Escalón N° 5 : 200 Kp/m ²
Escalón N° 3 : 600 Kp/m ²	Escalón N° 6 : 0 Kp/m ²

Una vez alcanzada la carga máxima, se ha mantenido durante 60 horas en la prueba "A" y 23 horas en la "B", procediéndose posteriormente a la descarga total por escalones; finalmente, 24 horas después, se procede a la última lectura de los comparadores. Los resultados obtenidos para cada una de las pruebas, se resumen en la Tabla 4.4 y la Tabla .5, siendo de destacar que en la prueba de carga "B" sólo se tienen resultados de dos flexímetros ya que el tercero se ha estropeado como consecuencia de la entrada de intrusos en la obra.

Escalon de carga n°.	0	1	2	3	4	5	6
Carga Kp/m ²	0	200	400	600	400	200	0
Flexímetro n°1	0'00	0'11	0'19	0'88	0'88	0'88	0'88
Flexímetro n°2	0'00	0'34	0'82	4'20	2'88	2'58	2'28
Flexímetro n°3	0'00	0'05	0'14	0'39	0'51	0'51	0'59

Tabla 4.4 Cuadro resumen de la prueba de carga "A". Deformaciones en mm.

Escalón de carga n°.	0	1	2	3	4	5	6
Carga Kp/m ²	0	200	400	600	400	200	0
Flexímetro n°1	0'00	0'09	0'25	0'61	0'55	0'47	0'21
Flexímetro n°2	0'00	0'38	0'94	2'02	1'54	1'06	0'57

Tabla 4.5 Cuadro resumen de la prueba de carga "B". Deformaciones en mm.

A partir de los resultados reflejados en la Tabla 4.4 y la Tabla 4.5 se deducen las flechas máximas en cada prueba y escalón, indicadas en la Tabla 4.6 y la Tabla 4.7

Escalón de carga nº.	0	1	2	3	4	5	6
Carga Kp/m²	0	200	400	600	400	200	0
Flecha en mm.	0'00	0'26	0'655	3'565	2'185	1'885	1'545

Tabla 4.6 Cuadro resumen de flechas máximas por escalones de carga en la prueba "A". Deformaciones en mm.

Escalón de carga nº.	0	1	2	3	4	5	6
Carga Kp/m²	0	200	400	600	400	200	0
Flecha en mm.	0'00	0'29	0'69	1'41	0'99	0'59	0'36

Tabla 4.7 Cuadro resumen de flechas máximas por escalones de carga en la prueba "B". Deformaciones en mm.

Valores que podemos comparar con los obtenidos mediante el programa de cálculo Fig. 4.35, donde la flecha teórica ha sido de 4'71 mm., es decir, un 29% superior a la prueba de carga A y un 234% superior a la B.

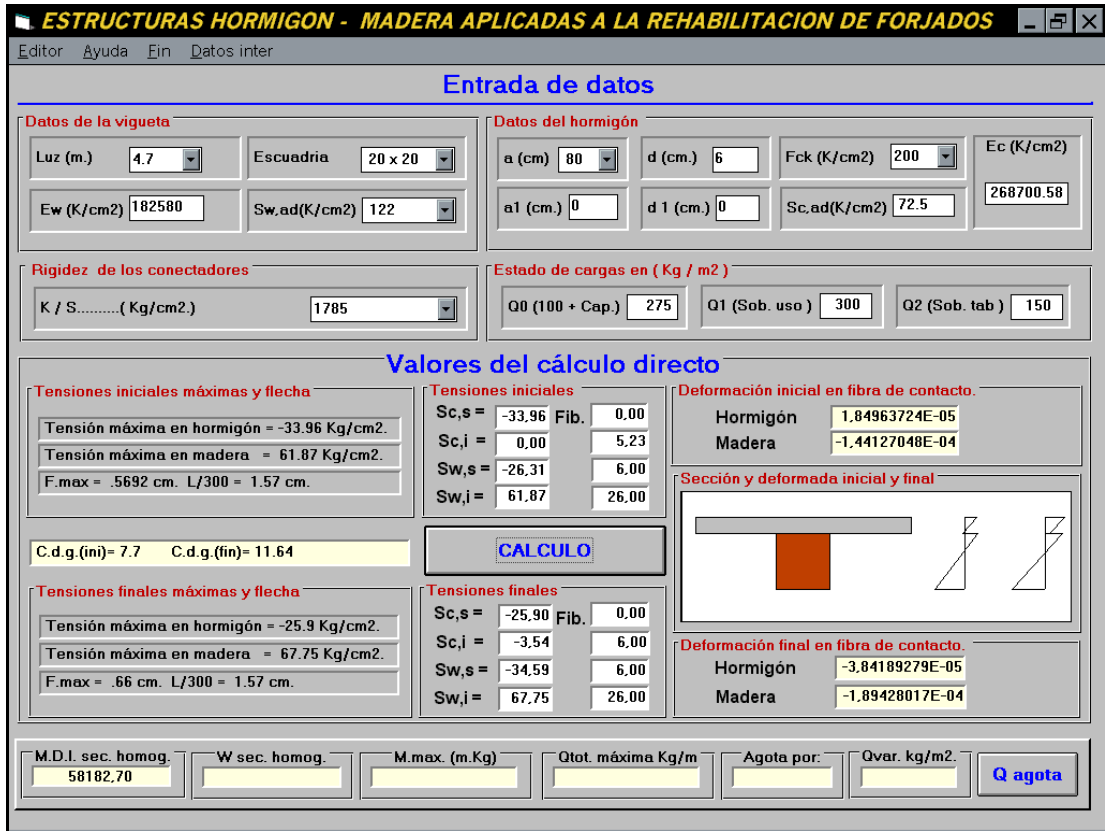


Fig. 4.34 Resultados de tensiones y deformaciones con carga de servicio. Edificio de las Escuelas Pías de Gandia.

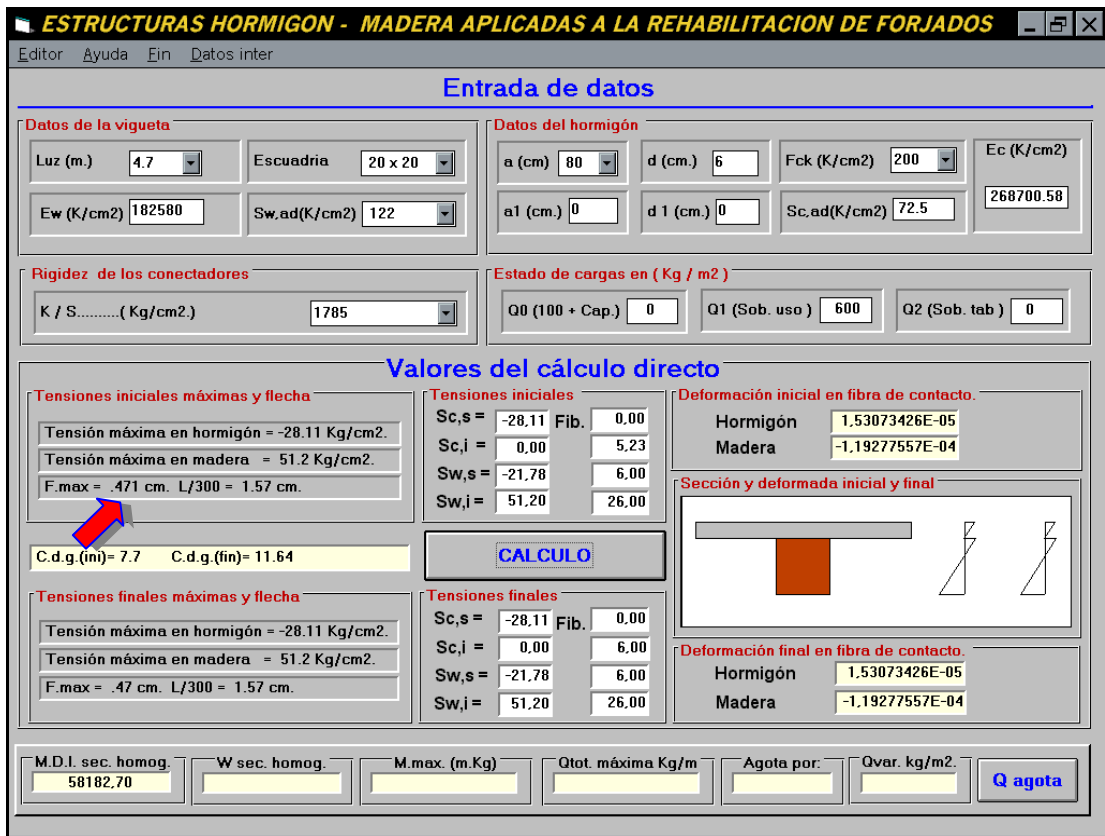


Fig. 4.35 Resultados teóricos correspondientes a la prueba de carga . Edificio de las Escuelas Pías de Gandia.

4.4.2 Edificio en Gran Via Marqués del Turia nº5, Valencia

Este ensayo, se realiza en un edificio de viviendas de cinco plantas situado en la zona del Ensanche y cuya construcción data de principios de siglo. Las pruebas de carga, en este caso, se han realizado sobre dos viguetas, la primera situada en el cuarto forjado y la segunda en el quinto, en crujías diferentes, cada una de las cuales se ha ensayado en su estado anterior y posterior al refuerzo; hay de destacar que la madera de todo el edificio se encuentra en perfecto estado de conservación, excepto la de cubierta, que debido a fuertes filtraciones de agua está bastante deteriorada, por lo que se decide la sustitución completa por un forjado de hormigón armado.

El forjado a reforzar, responde a la tipología de vigueta de madera con una rosca de ladrillo formando el revoltón que cubre el espacio de entrevigado, tal como se muestra en la Fig. 4.36, utilizando yeso como material de relleno. En esta ocasión, el forjado no se ha desmontado en su totalidad, simplemente se ha retirado el pavimento existente y mortero de agarre, para ejecutar a continuación los trabajos de refuerzo con la colocación de los conectadores. Si seguimos los mismos criterios en la exposición que en la obra anterior, y comenzando por la

Madera

Para determinar las características mecánicas de la madera, se han extraído probetas para su posterior ensayo en laboratorio, donde se ha

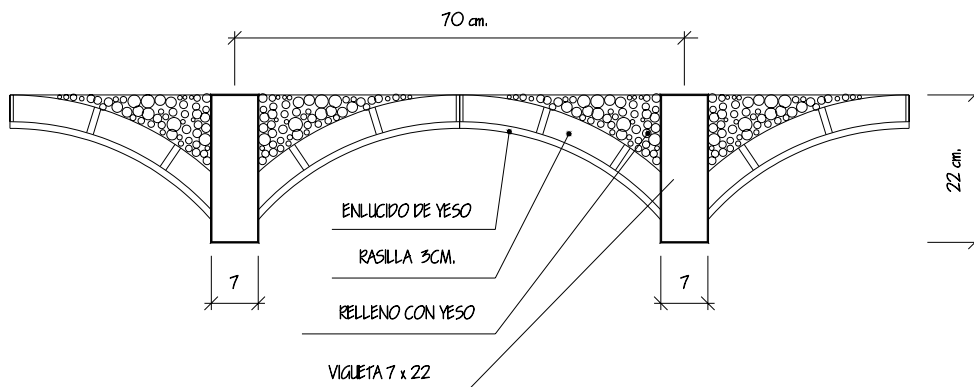


Fig. 4.36 Sección transversal del forjado original.

procedido a la determinación de la densidad aparente, siendo ésta 623 Kp/m^3 , además, se ha determinado el módulo de deformación y la resistencia a flexión estática. Para la determinación del módulo de deformación, se han seguido técnicas de ultrasonidos, basadas en los trabajos de la ref. 37, tomándose la velocidad media sobre los tres puntos de lectura de la Tabla 4.8

Punto de lectura	Contenido de Humedad %	Tiempo μs	Velocidad m/seg.
1	13'1	164'5	5.300'91
2	13'8	156'9	5.519'43
3	14'8	155'6	5.565'55

Tabla 4.8 Lecturas efectuadas. Velocidad media = 5461'96 m/seg

Con los valores de densidad y velocidad media, se determina el módulo de deformación dinámico E_d a través de la expresión

$$E_d = v^2 \cdot d$$

ec. 4.58

donde las unidades son kp, cm. y segundos; sustituyendo en la ecuación anterior

$$E_d = 546196^2 \cdot 0'000623 = 185.859'63 \text{ Kp/cm}^2$$

ec. 4.59

para la determinación del módulo de elasticidad estático E_w se utiliza la expresión

$$E_w = 64'80 \cdot v - 212.120 = 141.815 \text{ Kp/cm}^2$$

ec. 4.60

del ensayo de resistencia a flexión estática según UNE 56.537 / 79, se han obtenido los valores de la Tabla 4.9,

Conectores

Se han utilizado al igual que en la obra anterior, conectadores formados por barras de acero corrugado de acero AEH-400 de 10 mm. de diámetro con idéntica geometría que la Fig. 4.26, excepto el intereje a 35 cm., que en esta

ocasión se ha mantenido constante en toda la longitud de la vigueta; así mismo, el producto empleado para el anclaje de los conectadores en la madera, ha sido Sikadur 42 anclajes.

Probetas	a (cm)	h (cm)	Q (Kp)	σ (Kp/cm ²)	σ media
1	2'08	1'98	250	1104'29	1135'67
2	2'09	2'00	258	1111'00	
3	1'99	1'99	228	1041'62	
4	1'98	1'99	286	1306'59	
5	2'01	1'99	235	1064'15	
6	1'98	2'00	261	1186'36	

Tabla 4.9 Lecturas efectuadas en el ensayo de resistencia a flexión estática para un contenido de humedad del 13%, medido mediante higrómetro de resistencia.

Hormigón

La calidad del hormigón empleado ha sido H-250, de consistencia plástica y tamaño máximo de árido 20 mm., por lo que a efectos de cálculo se ha adoptado un módulo de deformación de

$$E_c = 19000 \cdot \sqrt{250} = 300.416 \text{ Kp/cm}^2,$$

ec. 4.61

agregándole una malla electrosoldada de 100x100x4 mm., y con solera de refuerzo de 6 cm. de espesor.

Estado de cargas

Densidad de la madera 623 Kp/m³

Peso por m² de forjado. $(0'07 \times 0'22 \times 1) \times 623 / 0'7 = 13'7 \text{ Kp/m}^2$.

Formación del revoltón con rosca

de ladrillo hueco $60 \text{ Kp/m}^2 = 60 \text{ Kp/m}^2$

Guarnecido de yeso $12 \text{ Kp/m}^2 = 12 \text{ Kp/m}^2$

Relleno senos con yeso $= 40 \text{ Kp/m}^2$

Refuerzo de hormigón 6 cm. $2500 \text{ Kp/m}^3 \times 0'06 \text{ m.} \times 1 \times 1 = 150 \text{ Kp/m}^2$

Total peso propio por m ²	q ₀	≈ 216 Kp/m ²
Sobrecarga de uso	q ₁	= 200 Kp/m ²
Sobrecarga de pavimento y tabiquería	q ₂	= 150 Kp/m ²
Carga total por m ²	q	= 566 Kp/m ²

Estos valores de carga se han empleado para calcular tensiones y deformaciones (ver Fig. 4.41 y Fig. 4.42); no obstante la prueba de carga, como se ha comentado anteriormente, solo mide deformación instantánea producida por la carga variable que estamos aplicando; por tanto, si en el programa variamos los datos haciendo q₀ y q₂ igual a cero, faltará por determinar una carga variable uniforme q₁ que provoque sobre la vigueta la misma flecha máxima que producen las dos cargas puntuales aplicadas en la prueba; por tanto, si igualamos las expresiones de flechas correspondientes a los casos de carga considerados,(ver esquemas de la Fig. 4.38)

$$F_{\max} = \frac{P.a}{24EI} [3.L^2 - 4.a^2] = \frac{5}{384} \frac{q_1.L^4}{E.I}$$

ec. 4.62

despejando q₁,

$$q_1 = \frac{384.P.a}{120.L^4} [3.L^2 - 4.a^2] \text{ Kp/cm.}$$

ec. 4.63

si transformamos la carga a Kp/m², teniendo en cuenta que la anchura de entrevigado es 70 cm.

$$q_1 = \frac{384.P.a}{120.L^4} [3.L^2 - 4.a^2] \frac{100}{0'7} \text{ Kp/m}^2.$$

ec. 4.64

sustituyendo para la vigueta del forjado nº4 , L= 385 cm

$$q_1 = \frac{384 \times 600 \times 125}{120 \times 385^4} [3 \times 385^2 - 4 \times 125^2] \frac{100}{0'7} = 596 \text{ Kp/m}^2$$

ec. 4.65

y para la vigueta del forjado nº5 , L= 440 cm

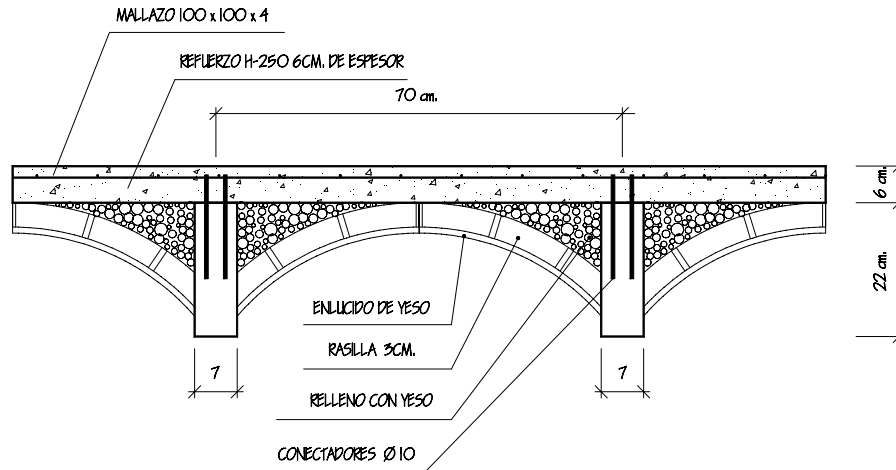


Fig. 4.37 Sección transversal del forjado reforzado.

$$q_1 = \frac{384 \times 600 \times 150}{120 \times 440^4} [3 \times 440^2 - 4 \times 150^2] \frac{100}{0.7} = 539 \text{ Kp/m}^2$$

ec. 4.66

Sección mixta completa

El forjado reforzado responde al esquema de la Fig. 4.37

Cálculo de la sección mixta

Los datos obtenidos en los apartados anteriores se han introducido de forma directa en el programa informático, siendo la rigidez k correspondiente a la parte de conector que queda fuera de la madera idéntica a la calculada en el caso anterior (1.649.336 N./mm.); respecto a la rigidez K , teniendo en cuenta el nuevo valor del módulo de deformación de la madera,

$$l = 120 \text{ mm. ; } d_f = 14 \text{ mm. ; } E_w = 14181.5 \text{ N/mm}^2$$

$$K = 0.7 \cdot l \cdot d_f^{0.6} \cdot E_w^{0.5} = 0.7 \cdot 120 \cdot 14^{0.6} \cdot 14181.5^{0.5} = 48732 \text{ N/mm.}$$

ec. 4.67

con los valores obtenidos de k y K , igual que en el caso anterior, calculamos la rigidez K^*/s , que en este caso vale

$$\frac{K^*}{s} = \frac{47334}{350} = 135.24 \text{ N./mm}^2 \cong 1352.4 \text{ Kp./cm}^2$$

ec. 4.68

Trabajos de campo, pruebas de carga

En esta ocasión, la Empresa de Control de Calidad ha sido "I.T.C.", que ha procedido a la realización de cuatro pruebas de carga sobre dos viguetas, una situada sobre el cuarto forjado y la otra sobre el quinto. Las dos primeras pruebas se han ejecutado sobre el forjado original - vigueta y revoltón -, una vez retirado el pavimento existente y el mortero de agarre.

Como elemento de carga se han empleado sacos de cemento situados sobre un tablón de madera y apoyado sobre dos tablas, con el fin de generar a través de dos cargas puntuales un estado de flexión pura como el de la Fig. 4.38

Las magnitudes medidas han sido flechas bajo la posición de las cargas puntuales y en centro de vano, utilizando flexímetros con un recorrido máximo de 5 cm. y una precisión de 0'01 mm.; el sistema utilizado, se corresponde por tanto con el descrito en la obra anterior.

Se adopta como origen, el escalón de carga cero, esperando el tiempo necesario para la estabilización de los elementos de medida, el resto de escalones, para las dos pruebas efectuadas, se ha correspondido con la siguiente distribución:

Escalones de Carga.	Escalones de Descarga.
Escalón N° 1 : 100 Kp	Escalón N° 4 : 150 Kp
Escalón N° 2 : 150 Kp	Escalón N° 5 : 100 Kp
Escalón N° 3 : 200 Kp	Escalón N° 6 : 0 Kp



Fig. 4.39 Viguetas sin refuerzo en el escalón de carga de 200 Kp. , forjado n°4

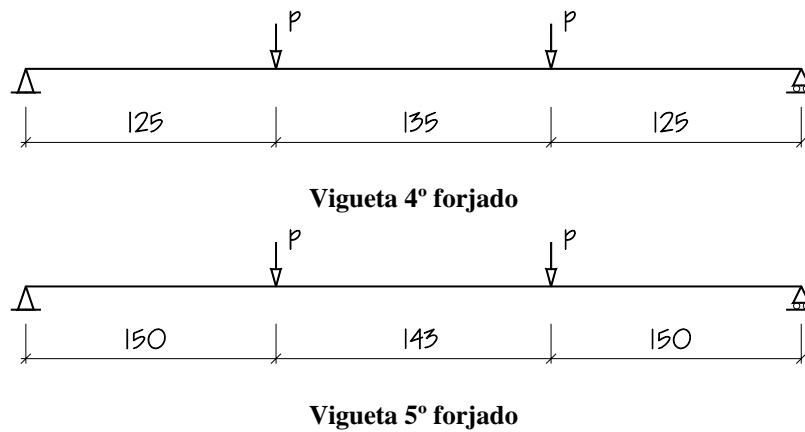


Fig. 4.38 Esquemas de carga sobre cada una de las viguetas ensayadas.

Los resultados obtenidos se resumen en la Tabla 4.10 y la Tabla 4.11

CARGA	FLEXIMETRO 1		FLEXIMETRO 2		FLEXIMETRO 3	
	Lect.(mm)	Flecha	Lect.(mm)	Flecha	Lect.(mm)	Flecha
0 Kp.	2'32		0'48		0'77	
100 Kp.	3'32	1	1'50	1'02	1'58	0'81
150 Kp.	3'82	1'50	2'04	1'56	2'06	1'29

200 Kp.	4'30	1'98	2'56	2'08	2'49	1'72
*200 Kp.	4'50	2'18	2'79	2'31	2'61	1'84
150 Kp.	4'23	1'91	2'50	2'02	2'38	1'61
100 Kp.	3'80	1'48	2'05	1'57	2'02	1'25
0 Kp.	2'77	0'45	0'87	0'39	1'02	0'25
** 0 Kp.	2'71	0'39	0'82	0'34	0'99	0'22

Tabla 4.10 Vigueta forjado n°4 , sin refuerzo

* Lectura correspondiente a carga mantenida durante 24 horas

** Lectura transcurridos 15 min. respecto a la anterior lectura.

CARGA	FLEXIMETRO 1		FLEXIMETRO 2		FLEXIMETRO 3	
	Lect.(mm)	Flecha	Lect.(mm)	Flecha	Lect.(mm)	Flecha
0 Kp.	4'88		1'25		1'28	
100 Kp.	5'60	0'72	2'18	0'93	2'10	0'82
150 Kp.	5'95	1'07	2'65	1'40	2'55	1'27
200 Kp.	6'40	1'52	3'18	1'93	2'96	1'68
*200 Kp.	6'75	1'87	3'49	2'24	3'30	2'02
150 Kp.	6'52	1'64	3'20	1'95	3'07	1'79
100 Kp.	6'20	1'32	2'80	1'55	2'70	1'42
0 Kp.	5'18	0'30	1'42	0'17	1'70	0'45

Tabla 4.11 Vigueta forjado n°5 , sin refuerzo

* Lectura correspondiente a carga mantenida durante 24 horas

Si tenemos en cuenta el módulo de deformación de la madera obtenido mediante ensayo $E_w = 141.815 \text{ Kp/cm}^2$ y lo sustituimos en la expresión de flecha máxima para el caso de carga considerado, en la vigueta del 4º forjado resulta

$$F_{\max} = \frac{P.a}{24EI} [3.L^2 - 4.a^2]$$

ec. 4.69

sustituyendo valores

$$F_{\max} = \frac{200 \times 125}{24 \times 141815 \times \left[\frac{7 \times 22^3}{12} \right]} \left[3 \times 385^2 - 4 \times 125^2 \right] = 0'4519 \text{ cm.} \gg 0'231 \text{ cm.}$$

ec. 4.70

análogamente, la flecha máxima en el 5º forjado

$$F_{\max} = \frac{200 \times 150}{24 \times 141815 \times \left[\frac{7 \times 22^3}{12} \right]} \left[3 \times 440^2 - 4 \times 150^2 \right] = 0'6964 \text{ cm.} \gg 0'224 \text{ cm.}$$

ec. 4.71

vemos por tanto que la flecha teórica es muy superior a la real en los dos casos.

Una vez reforzado el forjado, se ha procedido a la ejecución de otras dos pruebas de carga sobre las viguetas ensayadas anteriormente, fijando de nuevo el escalón de carga cero esperando el tiempo necesario para la estabilización de los elementos de medida; el resto de escalones, para las dos pruebas efectuadas, ha correspondido a

Escalones de Carga.

Escalón N° 1 : 200 Kp

Escalón N° 2 : 400 Kp

Escalón N° 3 : 600 Kp

Los resultados obtenidos se resumen en la Tabla 4.12 y la Tabla 4.13

CARGA	FLEXIMETRO 1		FLEXIMETRO 2		FLEXIMETRO 3	
	Lect.(mm)	Flecha	Lect.(mm)	Flecha	Lect.(mm)	Flecha
0 Kp.	1'68		3'81		1'40	
200 Kp.	1'73	0'05	3'85	0'04	1'42	0'02
400 Kp.	1'77	0'09	3'90	0'09	1'45	0'05
600 Kp.	1'81	0'13	3'95	0'14	1'50	0'10
*600 Kp.	1'85	0'17	3'96	0'15	1'52	0'12

Tabla 4.12 Vigueta forjado nº4 con refuerzo.

* Lectura correspondiente a carga mantenida durante 63 horas



Fig. 4.40 Vigueta reforzada en el escalón de carga de 600 Kp. , forjado nº4

CARGA	FLEXIMETRO 1		FLEXIMETRO 2		FLEXIMETRO 3	
	Lect.(mm)	Flecha	Lect.(mm)	Flecha	Lect.(mm)	Flecha
0 Kp.	4'10		1'63		0'92	
200 Kp.	4'16	0'06	1'68	0'05	0'95	0'03
400 Kp.	4,20	0'10	1'73	0'10	0'99	0'07
600 Kp.	4,26	0'16	1'80	0'17	1'05	0'13
*600 Kp.	4'35	0'25	1'86	0'23	1'10	0'15

Tabla 4.13 Vigueta forjado nº5 con refuerzo.

* Lectura correspondiente a carga mantenida durante 63 horas

Los resultados obtenidos en ambas pruebas son sensiblemente inferiores a los calculados; el comportamiento real de las piezas es más rígido que el modelo utilizado en el cálculo con diferencias del orden del 155% y del 137% respectivamente.

Para valorar estas diferencias hay que tener en cuenta un aspecto: antes de reforzar los forjados, se han realizado pruebas de carga sobre la vigueta de madera (que solo estaba acompañada por los revoltones que forman el forjado), produciéndose aquí ya diferencias importantes.

Esto nos hace suponer que, dado que las cargas de cálculo se han mantenido siempre por debajo de los valores de servicio, puesto que en ningún momento se podía llegar a la rotura del forjado, la resistencia a compresión de los restantes elementos del forjado ha constituido un elemento de refuerzo que trabaja solidariamente con la vigueta de madera por rozamiento, originando los incrementos de rigidez observados.

Es previsible, y aquí ya nos salimos del ensayo para entrar en el terreno de la especulación, que si la carga se hubiera incrementado aproximándonos al valor de rotura, se hubiera sobrepasado el efecto de rozamiento empezando a trabajar sólo el elemento estructural descrito en el planteamiento teórico, con lo que el valor alcanzado en rotura si que hubiera sido del orden del esperado.

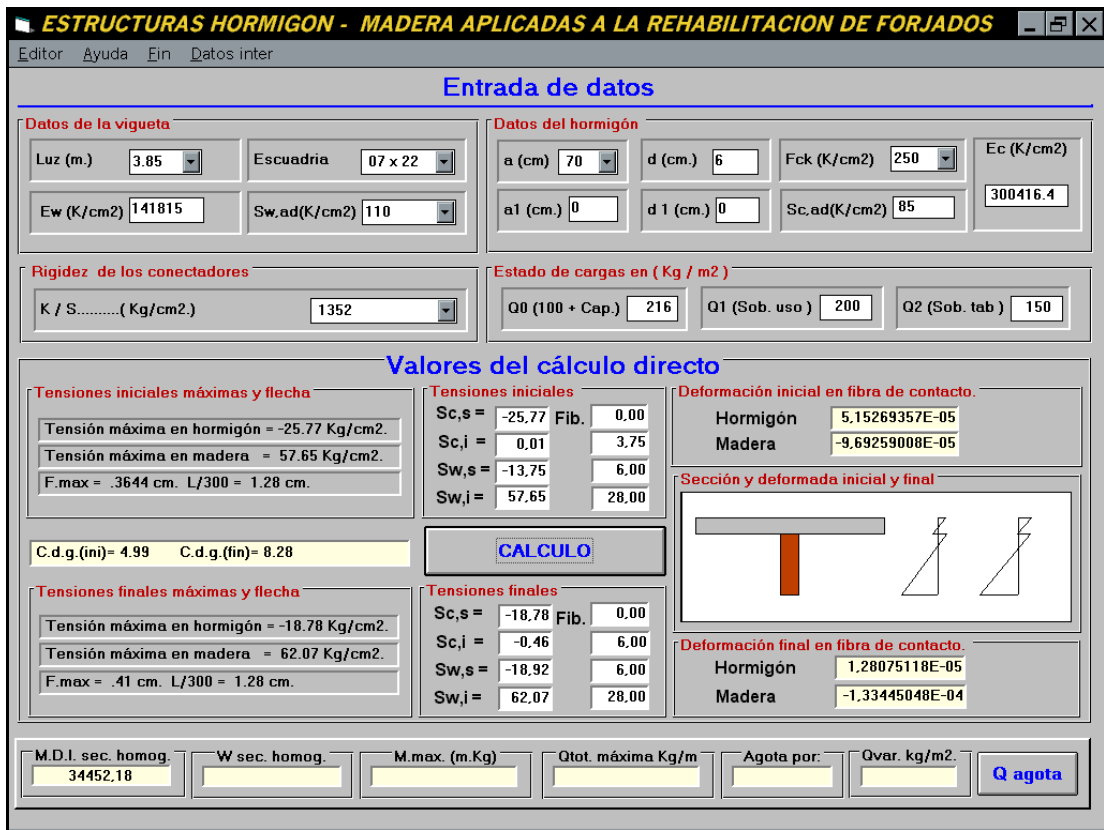


Fig. 4.41 Resultados de tensiones y deformaciones con carga de servicio. Edificio Marqués del Turia nº 5 de Valencia. Forjado nº 4.

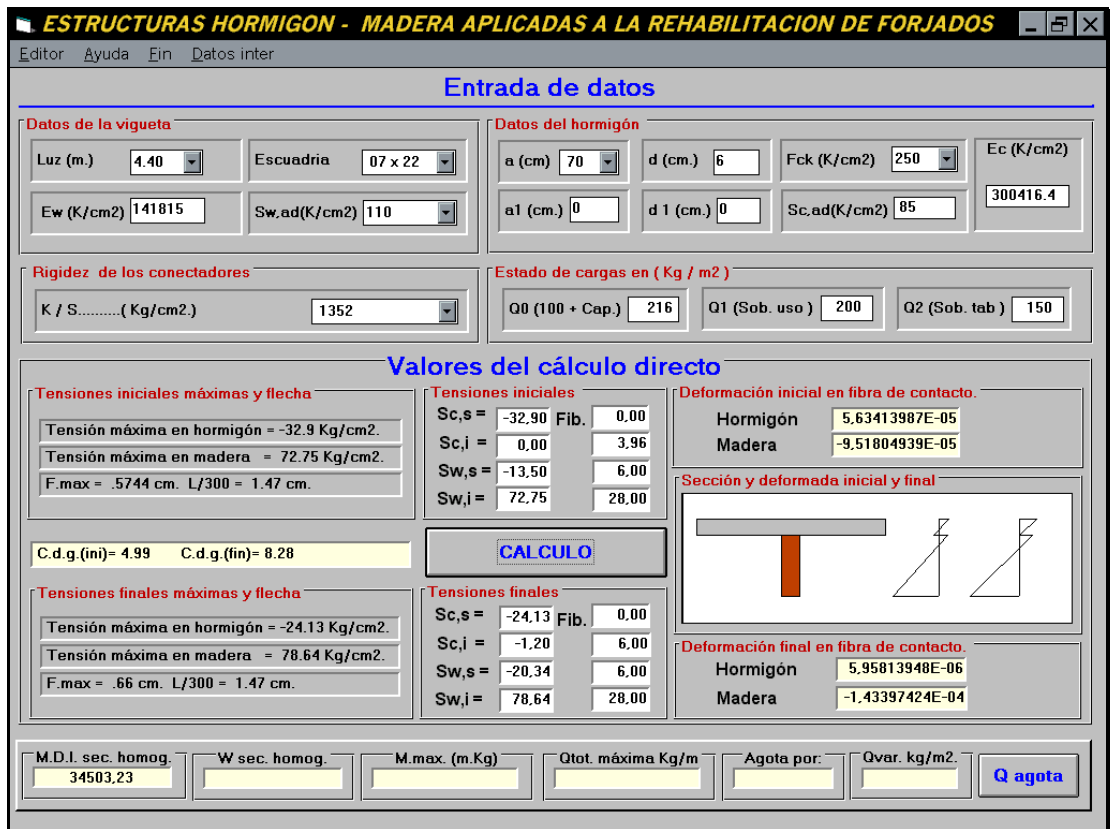


Fig. 4.42 Resultados de tensiones y deformaciones con carga de servicio. Edificio Marqués del Turia nº 5 de Valencia. Forjado nº 5.

ESTRUCTURAS HORMIGON - MADERA APLICADAS A LA REHABILITACION DE FORJADOS

Editor Ayuda Fin Datos inter

Entrada de datos

Datos de la vigueta		Datos del hormigón			
Luz (m.)	3.85	Escuadria	07 x 22	a (cm)	70
Ew (K/cm2)	141815	Sw.ad(K/cm2)	110	d (cm.)	6
				Fck (K/cm2)	250
				Ec (K/cm2)	300416.4
				a1 (cm.)	0
				d 1 (cm.)	0
				Sc.ad(K/cm2)	85

Rigidez de los conectadores		Estado de cargas en (Kg / m2)			
K / S.....(Kg/cm2.)	1352	Q0 (100 + Cap.)	0	Q1 (Sob. uso)	596
		Q2 (Sob. tab)	0		

Valores del cálculo directo

Tensiones iniciales máximas y flecha		Tensiones iniciales		Deformación inicial en fibra de contacto.		
Tensión máxima en hormigón	= -27.14 Kg/cm2.	Sc,s =	-27.14 Fib.	0.00	Hormigón	5.42577367E-05
Tensión máxima en madera	= 60.71 Kg/cm2.	Sc,i =	0.00	3.75	Madera	-1.02062427E-04
F.max =	.3837 cm. L/300 = 1.28 cm.	Sw,s =	-14.47	6.00	Sección y deformada inicial y final	
		Sw,i =	60.71	28.00		
C.d.g.(in) =	4.99	CALCULO		Deformación final en fibra de contacto.		
C.d.g.(fin) =	8.28			Hormigón	5.42577367E-05	
				Madera	-1.02062427E-04	
Tensiones finales máximas y flecha		Tensiones finales				
Tensión máxima en hormigón	= -27.14 Kg/cm2.	Sc,s =	-27.14 Fib.	0.00		
Tensión máxima en madera	= 60.71 Kg/cm2.	Sc,i =	0.00	6.00		
F.max =	.38 cm. L/300 = 1.28 cm.	Sw,s =	-14.47	6.00		
		Sw,i =	60.71	28.00		

M.D.I. sec. homog.	34451.77	W sec. homog.		M.max. (m.Kg)		Qtot. máxima Kg/m		Agota por:		Qvar. kg/m2.		Q agota
--------------------	----------	---------------	--	---------------	--	-------------------	--	------------	--	--------------	--	----------------

Fig. 4.43 Resultados teóricos correspondientes a la prueba de carga . Edificio Marqués del Turia nº 5 de Valencia. Forjado nº 4.

ESTRUCTURAS HORMIGON - MADERA APLICADAS A LA REHABILITACION DE FORJADOS

Editor Ayuda Fin Datos inter

Entrada de datos

Datos de la vigueta		Datos del hormigón			
Luz (m.)	4.40	Escuadria	07 x 22	a (cm)	70
Ew (K/cm2)	141815	Sw.ad(K/cm2)	110	d (cm.)	6
				Fck (K/cm2)	250
				Ec (K/cm2)	300416.4
				a1 (cm.)	0
				d 1 (cm.)	0
				Sc.ad(K/cm2)	85

Rigidez de los conectadores		Estado de cargas en (Kg / m2)			
K / S.....(Kg/cm2.)	1352	Q0 (100 + Cap.)	0	Q1 (Sob. uso)	539
		Q2 (Sob. tab)	0		

Valores del cálculo directo

Tensiones iniciales máximas y flecha		Tensiones iniciales		Deformación inicial en fibra de contacto.		
Tensión máxima en hormigón	= -31.33 Kg/cm2.	Sc,s =	-31.33 Fib.	0.00	Hormigón	5.36537348E-05
Tensión máxima en madera	= 69.28 Kg/cm2.	Sc,i =	0.00	3.96	Madera	-9.06400816E-05
F.max =	.547 cm. L/300 = 1.47 cm.	Sw,s =	-12.85	6.00	Sección y deformada inicial y final	
		Sw,i =	69.28	28.00		
C.d.g.(in) =	4.99	CALCULO		Deformación final en fibra de contacto.		
C.d.g.(fin) =	8.28			Hormigón	5.36537348E-05	
				Madera	-9.06400816E-05	
Tensiones finales máximas y flecha		Tensiones finales				
Tensión máxima en hormigón	= -31.33 Kg/cm2.	Sc,s =	-31.33 Fib.	0.00		
Tensión máxima en madera	= 69.28 Kg/cm2.	Sc,i =	0.00	6.00		
F.max =	.55 cm. L/300 = 1.47 cm.	Sw,s =	-12.85	6.00		
		Sw,i =	69.28	28.00		

M.D.I. sec. homog.	34503.23	W sec. homog.		M.max. (m.Kg)		Qtot. máxima Kg/m		Agota por:		Qvar. kg/m2.		Q agota
--------------------	----------	---------------	--	---------------	--	-------------------	--	------------	--	--------------	--	----------------

Fig. 4.44 Resultados teóricos correspondientes a la prueba de carga . Edificio Marqués del Turia nº 5 de Valencia. Forjado nº 4.

5. ABACOS DE DIMENSIONADO

Se ha comentado anteriormente el programa informático que resolvía los requisitos que se le planteaban, obteniendo los resultados más representativos de estados tensionales, flechas y deformaciones tanto para estados iniciales como para finales; posteriormente, se da un paso más obteniendo la carga variable que produce el agotamiento de la viga fijando unas condiciones de flecha y de tensiones normales máximas, tanto para la madera como para el hormigón por el método de cálculo en tensiones admisibles para $t = 0$ y $t = \infty$.

El siguiente paso consistirá en intentar representar de la forma más extensa posible, la gran cantidad de variables que han aparecido en el estudio analítico, así como cubrir de forma gráfica la mayoría de los casos que se pueden presentar en la práctica mediante la elaboración de unos ábacos de dimensionado, que nos ofrezcan una visión global del problema a resolver y ayuden a tomar una decisión correcta sobre el refuerzo a disponer, sin que nos veamos inmersos en multitud de cálculos.

Nos interesa poder tener información rápida de cualquier escuadría de madera, ya que se trata de un refuerzo y esta no la podemos elegir; parece que lo más conveniente será obtener un tipo de gráfico en que aparezca una curva continua que represente a cualquier vigueta que podamos encontrar en la práctica, eligiendo para ello su módulo resistente $W = b \cdot h^2 / 6$, como parámetro representativo fundiendo dos variables b y h en una.

Otra valor que nos viene dado es el ancho de entrevigado a , por lo que también sería conveniente que su representación gráfica obedeciera a algún tipo de curva continua al igual que la escuadría de madera.

Hay dos parámetros más que nos vendrán impuestos, como son, la longitud de la vigueta y la calidad de la madera, siendo razonable intentar cumplir los mismos criterios expuestos para las variables anteriores.

En cambio, todos los valores que hacen referencia al refuerzo de hormigón no es necesario que estén representados de forma continua, ya que podemos elegir los valores que deben tomar dichas variables; como por ejemplo, la rigidez k/s de los conectadores, el canto d de la cabeza de hormigón y su resistencia característica F_{ck} .

Ya solo quedan por comentar las variables que hacen referencia al estado de cargas; para acotar el problema, la carga Q_2 (carga de pavimento más tabiquería) va a ser un valor constante de 150 Kp/m^2 y la carga Q_0 que corresponde a peso propio del forjado original (100 Kp/m^2) más el refuerzo, que se añadirá de forma automática al anterior valor, considerando para el hormigón una densidad de 2500 Kp/m^3 ; dejaremos Q_1 como valor a determinar, siendo la carga variable máxima que cumple simultáneamente las seis condiciones de agotamiento vistas anteriormente.

Con todas las variables del problema definidas, bien porque vengan impuestas o porque elijamos su valor, se han realizado unos ábacos que una vez fijado el módulo resistente, las constantes que representan la calidad de la vigueta de madera ($E_w, \sigma_{w,adm}$) el ancho de entrevigado y la luz, nos van a permitir ir eligiendo el resto de variables, como son: la calidad del hormigón representada por su resistencia característica F_{ck} , canto d del refuerzo y rigidez k/s de los conectadores, obteniendo como resultado la carga total $Q = Q_0 + Q_1 + Q_2$ en Kp/m . que produce el agotamiento de la viga mixta considerada.

El primer problema a resolver, una vez fijados los objetivos, se resume simplemente en que de entrada no se sabe donde colocar tantas variables juntas y mucho menos cómo ir relacionándolas; un primer paso puede consistir en fijar algunas variables y por supuesto ir acotando el problema por pasos, intentando cubrir unos objetivos intermedios.

El primer paso ha sido intentar relacionar una escuadría de madera de una determinada calidad definida por su módulo resistente, con el refuerzo de la cabeza de hormigón, es decir, con una sección mixta completa; el problema

es grande, debido a que la sección de hormigón no fisurada depende de muchos factores, estando entre los más importantes la calidad del hormigón, la madera, y la rigidez k/s de los conectadores.

Para salvar este primer inconveniente, en el ábaco, las calidades del hormigón, madera y la rigidez de los conectadores serán valores constantes, adoptando para k/s el valor infinito (en la práctica 200.000 Kp/cm^2). Definida la sección mixta, podemos calcular el módulo resistente de la sección completa transformando el hormigón a su equivalente en madera (módulo resistente de una sección homogénea), valor que se emplea únicamente para elaborar el ábaco ya que en ningún momento entra a formar parte del estudio teórico propuesto.

Por tanto tendremos que relacionar W_m módulo resistente de la vigueta de madera, canto de la cabeza de hormigón d , ancho de entrevigado a y módulo resistente de la sección homogénea $W_{\text{sec. homog.}}$ que definen las tres variables anteriores.

Para iniciar el montaje del ábaco se fija el módulo resistente de la sección homogénea ($W_{\text{sec. homog.}}$) en la zona positiva de ordenadas y el módulo resistente de la vigueta de madera (W_m) en la zona negativa (ver Fig. 5.1), elegimos un valor de entrevigado de referencia, por ejemplo 50 cm., y

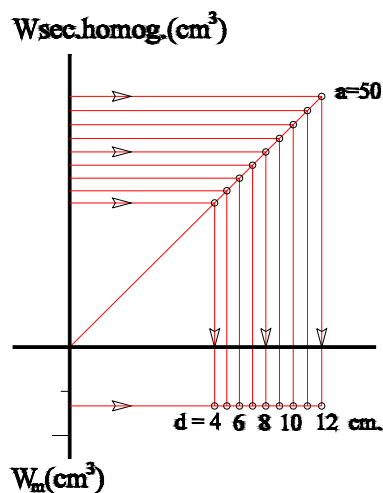


Fig. 5.1 Situación de los primeros puntos “a” y “d” para una escuadría dada.

empezamos a calcular módulos resistentes de secciones homogéneas variando el canto d desde cuatro a doce centímetros, de centímetro en centímetro.

Si estos primeros valores de ordenadas ($W_{\text{sec. homog.}}$) hacemos que tengan el mismo valor de abscisas y nos guardamos los valores de estas abscisas para cada canto, habremos obtenido los primeros puntos del ábaco. El entrevigado a de referencia, está formado por puntos que definen una recta que forma 45° porque así la hemos construido (valores de ordenadas igual a valores de abscisas), mientras que los puntos d están alineados sobre una recta horizontal, situada a la altura que nos marca el módulo resistente de la vigueta de madera que hemos elegido (W_m).

El paso siguiente consistirá en tomar otro ancho de entrevigado y volver a calcular módulos resistentes de secciones homogéneas variando d desde cuatro a doce centímetros de nuevo; las ordenadas serán las que hemos calculado, mientras que las abscisas serán las mismas que para el entrevigado de referencia, obteniendo como resultado una serie de puntos que están alineados según una recta de diferente pendiente al entrevigado anterior (ver Fig. 5.2).

Si volvemos a tomar otro valor de entrevigado y repetimos el proceso

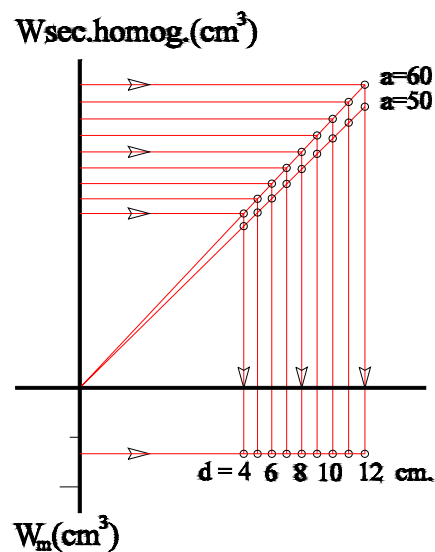


Fig. 5.2 Situación de los “a” para el siguiente entrevigado

anterior, obtenemos otra serie de puntos siempre alineados según una recta, cuya pendiente será diferente a las anteriores.

En la elaboración de los ábacos se ha variado el ancho de entrevigado entre 50 y 100 cm. de 10 en 10 cm. , obteniendo el resultado de la Fig. 5.3. Hasta ahora solo hemos variado el canto d y el ancho de entrevigado a ; si ahora elegimos otra escuadría de madera y operamos de igual forma que para la anterior, vemos que los puntos que definen el ancho de entrevigado a , quedan siempre alineados según las rectas definidas en la escuadría anterior; la razón es sencilla, el crecimiento lineal de la variable a , ocasiona también el mismo aumento en el módulo resistente de la sección homogénea, mientras que los nuevos puntos d están alineados sobre una recta horizontal, situada ahora a la altura que marca el módulo resistente de la vigueta de madera elegida (W_m).

Si se repite el proceso descrito para un número de escuadrías, se obtiene como resultado el gráfico de la figura en la zona que representa el módulo resistente de la madera y cantos d ; uniendo los puntos del mismo canto, vemos que las curvas que se forman van dando saltos, es decir, no son curvas continuas y por tanto el gráfico no es útil, ya que queríamos definir a partir de un número discreto de escuadrías, unas curvas que fuesen continuas y tal

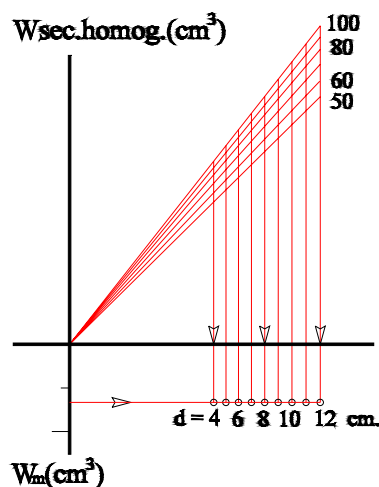


Fig. 5.3 Situación de todos los puntos de entrevigado “a” y cantos “d” para una escuadría de madera.

objetivo, como se puede apreciar, no se cumple Fig. 5.5.

La respuesta al problema está en que se pretenden mezclar escuadrías que tienen relaciones canto / ancho muy diferentes, por lo que el paso siguiente ha sido separarlas por grupos que tengan una misma relación canto / ancho, en concreto $h/b = 2'50$, $2'25$, $2'00$, $1'75$, $1'50$, $1'25$ y $h/b = 1'00$, llegando también a la conclusión que las diferencias entre grupos consecutivos llega a ser casi inapreciable, decidiendo reducir el número de grupos a tres $h/b = 2'50$, $2'00$ y $1'50$.

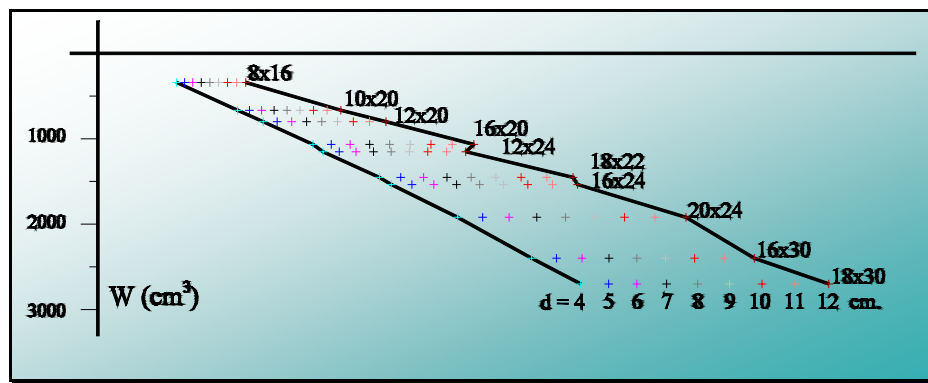


Fig. 5.5 Discontinuidades en las curvas de cantos "d"

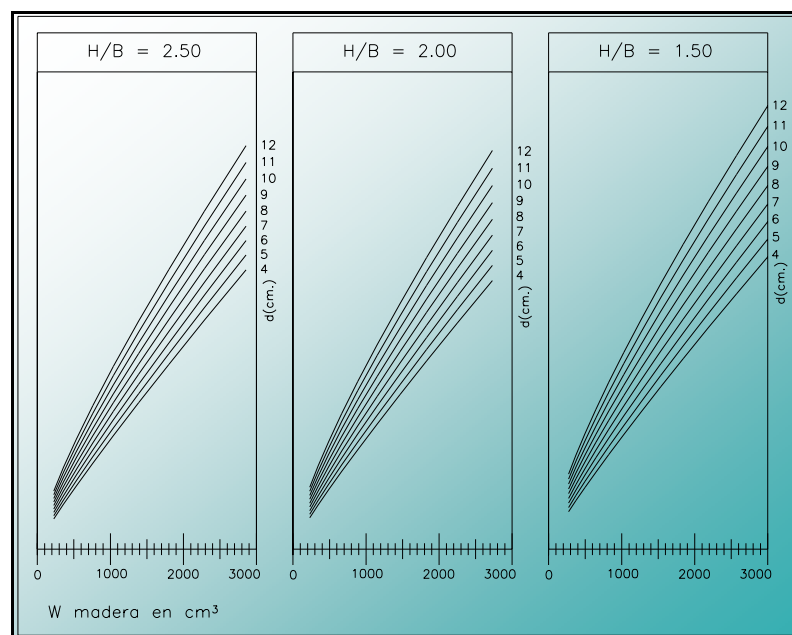


Fig. 5.4 Curvas de cantos "d" separadas por grupos y situadas en su posición final

Esta decisión nos conduce a desdoblarse el ábaco de la Fig. 5.5 en tres, que representan a cada uno de los grupos de escuadrías descritos (ver Fig. 5.4).

Si ahora intentamos la construcción del ábaco, podremos apreciar que uniendo en un determinado grupo de escuadrías los puntos que representan el mismo canto de hormigón d , obtenemos unas curvas que son continuas, con lo que ya hemos conseguido relacionar, el módulo resistente de la vigueta de madera, el canto de la cabeza de hormigón, el ancho de entrevigado y el módulo resistente de la sección mixta homogénea que definen las variables anteriores para el caso rigidez k/s infinito (ver Fig. 5.4)

Para la elaboración de los ábacos, se han tomado las escuadrías de la Tabla 5.1; estos valores, cubren módulos resistentes de la madera desde aproximadamente 225 cm^3 hasta casi 3000 cm^3 , quedando incluidos la mayoría de los casos que se pueden plantear en la práctica.

Si se fija la atención en la parte del ábaco que define los anchos de entrevigado, vemos que su lectura resulta poco clara, sobre todo cuando

h/b = 2'5		h/b = 2'0		h/b = 1'5	
b x h =	6 x 15'0	b x h =	7 x 14'0	b x h =	9 x 13'5
	7 x 17'5		8 x 16'0		10 x 15'0
	8 x 20'0		9 x 18'0		11 x 16'5
	9 x 22'5		10 x 20'0		12 x 18'0
	10 x 25'0		11 x 22'0		13 x 19'5
	11 x 27'5		12 x 24'0		14 x 21'0
	12 x 30'0		13 x 26'0		15 x 22'5
	13 x 32'5		14 x 28'0		16 x 24'0
	14 x 35'0		15 x 30'0		17 x 25'5
			16 x 32'0		18 x 27'0
					19 x 28'5
					20 x 30'0

Tabla 5.1. Escuadrías empleadas para la confección de los ábacos

elegimos escuadrías muy pequeñas; este inconveniente a llevado a reelaborar la representación gráfica del entrevigado y la disposición final del ábaco (ver Fig. 5.6).

Para ello, se han situado líneas paralelas representando valores de entrevigado de 50, 60, 70, 80, 90 y 100 cm., donde podemos leer las ordenadas que representan al módulo resistente de la sección homogénea, teniendo curvas continuas que permiten entrar en esta zona del ábaco con un entrevigado intermedio, por ejemplo 75 cm. (ver Fig. 5.6) ; el resultado de lo anteriormente expuesto, puede resumirse en el siguiente ejemplo de utilización:

Supongamos una vigueta de madera de dimensiones $b \times h = 18 \times 27$ cm., con un ancho de entrevigado $a = 80$ cm. y canto $d = 6$ cm.; el primer paso es obtener la relación canto/ancho,

$$h / b = 27 / 18 = 1'5$$

se calcula a continuación el módulo resistente de la sección

$$W_m = b \cdot h^2 / 6 = 18 \times 27^2 / 6 = 2187 \text{ cm}^3$$

si ahora se traza una recta vertical que pase por $W_m = 2187 \text{ cm}^3$ y que intersekte con la curva correspondiente al canto de hormigón $d = 6$ cm.,

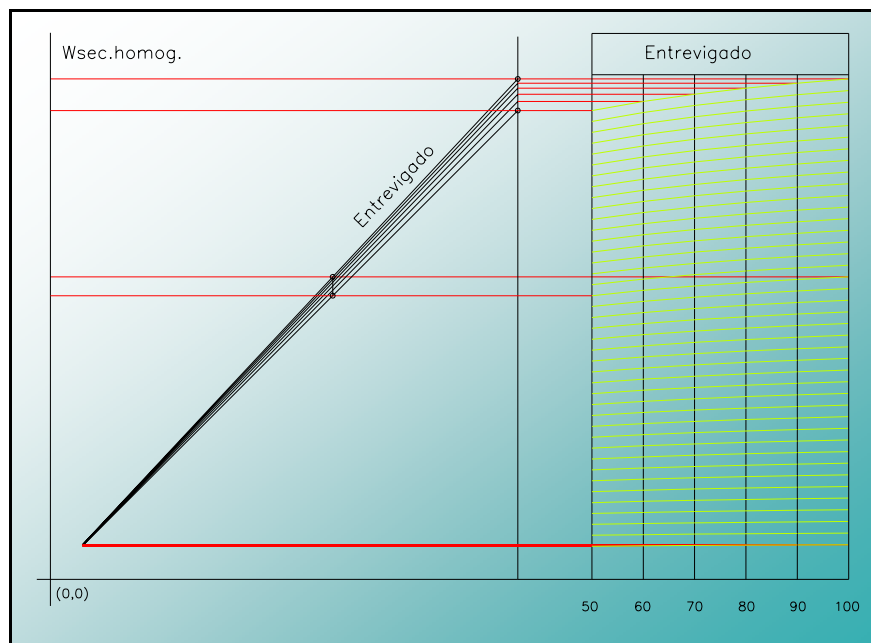


Fig. 5.6 Cambio del gráfico izquierdo correspondiente a entrevigados, por el gráfico derecho donde se facilita la lectura del entrevigado, pudiendo escoger un entrevigado intermedio.

acabamos de relacionar la escuadría de madera con el módulo resistente de la viga mixta completa (sección homogénea $k/s = \infty$) para un ancho de entrevigado $a = 50$ cm., que es el entrevigado de referencia.

Para obtener el valor correspondiente al módulo resistente de la viga mixta completa y ancho $a = 80$ cm.; tendremos que desplazarnos horizontalmente en el gráfico de entrevigado y seguir la curva marcada hasta llegar al entrevigado deseado, posteriormente, saldremos del gráfico por la parte derecha trazando una línea horizontal. (ver Fig. 5.7)

El módulo resistente de la viga mixta completa, es decir, sección homogénea con rigidez en la conexión $k/s = \infty$, depende de los módulos de deformación del hormigón y madera, por lo que dichos valores son constantes en el gráfico. Cabe resaltar que el módulo resistente, es una variable auxiliar que sirve para elaborar el ábaco pero que queda oculta en él, es decir, no aparece grafiada en ningún lugar ni tiene marcada una escala.

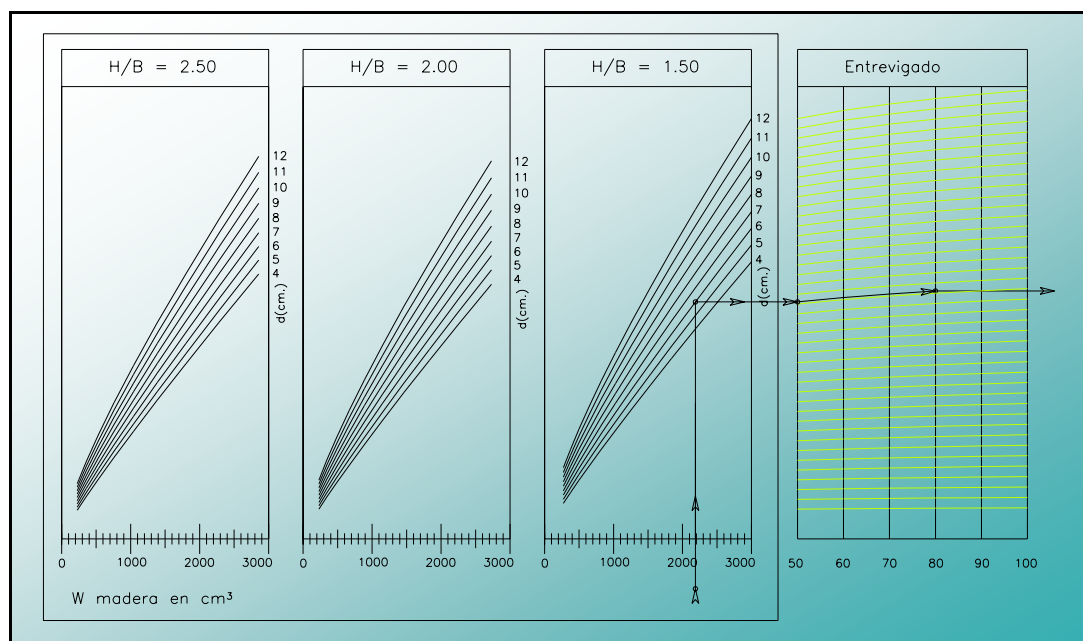


Fig. 5.7 Abaco que relaciona “Wm”, “d”, “a” y “Wsec.homog”

5.1 CURVAS QUE REPRESENTAN CARGAS DE AGOTAMIENTO.

En el apartado 4.2.2 se ha comentado la obtención de la carga variable que produce el agotamiento de una sección mixta, bajo unas condiciones determinadas de flecha y resistencia, que concretamente son:

- Condición de tensiones iniciales en hormigón y madera.

$$\sigma_{c,\max}^{t=0} \leq \sigma_{c,\text{adm}} \quad ; \quad \sigma_{w,\max}^{t=0} \leq \sigma_{w,\text{adm}}$$

- Condición de tensiones finales en hormigón y madera.

$$\sigma_{c,\max}^{t=\infty} \leq \sigma_{c,\text{adm}} \quad ; \quad \sigma_{w,\max}^{t=\infty} \leq \sigma_{w,\text{adm}}$$

- Limitación de flecha ($L/300$) tanto para cargas instantáneas como para efectos diferidos.

$$f_{\max}^{t=0} \leq L/300 \quad ; \quad f_{\max}^{t=\infty} \leq L/300$$

Al calcular la carga variable Q_1 que provoca el agotamiento cumpliendo simultáneamente las seis condiciones, también hemos fijado las cargas Q_0 (peso propio del forjado original más el refuerzo de hormigón) y Q_2 (sobrecarga de pavimento más tabiquería) , es decir, conocemos la carga total $Q = Q_0 + Q_1 + Q_2$ que produce agotamiento.

Si cogemos el bloque de programa que calcula la carga mencionada para un caso muy concreto y lo convertimos en un proceso automático, es decir, que el mismo bloque sea capaz de calcular una serie de secciones de madera con sus correspondientes refuerzos, y representar gráficamente para cada caso la carga que produce el agotamiento, habremos dado un paso importante en la realización del ábaco que queremos obtener.

Vamos a fijar las seis condiciones de agotamiento para una sección mixta determinada; para ello, dejamos como valores constantes la tensión admisible

en el hormigón y madera así como los respectivos módulos de deformación; el programa, de forma automática irá variando los siguientes valores:

1. Todas las escuadrías de madera representadas en la **Tabla 1**.
2. El entrevigado a de 50 a 100 cm. de 2 en 2 cm.
3. Canto del refuerzo d desde 4 a 12 cm. variando cada centímetro.
4. La rigidez de los conectadores k/s de entrada será un valor constante igual a 1000 Kp/cm^2 .
5. Luz de la vigueta de 3 a 6 metros, variando cada metro.

Los puntos mencionados anteriormente dan como resultado el procesado de 29.016 casos, es decir, cargas de agotamiento; si en cada uno de ellos, calculamos al mismo tiempo el módulo resistente de la sección mixta homogénea en la situación de conexión rígida, podremos representar gráficamente los valores, situando en ordenadas el módulo resistente de la sección

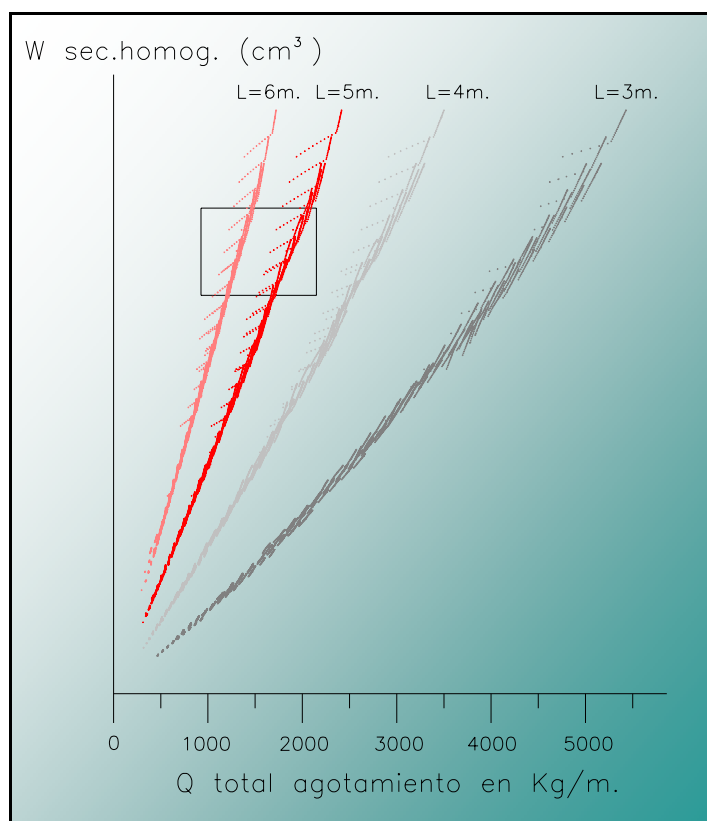


Fig. 5.8 Curvas que representan cargas de agotamiento.

mixta homogénea y en abscisas la carga total de agotamiento Q en Kp/m. (ver Fig. 5.8), pudiendo observar que dichas cargas son nubes de puntos ordenadas claramente según unas curvas, correspondiéndose con la variable L (luz de la vigueta), siendo la curva $L = 3\text{m}$. aquella que da como resultado cargas más elevadas, disminuyendo estas conforme va aumentando la luz, posteriormente, en los ábacos finales el estudio se ampliará hasta 8 metros.

Si ampliamos una zona de las curvas (Fig. 5.9), las nubes de puntos tienen una disposición muy concreta, aparecen una series de puntos que se acomodan prácticamente a la curva, mientras que otra series se despegan casi en sentido perpendicular.

Para saber exactamente que tipo de fallo se corresponde con aquellos puntos que se desvían claramente de la curva, se ha tenido que incrementar el esfuerzo en programación, primero elaborando un editor de textos, para posteriormente, procesar una salida de resultados que vaya indicando por escrito el tipo de condición que está marcando la carga de agotamiento.

La respuesta, es que siempre pertenecen al mismo tipo de condición de agotamiento, cuando el hormigón alcanza el valor fijado como tensión máxima admisible para $t=0$, y corresponde a los anchos de entrevigado más pequeños; al mismo tiempo, se puede apreciar que dicha forma de agotamiento se produce para valores de escuadrías medianas a grandes, siempre con relación a las tomadas para la formación de los ábacos. También hay que destacar, que

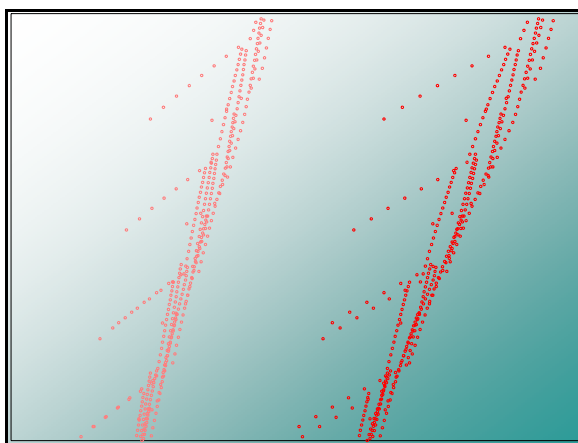


Fig. 5.9 Detalle de las nubes de puntos que forman las cargas de agotamiento

dependiendo de la calidad del hormigón, madera y rigidez de los conectadores, hay ocasiones en que no se produce este tipo de fallo en toda la curva.

El problema a resolver, consistirá en el trazado de una curva que represente a cada nube de puntos de la mejor forma posible; pensando en principio que el ajuste idóneo se obtendría en base a la estadística, se procesaron los puntos correspondientes a cada luz, ajustando la nube a una curva polinómica de 2º grado $y = ax^2 + bx + c$ por el método de mínimos cuadrados, dando como resultado una curva más cercana a la zona donde se encontraban la mayor parte de los puntos, tal como se puede apreciar en la Fig. 5.10.

A dicho ajuste, se le encuentra un gran inconveniente ya que todos los puntos situados a la izquierda de la curva están representando cargas de agotamiento que vamos a estar ignorando; si nuestro objetivo es elaborar unos gráficos que sirvan para dimensionar o bien saber la carga total de agotamiento de una vigueta de madera con su refuerzo de hormigón, no podemos dejar puntos a la parte derecha de la curva, de lo contrario, en bastantes casos nos encontraremos del lado de la inseguridad. Por tanto se han elegido como curvas representativas, las envolventes que dejan todos los puntos de cada una de las nubes a su derecha. (ver Fig. 5.11)

Si fijamos la atención en el gráfico que representa las cargas de

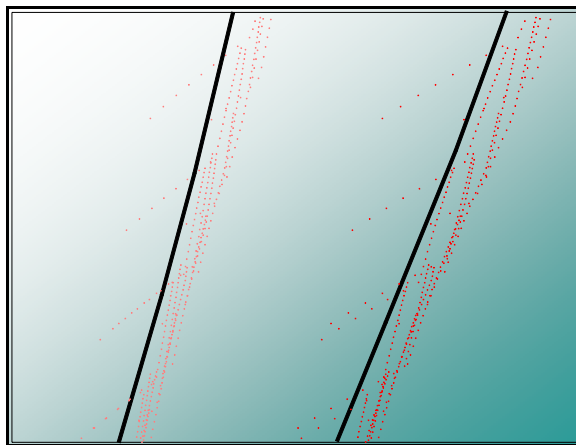


Fig. 5.10 Situación de las curvas de ajuste en las nubes de puntos

agotamiento (Fig. 5.8), algunos valores de escuadrías grandes combinados con una luz pequeña (tres metros), dan como resultado cargas cercanas a 5500 Kp/m., que son muy superiores a los valores que podemos encontrar en la práctica habitual; con el fin de acotar los resultados obtenidos, se han representado valores en los ábacos de hasta 3000 Kp/m., así mismo, se ha tomado como cota inferior valores de carga total Q en los que la carga variable Q_1 sea mayor o igual a 200 Kp/m², que corresponde a la sobrecarga de uso en viviendas.

5.2 ABACOS FINALES

Si ahora colocamos el primer ábaco obtenido (Fig. 5.7), que relaciona “ W_m ”, “ d ”, “ a ” y “ $W_{sec.homog}$ ”, al lado del ábaco (Fig. 5.11) en el se tiene “ $W_{sec.homog}$ ” y la carga total “ Q ” en Kp/m. que produce el agotamiento de la sección mixta, tenemos como resultado final el gráfico que va relacionando todas las variables que intervienen en el problema.

El bloque principal de programa (procedimiento) que realiza esta tarea es Q_{agot_graf} situado bajo el módulo “MODULE1.BAS” estando relacionado con otros procedimientos y funciones, que son igualmente necesarios su funcionamiento.

La salida gráfica se realiza en una pantalla independiente a la principal (Fig. 5.12); no obstante, con el fin de mejorar la calidad final, el mismo bloque de programa es capaz de generar ficheros de intercambio de datos en formato DXF, ayudándose con los procedimientos “abredxf”, “lindxf”, “punto dxf” y

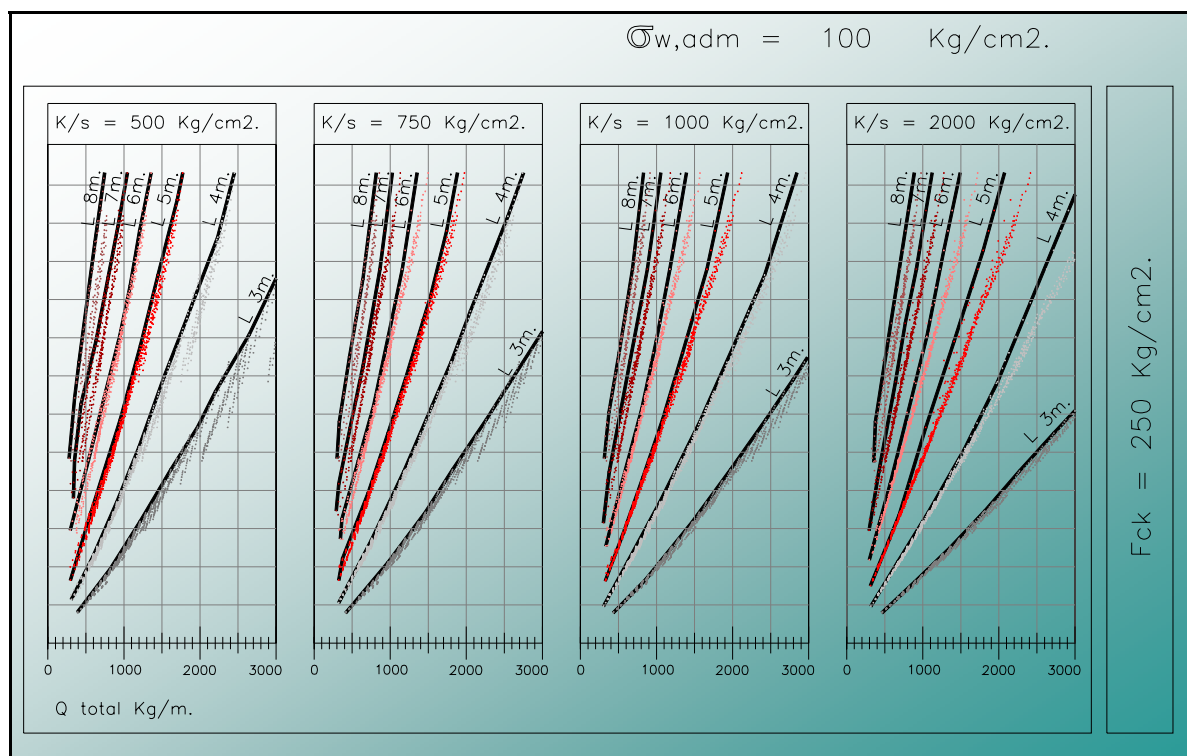


Fig. 5.11 Zona del ábaco correspondiente a los puntos que representan cargas de agotamiento con las envolventes que representan a dichas curvas.

“cierradx”, permitiendo que la salida de resultados pueda ser procesada por un programa de dibujo, como por ejemplo AutoCad R12, donde se han añadido posteriormente textos.

Los ábacos obtenidos se han clasificado en tres páginas, en cada una de ellas la tensión máxima admisible de la madera es constante y aparece grafiada en la cabecera, tomando como valores representativos 80, 100 y 120 Kp/cm², teniendo por tanto fijados los respectivos módulos de deformación E_w .

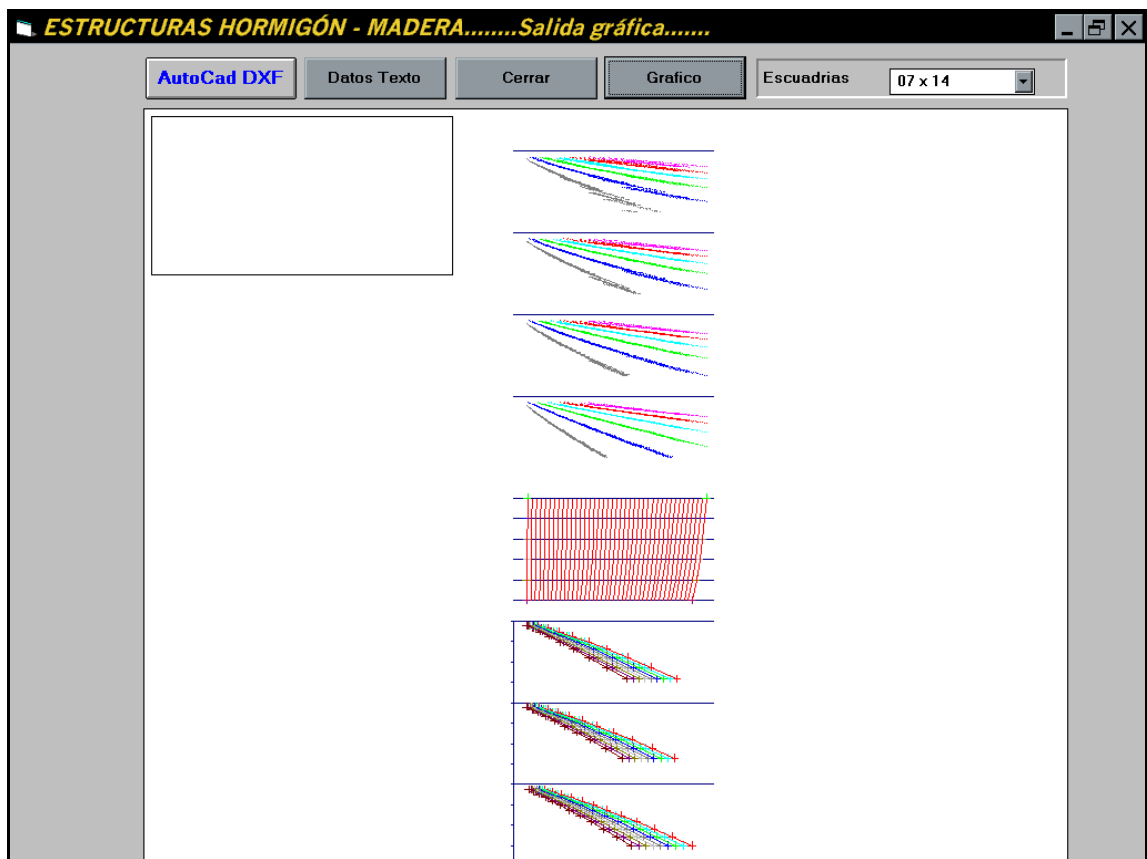


Fig. 5.12 Pantalla de salida gráfica del programa

La calidad del hormigón aparece representada lateralmente en cada página por tres resistencias características, habiendo adoptado los valores de $F_{ck} = 250, 300$ y 350 Kp/cm².

Para la rigidez de los conectadores k/s se han tomado los valores representativos de 500, 750, 1000 y 2000 Kp/cm² quedando comprendidos en

estos intervalos la mayoría de los casos de refuerzo que se pueden plantear en la práctica. A la vista de los ábacos finales, se ha llegado a las siguientes conclusiones:

1. Un valor más alto de la rigidez k/s , también aumenta de forma notable la rigidez a flexión de la viga mixta, o visto desde la vertiente de cargas, la carga total de agotamiento aumenta de forma notable con una mayor rigidez de los conectadores. La anterior afirmación la podemos constatar sin más que entrar en cualquier gráfico de los obtenidos y trazar una línea horizontal en la zona que representa la rigidez k/s ; por ejemplo, si entramos en el gráfico $\sigma_{w,adm} = 100 \text{ Kp/cm}^2$, $F_{ck} = 300 \text{ Kp/cm}^2$, $L = 3\text{m.}$, comenzando la lectura de $k/s = 2000 \text{ Kp/cm}^2$, el valor máximo de la carga total es $Q = 3000 \text{ Kp/m.}$, si nos desplazamos horizontalmente obtendremos:

$K/s = 2000 \text{ Kp/cm}^2$	$Q = 3000 \text{ Kp/m.}$
$K/s = 1000 \text{ Kp/cm}^2$	$Q = 2500 \text{ Kp/m.}$
$K/s = 750 \text{ Kp/cm}^2$	$Q = 2300 \text{ Kp/m.}$
$K/s = 500 \text{ Kp/cm}^2$	$Q = 2100 \text{ Kp/m.}$

2. Contando que $\sigma_{w,adm}$ sea constante, que a nivel de gráficos se traduce entrando en una página concreta, para un mismo valor de rigidez de los conectadores k/s , una mejora en la calidad del hormigón no suele suponer, en general, mayor capacidad de carga que pueda apreciarse de forma notable. Esta conclusión, se puede constatar, si en alguna zona de los gráficos que representa la rigidez k/s trazamos una línea vertical que abarque las tres calidades de hormigón representadas, en muchos casos, la variación en el gráfico es prácticamente nula.

Los siguientes ejemplos, pueden ilustrar de forma precisa la anterior conclusión; supongamos que vamos variando la calidad del hormigón y con la ayuda del programa de cálculo vamos obteniendo resultados, dejando constantes los siguientes valores:

$$b \times h = 12 \times 24 \text{ ; } a = 70 \text{ cm. ; } d = 5 \text{ cm. ; } L = 5 \text{ m. ; } \sigma_{w,adm} = 80 \text{ Kp/cm}^2 \text{ ; } k/s = 1000 \text{ Kp/cm}^2 \text{ .}$$

F_{ck} (Kp/cm ²)	Alt. Fibra t = 0	$Q_{tot.}$ (Kp/m.)	Agota por:	Alt. Fibra t = ∞
175	4'05 cm.	566'94	Flecha t = ∞	5'00 cm.
250	3'75 cm.	584'77	Flecha t = ∞	5'00 cm.
300	3'60 cm.	593'41	Flecha t = ∞	5'00 cm.
350	3'48 cm.	600'48	Flecha t = ∞	5'00 cm.

Si se observan los resultados de la tabla, vemos que una mejora en la calidad del hormigón del 100% , comparando $F_{ck} = 350$ Kp/cm² y $F_{ck} = 175$ Kp/cm², supone solo una mejora en la carga total del 5'91% ($600'48 / 566'94 = 1'0591$).

Si buscamos relaciones entre valores de F_{ck} que aparecen en los gráficos, una mejora en la calidad del hormigón del 40% , comparando $F_{ck} = 350$ Kp/cm² y $F_{ck} = 250$ Kp/cm², supone solo una mejora en la carga total del 2'68% ($600'48 / 584'77 = 1'0268$).

Veamos otro ejemplo:

$b \times h = 8 \times 16$; $a = 50$ cm. ; $d = 4$ cm. ; $L = 4$ m. ; $\sigma_{w,adm} = 100$ Kp/cm² ; $k/s = 2000$ Kp/cm² .

Si observamos los resultados de la tabla, vemos que una mejora en la calidad del hormigón del 100% , comparando $F_{ck} = 350$ Kp/cm² y $F_{ck} = 175$ Kp/cm², supone solo una mejora en la carga total del 4'41% , que se obtiene de ($382'95 / 366'77 = 1'0441$); si se buscan relaciones entre valores de F_{ck} que aparecen en los gráficos, una mejora en la calidad del

F_{ck} (Kp/cm ²)	Alt. Fibra t = 0	$Q_{tot.}$ (Kp/m.)	Agota por:	Alt. Fibra t = ∞
175	3'69 cm.	366'77	$\sigma_{w,adm}$ t = ∞	4'00 cm.
250	3'43 cm.	375'62	$\sigma_{w,adm}$ t = ∞	4'00 cm.
300	3'30 cm.	379'65	$\sigma_{w,adm}$ t = ∞	4'00 cm.
350	3'19 cm.	382'95	$\sigma_{w,adm}$ t = ∞	4'00 cm.

hormigón del 40% , comparando $F_{ck} = 350 \text{ Kp/cm}^2$ y $F_{ck} = 250 \text{ Kp/cm}^2$, supone solo una mejora en la carga total del 1'95% ($382'95 / 375'62 = 1'0195$).

La respuesta a esta conclusión la podemos obtener de la segunda columna de las tablas expuestas, en ella aparecen las alturas de fibra del hormigón que en cada momento queda comprimido, pudiendo apreciar que a más alta calidad tenemos más hormigón fisurado, siendo esta una regla que podemos establecer con carácter general en las secciones mixtas hormigón - madera que hemos analizado.

3. En las estructuras mixtas objeto del estudio, se han analizado multitud de casos tanto por las escuadrías empleadas como por los tipos de refuerzos de hormigón que se han proyectado, llegando a la conclusión de que, como en este tipo de estructuras no es posible la conexión rígida, en una amplia mayoría de los casos aparece hormigón en tracción; como se ha comentado, una mejor calidad de hormigón no supone ninguna mejora sustancial, simplemente hay más hormigón fisurado. Otros factores que influyen en esta circunstancia son el ancho de entrevigado, el canto del refuerzo y sobre todo la rigidez k/s de los conectadores.

El hormigón fisurado no entra a formar parte de la sección resistente a flexión, simplemente supone un peso muerto sin ninguna función, siendo razonable, que en el refuerzo proyectado aprovechemos en la medida de lo posible sus características. Veamos un ejemplo:

Si observamos los resultados obtenidos en un caso anterior para hormigón H-350:

$b \times h = 12 \times 24$; $a = 70 \text{ cm.}$; $d = 5 \text{ cm.}$; $L = 5 \text{ m.}$; $\sigma_{w,adm} = 80 \text{ Kp/cm}^2$;
 $k/s = 1000 \text{ Kp/cm}^2$.

F_{ck} (Kp/cm ²)	Alt. Fibra $t = 0$	$Q_{tot.}$ (Kp/m.)	Agota por:	Alt. Fibra $t = \infty$
350	3'48 cm.	600'48	Flecha $t = \infty$	5'00 cm.

Vemos que para $t = 0$ tenemos $5 - 3'48 = 1'52$ cm. de hormigón fisurado que no estamos aprovechando; si ahora variamos un poco el detalle constructivo, intentando aligerar con 3 cm. de poliestireno (o bien colocando un tablero de madera que realice la misma función, sirviendo de encofrado perdido) y siendo el espesor del refuerzo de 4 cm. obtenemos:

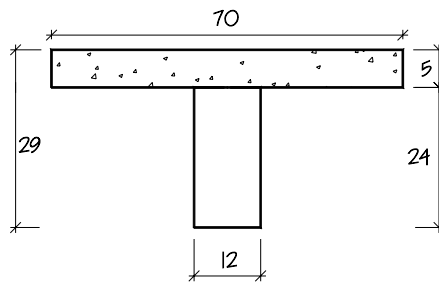


Fig. 5.13 Sección transversal, altura del hormigón comprimido 3'48 cm.

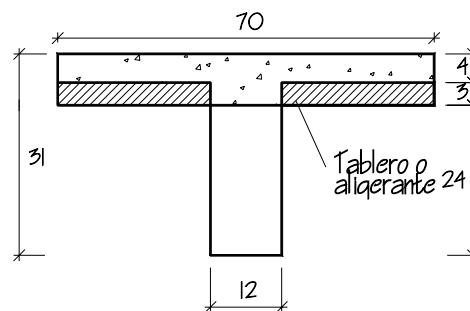


Fig. 5.14 Sección transversal optimizada, prácticamente los 4cm. de hormigón están en compresión.

F_{ck} (Kp/cm ²)	Alt. Fibra $t = 0$	$Q_{tot.}$ (Kp/m.)	Agota por:	Alt. Fibra $t = \infty$
350	3'71 cm.	727'40	Flecha $t = \infty$	7'00 cm.

A la vista de los resultados tenemos $4 - 3'71 = 0'29$ cm. de hormigón fisurado consiguiendo una mejora del 21% ($727'40 / 600'48 = 1'21$) en la carga total; se ha colocado menos canto de hormigón pero dispuesto de forma más idónea, que unido a un aumento de 2 cm. en el canto total de la sección, ha reportado notables ventajas en la capacidad de carga.

Utilizando los ábacos.

Aunque la forma de utilizar los ábacos puede ser muy diversa, vamos a exponer mediante un ejemplo, la manera directa y secuencial para obtener la carga total q en Kp/m. que agota la sección mixta según los criterios expuestos. Si suponemos una sección mixta como la expuesta en la Fig. 5.13, tenemos

$$b \times h = 12 \times 24 \text{ cm.} \quad ; \quad a = 70 \text{ cm.} \quad ; \quad d = 5 \text{ cm.} \quad ; \quad L = 5 \text{ m.}$$

si tomamos $\sigma_{w,adm.} = 100 \text{ Kp/cm}^2$ y hormigón H-250.

Como la relación $H/B = 2$ y el módulo resistente de la madera,

$$w = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{12 \times 24^2}{6} = 1152 \text{ cm}^3$$

si entramos en la tabla correspondiente a la calidad de madera y hormigón definidas (línea discontinua del segundo ábaco), trazaremos una línea vertical por el módulo resistente calculado hasta que intersecte con la curva correspondiente a $d = 5 \text{ cm.}$, desplazándonos en horizontal hasta el gráfico de entrevigado, donde seguiremos las curvas allí marcadas hasta intersectar con la línea vertical que representa el entrevigado $a = 70 \text{ cm.}$; a partir de este momento, el desplazamiento por el gráfico se realizará trazando una línea horizontal, que intersectará con las curvas correspondientes a $L = 5 \text{ m.}$ dentro de cada gráfico k/s , obteniendo los siguientes valores:

$$k/s = 500 \text{ Kp/cm}^2 \quad q_{tot} = 600 \text{ Kp/m.}$$

$$k/s = 750 \text{ Kp/cm}^2 \quad q_{tot} = 650 \text{ Kp/m.}$$

$$k/s = 1000 \text{ Kp/cm}^2 \quad q_{tot} = 700 \text{ Kp/m.}$$

$$k/s = 2000 \text{ Kp/cm}^2 \quad q_{tot} = 730 \text{ Kp/m.}$$

que comparados con resultados obtenidos del programa

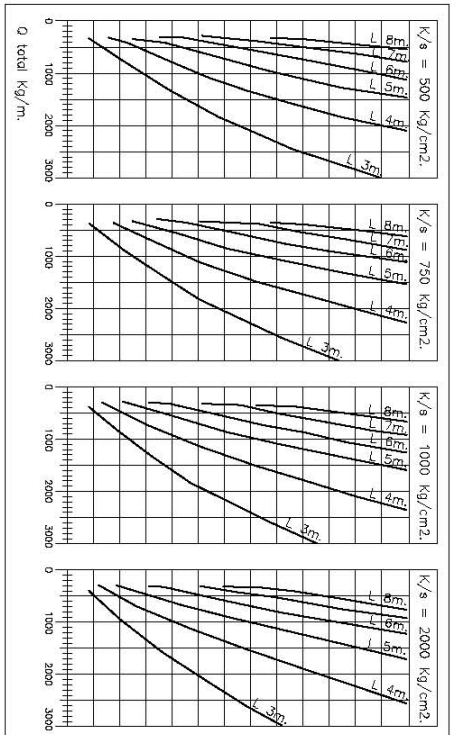
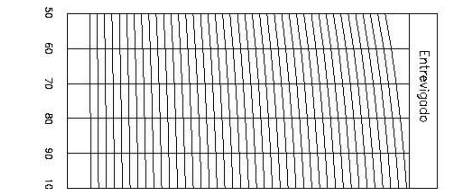
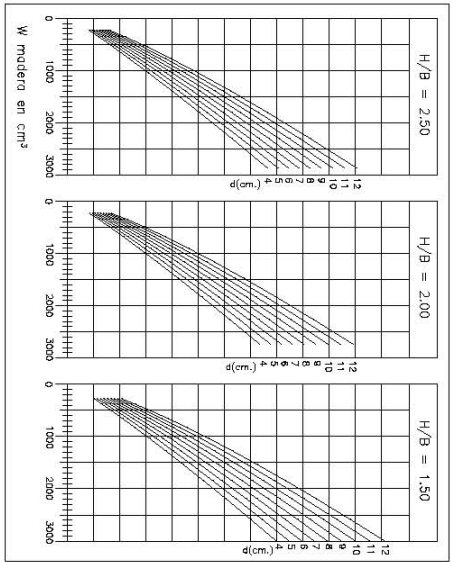
$$k/s = 500 \text{ Kp/cm}^2 \quad q_{tot} = 627 \text{ Kp/m.}$$

$$k/s = 750 \text{ Kp/cm}^2 \quad q_{tot} = 667 \text{ Kp/m.}$$

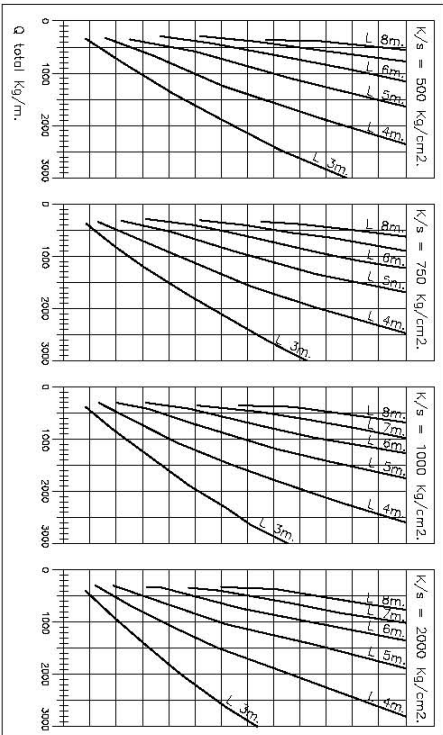
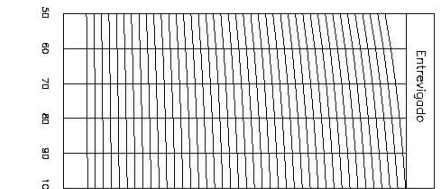
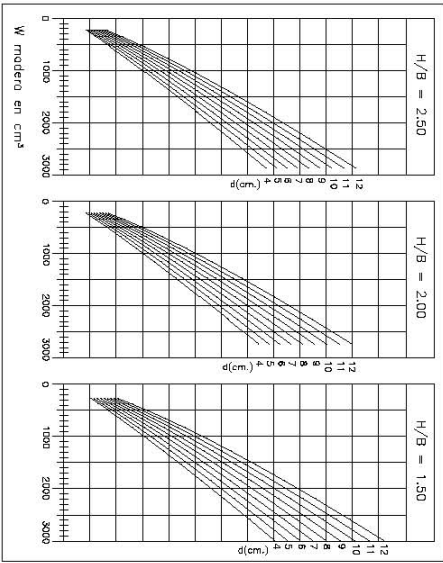
$$k/s = 1000 \text{ Kp/cm}^2 \quad q_{tot} = 694 \text{ Kp/m.}$$

$$k/s = 2000 \text{ Kp/cm}^2 \quad q_{tot} = 745 \text{ Kp/m.}$$

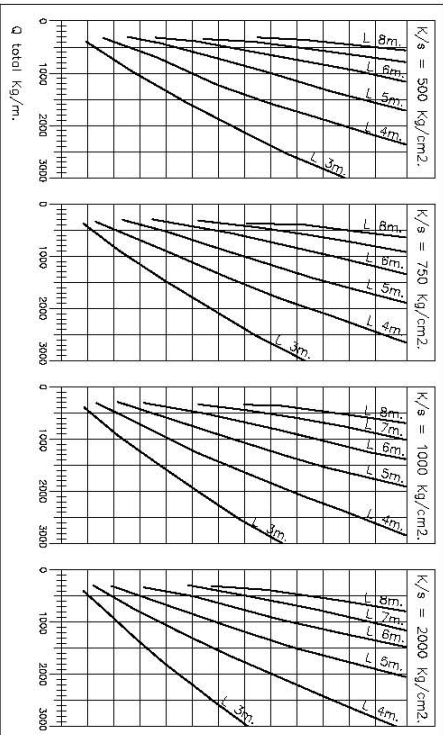
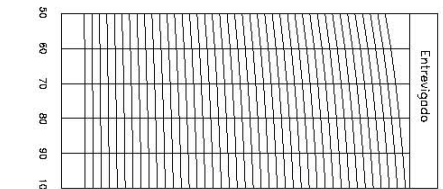
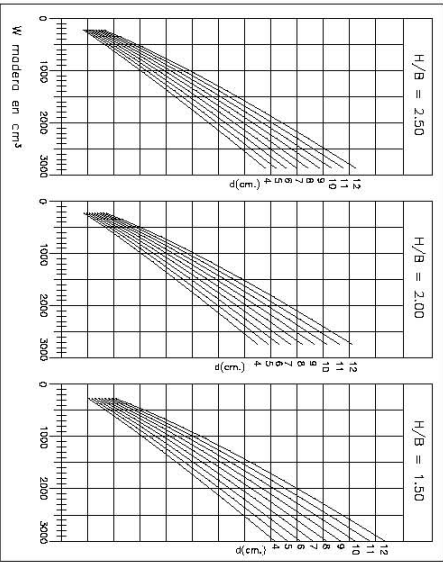
vemos que son casi idénticos, ya que las diferencias en este caso vienen marcadas por la precisión que podemos obtener en los ábacos.



$F_{ck} = 250 \text{ Kg/cm}^2$

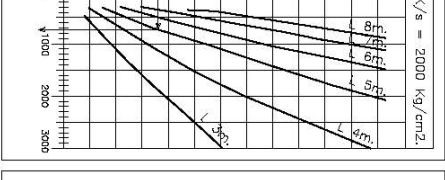
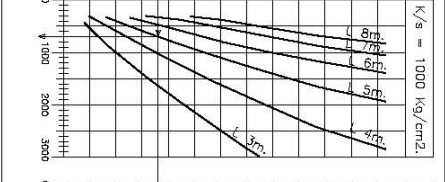
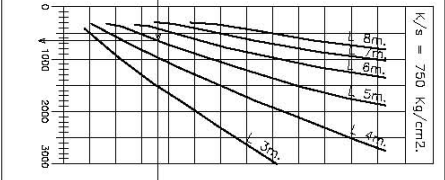
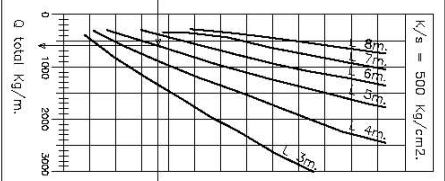
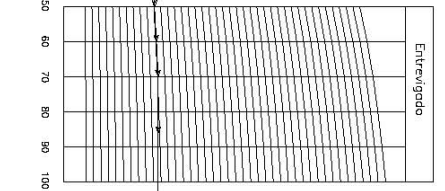
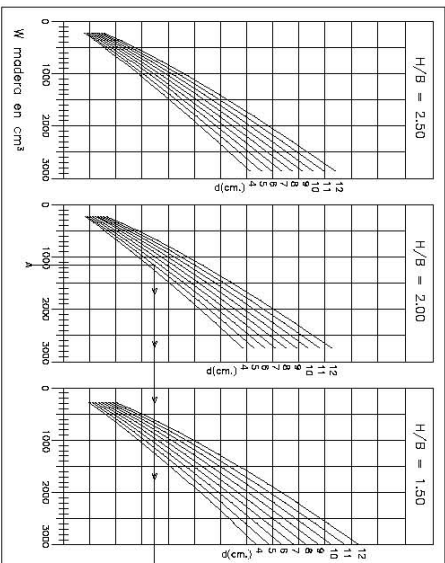


$F_{ck} = 300 \text{ Kg/cm}^2$

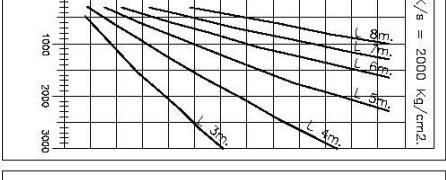
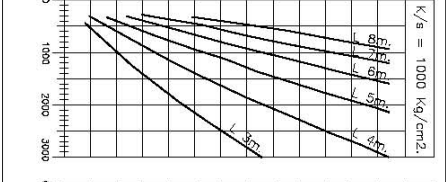
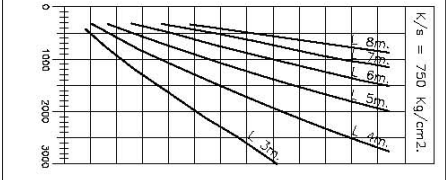
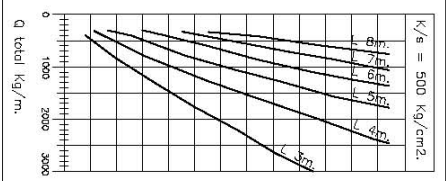
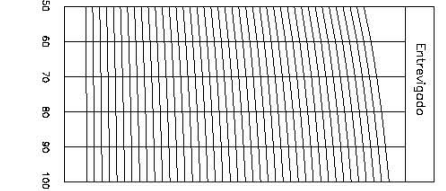
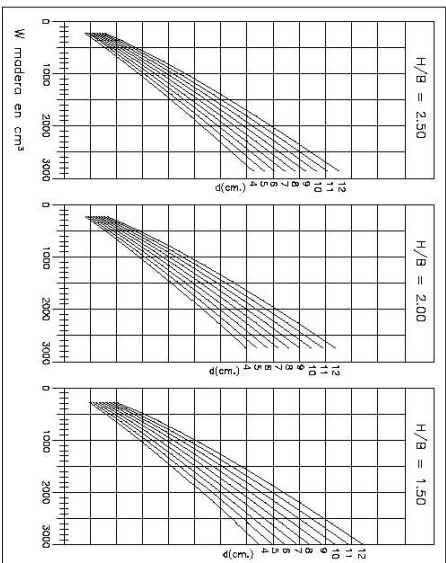


$F_{ck} = 350 \text{ Kg/cm}^2$

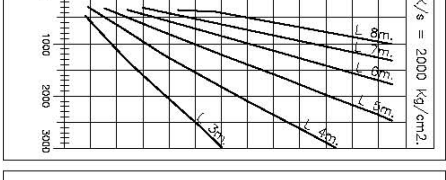
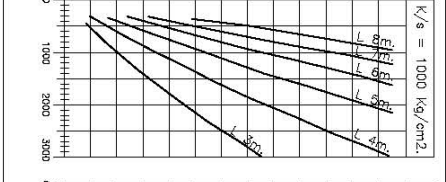
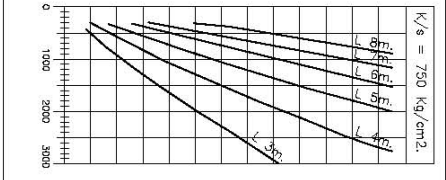
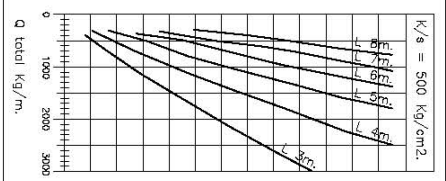
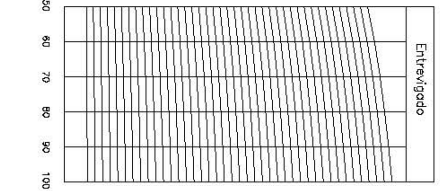
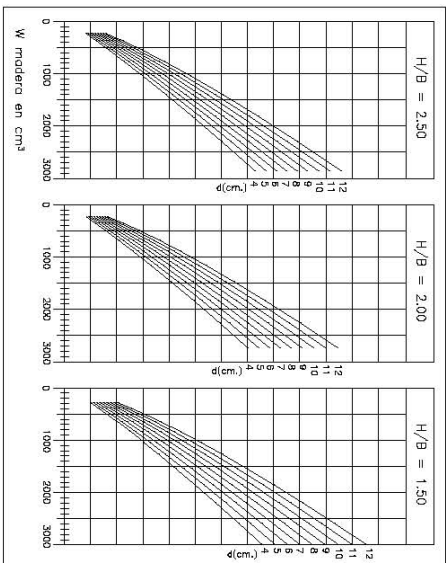
$\sigma_{w,adm} = 100 \text{ Kg/cm}^2$



Fck = 250 Kg/cm².

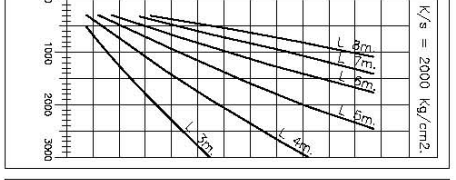
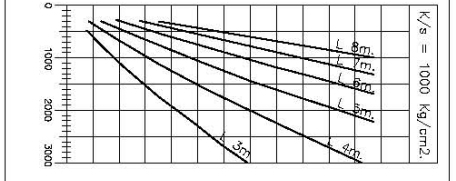
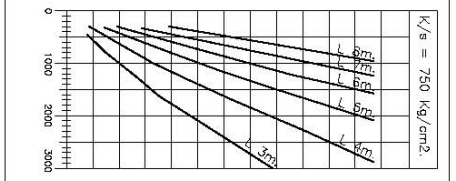
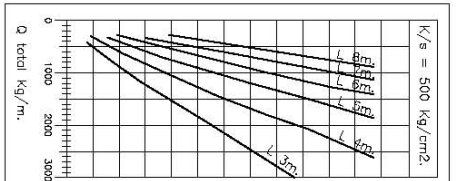
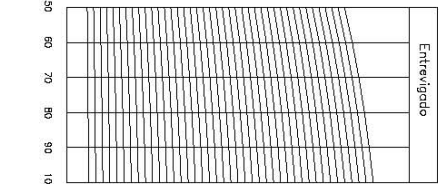
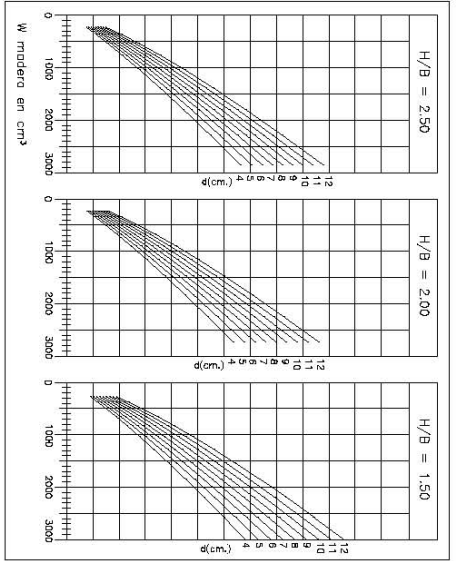


Fck = 300 Kg/cm².

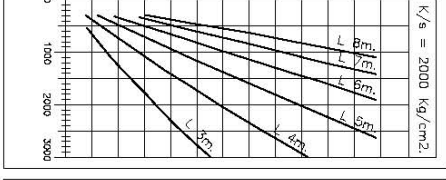
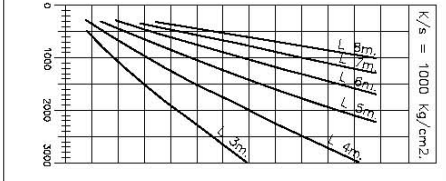
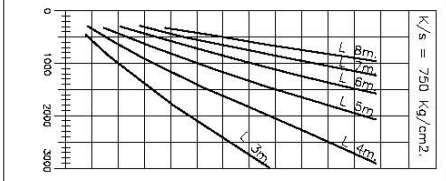
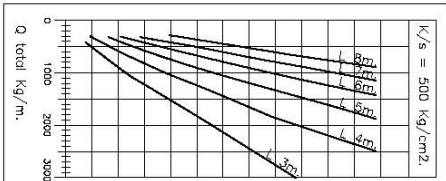
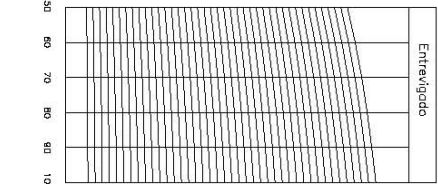
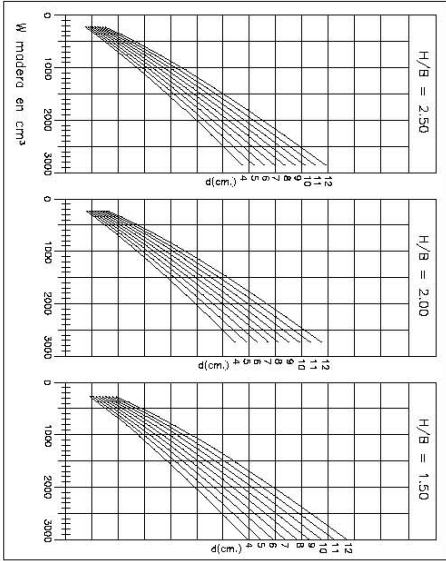


Fck = 350 Kg/cm².

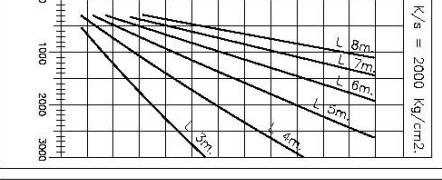
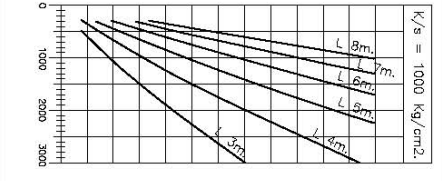
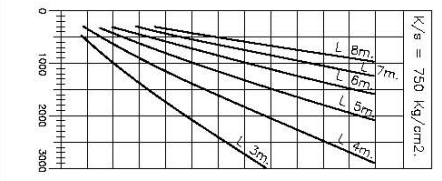
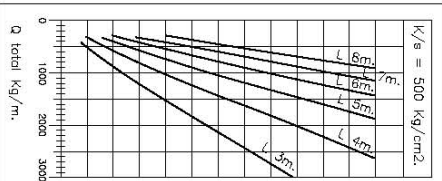
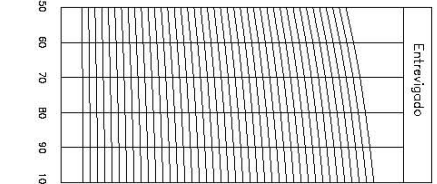
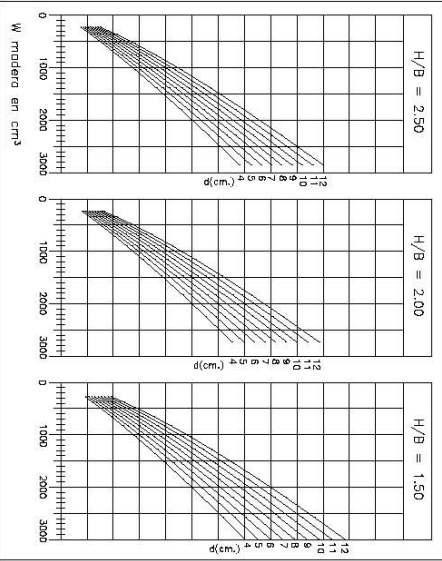
$\sigma_{w,adm} = 120 \text{ Kg/cm}^2$



Fck = 250 Kg/cm².



Fck = 300 Kg/cm².



Fck = 350 Kg/cm².

6. CONCLUSIONES, LÍNEAS DE ACTUACIÓN FUTURA

Como conclusiones de carácter general, de acuerdo con los objetivos propuestos al inicio del trabajo, podemos decir que como resultado del mismo:

1. Se ha desarrollado un procedimiento de cálculo para estructuras mixtas hormigón - madera con conexión deformable, sometidas a flexión, que tiene en cuenta la fisuración del hormigón bajo tensiones de tracción, reduciendo su sección a efectos resistentes. El estudio, se ha orientado a la rehabilitación de antiguos forjados de madera, para que la estructura original reforzada sea capaz de responder con plenas garantías a las actuales exigencias de seguridad, manteniendo su primitivo aspecto, que en muchos casos para el arquitecto suele ser un objetivo a cumplir.
2. Dada la complejidad que supone la aplicación práctica de este procedimiento, se ha desarrollado también un programa informático que permite, de forma sencilla, tanto la entrada de datos como la salida de resultados; con su desarrollo posterior, se ha llegado a la obtención de unos gráficos que, además de suponer una ayuda valiosa para el cálculo, nos ofrecen una visión general del comportamiento del sistema, relacionando la gran cantidad de variables que intervienen.

Seguidamente, como consecuencia del análisis realizado sobre numerosos casos mediante la aplicación del procedimiento desarrollado, sobre todo de los gráficos, que permiten detectar la sensibilidad del sistema propuesto a las diferentes variables que definen su comportamiento, también podemos concluir:

3. Un valor alto de la rigidez k/s de los conectadores, aumenta de forma notable la rigidez a flexión de la estructura mixta, o visto desde la vertiente de cargas, la carga de agotamiento crece sensiblemente al incrementar la rigidez de los conectadores.
4. Manteniendo constante la resistencia de la madera, lo que equivale a comparar los gráficos situados en la misma página, y la rigidez de los conectadores, mejorar la calidad del hormigón no supone, en general, un incremento sensible de la capacidad de carga de la pieza mixta; para constatar esta afirmación, si en los gráficos correspondientes de k/s trazamos una línea vertical que abarque las tres calidades de hormigón representadas, la variación de la carga de agotamiento, en la mayor parte de los casos, es prácticamente nula.
5. Analizando numéricamente por medio del programa de cálculo distintas secciones de la misma geometría, igual calidad de madera, y variando la calidad del hormigón para tratar de entender la causa de la conclusión anterior, se comprueba que, a medida que aumenta su resistencia, lo hace también la amplitud de la zona fisurada de este material, lo que justifica el comportamiento indicado
6. Como consecuencia de la conclusión anterior, para calidades altas de hormigón conviene emplear secciones en T para el refuerzo, con lo que se reduce la zona fisurada que sólo supone un peso muerto para el forjado.

El programa desarrollado permite comprobar este tipo de refuerzos cuando se emplea hormigón ligero, que parece en principio una solución razonable por la reducción de peso propio que supone. Analizando el problema desde esta perspectiva, hay que tener en cuenta:

- a) con hormigón ligero, en el mejor de los casos se obtienen densidades de 1700 Kg/m^3 frente a los 2400 Kg/m^3 del hormigón ordinario en

masa (ref. 13 y 14) debido a que el árido fino, la arena, no es posible sustituirla por ningún aligerante puesto que disminuye de forma rápida la resistencia del hormigón

- b) el único elemento ligero, el árido grueso, posee un elevado coeficiente de absorción, lo que dificulta la determinación de la relación agua/cemento idónea, y el efecto de retracción es mayor que en el hormigón ordinario
- c) con los refuerzos utilizables en la práctica para la solución estudiada, comprendidos entre 4 y 8 cm., y teniendo en cuenta que el hormigón ligero supone una reducción de 7 Kg/m^2 por cada cm. de espesor en el peso propio del refuerzo, el aligeramiento que se consigue es poco significativo
- d) el hormigón ligero supone una reducción en el valor de E con respecto al ordinario, y aun siguiendo una escrupulosa elaboración la densidad puede aumentar a $1800\text{-}1900 \text{ Kg/m}^3$

por todas estas razones, podemos considerar también como conclusión para la utilización de este tipo de refuerzo, que:

- 7. El hormigón ligero no supone una mejora significativa en el comportamiento de este sistema de refuerzo

Estos aspectos citados corresponden a los objetivos alcanzados y conclusiones obtenidas; pero en el desarrollo de cualquier trabajo de investigación, su propio proceso de ejecución nos va marcando nuevos objetivos que, por un lado completan a los que inicialmente estaban previstos para definir el marco general de referencia del problema, y por otro amplían el campo de actuación a la vista de los resultados que paulatinamente se van consiguiendo.

Con esta perspectiva, el trabajo realizado, fruto de una línea de investigación iniciada en el año 1993, está pasando a formar parte de un proyecto más ambicioso, cuyo desarrollo consideramos que requiere también estudiar los siguientes aspectos:

1. De las pruebas de carga realizadas, incluidas en el epígrafe 4.4, se desprende que el comportamiento real del forjado en fase de servicio es bastante más rígido que el del modelo teórico analizado, por la influencia de los elementos que no se consideran desde el punto de vista resistente, principalmente los revoltones.

Un estudio experimental suficientemente amplio permitiría considerar la colaboración resistente de estos elementos (de forma análoga a como se hace en los forjados convencionales, donde se incluye como parte resistente de la cabeza comprimida la pared de bovedilla adherida al hormigón, artículo 6.3.1 EF-88).

2. Para considerar la rigidez de los conectadores, hemos utilizado valores y expresiones recogidos de la bibliografía. Dada la gran variedad de disposiciones constructivas que se pueden emplear para estos elementos, y la gran influencia que tienen en el comportamiento de la pieza, un estudio riguroso y comparativo de las distintas soluciones permitiría optimizar el comportamiento resistente de la pieza mixta.
3. Para considerar la fluencia en el comportamiento de la pieza mixta se han hecho hipótesis que son razonables para el hormigón y la madera considerados como materiales aislados. Aunque previsiblemente tenga poca influencia en los resultados, el estudio del comportamiento de la pieza mixta frente a este efecto por medio de ensayos de larga duración, sería deseable para la correcta evaluación de este aspecto
4. La tendencia actual de emplear métodos de cálculo en rotura para la comprobación de todos los sistemas estructurales, marca también una pauta para continuar el estudio de estos sistemas mixtos; no obstante, mientras no se incluya en las normas de estructuras de madera este planteamiento, no parece aconsejable aplicarlos a un sistema mixto en el que interviene este material.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Tests and analysis of composite beams with incomplete interaction
N.M. Newmark, C.P. Siess, I.M. Viest
Proceedings society of experimental stress analysis nº1 vol.9, 1951
2. Layered beam systems with interlayer slip
J.R. Goodman, E.P. Popov
Journal of the structural division asc. vol. 4, Noviembre 1968
3. Construcción mixta hormigón-acero
J. Martínez Calzón, J. Ortiz Herrera
Ed. Rueda, 1978
4. Indagine sperimentale sul "rinforzo" di solai in legno
C. Alongi
Recuperare, Enero / Febrero 1982
5. Analisi del comportamento di strutture miste legno-calcestruzzo
C. Alongi, F. Buccino
Restauro del legno, vol II. 1983
6. Controlli statici e dinamici su solai legno-calcestruzzo in interventi di consolidamento
C. Blasi, A. Ceccotti
Actas del II Congreso "Il restauro del legno" Ed. Palutan, Firenze 1983.
7. Statica e progetto di rinforzi in C.A. su solai in legno. Part I y II
F. Buccino, E. Vitiello
L' Industria delle costruzioni, nº 139 y 140, Mayo/Junio 1983

8. Sistemi misti nel consolidamento di strutture in legno:
il legno-calcestruzzo per y solai
C. Messina, L. Paolini
Actas del Congreso "Legno nel restauro e restauro del legno" vol. I
Ed. Palutan, Firenze 1983.
9. Il comportamento visco-elastico delle travi in legno di un solaio, in
occasione del loro recupero funzionale
M. Ruffino
Actas del II Congreso "Il restauro del legno" . Ed. Palutan, Firenze 1983.
10. Recupero e verifica delle strutture in legno : problemi strutturali e normativi
P. Spinelli.
Atti del convegno "L'impiego del legno nell' edilicia". pag. 5-6 Bologna 1983
11. Una tecnica di recupero statico dei solai in legno
G. Turrini, M. Piazza
Recuperare, Mayo / Junio 1983
12. Il comportamento statico della struttura mista legno-calcestruzzo
G. Turrini, M. Piazza
Recuperare, Julio / Agosto 1983
13. La resistencia a tracción indirecta del hormigón por doble punzonamiento.
Influencia del tamaño máximo del árido y de la excentricidad.
B. Pereperez, E. Barberá, V. Galvañ, A. Currás, S. Balash, J. A. Moscardó
Informes de la Construcción, Vol. 37 nº374, octubre 1985.
14. Influencia de excentricidades de ensayo sobre la resistencia a tracción
indirecta del hormigón por doble punzonamiento. Relaciones con otras
resistencias.
E. Barberá, B. Pereperez, E. J. Gimenez, A. Santamaria , J. Benlloch, S.
Balash.
Hormigón y Acero nº166 1^{er} trimestre 1988.

15. Manual para Quik Basic 4.0 . Guia del programador.
Fco. Javier Ceballos
Ra - ma. Madrid 1988.
16. Eurocode 5. Common Unified Rules for Timber Structures.
Luxembourg, 1988.
17. Rinforzo di solai in legno mediante soletta collaborante in calcestruzzo
armato con collegamenti di tipo elastico
A. Cecchi
Actas del II Congreso "Il restauro del legno"
Ed. Palutan, Firenze 1989.
18. Recupero dei solai in legno
Placido Munafo
Dario Flaccovio Editore Palermo. 1990
19. Il recupero del legno
F. Laner
Recuperare n°2 / 1991
20. L'essenza per costruire con il legno
F. Laner
Recuperare n°4 / 1991
21. Un sostegno per il legno
U. Menicali
Costruire n°102, 1991
22. Instrucción EH-91 Para el proyecto y ejecución de obras de hormigón en
masa y armado.
M.O.P.U. 1991

23. The behaviour of a wood – concrete composite beam under cyclic and long term loads.
P. Ronca, P. Gelfi, E. Giuriani.
Strema 91.
24. Solai composti legno-calcestruzzo: metodo di calcolo secondo l'EC5
S. Capretti, A. Ceccotti
L'Edilizia, nº12, 1992
25. Eteroclisia da riciclaggio
F. Laner
Recuperare nº3 / 1992
26. Innovazione dal recupero
G. Brusati, F. Laner
Recuperare nº5 / 1992
27. Le relazioni strutturali
F. Laner, V. Ortolani
Recuperare nº8 / 1992
28. Microsoft Visual Basic
José Eduardo Maluf de Carvalho
Mc Graw – Hill 1992
29. Microsoft Visual Basic. Aplicaciones para windows.
Fco. Javier Ceballos
Ra - ma. Madrid 1992
30. Un programa de Elementos Finitos SAP 90
J. Mª Arrieta Torrealba, Antonio José Ramos
Laboratorio central de estructuras y materiales. Madrid .
CEDEX 1993

31. Consolidamento dei solai in legno:
studio sui connettori tra trave in legno e cappa in C.A.
P. Gelfi, P. Ronca
L'edilizia n°5, 1993

32. A timber/concrete composite system
U. Meierhofer
Structural Engineering International, Mayo 1993

33. I solai in legno
U. Barbisan, F. Laner
Ed. Francoangeli, Milano 1994

34. Progettazione e realizzazione di componenti e sistemi basati sull'impiego
di tecnologie innovative per l'industria
M. Bassan (a cura di)
Ed. Francoangeli, Milano 1994

35. Estructuras mixtas de hormigón - madera aplicadas al refuerzo de
forjados.
J. Monfort, J.L. Pardo
Serv. Publ. Universidad Politécnica de Valencia 1994

36. Refuerzo de forjados de madera con solera de hormigón:
Influencia de la conexión
J. Monfort, J.L. Pardo
Anales de ingeniería mecánica, año 10 vol. 1 noviembre de 1994

37. Evaluación del estado de las maderas en obras de rehabilitación mediante
técnicas de ultrasonidos y obtención de parámetros resistentes.
Carmen Rodriguez Liñan , Paloma Rubio de Hita.
Informes de la Construcción, Vol. 47 n°440, Nov-Dic. 1995.

38. Programación en windows con Visual Basic 4.0
Francisco Charte
Ediciones Anaya Multimedia S.A. Madrid 1995

39. Estructuras de madera diseño y cálculo
Ramón Argüelles Alvarez, Francisco Arriaga Martiegui
A.I.T.I.M
Gráficas Palermo S.L. 1996

40. Eurocódigo 5. Proyecto de estructuras de madera.
Parte 1-1: Reglas generales y reglas para edificación.
UNE-ENV 1995-1-1 . Marzo 1997

8. ANEJO 1: LISTADOS DEL PROGRAMA DE CÁLCULO

DECLARACIÓN DE VARIABLES GLOBALES
MODULE1.BAS (Módulo Basic)

Dim Shared ddd(1 To 14, 1 To 3)
 Dim Shared luz(1 To 6)
 Dim Shared rigid(1 To 9)
 Dim Shared Escuad(1 To 10, 1 To 2)
 Dim Shared entrev(1 To 9)
 Dim Shared opti(1 To 3000, 1 To 2) As Single
 Dim Shared datoff(1 To 500) As String * 5
 Dim Shared swa(1 To 3, 1 To 2) 'Tensiones adm. y Ew de la madera
 Dim Shared sca(1 To 3)
 Dim Shared datoss(1 To 9, 1 To 2)
 Dim Shared Cadsi As Integer
 Dim Shared puntosW100(4 To 12)
 Dim Shared pen_anchos(4 To 10)
 Dim Shared variaB(1 To 6, 1 To 2)'valores limite B para cada serie
 Dim Shared puntosD(1 To 10, 1 To 2)

Sub ABCAP (alf#, bet#, cap#, Ec, Ac, Ew, Aw, lc, lw, Ks, r)

Calculo de alfa, beta y capa

alf# = (1 / Ec / Ac) + (1 / Ew / Aw) 'alfa
 bet# = 1 / ((Ec * lc) + (Ew * lw)) 'beta
 xx# = alf# + (bet# * r ^ 2)
 cap# = Sqr(Ks * xx#) 'capa
 End Sub

Sub abredxf ()

Abre fichero AutoCad.dxf para escribir textos

```

CadsI = 1 ' Generar fichero de AutoCad
fiche$ = InputBox$(" Nombre del fichero DXF sin extension ? ", "Fichero de
AutoCad DXF")
If fiche$ <> "" Then
    Open fiche$ + ".dxf" For Output As #1
    Print #1, 0
    Print #1, "SECTION"
    Print #1, 2
    Print #1, "ENTITIES"
Else
    CadsI = 0
End If
End Sub

```

Sub CALCULO ()

Rutina para el cálculo directo

' Se recogen valores de la pantalla principal

```

I = Val(PRINCI.Luzvig.Text)          'Luz vigueta
bxh$ = RTrim$(PRINCI.Escuad.Text)
bxh$ = LTrim$(bxh$)
H = Val(Right$(bxh$, 2))            'ancho vigueta

```

$B = \text{Val}(\text{Left}\$(\text{bxh}\$, 2))$ 'canto vigueta

 $E_w = \text{Val}(\text{PRINCI.Ewmad.Text})$ 'Ew
 $Swadm = \text{Val}(\text{PRINCI.Swmade.Text})$ 'Swadm
 $a = \text{Val}(\text{PRINCI.AnchoEnt.Text})$ 'ancho horm
 $a_1 = \text{Val}(\text{PRINCI.AnchoA1.Text})$ 'ancho a1 horm
 $d = \text{Val}(\text{PRINCI.CantoH.Text})$ 'canto d horm
 $d_1 = \text{Val}(\text{PRINCI.CantoH1.Text})$ 'canto d1 horm
 $Fck = \text{Val}(\text{PRINCI.FckHor.Text})$ 'Fck
 $Scadm = \text{Val}(\text{PRINCI.ScHor.Caption})$ 'Scadm
 $Ec = \text{Val}(\text{PRINCI.EcHor.Caption})$ 'Ec
 $Ks = \text{Val}(\text{PRINCI.Conecta.Text})$ 'K/s
 $Q_0 = \text{Val}(\text{PRINCI.Q0carga.Text})$ 'Q0
 $Q_1 = \text{Val}(\text{PRINCI.Q1carga.Text})$ 'Q1
 $Q_2 = \text{Val}(\text{PRINCI.Q2carga.Text})$ 'Q2

 $r = 0$ 'distancias entre cdg de madera y hormigón
 $Ac = 0; Ic = 0; yc = 0$ 'se calculan una vez sabido el cdg desde la funcion pcdg
 $cdg = \text{pcdg}(a, a_1, d, d_1, B, H, Ec, E_w, r, Ac, Ic, yc, fibi)$ 'Calculando c.d.g

' Poniendo ventanas en blanco
 $\text{PRINCI.TenIniMade.Caption} = ""$
 $\text{PRINCI.TenIniFiSh.Caption} = ""$
 $\text{PRINCI.Fibra2.Caption} = ""$
 $\text{PRINCI.TenIniHor.Caption} = ""$
 $\text{PRINCI.TenIniFilh.Caption} = ""$
 $\text{PRINCI.Fibra3.Caption} = ""$
 $\text{PRINCI.FleIni.Caption} = ""$
 $\text{PRINCI.TenIniFiSw.Caption} = ""$
 $\text{PRINCI.Fibra4.Caption} = ""$
 $\text{PRINCI.TenFinMade.Caption} = ""$
 $\text{PRINCI.TenIniFilw.Caption} = ""$
 $\text{PRINCI.Fibrafin2.Caption} = ""$
 $\text{PRINCI.TenFinHor.Caption} = ""$

```

PRINCI.TenFinFiSh.Caption = " "
PRINCI.Fibrafin3.Caption = " "
PRINCI.FleFinal.Caption = " "
PRINCI.TenFinFilh.Caption = " "
PRINCI.Fibrafin4.Caption = " "
PRINCI.TenFinFiSw.Caption = " "
PRINCI.TenFinFilw.Caption = " "
PRINCI.DeforHormil.Caption = " "
PRINCI.DeforHormiD.Caption = " "
PRINCI.DeforMadel.Caption = " "
PRINCI.DeforMadeD.Caption = " "

FF = 1: Smax0 = 0
q = (Q0 + Q1 + Q2) * (a / 100) / 100      'pasando carga a Kg/ml.
l = l * 100                               'luz cm.
Aw = B * H: lw = B * H ^ 3 / 12          'sección y MDI de la vigueta de madera
Call Dibu_seccion(B, H, a, a1, d, d1)    'dibuja sección que se calcula
Do
  alf# = 0: bet# = 0: cap# = 0
  Call ABCAP(alf#, bet#, cap#, Ec, Ac, Ew, Aw, lc, lw, Ks, r) ' alfa, beta y
  capa iniciales
  n# = 0: Mw# = 0: Mc# = 0

  Call NMwMc(n#, Mw#, Mc#, bet#, q, Ks, r, cap#, l, Ew, lw, Ec, lc)

  ' Calculo de tensiones iniciales

  Scinisup = -(n# / Ac) - (Mc# / lc * yc)
  Sciniinf = -(n# / Ac) + Mc# / lc * (fibi - yc)

  If Sciniinf >= .01 Then      ' Descontar hormigón si tracciones
    cotah = (-Scinisup) / (Sciniinf - Scinisup) * fibi
    If cotah <= d - d1 Then 'a descontar en zona rectangular
      Ac = cotah * a: lc = a * cotah ^ 3 / 12: yc = cotah / 2

```

fibi = cotah

r = H / 2 + d - yc

End If

If cotah > d - d1 And a1 > 0 Then 'a descontar en zona en T

cotaa1 = (cotah + d1 - d)

Ac = (d - d1) * a + cotaa1 * a1

yc = ((a1 * cotaa1) * (d - d1 + cotaa1 / 2) + a * (d - d1) ^ 2 / 2) / (a1 * cotaa1 + a * (d - d1))

lc = a * (d - d1) ^ 3 / 12 + a * (d - d1) * ((d - d1) / 2 - yc) ^ 2 + a1 * cotaa1 ^ 3 / 12 + a1 * cotaa1 * (d - d1 + cotaa1 / 2 - yc) ^ 2

fibi = cotah - yc

r = H / 2 + d - yc

End If

End If

Loop While Sciniinf >= .01 ' para garantizar que no hay hormigón traccionado

Swinisup = (n# / B / H) - (6 * Mw# / B / H ^ 2)

Swiniinf = (n# / B / H) + (6 * Mw# / B / H ^ 2)

Scmax = -(n# / Ac) - (Mc# / lc * yc) 'tension maxima en hormigon

Swmax = (n# / B / H) + (6 * Mw# / B / H ^ 2) 'tension maxima en madera.

PRINCI.TenIniMade.Caption = " Tensión máxima en madera = " + Str\$(Format(Swmax, "0.00")) + " Kg/cm2."

PRINCI.TenIniHor.Caption = " Tensión máxima en hormigón = " + Str\$(Format(Scmax, "0.00")) + " Kg/cm2."

fib2 = fibi: fib3 = d: fib4 = H + d

PRINCI.TenIniFiSh.Caption = Format(Scinisup, "0.00")

PRINCI.TenIniFilh.Caption = Format(Sciniinf, "0.00")

PRINCI.TenIniFiSw.Caption = Format(Swinisup, "0.00")

PRINCI.TenIniFilw.Caption = Format(Swiniinf, "0.00")

```
PRINCI.Fibra2.Caption = Format(fib2, "0.00")
```

```
PRINCI.Fibra3.Caption = Format(fib3, "0.00")
```

```
PRINCI.Fibra4.Caption = Format(fib4, "0.00")
```

```
ScFicontac = -(n# / Ac) + Mc# / Ic * (d - yc)
```

```
PRINCI.DeforHormil.Caption = Format(ScFicontac / Ec, "0.00000000E-00")
```

```
PRINCI.DeforMadel.Caption = Format(Swinisup / Ew, "0.00000000E-00")
```

```
'dibujar deformaciones
```

```
Call Dibu_defor(H, a, d, d1, -Scinisup / Ec * 100000#, -ScFicontac / Ec *  
100000#, -Swinisup / Ew * 100000#, -Swiniinf / Ew * 100000#, 1)
```

```
Coeq = Ec / Ew
```

```
Ihomoge = Ic * Coeq + Iw + (Ac * Coeq * Aw) * r ^ 2 / (Ac * Coeq + Aw)
```

```
PRINCI.Ihomoge.Caption = Format(Ihomoge, "0.00")
```

```
'-----Valor de flecha maxima t = 0-----
```

```
rr# = cap# * l: rr# = sinh(rr#)
```

```
ss# = cap# * l / 2: ss# = sinh(ss#)
```

```
Fmax = 5 * q * l ^ 4 * bet# / 384
```

```
Fmax = Fmax * (1 - bet# * Ks * r ^ 2 / cap# ^ 2)
```

```
FF = q * bet# ^ 2 * Ks * r ^ 2 / cap# ^ 4
```

```
FF = FF * ((2 * ss# / rr# / cap# ^ 2) + (l ^ 2 / 8) - (1 / cap# ^ 2))
```

```
Fmax = Fmax + FF
```

```
PRINCI.FleIni.Caption = " F.max = " + Str$(Format(Fmax, "0.0000")) + " cm." + "
```

```
L/300 = " + Str$(Format(l / 300, "0.00")) + " cm."
```

```
If Scmax > Scadm Or Swmax > Swadm Or Fmax > l / 300 Then Beep
```

```
'-----
```

' Parte de tensiones que corresponden a carga variable

$$Scmaxv = Scmax * Q1 / (Q0 + Q1 + Q2)$$

$$Swmaxv = Swmax * Q1 / (Q0 + Q1 + Q2)$$

$$Scinisupv = Scinisup * Q1 / (Q0 + Q1 + Q2)$$

$$Sciniinfv = Sciniinf * Q1 / (Q0 + Q1 + Q2)$$

$$SwinisupV = Swinisup * Q1 / (Q0 + Q1 + Q2)$$

$$SwiniinfV = Swiniinf * Q1 / (Q0 + Q1 + Q2)$$

$$ScFicontacV = ScFicontac * Q1 / (Q0 + Q1 + Q2)$$

' Parte de flechas que corresponden a carga variable

$$Fmaxv = Fmax * Q1 / (Q0 + Q1 + Q2)$$

'----- Calculo de tensiones diferidas

$$cdg1 = pcdg(a, a1, d, d1, B, H, Ec / (1 + 2.5), Ew, r, Ac, lc, yc, fibi)$$

'Calculando c.d.g final

$$\text{Call ABCAP}(alf\#, bet\#, cap\#, Ec / (1 + 2.5), Ac, Ew, Aw, lc, lw, Ks, r)$$

'alfa, beta y capa finales

$$q = (Q0 + Q2) * (a / 100) / 100 \quad \text{'Carga permanente solo}$$

$$\text{Call NMwMc}(n\#, Mw\#, Mc\#, bet\#, q, Ks, r, cap\#, l, Ew, lw, Ec / (1 + 2.5), lc)$$

$$Scmax = -(n\# / Ac) - (Mc\# / lc * yc) + Scmaxv \quad \text{'tension maxima en hormigon}$$

$$Swmax = (n\# / B / H) + (6 * Mw\# / B / H^2) + Swmaxv \quad \text{'tension maxima en madera.}$$

PRINCI.TenFinMade.Caption = " Tensión máxima en madera = " + Str\$(Format(Swmax, "0.00")) + " Kg/cm2."

PRINCI.TenFinHor.Caption = " Tensión máxima en hormigón = " + Str\$(Format(Scmax, "0.00")) + " Kg/cm2."

$$Scfinsup = -(n\# / Ac) - (Mc\# / lc * yc) + Scinisupv$$

$$Scfininf = -(n\# / Ac) + Mc\# / lc * (fibi - yc) + Sciniinfv$$

$$Swfinsup = (n\# / B / H) - (6 * Mw\# / B / H^2) + SwinisupV$$

$$Swfininf = (n\# / B / H) + (6 * Mw\# / B / H^2) + SwiniinfV$$

'dibujar deformaciones

```

defor1 = Scinisupv / Ec + (-(n# / Ac) - Mc# / lc * (d - yc)) / (Ec / (1 + 2.5))
defor2 = ScFicontacV / Ec + (-(n# / Ac) + Mc# / lc * (d - yc)) / (Ec / (1 + 2.5))
defor3 = SwinisupV / Ew + ((n# / B / H) - (6 * Mw# / B / H ^ 2)) / Ew
defor4 = SwiniinfV / Ew + ((n# / B / H) + (6 * Mw# / B / H ^ 2)) / Ew

```

```

fib2 = fibi: fib3 = d: fib4 = H + d

```

```

PRINCI.TenFinFiSh.Caption = Format(Scfinsup, "0.00")

```

```

PRINCI.TenFinFilh.Caption = Format(Scfininf, "0.00")

```

```

PRINCI.TenFinFiSw.Caption = Format(Swfinsup, "0.00")

```

```

PRINCI.TenFinFilw.Caption = Format(Swfininf, "0.00")

```

```

PRINCI.Fibrafin2.Caption = Format(fib2, "0.00")

```

```

PRINCI.Fibrafin3.Caption = Format(fib3, "0.00")

```

```

PRINCI.Fibrafin4.Caption = Format(fib4, "0.00")

```

```

PRINCI.DeforHormiD.Caption = Format(ScFicontacV / Ec + (-(n# / Ac) + Mc# /
lc * (d - yc)) / (Ec / (1 + 2.5)), "0.00000000E-00")

```

```

PRINCI.DeforMadeD.Caption = Format(SwinisupV / Ew + ((n# / B / H) - (6 *
Mw# / B / H ^ 2)) / Ew, "0.00000000E-00")

```

```

Call Dibu_defor(H, a, d, d1, -defor1 * 100000#, -defor2 * 100000#, -defor3 *
100000#, -defor4 * 100000#, 2)

```

'-----Valor de flecha maxima carga permanente-----'

```

Fmax = 5 * q * l ^ 4 * bet# / 384

```

```

Fmax = Fmax * (1 - bet# * Ks * r ^ 2 / cap# ^ 2)

```

```

FF = q * bet# ^ 2 * Ks * r ^ 2 / cap# ^ 4

```

```

FF = FF * (2 * (ss# / rr# / cap# ^ 2) + (l ^ 2 / 8) - (1 / cap# ^ 2))

```

```

Fmax = Fmax + FF

```

' Añadiendo flecha debido a carga variable

```

Fmax = Fmax + Fmaxv

```



```

PRINCI.FleFinal.Caption = " F.max = " + Str$(Format(Fmax, "0.00")) + " cm." + "
L/300 = " + Str$(Format(l / 300, "0.00")) + " cm."
PRINCI.Mensaje.Caption = " C.d.g.(ini)=" + Str$(Format(cdg, "0.00")) + "
C.d.g.(fin)=" + Str$(Format(cdg1, "0.00"))

```

```

If Scmax > Scadm Or Swmax > Swadm Or Fmax > l / 300 Then Beep
End Sub

```

Sub cierradx ()

Cierra fichero dxf

```

Print #1, 0
Print #1, "ENDSEC"
Print #1, 0
Print #1, "EOF"
Close
End Sub

```

Sub curva (q, d, con)

Presenta puntos en pantalla.

```

If con = 1 Then
    Variak.Picture1.PSet (-q, -d), QBColor(6)
    Else : Variak.Picture1.Line -(-q, -d), QBColor(6)
End If
End Sub

```

Sub Dibu_abaco (CAAd)

Dibuja salida gráfica pantalla y AutoCad.dxf

ReDim VariaA(1 To 6)

ReDim Wpunto(1 To 4, 1 To 6)

'Valores del calculo directo

Ew = Val(PRINCI.Ewmad.Text) 'Ew

Swadm = Val(PRINCI.Swmade.Text) 'Swadm

a = Val(PRINCI.AnchoEnt.Text) 'ancho horm

a1 = Val(PRINCI.AnchoA1.Text) 'ancho a1 horm

d = Val(PRINCI.CantoH.Text) 'canto d horm

d1 = Val(PRINCI.CantoH1.Text) 'canto d1 horm

Fck = Val(PRINCI.FckHor.Text) 'Fck

Scadm = Val(PRINCI.ScHor.Caption) 'Scadm

Ec = Val(PRINCI.EcHor.Caption) 'Ec

Ks = Val(PRINCI.Conecta.Text) 'K/s

Q0 = Val(PRINCI.Q0carga.Text) 'Q0

Q1 = Val(PRINCI.Q1carga.Text) 'Q1

Q2 = Val(PRINCI.Q2carga.Text) 'Q2

' Escuadrias utilizadas

variaB(1, 1) = 14: variaB(1, 2) = 6 'Variacion H/B=2.50

variaB(2, 1) = 16: variaB(2, 2) = 7 'Variacion H/B=2.00

variaB(3, 1) = 20: variaB(3, 2) = 9 'Variacion H/B=1.50

VariaA(1) = 50

VariaA(2) = 60

VariaA(3) = 70

VariaA(4) = 80

VariaA(5) = 90

VariaA(6) = 100

Hb = 3

For x = 1 To 3

Hb = Hb - .5: primera = 0

For rango = variaB(x, 1) To variaB(x, 2) Step -1

marca = 0:

B = rango: H = B * Hb

Aw = B * H: Iw = B * H ^ 3 / 12: Ww = B * H ^ 2 / 6

' sección y MDI de la vigueta de madera

For yyy = 1 To 6

regist = 0: entrevigado = VariaA(yyy)

For cantohor = 12 + d1 To 4 + d1 Step -1

regist = regist + 1: a = entrevigado: d = cantohor

r = 0 'distancias entre cdg de madera y hormigón

Ac = 0: Ic = 0: yc = 0 'se calculan una vez sabido el cdg desde la
funcion pcdg

cdg = pcdg(a, a1, d, d1, B, H, Ec, Ew, r, Ac, Ic, yc, fibi)

'Calculando c.d.g

Q0 = 100 + 25 * (d - d1)

q = (Q0 + Q2) * (a / 100) / 100 'pasando carga cte. a Kg/cm.

Coeq = Ec / Ew

Ihomoge = Ic * Coeq + Iw + (Ac * Coeq * Aw) * r ^ 2 / (Ac * Coeq + Aw)

Wsechomog = Ihomoge / (H + d - cdg) ' Modulo resistente sección
homogenea y K/s infinito

If marca = 0 And entrevigado = 50 Then

```

Call Marca_Punto(Wsechomog, Ww + 4000 * (x - 1), cantohor - d1)
    'marcas en cuadrante inferior derecho dependiendo de rel
    H/b
If B = 7 And H = 14 And cantohor - d1 = 4 Then
    Wpunto(1, yyy) = Wsechomog: Wpunto(2, yyy) = Wsechomog
End If
If B = 20 And H = 30 And cantohor - d1 = 12 Then
    Wpunto(3, yyy) = Wsechomog: Wpunto(4, yyy) = Wsechomog
End If

EscVer = 1.5
If primera = 1 Then
    Variak.Picture1.Line (puntosD(regist, 1), puntosD(regist, 2))-
        (Wsechomog, Ww + 4000 * (x - 1)), QBColor(cantohor -
        d1)
    If CAd = 1 Then
        Call lindxf(puntosD(regist, 1), -puntosD(regist, 2) * EscVer,
            Wsechomog, -(Ww + 4000 * (x - 1)) * EscVer,
            cantohor - d1, "CurEscua")
    End If
    puntosD(regist, 1) = Wsechomog
    puntosD(regist, 2) = Ww + 4000 * (x - 1)
End If
If primera = 0 Then
    puntosD(regist, 1) = Wsechomog
    'se guardan los primeros puntos de cada canto
    puntosD(regist, 2) = Ww + 4000 * (x - 1)
    'para hacer lineas después
End If

puntosW100(cantohor - d1) = Wsechomog
'se guardan las marcas del ancho 50 y escuadria mas grande
End If

```

```

If marca = 1 And entrevigado <> 50 Then
  If B = 7 And H = 14 And cantohor - d1 = 4 Then
    Wpunto(1, yyy) = puntosW100(cantohor - d1)
    Wpunto(2, yyy) = Wsechomog
  End If
  If B = 20 And H = 30 And cantohor - d1 = 12 Then
    Wpunto(3, yyy) = puntosW100(cantohor - d1): Wpunto(4, yyy) =
      Wsechomog
  End If

  If CAd = 1 And B = 20 And H = 30 And cantohor = 12 + d1 Then
    Call lindx(puntosW100(cantohor - d1), Wsechomog, Wpunto(1,
      yyy), Wpunto(2, yyy), entrevigado / 10, "Escuadria")
  End If

  End If
Next cantohor
If marca = 0 Then marca = 1
Next yyy 'entrevigado
primera = 1
Next rango
Variak.Picture1.Line (0, 4000 * x)-(9800, 4000 * x), QBColor(1)
If CAd = 1 Then
  Call lindx(0, -4000 * x * EscVer, 9800, -4000 * x * EscVer, 255, "Grafica")
End If

Next x

For y = 0 To 14000 Step 1000 'marcas regla en H/B
  For www = 100 To 900 Step 100
    LinVar = -60
    If www = 500 Then LinVar = -100
    Variak.Picture1.Line (0, y + www)-(LinVar, y + www), QBColor(1)
    Variak.Picture1.Line (0, y)-(-200, y), QBColor(1)
  
```

```

Next www
Next y
Variak.Picture1.Line (0, 0)-(0, 15000), QBColor(1) 'lineas de la gráfica
Variak.Picture1.Line (0, 0)-(9800, 0), QBColor(1)

For y = 1000 To 6000 Step 1000      'Se marcan lineas para entrevigados
  Variak.Picture1.Line (0, -y)-(9800, -y), QBColor(1)
  'además se marcan los puntos extremos
    Call Marca_Punto(Wpunto(2, y / 1000), -(VariaA(y / 1000) - 40) * 100,
      VariaA(y / 1000) / 10)
    Call Marca_Punto(Wpunto(4, y / 1000), -(VariaA(y / 1000) - 40) * 100,
      VariaA(y / 1000) / 10)
  If CAd = 1 Then
    Call lindx(0, y, 9800, y, 255, "abac")
  End If
Next y

If CAd = 1 Then
  Call lindx(0, 0, 9800, 0, 255, "Grafica")
End If

For Ri = 1 To 4
  y = 7000 + 4000 * Ri
  Variak.Picture1.Line (0, -y)-(9800, -y), QBColor(1)
  If CAd = 1 Then
    y = 7000 + 1.5 * 4000 * Ri
    Call lindx(0, y, 9800, y, 255, "abac")
  End If
Next Ri

DIVIS = 40
For x = 0 To DIVIS
  For y = 1 To 5
    pun1 = (Wpunto(4, y) - Wpunto(2, y)) * x / DIVIS + Wpunto(2, y)

```

```

pun2 = (Wpunto(4, y + 1) - Wpunto(2, y + 1)) * x / DIVIS + Wpunto(2, y +
1)
Variak.Picture1.Line (pun1, -y * 1000)-(pun2, -(y + 1) * 1000),
QBColor(12)

If CAd = 1 Then
    Call lindx(f(pun1, y * 1000, pun2, (y + 1) * 1000, 1, "abac")
End If

Next y
Next x
End Sub

```

Sub Dibu_defor (H, a, d, d1, def1, def2, def3, def4, tipo)

Dibuja las deformaciones

```

If tipo = 1 Then xx = 0
If tipo = 2 Then xx = 30
    xo = a + 25 + xx: yo = -35
    def1 = def1 / 3: def2 = def2 / 3: def3 = def3 / 3: def4 = def4 / 3
    PRINCI.Fiseccion.Line (xo, yo - d + d1)-(xo, yo + d1 + H), 9
    PRINCI.Fiseccion.Line (xo, yo - d + d1)-(xo + def1, yo - d + d1), 9
    PRINCI.Fiseccion.Line (xo + def1, yo - d + d1)-(xo + def2, yo + d1), 9
    PRINCI.Fiseccion.Line (xo + def2, yo + d1)-(xo, yo + d1), 9

    PRINCI.Fiseccion.Line (xo, yo + d1)-(xo + def3, yo + d1), 9
    PRINCI.Fiseccion.Line (xo + def3, yo + d1)-(xo + def4, yo + d1 + H), 9
    PRINCI.Fiseccion.Line (xo + def4, yo + d1 + H)-(xo, yo + d1 + H), 9

End Sub

```

Sub Dibu_seccion (B, H, a, a1, d, d1)

Dibuja sección que se calcula

```
PRINCI.Fiseccion.FillColor = &HFFFFFF
PRINCI.Fiseccion.Line (0, 0)-(200, -100), , B
xo = a / 2 + 5: yo = -35
PRINCI.Fiseccion.FillColor = &HC0C0C0
PRINCI.Fiseccion.Line (xo - a / 2, yo)-(xo + a / 2, yo - (d - d1)), 9, B
PRINCI.Fiseccion.Line (xo - a1 / 2, yo)-(xo + a1 / 2, yo + d1), 9, B
PRINCI.Fiseccion.FillColor = &H40C0&
PRINCI.Fiseccion.Line (xo - B / 2, yo + d1 + H)-(xo + B / 2, yo + d1), 0, B
```

End Sub

Sub lindxf (x1, y1, x2, y2, col, capa\$)

**Manda una linea en formato AutoCad.dxf con
color y capa**

```
Print #1, 0
Print #1, "LINE"
Print #1, 8
Print #1, capa$
Print #1, 62
Print #1, col
Print #1, 10
```


Print #1, x1
Print #1, 20
Print #1, y1
Print #1, 30
Print #1, 0
Print #1, 11
Print #1, x2
Print #1, 21
Print #1, y2
Print #1, 31
Print #1, 0

End Sub

Sub Marca_Punto (x, y, COLOR)

Marca una cruz en pantalla

Variak.Picture1.Line (x - 200, y)-(x + 200, y), QBColor(COLOR)
Variak.Picture1.Line (x, y - 200)-(x, y + 200), QBColor(COLOR)

End Sub

Function maxi (m() As Single, n)

**devuelve el maximo valor encontrado en la
primera columna de la matriz m()**

```
aa = 0
For x = 1 To n
    If m(x, 1) > aa Then aa = m(x, 1)
Next x
maxi = aa
End Function
```

Function maxi4 (m(), n, Ri)

**devuelve el maximo valor encontrado en la
columna especificada de la matriz**

```
aa = 0
For x = 1 To UBound(m, 2)
    If m(Ri, x, n) > aa Then aa = m(Ri, x, n)
Next x
maxi4 = aa
End Function
```

Function mini (m() As Single, n)

**Devuelve el minimo valor encontrado en la
primera columna de la matriz**

```
aa = m(1, 1)
For x = 1 To n
    If m(x, 1) < aa Then aa = m(x, 1)
Next x
mini = aa
```

End Function

Function mini4 (m() As Single, n, Ri)

**Devuelve el minimo valor encontrado en la
columna N de la matriz**

```

aa = m(Ri, 1, n)
For x = 2 To UBound(m, 2)
    If m(Ri, x, n) < aa And m(Ri, x, n) <> 0 Then aa = m(Ri, x, n)
Next x
mini4 = aa
End Function

```

Sub NMwMc (n#, Mw#, Mc#, bet#, q, Ks, r, cap#, l, Ew, lw, Ec, lc)

Calculo de N, Mw# y Mc#

```

rr# = sinh(cap# * l)
ss# = sinh(cap# * l / 2)

n# = bet# * q * Ks * r / cap# ^ 2           'Valor de N(l/2)
n# = n# * (2 * (ss# / rr# / cap# ^ 2) + (l ^ 2 / 8) - (1 / cap# ^ 2))

ss# = (q * l ^ 2 / 8 - n# * r) * bet#
Mw# = ss# * Ew * lw                         'Valor de Mw#(l/2)
Mc# = ss# * Ec * lc                         'Valor de Mc#(l/2)

End Sub

```

Function pcdg (a, a1, d, d1, B, H, Ec, Ew, r, Ac, lc, yc, fibi)

**Calculo del centro de gravedad respecto a
fibra superior siendo k/s infinito**

$n = E_c / E_w$ 'coeficiente de equivalencia.

$aa = a * n$

$aa1 = a1 * n$

$f = d - d1$: fibi = 0 'fibra inferior de hormigón de la sección eficaz
'medida desde la cara superior de la cabeza.

$xg = aa * (d - d1)^2 / 2 + aa1 * d1 * (d - d1 / 2) + B * H * (d + H / 2)$

$xg = xg / (aa * (d - d1) + aa1 * d1 + B * H)$

If $xg \geq d$ Then 'todo el hormigón está comprimido

$Ac = a * f + a1 * d1$

$yc = (a * f^2 / 2 + a1 * d1 * (f + d1 / 2)) / (a1 * d1 + a * f)$

'cdg de la sección de hormigón

$lc = a * f^3 / 12 + a * f * (yc - f / 2)^2 + a1 * d1^3 / 12 + a1 * d1 * (d - d1 / 2 - yc)^2$

$r = H / 2 + d - yc$ 'brazo del par

$fibi = d$

If $a1 = 0$ Then $fibi = d - d1$

End If

$co1 = 1$

If $xg < d$ Then 'El cdg ha caido en el hormigón

If $xg - (d - d1) \leq 0$ Then 'Ha caido en zona rectangular

$co1 = -aa / 2$: $co2 = -B * H$: $co3 = B * H * d + B * H^2 / 2$ 'Constantes Ec.

2º grado

```

raiz = (co2 ^ 2 - 4 * co1 * co3) ^ .5
raiz1 = (-co2 + raiz) / 2 / co1
raiz2 = (-co2 - raiz) / 2 / co1
If raiz1 > 0 And raiz1 < d Then xg = raiz1
If raiz2 > 0 And raiz2 < d Then xg = raiz2
yc = xg / 2: r = H / 2 + d - yc
Ac = a * xg
Ic = a * xg ^ 3 / 12
fibi = xg
End If

```

```

If xg - (d - d1) > 0 And aa1 > 0 Then 'Ha caído en zona estrecha T
  co1 = -aa1 / 2: co2 = -aa * f - B * H + aa1 * f: co3 = aa * f ^ 2 / 2 - aa1 * f ^
    2 / 2 + B * H * d + B * H ^ 2 / 2
  raiz = (co2 ^ 2 - 4 * co1 * co3) ^ .5
  raiz1 = (-co2 + raiz) / 2 / co1
  raiz2 = (-co2 - raiz) / 2 / co1
  If raiz1 > 0 And raiz1 < d Then xg = raiz1
  If raiz2 > 0 And raiz2 < d Then xg = raiz2
  Ac = a * f + a1 * (xg - f)
  yc = (a * f ^ 2 / 2 + a1 * (xg - f) * ((xg - f) / 2 + f)) / (a1 * (xg - f) + a * f)
    'cdg de la sección de hormigón
  Ic = a * f ^ 3 / 12 + a * f * (f - yc) ^ 2 + a1 * (xg - f) ^ 3 / 12 + a1 * (xg - f) *
    (xg - yc - (xg - f) / 2) ^ 2
  r = H / 2 + d - yc 'brazo del par
  fibi = xg
End If
End If

```

```

If xg < d And xg - (d - d1) > 0 And aa1 <= 0 Then
  'Ha caido en zona estrecha T y no hay hormigón
  xg = aa * f ^ 2 / 2 + B * H ^ 2 / 2 + B * H * d
  xg = xg / (aa * f + B * H)
  yc = f / 2: r = H / 2 + d - yc

```

```

Ac = a * f
Ic = a * f ^ 3 / 12
fibi = f
End If
pcdg = xg
End Function

```

Sub poscdg (a, a1, d, d1, B, H, Ec, Ew, r, Ac, Ic, yc)

**Calculo del centro de gravedad respecto a
fibra superior variante**

```

n = Ec / Ew 'coeficiente de equivalencia.
aa = a * n
aa1 = a1 * n
f = d - d1
xg = aa * (d - d1) ^ 2 / 2 + aa1 * d1 * (d - d1 / 2) + B * H * (d + H / 2)
xg = xg / (aa * (d - d1) + aa1 * d1 + B * H)
If xg >= d Then 'todo el hormigón está comprimido
  Ac = a * f + a1 * d1
  yc = (a * f ^ 2 / 2 + a1 * d1 * (f + d1 / 2)) / (a1 * d1 + a * f) 'cdg de la sección
    de hormigón
  Ic = a * f ^ 3 / 12 + a * f * (yc - f / 2) ^ 2 + a1 * d1 ^ 3 / 12 + a1 * d1 * (d - d1 / 2
    - yc) ^ 2
  r = H / 2 + d - yc 'brazo del par
End If

co1 = 1
If xg < d Then 'El cdg ha caído en el hormigón
  If xg - (d - d1) <= 0 Then 'Ha caído en zona rectangular

```

co1 = -aa / 2: co2 = -B * H: co3 = B * H * d + B * H ^ 2 / 2 'Constantes Ec.

2º grado

raiz = (co2 ^ 2 - 4 * co1 * co3) ^ .5

raiz1 = (-co2 + raiz) / 2 / co1

raiz2 = (-co2 - raiz) / 2 / co1

If raiz1 > 0 And raiz1 < d Then xg = raiz1

If raiz2 > 0 And raiz2 < d Then xg = raiz2

yc = xg / 2: r = H / 2 + d - yc

Ac = a * xg

lc = a * xg ^ 3 / 12

End If

If xg - (d - d1) > 0 And aa1 > 0 Then 'Ha caido en zona estrecha

co1 = -aa1 / 2: co2 = -aa * f - B * H + aa1 * f: co3 = aa * f ^ 2 / 2 - aa1 * f ^ 2 / 2 + B * H * d + B * H ^ 2 / 2

raiz = (co2 ^ 2 - 4 * co1 * co3) ^ .5

raiz1 = (-co2 + raiz) / 2 / co1

raiz2 = (-co2 - raiz) / 2 / co1

If raiz1 > 0 And raiz1 < d Then xg = raiz1

If raiz2 > 0 And raiz2 < d Then xg = raiz2

Ac = a * f + a1 * (xg - f)

yc = (a * f ^ 2 / 2 + a1 * (xg - f) * ((xg - f) / 2 + f)) / (a1 * (xg - f) + a * f)

'cdg de la sección de hormigón

lc = a * f ^ 3 / 12 + a * f * (f - yc) ^ 2 + a1 * (xg - f) ^ 3 / 12 + a1 * (xg - f) * (xg - yc - (xg - f) / 2) ^ 2

r = H / 2 + d - yc 'brazo del par

End If

End If

If xg < d And xg - (d - d1) > 0 And aa1 <= 0 Then

'Ha caido en zona estrecha T y no hay hormigón

xg = aa * f ^ 2 / 2 + B * H ^ 2 / 2 + B * H * d

xg = xg / (aa * f + B * H)

yc = f / 2: r = H / 2 + d - yc

$Ac = a * f$

$Ic = a * f^3 / 12$

End If

PRINCI.Mensaje.Caption = " C.d.g.= " + Str\$(Format(xg, "0.00"))

End Sub

Sub puntodxf (x1, y1, col, capa\$, tipo)

**Manda un punto en formato AutoCad.dxf con
color y capa**

If tipo = 0 Then 'se manda un punto

Print #1, 0

Print #1, "POINT"

Print #1, 8

Print #1, capa\$

Print #1, 62

Print #1, col

Print #1, 10

Print #1, x1

Print #1, 20

Print #1, y1

Print #1, 30

Print #1, 0

End If

If tipo = 1 Then 'se manda una cruz

Call lindx(x1 - 50, y1, x1 + 50, y1, col, capa\$)

Call lindx(x1, y1 - 50, x1, y1 + 50, col, capa\$)

End If

End Sub

Sub Q_agot_graf (CAd, texdat)

**Valores de agotamiento forma continua y
representación gráfica**

ReDim RigidKs(1 To 5)

'Valores del calculo directo

bxh\$ = RTrim\$(Variak.Escuad.Text)

bxh\$ = LTrim\$(bxh\$)

H = Val(Right\$(bxh\$, 2))'ancho vigueta

B = Val(Left\$(bxh\$, 2)) 'canto vigueta

Ew = Val(PRINCI.Ewmad.Text) 'Ew

Swadm = Val(PRINCI.Swmade.Text) 'Swadm

a = Val(PRINCI.AnchoEnt.Text) 'ancho horm

a1 = Val(PRINCI.AnchoA1.Text) 'ancho a1 horm

d = Val(PRINCI.CantoH.Text) 'canto d horm

d1 = Val(PRINCI.CantoH1.Text) 'canto d1 horm

Fck = Val(PRINCI.FckHor.Text) 'Fck

Scadm = Val(PRINCI.ScHor.Caption) 'Scadm

Ec = Val(PRINCI.EcHor.Caption) 'Ec

Ks = Val(PRINCI.Conecta.Text) 'K/s

Q0 = Val(PRINCI.Q0carga.Text) 'Q0

Q1 = Val(PRINCI.Q1carga.Text) 'Q1

Q2 = Val(PRINCI.Q2carga.Text) 'Q2

variaB(1, 1) = 14: variaB(1, 2) = 6 'Variacion H/B=2.50

variaB(2, 1) = 16: variaB(2, 2) = 7 'Variacion H/B=2.00

variaB(3, 1) = 20: variaB(3, 2) = 9 'Variacion H/B=1.50

RigidKs(1) = 2000 'Valores de rigidez K/s

RigidKs(2) = 1000

RigidKs(3) = 750

RigidKs(4) = 500

If CAd = 0 Then numsup = 12: numinf = 0

If CAd = 1 Then numsup = 12: numinf = 0

TEXTOEN = " BxH L a d-d1 K/s Whomog. falla por Qtotal
(Kg/m)"

li = "-----"

TEXTOEN = TEXTOEN + Chr\$(13) + Chr\$(10)

TEXTOEN = TEXTOEN + li

TEXTOEN = TEXTOEN + Chr\$(13) + Chr\$(10)

For Ri = 1 To 4

Ks = RigidKs(Ri)

For luces = 3 To 8

l = luces * 100: contador = 0

Hb = 3

For x = 1 To 3

Hb = Hb - .5

For rango = variaB(x, 1) To variaB(x, 2) Step -2

B = rango: H = B * Hb

Aw = B * H: lw = B * H ^ 3 / 12 ' sección y MDI de la vigueta de madera

Variak.MousePointer = 11' Visualiza reloj de arena

For cantohor = 4 + d1 To 12 + d1

For entrevigado = 50 To 100 Step 10

a = entrevigado: d = cantohor

```

r = 0          'distancias entre cdg de madera y hormigón
Ac = 0: Ic = 0: yc = 0 'se calculan una vez sabido el cdg desde la funcion pcdg
cdg = pcdg(a, a1, d, d1, B, H, Ec, Ew, r, Ac, Ic, yc, fibi) 'Calculando c.d.g

FF = 1: Smax0 = 0
Q0 = 100 + 25 * (d - d1)
q = (Q0 + Q2) * (a / 100) / 100 'pasando carga cte. a Kg/ml.
Aw = B * H: lw = B * H ^ 3 / 12 ' sección y MDI de la vigueta de madera

Coeq = Ec / Ew
Ihomoge = Ic * Coeq + lw + (Ac * Coeq * Aw) * r ^ 2 / (Ac * Coeq + Aw)
Wsechomog = Ihomoge / (H + d - cdg) ' Modulo resistente sección
homogenea y K/s infinito

Do
alf# = 0: bet# = 0: cap# = 0
Call ABCAP(alf#, bet#, cap#, Ec, Ac, Ew, Aw, Ic, lw, Ks, r)
' alfa, beta y capa iniciales

n# = 0: Mw# = 0: Mc# = 0
Call NMwMc(n#, Mw#, Mc#, bet#, q, Ks, r, cap#, l, Ew, lw, Ec, Ic)

' Calculo de tensiones iniciales
Scinisup = -(n# / Ac) - (Mc# / Ic * yc): Sciniinf = -(n# / Ac) + Mc# / Ic *
(fibi - yc)
If Sciniinf >= .01 Then
cotah = (-Scinisup) / (Sciniinf - Scinisup) * fibi
If cotah <= d - d1 Then 'a descontar en zona rectangular
Ac = cotah * a: Ic = a * cotah ^ 3 / 12: yc = cotah / 2
fibi = cotah
r = H / 2 + d - yc
End If
If cotah > d - d1 And a1 > 0 Then 'a descontar en zona en T
cotaa1 = (cotah + d1 - d)

```

$$Ac = (d - d1) * a + \cotaa1 * a1$$

$$yc = ((a1 * \cotaa1) * (d - d1 + \cotaa1 / 2) + a * (d - d1) ^ 2 / 2) / (a1 * \cotaa1 + a * (d - d1))$$

$$Ic = a * (d - d1) ^ 3 / 12 + a * (d - d1) * ((d - d1) / 2 - yc) ^ 2 + a1 * \cotaa1 ^ 3 / 12 + a1 * \cotaa1 * (d - d1 + \cotaa1 / 2 - yc) ^ 2$$

$$fibi = \cotah - yc$$

$$r = H / 2 + d - yc$$

End If

End If

Loop While Sciniinf >= .01 ' para garantizar que no hay hormigón traccionado

$$Swinisup = (n\# / B / H) - (6 * Mw\# / B / H ^ 2); Swiniinf = (n\# / B / H) + (6 * Mw\# / B / H ^ 2)$$

$$fib2 = fibi; fib3 = d; fib4 = H + d$$

$$ScFicontac = -(n\# / Ac) + Mc\# / Ic * (d - yc)$$

'-----Valor de flecha maxima t=0

$$rr\# = \text{cap}\# * l; rr\# = \text{senh}(rr\#)$$

$$ss\# = \text{cap}\# * l / 2; ss\# = \text{senh}(ss\#)$$

$$Fmax = 5 * q * l ^ 4 * \text{bet}\# / 384$$

$$Fmax = Fmax * (1 - \text{bet}\# * Ks * r ^ 2 / \text{cap}\# ^ 2)$$

$$FF = q * \text{bet}\# ^ 2 * Ks * r ^ 2 / \text{cap}\# ^ 4$$

$$FF = FF * ((2 * ss\# / rr\# / \text{cap}\# ^ 2) + (l ^ 2 / 8) - (1 / \text{cap}\# ^ 2))$$

$$Fmax = Fmax + FF$$

'-----

' Parte de tensiones que corresponden a carga variable

$$Scmaxv = Scmax * Q1 / (Q0 + Q1 + Q2)$$

$$Swmaxv = Swmax * Q1 / (Q0 + Q1 + Q2)$$

$$Scinisupv = Scinisup * Q1 / (Q0 + Q1 + Q2)$$

$$Sciniinfv = Sciniinf * Q1 / (Q0 + Q1 + Q2)$$

$$SwinisupV = Swinisup * Q1 / (Q0 + Q1 + Q2)$$

$$SwiniinfV = Swiniinf * Q1 / (Q0 + Q1 + Q2)$$

'-----

' Parte de flechas que corresponden a carga variable

$$Fmaxv = Fmax * Q1 / (Q0 + Q1 + Q2)$$

'-----

'----- Cargas de agotamiento iniciales -----

$$q = (Q0 + Q2) * (a / 100) / 100 \text{ 'solo carga constante}$$

'----- Valor de carga variable para $f=L/300$

$$Fm = 5 * l^4 * bet\# / 384$$

$$Fm = Fm * (1 - bet\# * Ks * r^2 / cap\#^2)$$

$$FF = bet\#^2 * Ks * r^2 / cap\#^4$$

$$FF = FF * ((2 * ss\# / rr\# / cap\#^2) + (l^2 / 8) - (1 / cap\#^2))$$

$$fi = Fm + FF$$

$$Q1Fi = 0$$

$$Q1Fi = l / (fi) / 300 - q \text{ 'Carga de agotamiento por flecha}$$

'----- Valor de carga variable para $Sw=Sw,adm$

$$hh = bet\# * Ks * 2 * r / cap\#^2$$

$$hh = hh * ((ss\# / rr\# / cap\#^2) + (l^2 / 16) - (1 / 2 / cap\#^2))$$

$$Q1wi = 0$$

$$Q1wi = Swadm * B * H^2 / (hh * H + 6 * ((l^2 / 8 - hh * r) * Ew * lw * bet\#)) - q \text{ 'Carga de agotamiento por Swmax en madera}$$

'----- Valor de carga variable para $Sc=Sc,adm$

$$Q1ci = 0$$

$$Q1ci = Scadm / (hh / Ac + ((l^2 / 8 - hh * r) * Ec * yc * bet\#)) - q \text{ 'Carga de agotamiento por Scmax en hormigón}$$

' Calculo de efectos diferidos

cdg1 = pcdg(a, a1, d, d1, B, H, Ec / (1 + 2.5), Ew, r, Ac, lc, yc, fibi)

'Calculando c.d.g final

Call ABCAP(alf#, bet#, cap#, Ec / (1 + 2.5), Ac, Ew, Aw, lc, lw, Ks, r) ' alfa,

beta y capa finales

q = (Q0 + Q2) * (a / 100) / 100 'Carga permanente solo

Call NMwMc(n#, Mw#, Mc#, bet#, q, Ks, r, cap#, l, Ew, lw, Ec / (1 + 2.5), lc)

Scmax = -(n# / Ac) - (Mc# / lc * yc) + Scmaxv 'tension maxima en hormigon

Swmax = (n# / B / H) + (6 * Mw# / B / H ^ 2) + Swmaxv 'tension maxima en
madera.

Scfinsup = -(n# / Ac) - (Mc# / lc * yc) + Scinisupv: Scfininf = -(n# / Ac) + Mc# / lc
* (fibi - yc) + Sciniinfv

Swfinsup = (n# / B / H) - (6 * Mw# / B / H ^ 2) + SwinisupV: Swfininf = (n# / B /
H) + (6 * Mw# / B / H ^ 2) + SwiniinfV

fib2 = fibi: fib3 = d: fib4 = H + d

'-----Valor de flecha maxima carga permanente-----

Fmax = 5 * q * l ^ 4 * bet# / 384

Fmax = Fmax * (1 - bet# * Ks * r ^ 2 / cap# ^ 2)

FF = q * bet# ^ 2 * Ks * r ^ 2 / cap# ^ 4

FF = FF * (2 * (ss# / rr# / cap# ^ 2) + (l ^ 2 / 8) - (1 / cap# ^ 2))

Fmax = Fmax + FF

' Añadiendo flecha debido a carga variable

Fmax = Fmax + Fmaxv

'-----Cargas de agotamiento valores finales -----

Ecf = Ec / (1 + 2.5) 'Mod. de deformacion tiempo infinito

r = 0 'distancias entre cdg de madera y hormigón

Ac = 0: lc = 0: yc = 0 'se calculan una vez sabido el cdg

cdg = pcdg(a, a1, d, d1, B, H, Ecf, Ew, r, Ac, lc, yc, fibi) 'Calculando c.d.g

Call ABCAP(alf#, bet#, cap#, Ecf, Ac, Ew, Aw, lc, lw, Ks, r) ' alfa, beta y
capa

'----- Flecha diferida producida por la carga constante

$$F_{max} = 5 * q * l^4 * \beta / 384$$

$$F_{max} = F_{max} * (1 - \beta * K_s * r^2 / \text{cap}^2)$$

$$FF = q * \beta^2 * K_s^2 * r^2 / \text{cap}^4$$

$$FF = FF * ((s_s / r_r / \text{cap}^2) + (l^2 / 16) - (1 / 2 / \text{cap}^2))$$

$$F_{max2} = F_{max} + FF$$

'----- Carga variable para llegar al total de flecha

$$Q1Ff = 0$$

$$Q1Ff = (l / 300 - F_{max2}) / f_i$$

'----- Valor de carga variable para $S_w = S_{w,adm}$

Call NMwMc(n#, Mw#, Mc#, β , q, K_s , r, cap#, l, Ew, lw, Ecf, lc)

$S_{wmax2} = (n# / B / H) + (6 * M_w# / B / H^2)$ 'tension maxima en madera

$$S_{cmax2} = (N# / A_c) + (M_c# / l_c * y_c)$$

'tension maxima en hormigon para carga cte

$$S_{cmax2} = (n# / A_c) + (M_c# / l_c * y_c)$$

'tension maxima en hormigon para carga cte.

r = 0 'distancias entre cdg de madera y hormigón

A_c = 0: l_c = 0: y_c = 0 'se calculan una vez sabido el cdg

cdg = pcdg(a, a1, d, d1, B, H, E_c, E_w, r, A_c, l_c, y_c, fibi) 'Calculando
c.d.g

Call ABCAP(alf#, β , cap#, E_c, A_c, E_w, A_w, l_c, l_w, K_s , r)

' alfa, beta y capa iniciales para carga cte.

$$Q1wf = 0$$

$$Q1wf = (S_{wadm} - S_{wmax2}) * B * H^2 / (h_h * H + 6 * ((l^2 / 8 - h_h * r) * E_w * l_w * \beta))$$

'----- Valor de carga variable para $S_c = S_{c,adm}$

$$Q1cf = 0$$

$$Q1cf = (S_{cadm} - S_{cmax2}) / (h_h / A_c + ((l^2 / 8 - h_h * r) * E_c * y_c * \beta))$$

'-----

'Hasta aqui las cargas Q1 estan referidas a Kg/cm.

'Para poder comparar valores se transforman en Kg/m.

$$Q1wi = Q1wi * 100$$

$$Q1ci = Q1ci * 100$$

$$Q1Fi = Q1Fi * 100$$

$$Q1wf = Q1wf * 100$$

$$Q1cf = Q1cf * 100$$

$$Q1Ff = Q1Ff * 100$$

'-----Eligiendo la carga mas pequeña

$$QQ1 = Q1wi: agot\$ = "S.ini.mad"$$

$$\text{If } Q1ci < QQ1 \text{ Then } QQ1 = Q1ci: agot\$ = "S.ini.hor"$$

$$\text{If } Q1Fi < QQ1 \text{ Then } QQ1 = Q1Fi: agot\$ = "Flech.ini"$$

$$\text{If } Q1wf < QQ1 \text{ Then } QQ1 = Q1wf: agot\$ = "S.fin.mad"$$

$$\text{If } Q1cf < QQ1 \text{ Then } QQ1 = Q1cf: agot\$ = "S.fin.hor"$$

$$\text{If } Q1Ff < QQ1 \text{ Then } QQ1 = Q1Ff: agot\$ = "Flech.fin "$$

$$\text{If } QQ1 = Q1ci \text{ Then } \text{entrevi} = \text{entrevigado}$$

$$Qtotal = q * 100 + QQ1 \quad \text{'Carga total en kg/m. que agota la sección}$$

$$\text{If } QQ1 * 100 / a < 200 \text{ Then } Qtotal = 0$$

'La carga variable es inferior a 200 kg/m2 no dibuja

$$Mmax = Qtotal * (l / 100) ^ 2 / 8$$

'valor del Momento flector que agota la sección en m*kg.

$$Qvarim2 = QQ1 * 100 / a$$

$$\text{If } Qtotal > 0 \text{ And } Qtotal < 3000 \text{ Then}$$

$$\text{Variak.Picture1.PSet (Wsechomog, -7000 + Qtotal - 4000 * Ri),}$$

$$QBColor(5 + l / 100)$$

$$\text{'contador} = \text{contador} + 1$$

$$\text{'opti(contador, 1) = Qtotal: opti(contador, 2) = Wsechomog}$$

$$\text{If } CAd = 1 \text{ Then}$$

```

Call puntodxf(Wsechomog, 7000 - 1.5 * Qtotal + 1.5 * 4000 * Ri, 5 + I /
100, "Escuadria", 0)

End If
End If
If texdat = 1 And entrevi > 0 Then
'TEXTO = " BxH L a d-d1 K/s Whomog. falla por
Qtotal (Kq/m)"
x = Variak.Escuad.ListIndex
bxh$ = Variak.Escuad.List(x)
texto = " " + bxh$
texto = texto + " " + Format(I / 100, "####") + " " + Format(a, "000") + "
" + Format(d - d1, "00")
texto = texto + " " + Format(Ks, "@@@@@@") + " " +
Format(Wsechomog, "#####0") + " " +
Format(agot$, "@@@@@@@@@@") + " " +
Format(Qtotal, "0.00")
texto = texto + Chr$(13) + Chr$(10)
End If
entrevi = 0
Next entrevigado
If texto <> "" Then TEXTOEN = TEXTOEN + texto + Chr$(13) + Chr$(10): texto
= ""
Next cantohor
Next rango
Next x
If contador > 0 Then
Call regre(opti()), contador, CAd)
End If
Next luces
Next Ri
form1.Text1.Text = TEXTOEN
Variak.MousePointer = 1

End Sub

```

Sub Q_agota ()

Carga de agotamiento solo un caso

```

I = Val(PRINCI.Luzvig.Text)      'Valores del calculo directo
bxh$ = RTrim$(PRINCI.Escuad.Text)
bxh$ = LTrim$(bxh$)
H = Val(Right$(bxh$, 2))'ancho vigueta
B = Val(Left$(bxh$, 2)) 'canto vigueta
Ew = Val(PRINCI.Ewmad.Text)   'Ew
Swadm = Val(PRINCI.Swmade.Text) 'Swadm
a = Val(PRINCI.AnchoEnt.Text) 'ancho horm
a1 = Val(PRINCI.AnchoA1.Text) 'ancho a1 horm
d = Val(PRINCI.CantoH.Text)   'canto d horm
d1 = Val(PRINCI.CantoH1.Text) 'canto d1 horm
Fck = Val(PRINCI.FckHor.Text) 'Fck
Scadm = Val(PRINCI.ScHor.Caption) 'Scadm
Ec = Val(PRINCI.EcHor.Caption) 'Ec
Ks = Val(PRINCI.Conecta.Text) 'K/s
Q0 = Val(PRINCI.Q0carga.Text) 'Q0
Q1 = Val(PRINCI.Q1carga.Text) 'Q1
Q2 = Val(PRINCI.Q2carga.Text) 'Q2

r = 0                          'distancias entre cdg de madera y hormigón
Ac = 0: Ic = 0: yc = 0         'se calculan una vez sabido el cdg desde la funcion pcdg
cdg = pcdg(a, a1, d, d1, B, H, Ec, Ew, r, Ac, Ic, yc, fibi) 'Calculando c.d.g

PRINCI.TenIniMade.Caption = " "
PRINCI.TenIniFiSh.Caption = " "

```

```

PRINCI.Fibra2.Caption = " "
PRINCI.TenIniHor.Caption = " "
PRINCI.TenIniFilh.Caption = " "
PRINCI.Fibra3.Caption = " "
PRINCI.FleIni.Caption = " "
PRINCI.TenIniFiSw.Caption = " "
PRINCI.Fibra4.Caption = " "
PRINCI.TenFinMade.Caption = " "
PRINCI.TenIniFilw.Caption = " "
PRINCI.Fibrafin2.Caption = " "
PRINCI.TenFinHor.Caption = " "
PRINCI.TenFinFiSh.Caption = " "
PRINCI.Fibrafin3.Caption = " "
PRINCI.FleFinal.Caption = " "
PRINCI.TenFinFilh.Caption = " "
PRINCI.Fibrafin4.Caption = " "
PRINCI.TenFinFiSw.Caption = " "
PRINCI.TenFinFilw.Caption = " "
PRINCI.DeforHormil.Caption = " "
PRINCI.DeforHormiD.Caption = " "
PRINCI.DeforMadel.Caption = " "
PRINCI.DeforMaded.Caption = " "

```

FF = 1: Smax0 = 0

$q = (Q0 + Q1 + Q2) * (a / 100) / 100$ 'pasando carga a Kg/ml.

$l = l * 100$

$Aw = B * H$; $Iw = B * H^3 / 12$ 'sección y MDI de la vigueta de madera

$Coeq = Ec / Ew$

$Ihomoge = Ic * Coeq + Iw + (Ac * Coeq * Aw) * r^2 / (Ac * Coeq + Aw)$

$Wsechomog = Ihomoge / (H + d - cdg)$

' Modulo resistente sección homogenea y K/s infinito

PRINCI.Ihomoge.Caption = Format(Ihomoge, "0.00")

PRINCI.Wsechomo.Caption = Format(Wsechomog, "0.00")

Call Dibu_seccion(B, H, a, a1, d, d1)

Do

alf# = 0: bet# = 0: cap# = 0

Call ABCAP(alf#, bet#, cap#, Ec, Ac, Ew, Aw, Ic, Iw, Ks, r)

' alfa, beta y capa iniciales

n# = 0: Mw# = 0: Mc# = 0

'Tensiones iniciales

Call NMwMc(n#, Mw#, Mc#, bet#, q, Ks, r, cap#, l, Ew, Iw, Ec, Ic)

Scinisup = $-(n\# / Ac) - (Mc\# / Ic * yc)$: Sciniinf = $-(n\# / Ac) + Mc\# / Ic * (fibi - yc)$

If Sciniinf >= .01 Then

cotah = $(-Scinisup) / (Sciniinf - Scinisup) * fibi$

If cotah <= d - d1 Then 'a descontar en zona rectangular

Ac = cotah * a: Ic = $a * cotah^3 / 12$: yc = cotah / 2

fibi = cotah

r = $H / 2 + d - yc$

End If

If cotah > d - d1 And a1 > 0 Then 'a descontar en zona en T

cotaa1 = (cotah + d1 - d)

Ac = $(d - d1) * a + cotaa1 * a1$

yc = $((a1 * cotaa1) * (d - d1 + cotaa1 / 2) + a * (d - d1)^2 / 2) / (a1 * cotaa1 + a * (d - d1))$

Ic = $a * (d - d1)^3 / 12 + a * (d - d1) * ((d - d1) / 2 - yc)^2 + a1 * cotaa1^3 / 12 + a1 * cotaa1 * (d - d1 + cotaa1 / 2 - yc)^2$

fibi = cotah - yc

r = $H / 2 + d - yc$

End If

End If

Loop While Sciniinf >= .01 ' para garantizar que no hay hormigón traccionado

Swinisup = $(n\# / B / H) - (6 * Mw\# / B / H^2)$: Swiniinf = $(n\# / B / H) + (6 * Mw\# / B / H^2)$

Scmax = $-(n\# / Ac) - (Mc\# / Ic * yc)$ 'tension maxima en hormigon
 Swmax = $(n\# / B / H) + (6 * Mw\# / B / H ^ 2)$ 'tension maxima en madera.

PRINCI.TenIniMade.Caption = " Tensión máxima en madera = " +
 Str\$(Format(Swmax, "0.00")) + " Kg/cm2."

PRINCI.TenIniHor.Caption = " Tensión máxima en hormigón = " +
 Str\$(Format(Scmax, "0.00")) + " Kg/cm2."

fib2 = fibi: fib3 = d: fib4 = H + d

PRINCI.TenIniFiSh.Caption = Format(Scinisup, "0.00")

PRINCI.TenIniFiLh.Caption = Format(Sciniinf, "0.00")

PRINCI.TenIniFiSw.Caption = Format(Swinisup, "0.00")

PRINCI.TenIniFiLw.Caption = Format(Swiniinf, "0.00")

PRINCI.Fibra2.Caption = Format(fib2, "0.00")

PRINCI.Fibra3.Caption = Format(fib3, "0.00")

PRINCI.Fibra4.Caption = Format(fib4, "0.00")

ScFicontac = $-(n\# / Ac) + Mc\# / Ic * (d - yc)$

PRINCI.DeforHormil.Caption = Format(ScFicontac / Ec, "0.00000000E-00")

PRINCI.DeforMadel.Caption = Format(Swinisup / Ew, "0.00000000E-00")

'-----Valor de flecha maxima t=0

rr# = cap# * l: rr# = senh(rr#)

ss# = cap# * l / 2: ss# = senh(ss#)

Fmax = $5 * q * l ^ 4 * bet\# / 384$

Fmax = Fmax * $(1 - bet\# * Ks * r ^ 2 / cap\# ^ 2)$

FF = $q * bet\# ^ 2 * Ks * r ^ 2 / cap\# ^ 4$

FF = FF * $((2 * ss\# / rr\# / cap\# ^ 2) + (l ^ 2 / 8) - (1 / cap\# ^ 2))$

Fmax = Fmax + FF

PRINCI.FleIni.Caption = " F.max = " + Str\$(Format(Fmax, "0.0000")) + " cm." +
 " L/300 = " + Str\$(Format(l / 300, "0.00")) + " cm."

If Scmax > Scadm Or Swmax > Swadm Or Fmax > l / 300 Then Beep

'-----

' Parte de tensiones que corresponden a carga variable

$$Scmaxv = Scmax * Q1 / (Q0 + Q1 + Q2)$$

$$Swmaxv = Swmax * Q1 / (Q0 + Q1 + Q2)$$

$$Scinisupv = Scinisup * Q1 / (Q0 + Q1 + Q2)$$

$$Sciniinfv = Sciniinf * Q1 / (Q0 + Q1 + Q2)$$

$$SwinisupV = Swinisup * Q1 / (Q0 + Q1 + Q2)$$

$$SwiniinfV = Swiniinf * Q1 / (Q0 + Q1 + Q2)$$

'-----

' Parte de flechas que corresponden a carga variable

$$Fmaxv = Fmax * Q1 / (Q0 + Q1 + Q2)$$

'-----

'----- Cargas de agotamiento iniciales -----

$$q = (Q0 + Q2) * (a / 100) / 100 \text{ 'solo carga constante}$$

'----- Valor de carga variable para f=L/300

$$Fm = 5 * l^4 * bet# / 384$$

$$Fm = Fm * (1 - bet# * Ks * r^2 / cap#^2)$$

$$FF = bet#^2 * Ks * r^2 / cap#^4$$

$$FF = FF * ((2 * ss# / rr# / cap#^2) + (l^2 / 8) - (1 / cap#^2))$$

$$fi = Fm + FF$$

$$Q1Fi = 0$$

$$Q1Fi = l / (fi) / 300 - q \text{ 'Carga de agotamiento por flecha}$$

'----- Valor de carga variable para Sw=Sw,adm

$$hh = bet# * Ks * 2 * r / cap#^2$$

$$hh = hh * ((ss# / rr# / cap#^2) + (l^2 / 16) - (1 / 2 / cap#^2))$$

$$Q1wi = 0$$

$$Q1wi = Swadm * B * H^2 / (hh * H + 6 * ((l^2 / 8 - hh * r) * Ew * lw * bet\#)) - q$$

'Carga de agotamiento por Swmax en madera

'----- Valor de carga variable para Sc=Sc,adm

$$Q1ci = 0$$

$$Q1ci = Scadm / (hh / Ac + ((l^2 / 8 - hh * r) * Ec * yc * bet\#)) - q$$

'Carga de agotamiento por Scmax en hormigón

' Calculo de tensiones diferidas

$$cdg1 = pcdg(a, a1, d, d1, B, H, Ec / (1 + 2.5), Ew, r, Ac, lc, yc, fibi)$$

'Calculando c.d.g final

$$\text{Call ABCAP}(alf\#, bet\#, cap\#, Ec / (1 + 2.5), Ac, Ew, Aw, lc, lw, Ks, r)$$

' alfa, beta y capa finales

$$q = (Q0 + Q2) * (a / 100) / 100$$

'Carga permanente solo

$$\text{Call NMwMc}(n\#, Mw\#, Mc\#, bet\#, q, Ks, r, cap\#, l, Ew, lw, Ec / (1 + 2.5), lc)$$

$$Scmax = -(n\# / Ac) - (Mc\# / lc * yc) + Scmaxv$$

'tension maxima en hormigon

$$Swmax = (n\# / B / H) + (6 * Mw\# / B / H^2) + Swmaxv$$

'tension maxima en madera.

PRINCI.TenFinMade.Caption = " Tensión máxima en madera = " +
Str\$(Format(Swmax, "0.00")) + " Kg/cm2."

PRINCI.TenFinHor.Caption = " Tensión máxima en hormigón = " +
Str\$(Format(Scmax, "0.00")) + " Kg/cm2."

$$Scfinsup = -(n\# / Ac) - (Mc\# / lc * yc) + Scinisupv: Scfininf = -(n\# / Ac) + Mc\# / lc * (fibi - yc) + Sciniinfv$$

$$\text{Swfinsup} = (n\# / B / H) - (6 * \text{Mw}\# / B / H^2) + \text{SwinisupV}; \text{Swfininf} = (n\# / B / H) + (6 * \text{Mw}\# / B / H^2) + \text{SwiniinfV}$$

$$\text{fib2} = \text{fibi}; \text{fib3} = \text{d}; \text{fib4} = H + d$$

$$\text{PRINCI.TenFinFiSh.Caption} = \text{Format}(\text{Scfinsup}, "0.00")$$

$$\text{PRINCI.TenFinFilh.Caption} = \text{Format}(\text{Scfininf}, "0.00")$$

$$\text{PRINCI.TenFinFiSw.Caption} = \text{Format}(\text{Swfinsup}, "0.00")$$

$$\text{PRINCI.TenFinFilw.Caption} = \text{Format}(\text{Swfininf}, "0.00")$$

$$\text{PRINCI.Fibrafin2.Caption} = \text{Format}(\text{fib2}, "0.00")$$

$$\text{PRINCI.Fibrafin3.Caption} = \text{Format}(\text{fib3}, "0.00")$$

$$\text{PRINCI.Fibrafin4.Caption} = \text{Format}(\text{fib4}, "0.00")$$

$$\text{PRINCI.DeforHormiD.Caption} = \text{Format}(\text{ScFicontac} / \text{Ec} + (-(n\# / \text{Ac}) + \text{Mc}\# / \text{Ic} * (\text{d} - \text{yc})) / (\text{Ec} / (1 + 2.5))), "0.00000000E-00")$$

$$\text{PRINCI.DeforMadeD.Caption} = \text{Format}(\text{Swinisup} / \text{Ew} + ((n\# / B / H) - (6 * \text{Mw}\# / B / H^2)) / \text{Ew}, "0.00000000E-00")$$

'-----Valor de flecha maxima carga permanente-----'

$$\text{Fmax} = 5 * q * l^4 * \text{bet}\# / 384$$

$$\text{Fmax} = \text{Fmax} * (1 - \text{bet}\# * \text{Ks} * r^2 / \text{cap}\#^2)$$

$$\text{FF} = q * \text{bet}\#^2 * \text{Ks} * r^2 / \text{cap}\#^4$$

$$\text{FF} = \text{FF} * (2 * (\text{ss}\# / \text{rr}\# / \text{cap}\#^2) + (l^2 / 8) - (1 / \text{cap}\#^2))$$

$$\text{Fmax} = \text{Fmax} + \text{FF}$$

' Añadiendo flecha debido a carga variable

$$\text{Fmax} = \text{Fmax} + \text{Fmaxv}$$

$$\text{PRINCI.FleFinal.Caption} = " F.max = " + \text{Str}\$(\text{Format}(\text{Fmax}, "0.00")) + " cm." + " L/300 = " + \text{Str}\$(\text{Format}(l / 300, "0.00")) + " cm."$$

$$\text{PRINCI.Mensaje.Caption} = " C.d.g.(ini)=" + \text{Str}\$(\text{Format}(\text{cdg}, "0.00")) + " C.d.g.(fin)=" + \text{Str}\$(\text{Format}(\text{cdg1}, "0.00"))$$

If Scmax > Scadm Or Swmax > Swadm Or Fmax > l / 300 Then Beep

'-----Cargas de agotamiento valores finales -----'

Ecf = Ec / (1 + 2.5) 'Mod. de deformacion tiempo infinito

r = 0 'distancias entre cdg de madera y hormigón

Ac = 0: Ic = 0: yc = 0 'se calculan una vez sabido el cdg

cdg = pcdg(a, a1, d, d1, B, H, Ecf, Ew, r, Ac, Ic, yc, fibi)

'Calculando c.d.g

Call ABCAP(alf#, bet#, cap#, Ecf, Ac, Ew, Aw, Ic, lw, Ks, r)

' alfa, beta y capa

'----- Flecha diferida producida por carga constante

Fmax = 5 * q * l ^ 4 * bet# / 384

Fmax = Fmax * (1 - bet# * Ks * r ^ 2 / cap# ^ 2)

FF = q * bet# ^ 2 * Ks * 2 * r ^ 2 / cap# ^ 4

FF = FF * ((ss# / rr# / cap# ^ 2) + (l ^ 2 / 16) - (1 / 2 / cap# ^ 2))

Fmax2 = Fmax + FF

'----- Carga variable para llegar al total de flecha

Q1Ff = 0

Q1Ff = (l / 300 - Fmax2) / fi

'----- Valor de carga variable para Sw=Sw,adm

Call NMwMc(n#, Mw#, Mc#, bet#, q, Ks, r, cap#, l, Ew, lw, Ecf, Ic)

Swmax2 = (n# / B / H) + (6 * Mw# / B / H ^ 2) 'tension maxima en madera

Scmax2 = (N# / Ac) + (Mc# / Ic * yc)

'tension maxima en hormigon para carga cte

Scmax2 = (n# / Ac) + (Mc# / Ic * yc)

'tension maxima en hormigon para carga cte.

r = 0 'distancias entre cdg de madera y hormigón

Ac = 0: Ic = 0: yc = 0 'se calculan una vez sabido el cdg

cdg = pcdg(a, a1, d, d1, B, H, Ec, Ew, r, Ac, Ic, yc, fibi)

'Calculando c.d.g

Call ABCAP(alf#, bet#, cap#, Ec, Ac, Ew, Aw, Ic, lw, Ks, r)

' alfa, beta y capa iniciales para carga cte.

$$Q1wf = 0$$

$$Q1wf = (Swadm - Swmax2) * B * H^2 / (hh * H + 6 * ((I^2 / 8 - hh * r) * Ew * lw * bet#))$$

'----- Valor de carga variable para Sc=Sc,adm

$$Q1cf = 0$$

$$Q1cf = (Scadm - Scmax2) / (hh / Ac + ((I^2 / 8 - hh * r) * Ec * yc * bet#))$$

'-----

'Hasta aqui las cargas Q1 estan referidas a Kg/cm.

'Para poder comparar valores se transforman en Kg/m.

$$Q1wi = Q1wi * 100$$

$$Q1ci = Q1ci * 100$$

$$Q1Fi = Q1Fi * 100$$

$$Q1wf = Q1wf * 100$$

$$Q1cf = Q1cf * 100$$

$$Q1Ff = Q1Ff * 100$$

'-----Eligiendo la carga mas pequeña

$$QQ1 = Q1wi: agot\$ = "S.ini.mad"$$

$$\text{If } Q1ci < QQ1 \text{ Then } QQ1 = Q1ci: agot\$ = "S.ini.hor"$$

$$\text{If } Q1Fi < QQ1 \text{ Then } QQ1 = Q1Fi: agot\$ = "Flech.ini"$$

$$\text{If } Q1wf < QQ1 \text{ Then } QQ1 = Q1wf: agot\$ = "S.fin.mad"$$

$$\text{If } Q1cf < QQ1 \text{ Then } QQ1 = Q1cf: agot\$ = "S.fin.hor"$$

$$\text{If } Q1Ff < QQ1 \text{ Then } QQ1 = Q1Ff: agot\$ = "Flech.fin"$$

$$Qtotal = q * 100 + QQ1 \quad \text{'Carga total en kg/m. que agota la sección}$$

$$Mmax = Qtotal * (l / 100)^2 / 8$$

'valor del Momento flector que agota la sección en m*kg.

```

Qvarim2 = QQ1 * 100 / a
PRINCI.Qagotavar.Caption = agot$
PRINCI.Qagotatot.Caption = Format(Qtotal, "0.00")
PRINCI.Mmaxagota.Caption = Format(Mmax, "0.00")
PRINCI.Qvam2.Caption = Format(Qvarim2, "0.00")

```

End Sub

Sub regre (m() As Single, re, CAd)

Curva de regresion $y = ax^2 + bx + c$

$x = 0: y = 0: x^2 = 0: xy = 0: x^3 = 0: x^4 = 0: x^2y = 0: n = 0: y^2 = 0$

For n = 1 To re

zz = m(n, 1): vv = m(n, 2)

x = x + zz

y = y + vv

$x^2 = x^2 + zz^2$

$y^2 = y^2 + vv^2$

$xy = xy + zz * vv$

$x^3 = x^3 + zz^3$

$x^4 = x^4 + zz^4$

$x^2y = x^2y + zz^2 * vv$

conto = conto + 1

Next n

n = re

$S_{xx} = x^2 - x^2 / n: S_{xy} = xy - x * y / n$

$S_{xx^2} = x^3 - x * x^2 / n: S_{x^2y} = x^2y - x^2 * y / n$

$S_{x^2x^2} = x^4 - x^2^2 / n$

$$a = (Sx2y * Sxx - Sxy * Sxx2) / (Sxx * Sx2x2 - Sxx2 ^ 2)$$

$$B = (Sxy * Sx2x2 - Sx2y * Sxx2) / (Sxx * Sx2x2 - Sxx2 ^ 2)$$

$$c = y / n - B * x / n - a * x2 / n$$

$$yn = y / n: \text{vartot} = 0: \text{varex} = 0$$

For n = 1 To re

$$vv = m(n, 2)$$

$$\text{vartot} = \text{vartot} + (vv - yn) ^ 2$$

Next n

$$n = re$$

$$\text{varnoex} = y2 - c * y - B * xy - a * x2y$$

$$\text{coef} = (\text{varnoex} / \text{vartot}) * 100 \quad '(1-r2)*100$$

$$\text{AAA} = \text{Sqr}((y2 - c * y - B * xy - a * x2y) / n) \text{ 'Error tipico de la estima}$$

$$\text{minimo} = \text{mini}(m(), n)$$

$$\text{maximo} = \text{maxi}(m(), n)$$

$$\text{paso} = (\text{maximo} - \text{minimo}) / 50$$

$$\text{con} = 0$$

texto = ""

texto = "min =" + Str\$(minimo) + Chr\$(13) + Chr\$(10)

texto = texto + "max =" + Str\$(maximo) + Chr\$(13) + Chr\$(10)

For xx = minimo To maximo Step 5

$$y = a * xx ^ 2 + B * xx + c$$

$$\text{con} = \text{con} + 1: \text{xx2} = \text{xx}: \text{yy2} = y$$

Call curva(xx, y, con): 'Call curva(y, xx, con)

If CAd = 1 Then

 If con = 1 Then

$$\text{xx1} = \text{xx2}: \text{yy1} = \text{yy2}$$

 Else

```
Call lindx(-xx1, yy1, -xx2, yy2, 7, "curvas")
xx1 = xx2: yy1 = yy2
End If
End If
Next xx

texto = texto + " E. tipico  = " + Str$(AAA) + Chr$(13) + Chr$(10)
texto = texto + " (1-r2) * 100 = " + Str$(coef) + " %" + Chr$(13) + Chr$(10)
Variak.Text1.Text = texto

End Sub
```

Function senh# (u As Double)

Calculo del seno hiperbolico de u

```
aa# = (Exp(u) - Exp(-u)) / 2
```

```
senh = aa#
```

```
End Function
```

Código Form1
Rutinas que activan las ventanas y botones
en la pantalla principal

```
Sub Acerca_Click ()
```

```
    AcercaDe.Show
```

```
End Sub
```

```
Sub AcercaDe_Click ()
```

```
    AcercaDe.Show 1 '1 = Conformar
```

```
End Sub
```

```
Sub CalculoDirecto_Click ()
```

```
    Call CALCULO
```

```
End Sub
```

```
Sub CantoH_Change ()
```

```
    Q0carga.Text = "      " + Str$(100 + ((Val(CantoH.Text) -  
        Val(CantoH1.Text)) * 25))' Carga Q0 depende del espesor de  
        hormigón
```

```
End Sub
```

```
Sub CantoH1_Change ()
```

```
    Q0carga.Text = "      " + Str$(100 + ((Val(CantoH.Text) -  
        Val(CantoH1.Text)) * 25))' Carga Q0 depende del espesor de  
        hormigón
```

```
End Sub
```

```
Sub Command3D1_Click ()
```

```
    form1.Show
```

End Sub

```
Sub Command3D2_Click ()
    AcercaDe.Show 1 '1 = Conformar
End Sub
```

```
Sub Command3D3_Click ()
    Call Q_agota
End Sub
```

```
Sub editor_Click ()
    form1.Show
End Sub
```

```
Sub FckHor_Change ()
    X = Val(princi.FckHor.Text) ' Fck
    Y = 19000 * Sqr(X)
    EcHor.Caption = Str$(Format(Y, "000000.00")) ' Modulo Ec hormigón
    Y = 60 + (X - 150) / 4 ' Tension adm. hormigón
    ScHor.Caption = Str$(Format(Y, "000.00"))
End Sub
```

```
Sub FckHor_Click ()
    X = Val(princi.FckHor.Text) ' Fck
    Y = 19000 * Sqr(X)
    EcHor.Caption = Str$(Format(Y, "000000.00")) ' Modulo Ec hormigón
    Y = 60 + (X - 150) / 4 ' Tension adm. hormigón
    ScHor.Caption = Str$(Format(Y, "000.00"))
End Sub
```

```
Sub Fin_Click ()
    End
End Sub
```

```
Sub final_Click ()
```

```
    End
```

```
End Sub
```

```
Sub FinalProg_Click ()
```

```
    End
```

```
End Sub
```

```
Sub Form_Load ()
```

```
    Dim X As Integer
```

```
    For X = 3 To 8          'luces de 3 a 8m.
```

```
        princi.Luzvig.AddItem Str$(X)
```

```
    Next X
```

```
    For X = 40 To 100 Step 10    'Entrevigados de 40 a 100 cm.
```

```
        princi.AnchoEnt.AddItem Str$(X)
```

```
    Next X
```

```
    For X = 80 To 120 Step 20    'Tension adm. madera 80,100,120
```

```
        Kg/cm2
```

```
        princi.Swmade.AddItem Str$(X)
```

```
    Next X
```

```
    For X = 250 To 350 Step 50    ' Fck 250, 300, 350 Kg/cm2
```

```
        princi.FckHor.AddItem Str$(X)
```

```
    Next X
```

```
    X = 250          ' Fck
```

```
    Y = 19000 * Sqr(X)
```

```
    EcHor.Caption = Str$(Format(Y, "000000.0"))    ' Modulo Ec
```

```
    Y = 60 + (X - 150) / 4          ' Tension adm. hormigón
```

```
    ScHor.Caption = Str$(Format(Y, "000.00"))
```

```
    'Rigidez de conectadores
```

```
    princi.Conecta.AddItem " 0.001"
```

```
    princi.Conecta.AddItem " 100"
```

```
    princi.Conecta.AddItem " 500"
```

```
    princi.Conecta.AddItem " 750"
```



```
princi.Conecta.AddItem " 1000"  
princi.Conecta.AddItem " 2000"  
princi.Conecta.AddItem " 20000"  
princi.Conecta.AddItem " 200000"  
princi.Conecta.AddItem " 2000000"
```

```
Q0carga.Text = " " + Str$(100 + Val(CantoH.Text) * 25) ' Carga Q0  
depende del espesor de hormigón
```

```
princi.Escuad.AddItem " 07 x 14"  
princi.Escuad.AddItem " 08 x 16"  
princi.Escuad.AddItem " 10 x 20" 'Escuadrias  
princi.Escuad.AddItem " 12 x 20"  
princi.Escuad.AddItem " 16 x 20"  
princi.Escuad.AddItem " 12 x 24"  
princi.Escuad.AddItem " 18 x 22"  
princi.Escuad.AddItem " 16 x 24"  
princi.Escuad.AddItem " 20 x 24"  
princi.Escuad.AddItem " 16 x 30"  
princi.Escuad.AddItem " 18 x 30"  
princi.Escuad.AddItem " 26 x 26"  
princi.Escuad.AddItem " 20 x 30"
```

```
End Sub
```

```
Sub Menu_VariaK_Click ()
```

```
Variak.Show
```

```
End Sub
```

```
Sub Picture1_Click ()
```

```
form1.Show
```

```
End Sub
```

```
Sub Swmade_Change ()
```

```
Ewmad.Text = Int((Swmade / 10 * 3.5 / .845) ^ 2.5 * 10)
```

```
End Sub
```

```
Sub Swmade_Click ()
    'Ewmad.Text = Swmade.Text
    Ewmad.Text = Int((Swmade / 10 * 3.5 / .845) ^ 2.5 * 10)
End Sub
```

Código Form2

**Rutinas que activan las ventanas y botones
en la pantalla de salida gráfica**

```
Sub AutoCaddxf_Click ()
```

```
    Call abredxf
```

```
End Sub
```

```
Sub Cad_Click ()
```

```
    abredxf
```

```
End Sub
```

```
Sub CalculoDirecto_Click ()
```

```
    Call abredxf
```

```
    Call Dibu_abaco(1)
```

```
    Call Q_agot_graf(1, 0)
```

```
    Call cierradxf
```

```
End Sub
```

```
Sub Command1_Click ()
```

```
    Call Q_agot_graf(0, 0)
```

```
End Sub
```

```
Sub Command2_Click ()
```

```
    Variak.Hide
```

```
End Sub
```

```
Sub Command3_Click ()
    form1.Show
    Call Q_agot_graf(0, 1)
End Sub

Sub Command3D1_Click ()
    Variak.Hide
    'text1.Text = ""
End Sub

Sub Command3D2_Click ()
    Call Calcul1
End Sub

Sub Form_Activate ()
    Call Dibu_abaco(0)
    Variak.Escuad.ListIndex = 0
End Sub

Sub Form_Load ()
    Variak.Escuad.AddItem " 07 x 14"
    Variak.Escuad.AddItem " 08 x 16"
    Variak.Escuad.AddItem " 09 x 18"
    Variak.Escuad.AddItem " 10 x 20"      'Escuadrias
    Variak.Escuad.AddItem " 11 x 22"
    Variak.Escuad.AddItem " 12 x 24"
    Variak.Escuad.AddItem " 13 x 26"
    Variak.Escuad.AddItem " 14 x 28"
    Variak.Escuad.AddItem " 15 x 30"
    Variak.Escuad.AddItem " 16 x 32"
    Variak.Escuad.AddItem " 16 x 32"
    Variak.Escuad.AddItem " 16 x 32"
    Variak.Escuad.AddItem " 16 x 34"
End Sub
```

```
Sub Picture1_Click ()  
    'Variak.PrintForm  
End Sub
```

Código Editor
Rutinas que activan las ventanas y botones
en el editor de textos

```
Const SI = -1  
Const NO = 0  
Dim Ind As Integer
```

```
Sub AyudaAcercaDe_Click ()  
    AcercaDe.Show 1 '1 = Conformar  
End Sub
```

```
Sub EdiciónCopiar_Click ()  
    Clipboard.SetText text1.SelText  
End Sub
```

```
Sub EdiciónCortar_Click ()  
    Clipboard.SetText text1.SelText  
    text1.SelText = ""  
End Sub
```

```
Sub EdiciónPegar_Click ()  
    text1.SelText = Clipboard.GetText()  
End Sub
```

```
Sub FicheroAbrir_Click ()  
    SistemaF.Show
```

End Sub

Sub FicheroGuardar_Click ()

 GuardarF.Show

End Sub

Sub FicheroNuevo_Click ()

 text1.Text = ""

 Form1.Caption = "Editor "

End Sub

Sub FicheroSalir_Click ()

 Form1.Hide

 princi.Show

 Form1.Caption = "Editor "

End Sub

Sub Form_Load ()

 Clipboard.Clear 'Borrar portapapeles

 Ind = 1 'Tipo de letra Helv

 ChDir app.Path

 ChDrive app.Path

 text1.Move 0, 0

 Top = Screen.Height / 2 - Height / 2

 Left = Screen.Width / 2 - Width / 2

End Sub

Sub Form_Resize ()

 text1.Width = Scalewidth

 text1.Height = Scaleheight

End Sub

Sub Fuente_Click (Index As Integer)

Fuente(Ind).Checked = NO

Select Case Index

Case 0

text1.FontName = "Courier"

Case 1

text1.FontName = "Helv"

Case 2

text1.FontName = "Symbol"

End Select

Fuente(Index).Checked = SI

Ind = Index

End Sub

Sub Text1_KeyUp (KeyCode As Integer, Shift As Integer)

If (Shift = 1) And (KeyCode = &H25 Or KeyCode = &H26 Or
KeyCode = &H27 Or KeyCode = &H28) Then

EdiciónCortar.Enabled = SI

EdiciónCopiar.Enabled = SI

End If

If text1.SelLength = 0 Then

EdiciónCortar.Enabled = NO

EdiciónCopiar.Enabled = NO

End If

If Len(Clipboard.GetText()) = 0 Then

EdiciónPegar.Enabled = NO

Else

EdiciónPegar.Enabled = SI

End If

End Sub

Código Sistdefi
Rutinas que activan las ventanas y botones
en el controlador ficheros

```
Const CLIC_EN_DIR = 1, CLIC_EN_FILE = 2
```

```
Dim ÚltimoCambio As Integer
```

```
Dim Texto As String
```

```
Sub Aceptar_Click ()
```

```
    Dim fichero As String
```

```
    Dim Longitud As Long, N As Integer
```

```
    Aceptar.SetFocus
```

```
    Select Case ÚltimoCambio
```

```
        Case CLIC_EN_DIR
```

```
            Dir1.Path = Dir1.List(Dir1.ListIndex)
```

```
        Case CLIC_EN_FILE
```

```
            On Error GoTo RutinaError
```

```
            If (Right$(Dir1.Path, 1) = "\") Then
```

```
                fichero = Dir1.Path + File1.FileName
```

```
            Else
```

```
                fichero = Dir1.Path + "\" + File1.FileName
```

```
            End If
```

```
            Open fichero For Input As #1
```

```
            Form1.Caption = "Editor " + fichero
```

```
            Longitud = LOF(1)
```

```
            Texto = ""
```

```
            Do
```

```
                If Longitud > 32767 Then
```

```
                    N = 32767
```

```
                Else
```

```
    N = Longitud
    End If
    Texto = Texto + Input$(N, #1)
    Longitud = Longitud - 32767
    Loop Until Longitud <= 0
    Form1.Text1.Text = Texto
    Close #1
    SistemaF.Hide
End Select

Salir:
    ÚltimoCambio = 0
    Exit Sub

RutinaError:
    MsgBox "Error: no se puede abrir el fichero", 48, "Editor"
    Close
    Resume Salir
End Sub

Sub Cancelar_Click ()
    SistemaF.Hide
End Sub

Sub Dir1_Change ()
    File1.Path = Dir1.Path
End Sub

Sub Dir1_Click ()
    ÚltimoCambio = CLIC_EN_DIR
End Sub

Sub Drive1_Change ()
    On Error GoTo Driver
    Dir1.Path = Drive1.Drive
    Exit Sub
```

Driver:

MsgBox "Error: unidad no preparada", 48, "Editor"

Exit Sub

End Sub

Sub File1_Click ()

ÚltimoCambio = CLIC_EN_FILE

End Sub

Sub File1_DbClick ()

ÚltimoCambio = CLIC_EN_FILE

Aceptar_Click

End Sub

Sub Aceptar_Click ()

On Error GoTo RutinaDeError

'Escribir en el fichero

Open NombreFg.Text For Output As #1

Print #1, Form1.Text1.Text

Close #1

'Ocultar la forma

NombreFg.Text = ""

NombreFg.SetFocus

GuardarF.Hide

Form1.Text1.SetFocus

Salir:

Exit Sub

RutinaDeError:

MsgBox "Error al abrir el fichero", 48, "Editor"

NombreFg.SetFocus

Resume Salir

End Sub

Sub Cancelar_Click ()

```
NombreFg.Text = ""  
NombreFg.SetFocus  
GuardarF.Hide  
Form1.Text1.SetFocus  
End Sub
```