

ANÁLISIS NUMÉRICO-EXPERIMENTAL DE UN PROTOTIPO DE SECCIÓN MIXTA DE HORMIGÓN-MADERA

Astori, Raúl^a ; Barrios D'Ambra, Ricardo^b; Solari, Federico^a; Kostaschi, Luis^b

^aInstituto de Estabilidad - Facultad de Ingeniería- Universidad Nacional del Nordeste
Av. Las Heras 727 - (3500) Resistencia - Chaco - Argentina. TE 54(03722)-425064
rastori@ing.unne.edu.ar - <http://www.ing.unne.edu.ar>

^bDepartamento de Mecánica Aplicada Facultad de Ingeniería- Universidad Nacional del Nordeste
Av. Las Heras 727 - (3500) Resistencia - Chaco - Argentina. TE 54(03722)-425064
rbarrios@ing.unne.edu.ar - <http://www.ing.unne.edu.ar>

Palabras clave: sección mixta; hormigón-madera; conector; flexión, modelado numérico

RESUMEN

Resumen. El presente Trabajo se realiza dentro del marco del Proyecto de Investigación “Estructuras Mixtas de Hormigón-Madera para Puentes” PI-67/04, que se desarrolla en el Instituto de Estabilidad de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Nordeste.

El principal objetivo cuando se utiliza una sección mixta de hormigón-madera es lograr un óptimo rendimiento de ambos materiales, combinando sus propiedades favorables (alta resistencia a la compresión y elevado módulo de elasticidad del hormigón y altas resistencias a la flexión y a la tracción paralela al grano en la madera) y minimizando sus características desfavorables (poca resistencia a la tracción en el hormigón y bajo módulo de elasticidad de la madera).

El problema principal a solucionar consiste en lograr una conexión eficiente que garantice el trabajo en conjunto, restringiendo al máximo la deformación relativa en la interfase de hormigón - madera.

Con la realización de este Trabajo se pretende avanzar en el estudio de las secciones mixtas de hormigón - madera, bajo cargas estáticas y específicamente sobre el comportamiento mecánico de los conectores que las vinculan, ya que ellos constituyen el elemento fundamental en este tipo de secciones.

Se presenta un estudio numérico - experimental, sometiendo un prototipo de sección mixta de hormigón - madera a cargas estáticas.

La resistencia al corte de los conectores se obtiene mediante ensayos de corte, para determinar el módulo de deformación “k”.

Posteriormente, se realizan los ensayos de flexión, obteniéndose los descensos verticales máximos y desplazamientos relativos entre hormigón y madera.

El modelado numérico tanto de los ensayos preliminares de corte, como los de ensayos de flexión se realiza utilizando un programa de aplicación del Método de Elementos Finitos.

Luego se comparan los resultados obtenidos experimentalmente con los del modelado numérico evaluándose la eficiencia del prototipo presentado.

1. INTRODUCCION

El presente Trabajo se realiza dentro del marco del Proyecto de Investigación “Estructuras Mixtas de Hormigón-Madera para Puentes” PI-67/04, que se desarrolla en el Instituto de Estabilidad de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Nordeste.

Para la formulación del mencionado Proyecto se han tenido en consideración las siguientes razones:

- El uso de materiales combinados en la resolución de estructuras, para obtener un mejor aprovechamiento de sus cualidades mecánicas.
- En diversos países se están desarrollando y empleando las secciones mixtas de hormigón-madera con excelentes resultados, en razón de las ventajas que presenta frente a otras alternativas tecnológicas, especialmente en la resolución de elementos donde predominan los esfuerzos de flexión.
- En construcciones de puentes y otras estructuras de importancia, la utilización de la madera laminada, amplía las posibilidades de diseño al eliminar las restricciones de luces y secciones de la madera, a la vez que se alcanza un elevado aprovechamiento del material forestal para el uso estructural.
- En el ámbito nacional y regional no están muy divulgadas construcciones de este tipo, constituyendo un posible campo de aplicación de maderas de la región.
- Los factores negativos mas conocidos de la madera (material heterogéneo, anisotrópico y biológicamente perecible) tienden a relativizarse, superados por el papel fundamental que tendrá en un futuro el uso racional de la madera como recurso renovable.

El objetivo que se persigue al utilizar una sección mixta de hormigón-madera es alcanzar un óptimo rendimiento de ambos materiales, combinando sus propiedades favorables (alta resistencia a la compresión y elevado módulo de elasticidad del hormigón y altas resistencias a la flexión y a la tracción paralela al grano en la madera) y minimizando sus características desfavorables.

El problema principal a solucionar es lograr una conexión eficiente que garantice el trabajo en conjunto, restringiendo al máximo la deformación relativa en la interfase de hormigón - madera.

Se presenta un estudio numérico - experimental, sometiendo un prototipo de sección mixta de hormigón - madera a cargas estáticas.

En la primer parte del trabajo se presenta el análisis de un prototipo para determinar la resistencia al corte de los conectores mediante ensayos específicos, para determinar el módulo de deslizamiento “k”.

En la parte final, se presentan los ensayos de flexión, donde se obtienen los descensos verticales máximos y desplazamientos relativos entre hormigón y madera.

El modelado numérico tanto de los ensayos preliminares de corte en los conectores, como los de ensayos de flexión se realizan utilizando un programa de aplicación del MEF.

Luego se comparan los resultados obtenidos experimentalmente con los de los modelados numéricos, mediante el análisis del estado tensional en la vinculación hormigón-madera a través de los conectores, evaluándose la eficiencia del prototipo presentado, con el objeto de optimizar el diseño de los mencionados conectores.

Con la realización de este Trabajo se pretende avanzar en el estudio de las secciones mixtas de hormigón-madera, bajo cargas estáticas y específicamente sobre el comportamiento mecánico de los conectores que las vinculan, ya que ellos son los elementos fundamentales en este tipo de secciones.

En etapas posteriores del Proyecto, se estudiarán las secciones mixtas de Hormigón-Madera bajo cargas de larga duración, cargas dinámicas, influencia de la acción climática (durabilidad) y la posibilidad de aplicación de métodos de cálculos más confiables para la resolución de puentes.

2. ENSAYOS DE CORTE

2.1. PARTE EXPERIMENTAL

2.1.1. Descripción del ensayo

El trabajo consiste en el análisis teórico-experimental de un modelo de conector que vincula secciones de madera y hormigón sometido a ensayos de corte. Este modelo está diseñado a partir de experiencias previas, mediante la aplicación de normas y procedimientos utilizados en trabajos de reconocida validez.

Las probetas de ensayo de corte están formadas por placas de hormigón dispuestas a ambos lados de una pieza de madera, vinculadas mediante un conector en cada lado. Los conectores son tirafondos de acero de 11mm de diámetro, con un zunchado en espiral de acero de 4,2mm.

En la [Figura 1](#) se pueden observar distintas imágenes de una probeta. Sus dimensiones se indican en la [Figura 2](#)

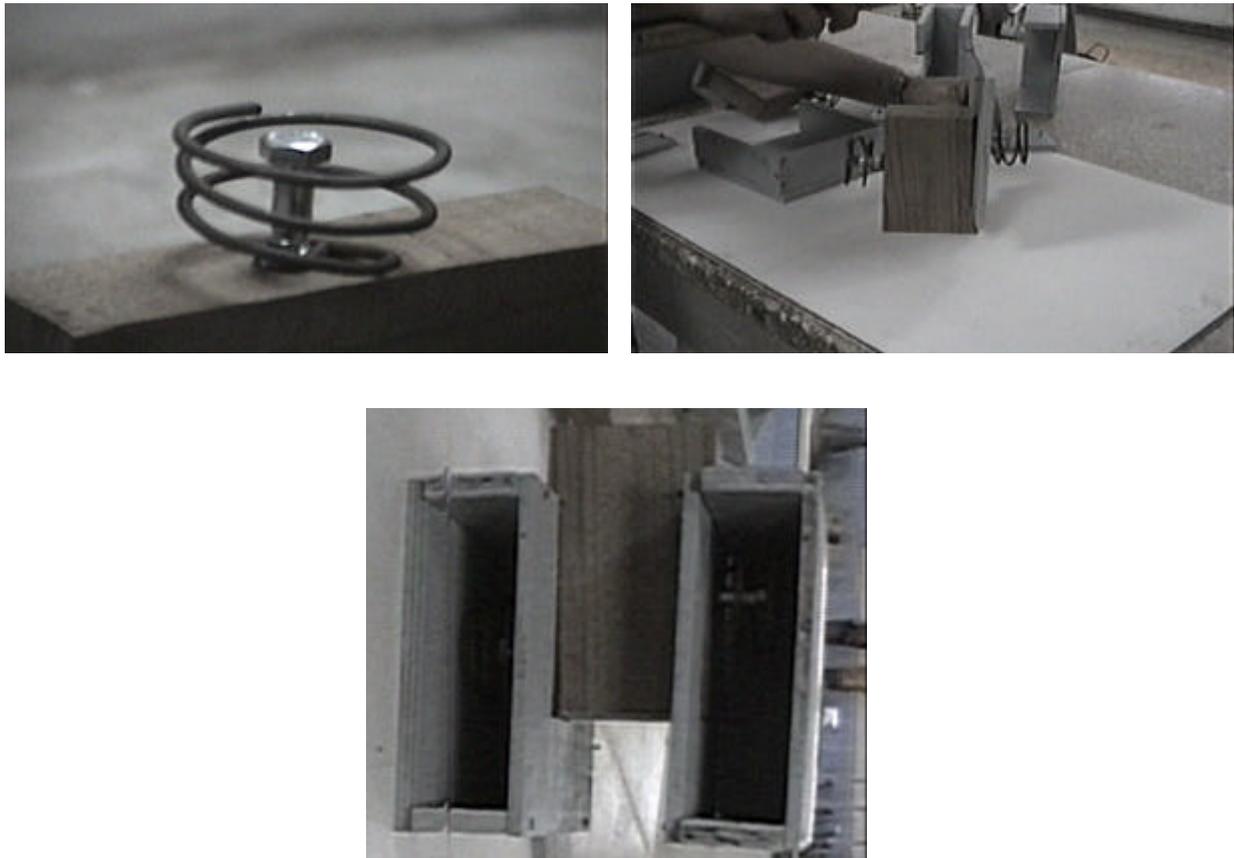


Figura 1: Probeta del ensayo de corte

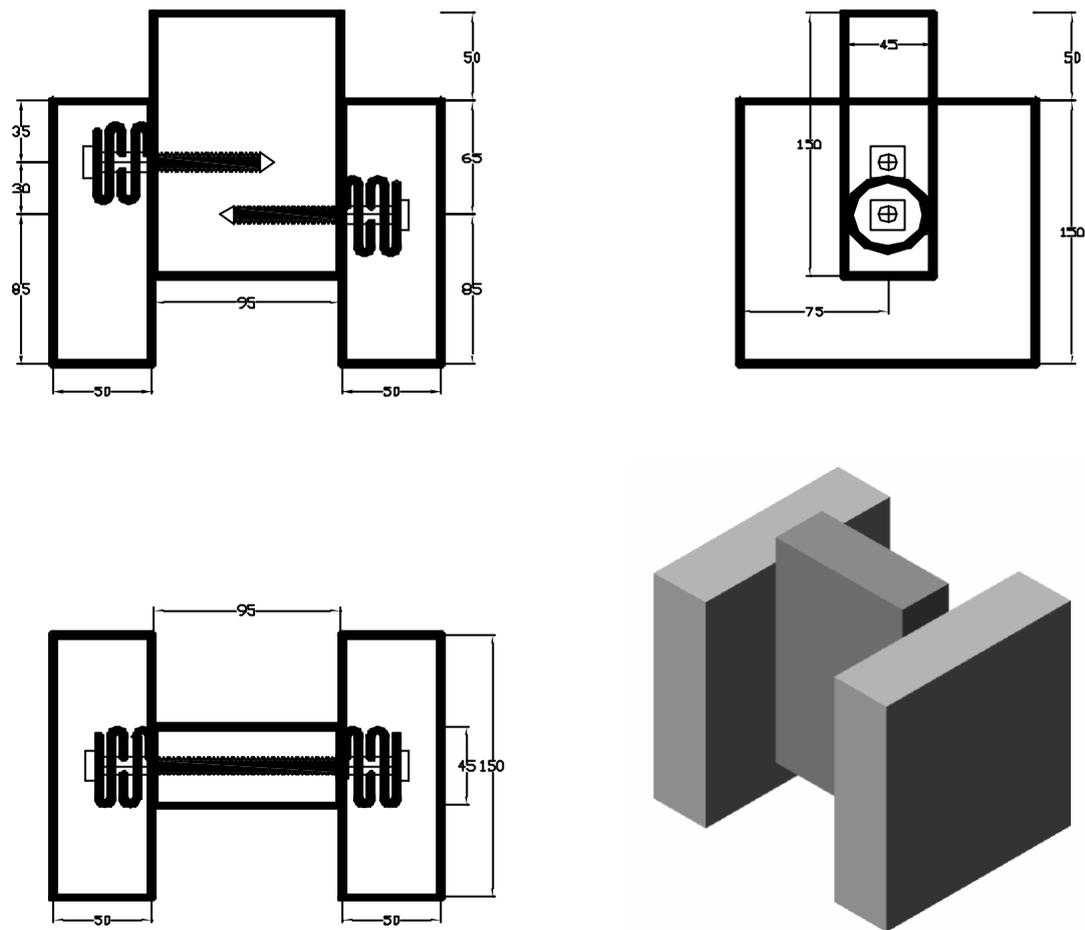


Figura 2 : Esquema de la probeta de ensayo

El programa de ensayo está formado por 9 probetas, cuyas características principales se indican en la [Tabla 1](#).

En cada unión se coloca un tirafondo de acero, roscado en la madera y embebido en el hormigón. El largo del tirafondo es de 95mm, de los cuales 65mm van roscados en la madera y 30mm en la masa de hormigón. Se disponen espirales de acero de 4,2mm de diámetro ubicados en forma de zuncho, alrededor del tirafondo para disipar la concentración de tensiones producida en la zona alrededor del conector, por la transferencia de esfuerzos.

Las piezas de madera son tratadas previamente con un material impermeabilizante, con el objeto de evitar su adherencia con el hormigón y también para disminuir su saturación durante el período de curado.

Las probetas son sometidas a ensayos de corte en el plano de vinculación entre madera y hormigón, obteniéndose en cada caso la curva carga versus desplazamiento relativo.

La aplicación de la carga se realiza mediante una máquina de ensayo universal con capacidad de 1000 KN, de manera continua.

| | | | |
|----------|------------|-----------------------|---|
| MATERIAL | MADERA | Especie | URUNDAY |
| | | Contenido de Humedad | 12 % |
| | HORMIGON | Bcn | 20 Mpa |
| | | Cemento pórtland | Normal (Norma IRAM 1503) |
| | | Agregado fino | Arena Silícea natural del Río Paraná (Mf=1.85) |
| | | Agregado Grueso | Piedra Partida basáltica (6-20) |
| | | Relación agua-cemento | 0.6 |
| | | Asentamiento | 7.5 cm |
| | CONECTORES | Tipo | Tirafondo de acero |
| | | Tensión de Fluencia | 420 Mpa |
| Diámetro | | 11 mm | |

Tabla 1: Características de los materiales de la probeta

Las lecturas de los desplazamientos relativos en la interfase madera - hormigón, se realizan a través de un extensómetro mecánico con apreciación de 0,01mm, ubicado según se indica en [Figura 3](#)

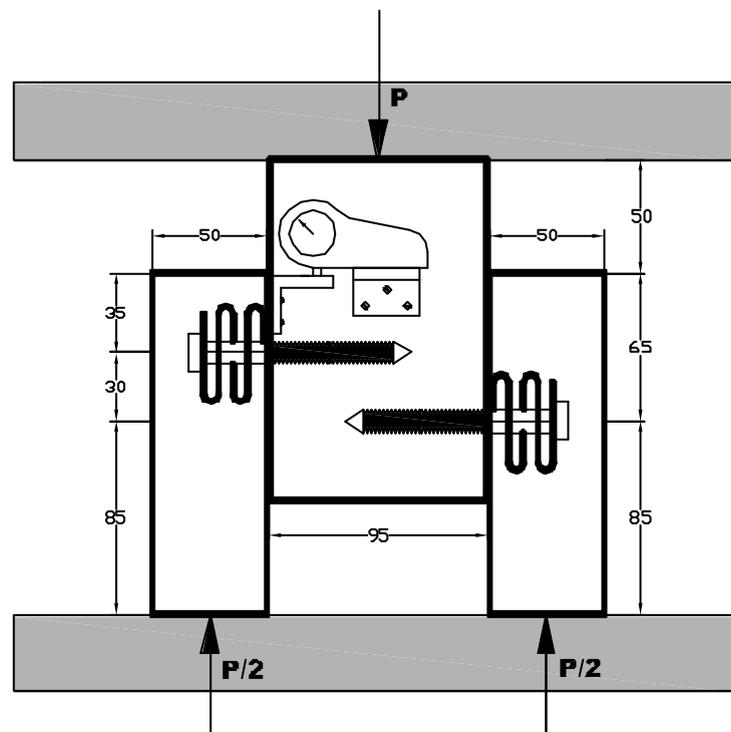


Figura 3 : Esquema ubicación del extensómetro.

2.1.2 Resultados Experimentales

En la [Figura 4](#) se representan las curvas Carga-Desplazamiento relativo correspondientes a ocho probetas de las nueve ensayadas y una curva con los valores promedios. Los resultados de la probeta restante se descartan por errores en el procedimiento de ensayo.

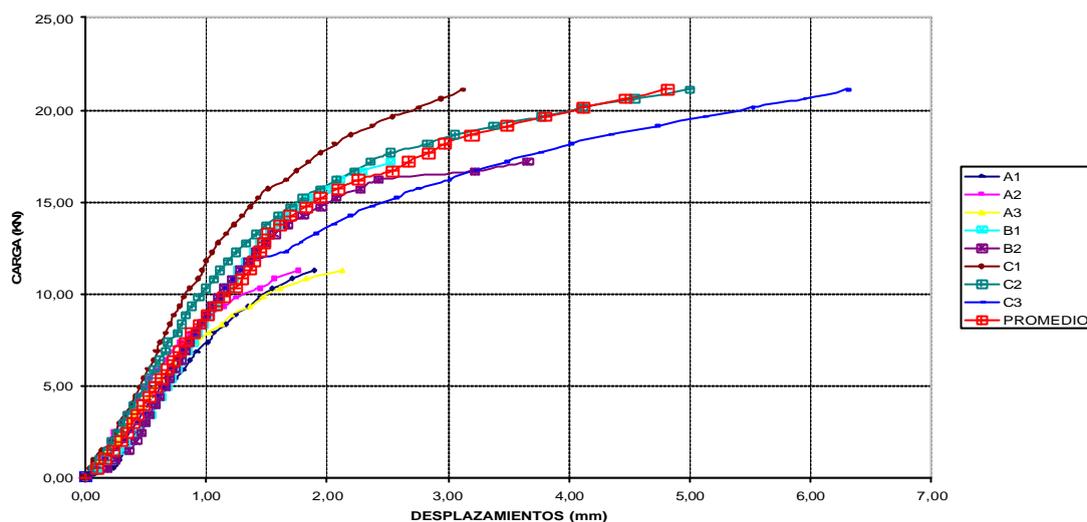


Figura 4: Diagrama Cargas – Desplazamientos relativos

Los resultados obtenidos en la serie de probetas ensayadas muestran un bajo grado de dispersión, excepto para valores próximos a la rotura, donde la fisuración del hormigón empieza a manifestarse.

La carga máxima se produce en todos los casos al agotarse la resistencia del anclaje en el hormigón, donde se generan diversas líneas de fisuras, ubicadas en general en zonas próximas a los conectores.

Las curvas representadas, manifiestan un comportamiento casi lineal, de la relación carga – desplazamientos, hasta valores de carga cercanos a los 14 KN, a partir del cual se puede considerar un comportamiento no-lineal.

El valor del módulo de deformación promedio obtenido es $k = 8333 \text{ N/mm}$.

2.2 MODELADO NUMERICO

Se presenta un análisis tensional de la zona de anclaje de los conectores utilizando un programa de aplicación del MEF. Con el fin de calibrar el modelo, se realiza primero un análisis con comportamiento lineal de los materiales para ajustar la primer parte de la curva experimental. Con el modelo calibrado se procede al análisis del comportamiento no lineal de los conectores.

El modelado de los elementos componentes de la probeta se realiza utilizando un denominado Modelado Simplificado, donde se reemplaza el conector real, por elementos del tipo resorte lineal y no lineal.

La elección de este tipo de modelado se basa en trabajos previos ([Astori y otros, 2006](#)), donde se analizan también Modelados Completos, en los cuales se trabaja caracterizando

todos los elementos componentes de la probeta (madera, hormigón y conector) con sus respectivos materiales con comportamiento lineal. En el trabajo de referencia, una de las conclusiones obtenidas es el alto grado de coincidencia apreciado entre la distribución de tensiones en la madera y el hormigón obtenidas con el Modelado Simplificado, con el reemplazo del conector real por elementos de tipo Resorte lineal, y la distribución de tensiones de los Modelos Completos, indicando el buen ajuste logrado con el modelado para el comportamiento lineal del conector. Por lo que para el presente trabajo se adopta directamente el Modelado Simplificado.

Modelado Simplificado

En este modelado (ver Figura 5), el Hormigón y la madera son representados por elementos para el Estado Plano de Tensiones. En cambio, los conectores son representados mediante elementos lineales tipo Resorte, que pretenden simular el comportamiento de los mismos. Las propiedades de los materiales utilizados figuran en Tabla 2. En la Figura 5 también se indican nodos representativos, que serán utilizados para el cálculo de desplazamientos relativos.

Para el análisis se modelan los conectores, dando a los resortes un comportamiento lineal, obteniendo el comportamiento tensional de las probetas al ser sometidas a esfuerzo de corte, estudiando la distribución de tensiones s_y . Posteriormente se analiza el comportamiento no-lineal de los conectores.

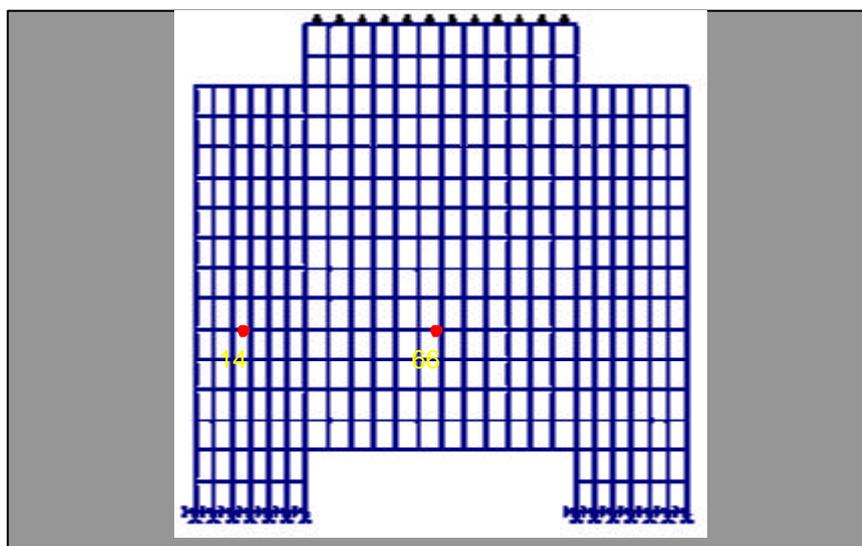


Figura 5 : Modelado Simplificado (MS)

| Tipo de Elemento | Modulo de Elasticidad (MPa) | Ancho modelado (cm) |
|------------------------|-----------------------------|---------------------|
| PLANO 2D para madera | 10000 | 4 |
| PLANO 2D para Hormigón | 27500 | 16 |
| RESORTE para conector | 210000 | -- |

Tabla 2: Propiedades de los Materiales para MS

2.2.1 Comportamiento Lineal

Para este modelado, se disponen los resortes como se indica esquemáticamente en la [Figura 6](#), representando la disposición que los mismos presentan en el prototipo real. Se adopta una constante de resorte, obtenida de los ensayos experimentales, $k = 8333 \text{ N/mm}$.

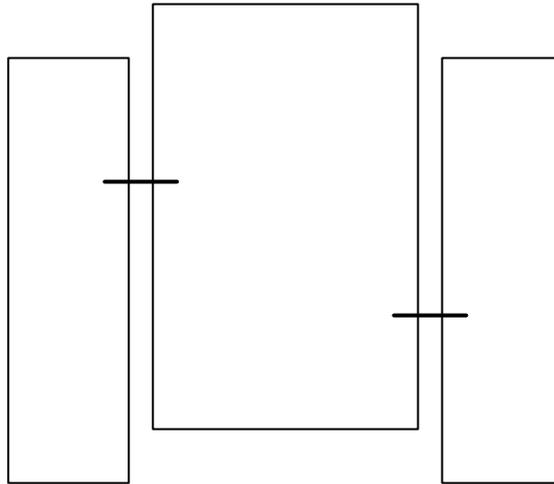


Figura 6: Disposición de los Resortes

Para este modelado se obtiene la Distribución de Tensiones que se indica en [Figura 7](#), que es similar a la obtenida en trabajos previos ([Astori y otros, 2006](#)), por lo que se deduce un buen comportamiento del modelado lineal planteado. En dicha Figura, se aprecia la gran concentración de tensiones que se produce en la zona del conector.

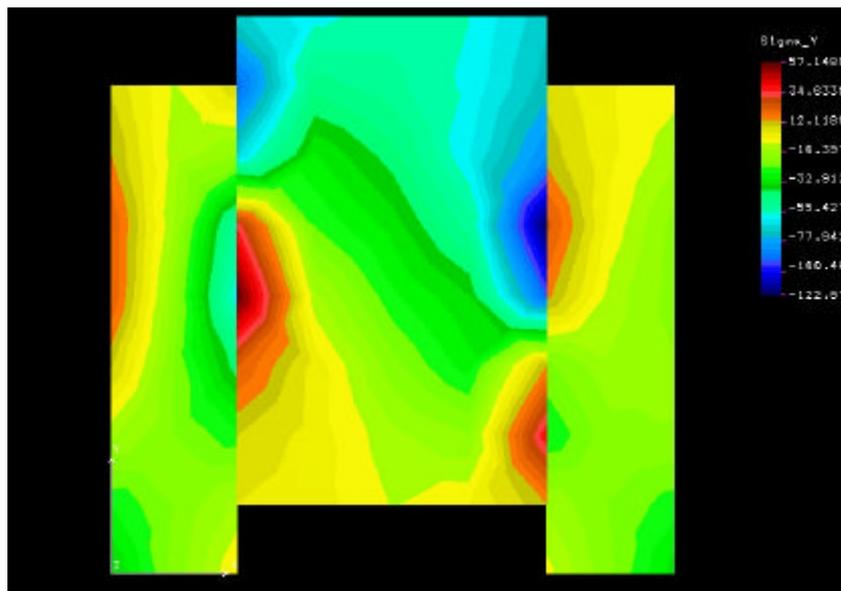


Figura 7: Distribución de tensiones σ_y

2.2.2 Comportamiento No Lineal

En esta etapa, se introduce al elemento Resorte, un comportamiento No Lineal, de manera de reproducir numéricamente, el comportamiento real de los conectores de los prototipos experimentales observados en los Diagramas Cargas-desplazamientos (ver Figura 4).

La ley de comportamiento no lineal del elemento Resorte es obtenida calibrando los valores de la Curva Promedio de los ensayos experimentales de cada tipo de Probeta.

Para analizar el comportamiento No Lineal del Modelado se obtienen Curvas Cargas-Desplazamientos (Figura 8), para la cual se calculan los desplazamientos relativos entre dos nodos representativos, indicados en la Figura 5, ubicados en los centros de las secciones de madera y H°, geoméricamente coincidentes con la ubicación de los nodos donde se miden los desplazamientos relativos en los ensayos experimentales.

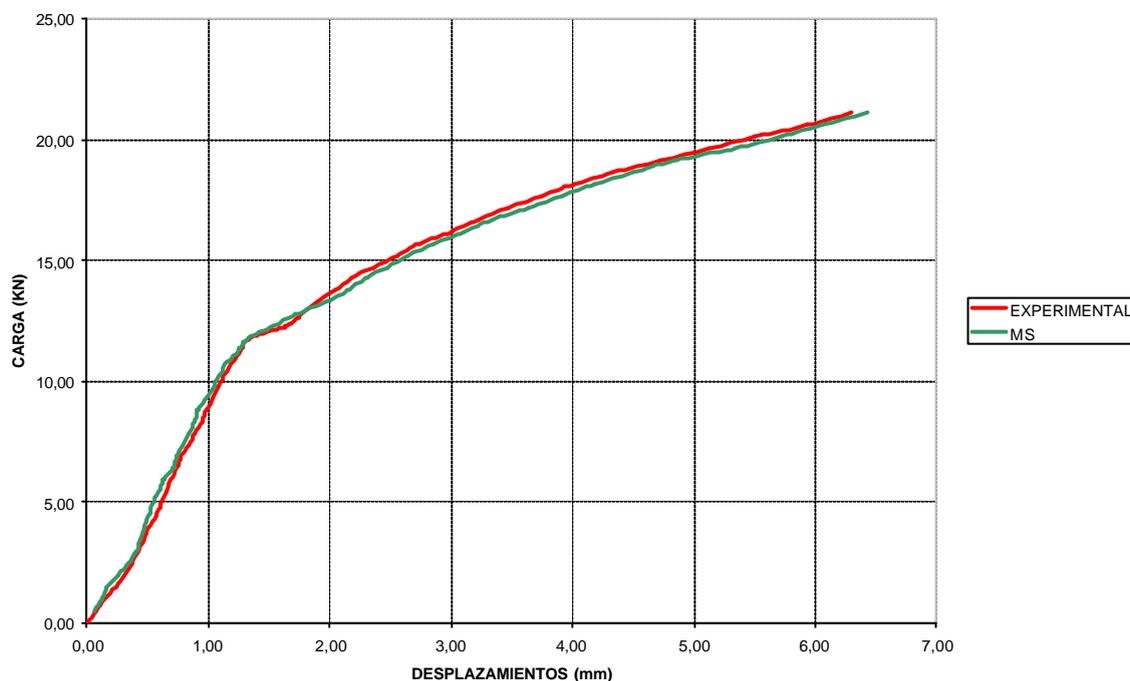


Figura 8: Curvas Cargas-Desplazamientos para MS

En el Diagrama, se puede observar un alto grado de coincidencia entre la curva Carga – Desplazamiento, presentada en el Modelado, con la obtenida en el Ensayo Experimental.

3 ENSAYO DE FLEXION

En la segunda parte de este trabajo, se presentan ensayos de flexión realizados con el objeto de analizar el comportamiento de las estructuras mixtas de hormigón – madera, sometidas a este tipo de esfuerzo, que será el predominante en los modelos de puentes a analizar en otras etapas del Proyecto de Investigación de referencia.

El desarrollo de la acción compuesta entre la viga de madera y la losa de hormigón depende de la ocurrencia de una deflexión desde la fibra superior del hormigón hasta la parte

inferior de la viga de madera. Cuando la interacción se desarrolla en forma completa, no se produce deslizamiento, y existe un solo eje neutro.

Se analiza el comportamiento de cada uno de los materiales que componen el prototipo y específicamente el comportamiento global de la estructura, para determinar si efectivamente se produce la interacción entre hormigón y madera.

Al igual que en los ensayos de corte, se presenta en primer término la parte experimental y luego se contrastan los resultados obtenidos con un modelado numérico.

Para ello se obtienen los descensos verticales máximos y desplazamientos relativos entre hormigón y madera.

3.1 PARTE EXPERIMENTAL

3.1.1 Descripción del ensayo

Se presenta un prototipo de estructura mixta de hormigón - madera, diseñado a escala reducida. En la parte inferior posee dos tirantes de madera de 45mm x 95mm de sección y 3,20m de longitud (3,00m de luz libre), separados por una distancia entre ejes de 400mm. Sobre dichos tirantes se ubica una capa de hormigón de 800mm de ancho y 50mm de espesor. El detalle y las dimensiones de la sección transversal se indican en la [Figura 9](#). En la dirección transversal se dispone una armadura de repartición mínima.

Como elementos de conexión entre ambos materiales se utilizan tirafondos de acero, cuyo comportamiento fue presentado en la primer parte de este trabajo. El largo del tirafondo es de 95mm, 65 mm roscados en la madera y 30mm en la masa de hormigón. Se disponen espirales de acero de 4,2mm de diámetro para disipar la concentración de tensiones producida en la zona alrededor del conector, por la transferencia de esfuerzos.

La disposición de los mismos se indica en [Figura 10](#). Las características y propiedades de cada uno de los materiales utilizados se presentan en la [Tabla 3](#).

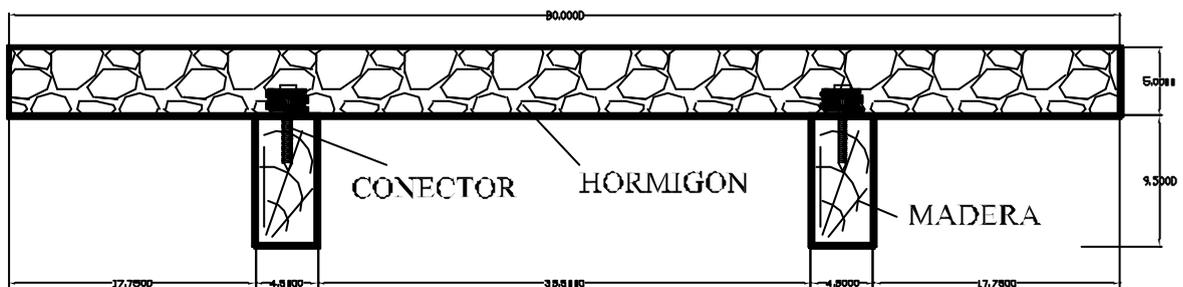


Figura 9: Sección transversal del prototipo

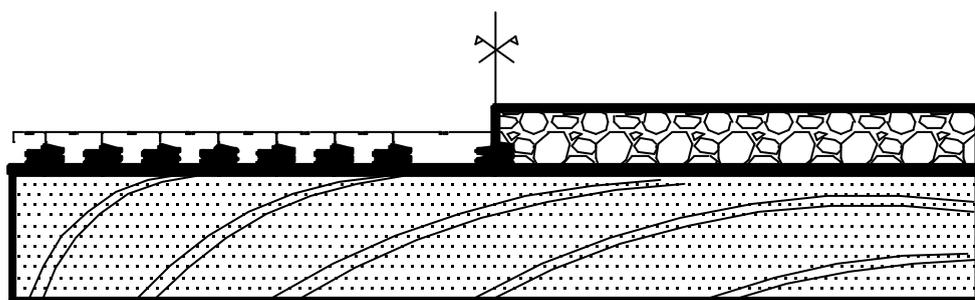


Figura 10: Disposición de los conectores de corte

| | | | |
|----------|-------------------------|-----------------------|---|
| MATERIAL | MADERA | Especie | URUNDAY |
| | | Contenido de Humedad | 12 % |
| | HORMIGON | Bcn | 20 Mpa |
| | | Cemento Pórtland | Normal (Norma IRAM 1503) |
| | | Agregado fino | Arena Silícea natural del Río Paraná (Mf=1.85) |
| | | Agregado Grueso | Piedra Partida basáltica (6-20) |
| | | Relación agua-cemento | 0.6 |
| | | Asentamiento | 7.5 cm |
| | | CONECTORES | Tipo |
| | Tensión de Fluencia | | 420 Mpa |
| | Diámetro | | 11 mm |
| | MALLA DE REPARTICION | Tipo | St 37 |
| | | Tensión de Fluencia | 420 Mpa |
| | | Diámetro | 6 mm |
| | | Separación | 25 cm |

Tabla 3: Características y propiedades de los materiales

En la [Figura 11](#) se presenta una imagen de la probeta de ensayo antes de ser hormigonada. Se aprecian los tirantes, la disposición de los conectores y la malla transversal. Cabe aclarar, como se deduce en la imagen, que la probeta es hormigonada en posición invertida.



Figura 11: Prototipo de Ensayo a la Flexión

En la [Figura 12](#) se presenta una imagen del hormigonado de la probeta.



Figura 12: Hormigonado del prototipo

3.1.2 Procedimiento

El ensayo se realiza bajo un marco de carga. La misma es aplicada con cilindros hidráulicos a un perfil, que reparte la carga a dos cilindros ubicados transversalmente en los tercios medios de la luz, materializando dos cargas puntuales y generando de esta manera una zona de flexión pura en el tercio central.

En la [Figura 13](#), se presenta esquemáticamente el ensayo. En la vista lateral, se aprecia la distribución de la carga en los tercios medios, mediante los cilindros de carga. La célula de carga se introduce con el objeto de tomar las lecturas de la misma.

Se disponen tres extensímetros en la línea media transversal de la luz: uno en la placa de hormigón y los dos restantes en cada uno de los tirantes de madera con el objeto de obtener valores medios de la evolución de la deformación en ese punto (flecha máxima) y verificar si existe separación vertical entre los dos materiales.

Se colocan además en uno de los extremos, dos extensímetros solidarios a la sección de madera, para medir la variación de la deformación longitudinal relativa entre dicha sección y la capa de hormigón.

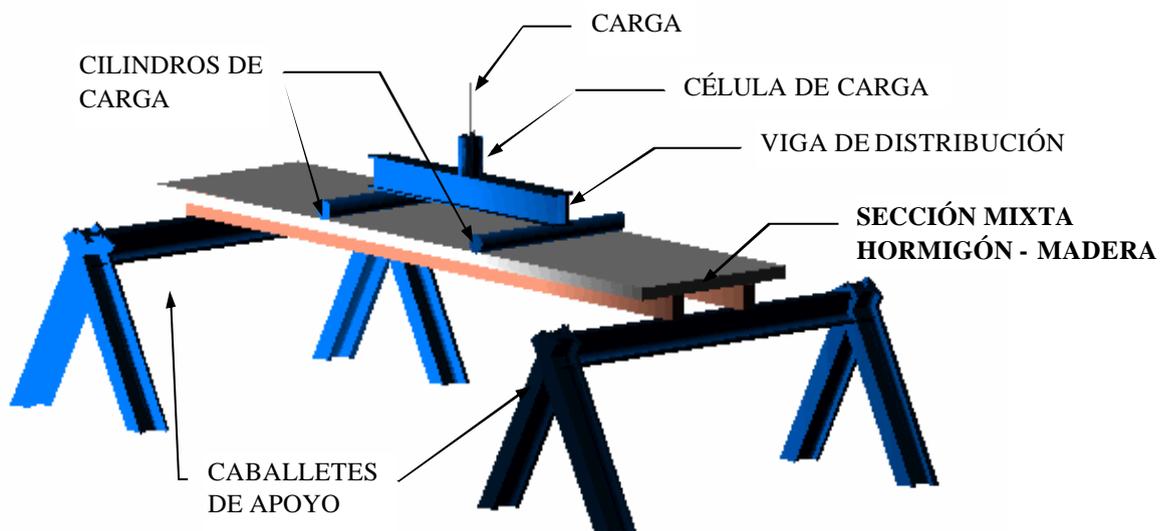
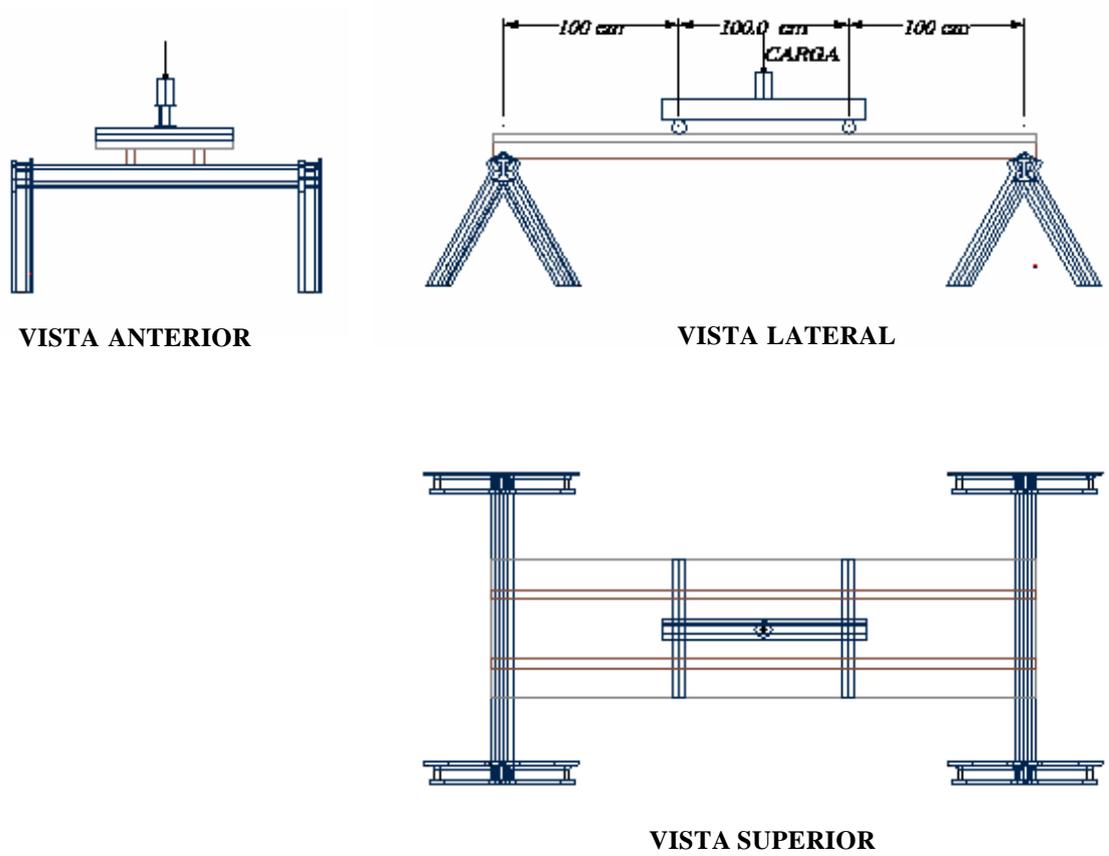


Figura 13: Esquema del Ensayo a Flexión

Los resultados se presentan en la [Figura 14](#) mediante una curva carga – deformación, donde se representan las lecturas obtenidas en cada uno de los extensímetros, al aplicarse la carga y una curva promedio de los descensos verticales.

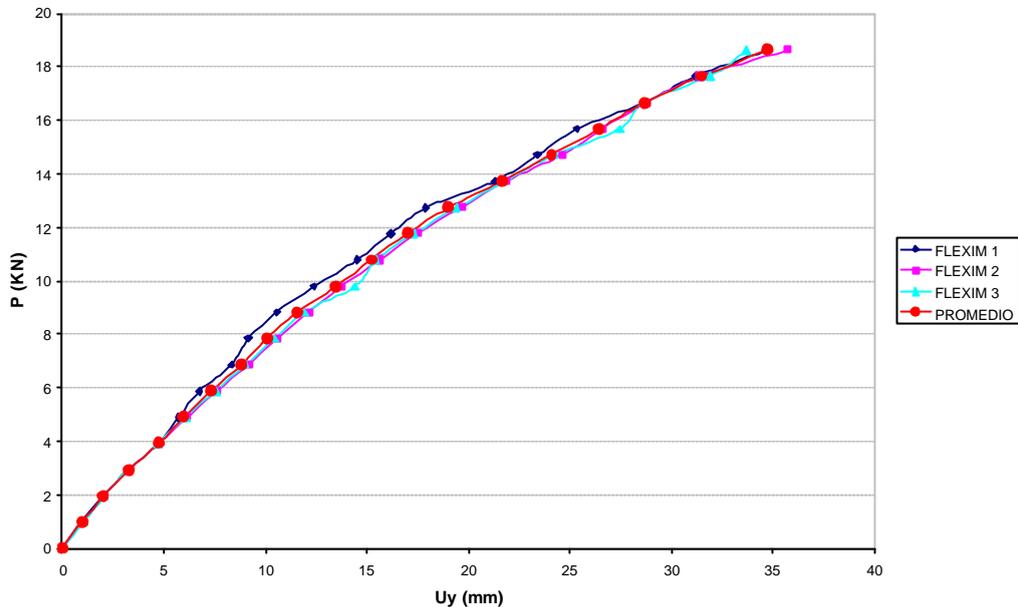


Figura 14: Diagrama Carga – Deformación del Ensayo de Flexión

3.2 MODELADO NUMERICO

Para analizar numéricamente el comportamiento del prototipo de estructura mixta de hormigón madera sometido a esfuerzos de flexión y verificar los resultados experimentales, se presentan distintos modelados del prototipo, utilizando un programa de aplicación de MEF.

En una primera instancia se plantea un modelado numérico MIL, mostrado en la [Figura 15](#), donde se representan únicamente la losa de hormigón y las vigas de madera, utilizando para ello elementos planos. El medio continuo se divide en elementos planos más pequeños, desde los puntos donde se localizan los conectores de corte. En estos puntos, los elementos de madera y hormigón tienen nodos comunes. Las propiedades de los elementos utilizados se indican en [Tabla 4](#).

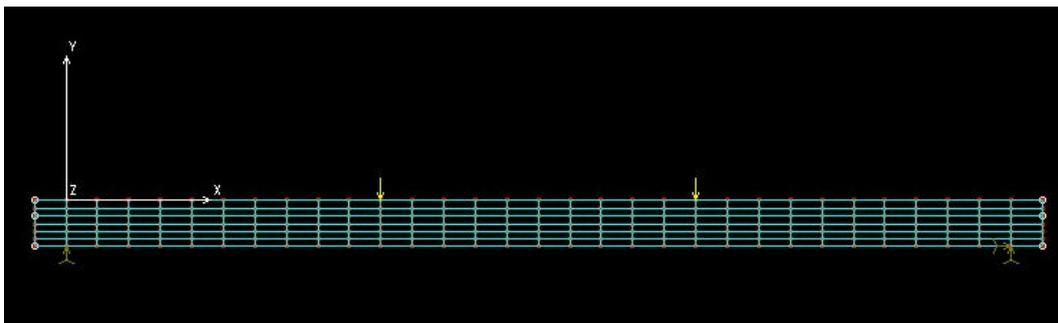


Figura 15: Modelado MIL

| Tipo de Elemento | Modulo de Elasticidad (MPa) | Ancho modelado (cm) |
|------------------------|-----------------------------|---------------------|
| PLANO 2D para madera | 10000 | 9 |
| PLANO 2D para Hormigón | 27500 | 80 |

Tabla 4: Propiedades de los elementos para MIL

Este primer modelado tiene como objetivo calibrar el comportamiento del sistema propuesto.

Los resultados obtenidos, indican que existe una total interacción compuesta del sistema, lo cual es lógico teniendo en cuenta que se ha obviado al conector, simulándolo mediante un nodo común entre ambos materiales. Los desplazamientos obtenidos a mitad de la luz se representan en la [Figura 17](#).

En dicha Figura se aprecia que el comportamiento de este primer modelado coincide con los resultados experimentales solo en la primer parte de la curva.

Luego se presenta un segundo modelado M2L, donde el hormigón y la madera son representados con los mismos elementos planos utilizados para el primer modelo, y los tirafondos utilizados como conectores son representados mediante elementos lineales tipo resorte. Las propiedades de los elementos utilizados se indican en la [Tabla 5](#).

| Tipo de Elemento | Modulo de Elasticidad (MPa) | Ancho modelado (cm) |
|------------------------|-----------------------------|---------------------|
| PLANO 2D para madera | 10000 | 9 |
| PLANO 2D para Hormigón | 27500 | 80 |
| RESORTE para conector | 210000 | -- |

Tabla 5: Propiedades de los elementos para M2L

Para introducir los elementos tipo resorte, se crea geoméricamente una interfase de 2mm, entre hormigón y madera, como se indica en la [Figura 16](#), donde son ubicados los conectores de corte, que vinculan ambos materiales entre nodo y nodo, de manera de simular de manera mas real el comportamiento del sistema.

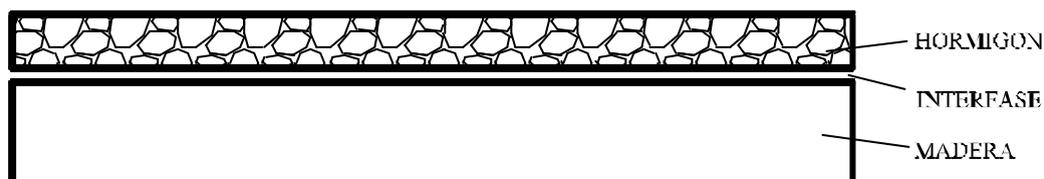


Figura 16: interfase

Para este segundo modelo se introduce a los resortes un comportamiento lineal, adoptando un valor de constante de resorte $k = 8333 \text{ N/mm}$, obtenida de la pendiente lineal de la curva promedio de los resultados experimentales de corte.

Los desplazamientos obtenidos a mitad de la luz se representan en la [Figura 17](#), donde se aprecia que prácticamente no difieren de los obtenidos para el primer modelado sin resorte y, al igual que este, coinciden con los resultados experimentales solo en la primer parte lineal.

Esto muestra que, para esos niveles de carga, la acción compuesta entre madera y hormigón es total. A medida que las cargas aumentan, aumentan las deflexiones y ocurren deslizamientos y el sistema trabaja bajo una acción compuesta parcial.

Para simular este comportamiento, se presenta el modelado M2NL, donde se reemplazan los conectores lineales por otros con comportamiento No Lineal, teniendo en cuenta que los ensayos experimentales de corte presentados demuestran que la relación carga-deformación de los conectores es no lineal. Para representar este comportamiento, se hacen consideraciones especiales introduciendo los valores de la curva promedio obtenida de los resultados de los ensayos de corte (ver [Figura 4](#)), en la curva que representa las propiedades materiales del elemento resorte.

Luego se somete este modelado a un estado de solicitaciones a la flexión, obteniéndose los desplazamientos en la mitad de la luz, los cuales se representan en la [Figura 17](#).

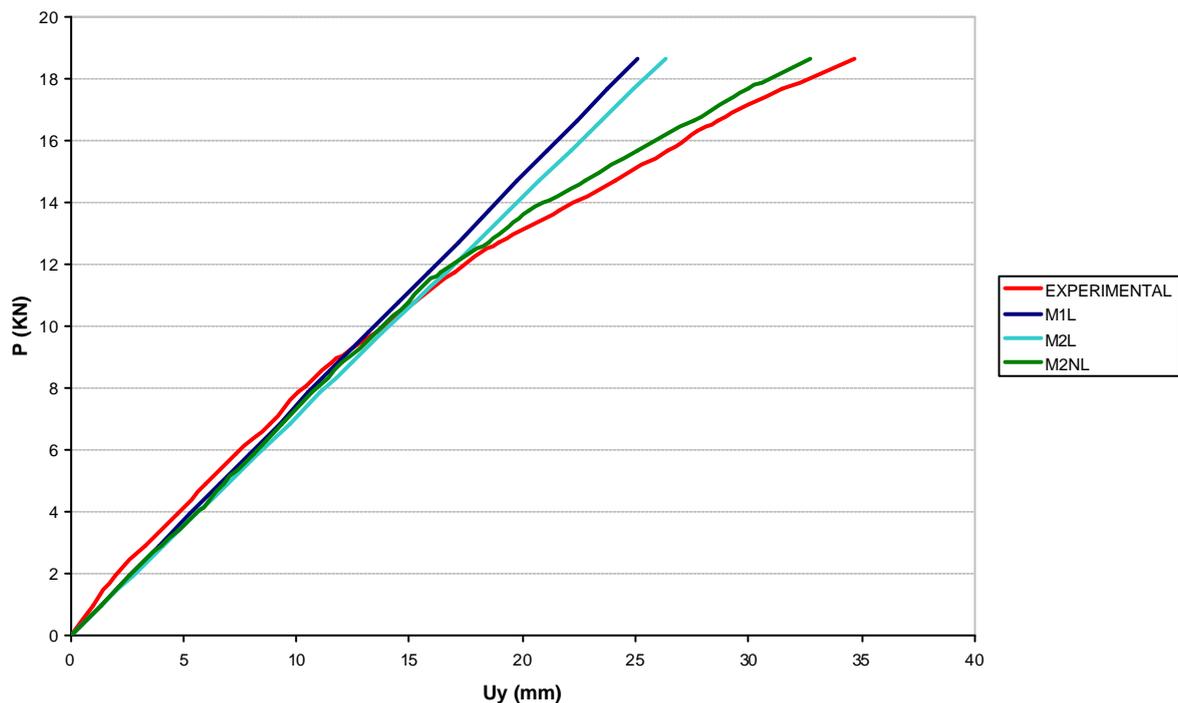


Figura 17: Curvas Carga – Desplazamiento Uy

Se aprecia un alto grado de coincidencia con la curva obtenida en los ensayos experimentales de flexión, verificándose claramente que la relación carga deformación de la estructura mixta de hormigón madera presentada es No Lineal.

4 CONCLUSIONES

4.1 Sobre el Ensayo de Corte :

Respecto a la parte experimental, la reducida dispersión registrada en los ensayos confiere confiabilidad al método utilizado y a los valores obtenidos.

La no ocurrencia de la rotura en la zona de anclaje en la madera en la totalidad de las probetas ensayadas indica una buena eficiencia del sistema de anclaje de las barras de acero en la madera.

Las fallas producidas por fisuración del hormigón, pueden controlarse mediante armaduras dispuestas para tal fin. De este modo se podría aumentar la capacidad de carga de las conexiones.

En cuanto al modelado numérico presentado, la distribución de tensiones en la madera y el hormigón obtenidas en el MS, poseen alto grado de coincidencia con la distribución de tensiones obtenida en trabajos previos (Astori y otros, 2006), para probetas similares, indicando el buen ajuste logrado con el modelo para el comportamiento lineal del conector.

Mediante la consideración del comportamiento no lineal de los resortes, se pudieron ajustar las curvas carga-desplazamiento logrando una muy buena coincidencia con las curvas experimentales, lo que permite simplificar el modelado numérico en aplicaciones de mayor dificultad como los ensayos de flexión.

4.2 Sobre el Ensayo de Flexión:

Los resultados experimentales indican un buen comportamiento del prototipo de estructura mixta ensayado al ser sometido a sollicitaciones de flexión

Para un amplio rango de cargas, los conectores aseguran pequeñas deformaciones relativas en la interfase hormigón-madera, condición fundamental para que ambos materiales trabajen en forma solidaria o mixta.

Respecto a los distintos modelados numéricos, los análisis sucesivos de cada uno de ellos llevan a presentar un alto grado de coincidencia entre el modelado No Lineal con los resultados experimentales. Dicho modelado servirá entonces para trabajar, con los ajustes convenientes, con otros prototipos y estructuras mixtas a analizar dentro del marco del Proyecto de referencia.

5 AGRADECIMIENTOS

A la Secretaría General de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional del Nordeste.

A la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Nordeste, y en especial al Instituto de Estabilidad y al Departamento de Mecánica Aplicada.

6 REFERENCIAS

Astori, R.; Barrios D'Ambra, R.; Solari, F.; Kosteki, L; "Análisis de un modelo de conector para secciones mixtas de hormigón-madera". *Trabajo 039 -XIX JORNADAS AIEA Mar del Plata - 2006* .

Pincus, G. . "Bonded of Wood - Concrete Composite Beam". *J. Str.Div., ASCE, Vol.95, N° ST10, USA. 1970*.

Jutila, Aerne - Möipuro, Ristö - Solokangas, Lauri. "Testing a Wood Concrete Composite Bridge". *Structural Engineering Internacional . S. E. I. Vol. 7 , Number 4. Vol. 26 ,pp 275 - 277. 1997.*

Ahmadi, B.H. - Saka, M.P. "Behaviour of Composite Timber Concrete Floors". *Journal of Structural Engineers, Vol 119, N°11, pp 3111-3130. 1993.*

Linden, M. L.R. van der "Load-sharing in timber-concrete composite floor. Proceeding of PTEC". *Technical University of Karlsruhe. Australia. 1994 .*

"Diseño de Estructuras de Madera". EUROCODE 5.

Linden, M. L.R. van der " Research Topic: Timber - Concrete Composite Floors". *INTERNET. University of Karlsruhe. Netherlands.. 1997.*

"Timber concrete composite floor system – a calculation model". *Report N° 25.4.95. 1/ HC-11 . University of Karlsruhe. Netherlands.. 1997.*

Fornons, J. M. " El Método de los Elementos Finitos en la Ingeniería de Estructuras" *Ed. Universidad Politécnica de Barcelona. ETS Ingenieros Industriales de Barcelona Barcelona. España. 1982.*