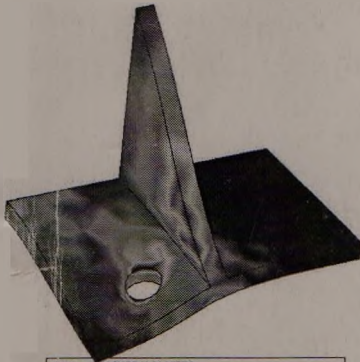


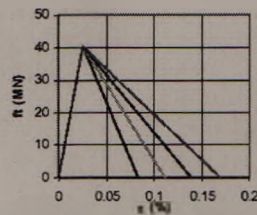
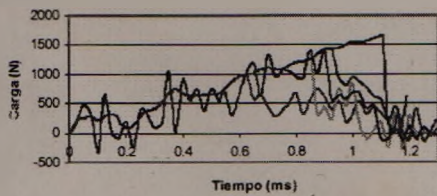
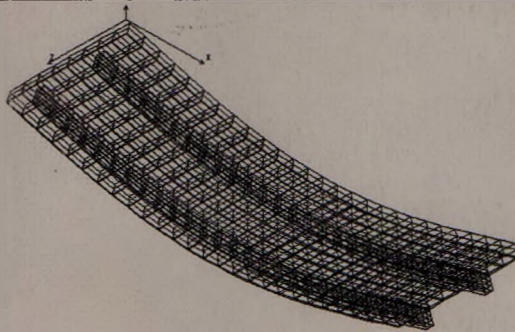


Universidad Nacional del Nordeste
Facultad de Ingeniería
U.N.N.E. – Resistencia - Chaco
10 al 12 de Noviembre de 2004



Contour Plot of NODAL V. MISES
Deformation (MID): DISPLACEMENT of LOAD ANALYSIS, step 1.

2^{DA} JORNADA DE COMUNICACIÓN CIENTÍFICA PARA INGENIERÍA 2004



Durabilidad de Estructuras de Secciones Mixtas de Hormigón-Madera

Autores: Astori, Raúl E. , Solari, Federico, y Barrios D' Ambra, Ricardo
Instituto de Estabilidad - Facultad de Ingeniería - U. N. N. E.
Avenida Las Heras 727- (3500) Resistencia - Chaco - Argentina.
Tel/ Fax: (054) 03722- 428106. E-Mail: rastori@ing.unne.edu.ar

Antecedentes

Durante los últimos años los trabajos de investigación desarrollados en distintos países han producido un gran avance en el conocimiento sobre las estructuras mixtas de hormigón-madera, principalmente en el campo del dimensionamiento de secciones con diversos tipos de vinculación entre ambos materiales, análisis experimental y numérico para varios tipos de solicitaciones ⁽²⁾ y estudio del comportamiento de estas estructuras en función del tiempo ⁽³⁾.

Al mismo tiempo no se ha profundizado en el tema de la durabilidad en este tipo de estructuras, particularmente en el caso de las estructuras expuestas a una "atmósfera rural" de condiciones ambientales adversas.

Este aspecto es de gran relevancia en la actualidad: los requerimientos a la ingeniería de aportar al desarrollo sustentable hacen necesario la búsqueda de soluciones que tiendan a incrementar a la vida en servicio de las construcciones, teniendo presente que: *"Antes la imposibilidad de evitar el deterioro, los ingenieros deben elegir los materiales y proyectar las estructuras de manera tal que la velocidad de degradación no disminuya significativamente su seguridad estructural, su aptitud en servicio, ni sus aspectos estéticos. Estas condiciones deben lograrse durante la vida útil de diseño sin provocar gastos de mantenimiento imprevistos."* ⁽⁴⁾

Para utilizar secciones de hormigón-madera en estructuras de importancia como los puentes carreteros, es necesario disponer de un alto grado de conocimiento sobre la eficiencia de los conectores a utilizar, de las secciones compuestas bajo cargas de larga duración y cargas dinámicas, de métodos de cálculos confiables y de la influencia de la acción climática.

Con el objetivo de estudiar y desarrollar esta tecnología en el Instituto de Estabilidad de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Nordeste se realiza el proyecto de investigación Estructuras Mixtas de Hormigón Madera Para Puentes, que comprende el desarrollo del diseño, el dimensionamiento estructural y el estudio de la durabilidad de estas estructuras.

En la Argentina y particularmente en la región NEA las construcciones de estas características no se han difundido, por lo que la industria de la madera local puede tener en ellas un campo de aplicación de productos tales como las vigas de madera laminada encolada.

Las estructuras de hormigón-madera se realizan mediante diferentes configuraciones de secciones y medios de conexión, por lo que cada caso presentará comportamientos particulares frente a las condiciones que puedan afectar a su vida útil.

Las condiciones ambientales predominantes en las zonas de emplazamiento de las estructuras de puentes, con períodos de elevada humedad en el aire, constituyen un medio propicio para el desarrollo de algunos procesos que conducirán a su deterioro.

En algunos períodos, debido a las diferencias térmicas que se producen entre el aire y las superficies inferiores de las placas de tablero, se puede desarrollar un plano de condensación de la humedad en esa zona. Encontrándose, en algunos casos, en coincidencia con la interfase entre el hormigón y la madera.

En el caso conocido como "Tableros Compuestos de Madera-Concreto" (Timber-Concrete Composite Decks), como los desarrollados en los Estados Unidos por la Asociación Americana de Conservación de la Madera (American Wood Preservers Assosiation) ⁽¹⁾, las secciones están formadas por un tablero de madera continuo en la zona inferior y una placa de hormigón en la parte superior, por lo que en ellos no son esperables acciones de ataque del medio ambiente sobre los elementos estructurales, mas allá de las que puedan producirse sobre la madera o el hormigón, dado que los conectores se encuentran inmersos entre ambos materiales y el plano de interfase es muy extendido.

Para contrarrestar el problema puede emplearse madera tratada con preservantes y hormigón de baja permeabilidad.

En las secciones de "Vigas T", formadas generalmente por vigas de madera laminada encolada y placa de hormigón, la superficie de contacto entre ambos materiales, en la cual se encuentran ubicados los conectores de corte, resulta de un ancho muy reducido, siendo probable que ocurran en la zona procesos de corrosión en el acero de estos elementos, análogos a los que se originan en correspondencia con las fisuras en el hormigón.

En este trabajo se presentan los resultados obtenidos hasta el momento en una investigación de largo plazo que se realiza con el objeto de estudiar el problema, dado que en el desarrollo del proyecto citado anteriormente se intenta utilizar conectores de acero de barras para estructuras de hormigón armado.

Al no disponerse de antecedentes y normas relativas a ensayos de durabilidad que fueran de aplicación, se buscó implementar un método de ensayo de laboratorio que fuera factible de realizar sobre elementos modelados y en el cual se reproduzcan las condiciones del ambiente que se presentan sobre estas obras, a través del cual se pueda garantizar las condiciones mínimas de seguridad en servicio, las cuales deben ser comprobadas mediante métodos precisos y reproducibles.

Debe tenerse presente, que "... se deben definir los parámetros en función de los cuales se puedan especificar los requisitos de durabilidad, los métodos para medirlos y los correspondientes criterios de conformidad. Si se agrega que para determinadas tipologías estructurales se está empezando a requerir que la vida en servicio sea mayor de 100 años y que lo realmente significativo es la afectación de la estructura

para las condiciones reales de servicio, incluyendo el daño progresivo, el problema planteado resulta de difícil solución, o al menos laboriosa.

Para resolver el problema se deben estudiar métodos disponibles para medir el comportamiento en servicio y experimentar ensayos acelerados que reproduzcan lo que ocurrirá en la realidad. Pero cómo calibrar esos métodos de experimentación, si aún en el caso de disponer de estructuras con suficiente antigüedad, resulta que los materiales disponibles actualmente son diferentes de los utilizados en aquellas". ⁽¹³⁾

Materiales y métodos

Para el diseño del método de ensayo se tuvieron en cuenta los siguientes criterios mencionados por Giovambattista, A.

“Se requiere:

Encontrar un modelo de predicción de vida en servicio.

Que los fundamentos del modelo estén apoyados en el conocimiento científico del proceso de degradación y en los aspectos tecnológicos que aportan los materiales y los métodos constructivos.

Encontrar y calibrar los métodos de ensayo que permitan medir las variables del modelo de predicción.

Los requisitos mencionados en (b) y (c) son imprescindibles para lograr una adecuada aproximación a un proceso que generalmente tiene lugar en un medio natural, de por sí difícil de caracterizar.” ⁽¹³⁾

El procedimiento propuesto consiste en exponer a probetas que contienen a los componentes de la zona en estudio a ciclos alternados de condiciones del medio ambiente de valores medios; que pasan de una humedad relativa en el aire del 100 % a otro con una humedad relativa del 65 % y una temperatura de 20° C. Para la duración del primer ciclo (condiciones húmedas) se estableció un período de una semana y para el segundo de dos.

Este primer ensayo, que tiene como objetivo efectuar el ajuste del método, y a la vez proporcionar los primeros datos experimentales para el diseño, se realiza sobre elementos modelados en escala. En los próximos ensayos se utilizarán probetas de dimensiones reales.

Las probetas utilizadas son similares a las utilizadas en los ensayos de conectores al cizallamiento. Están formadas por una sección de la viga de madera, a cuyos cantos se encuentran fijadas placas de hormigón mediante dos conectores de acero, reproduciéndose la vinculación que se empleará en las estructuras. Se dispone de esta manera, de dos zonas de estudio por cada probeta

Los conectores están realizados a partir de barras de acero conformado de dureza natural, usuales en las armaduras de estructuras de hormigón armado, de 10 mm. de diámetro.

Para su fijación a la madera se taladraron orificios en los cuales fueron anclados mediante una resina epoxi.

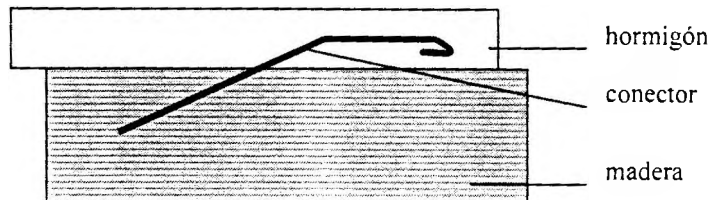


Figura N°. 1: Esquema de la vinculación mediante conectores de barras de acero.

La exposición a las condiciones ambientales mencionadas se obtiene mediante dos cámaras provistas del equipamiento requerido para mantener durante el transcurso del tiempo los valores programados de humedad y temperatura del aire.

En este ensayo el número de probetas es de doce, con las cuales se podrá conocer los efectos que produce la exposición a las condiciones ambientales en un periodo de tres años.

La determinación de la existencia de un proceso de corrosión en el acero de los conectores se realiza por observación directa, luego de demoler las placas de hormigón. A tal fin cada 6 meses se retiran dos probetas de la muestra.

En este trabajo, realizado sobre modelos, se muestra los resultados luego de transcurrido tres semestres desde el inicio de la experiencia.

Resultados

Las experiencias permiten evaluar la presencia de corrosión en los conectores de acero a lo largo del tiempo estableciéndose la caracterización macroscópica de la misma según la siguiente clasificación cualitativa:

1) Por extensión:

- a)- Sin corrosión: El acero se conserva inalterado.
- b)- Localizada: La película pasiva del acero se transforma en zonas puntuales. Conduciendo a la formación de cráteres profundos (*pitting*). También pueden ocurrir otras formas de corrosión localizada originadas por pares de materiales diferentes en un medio electrolítico.
- c)- Generalizada: Pérdida generalizada de la película pasiva. A medida que este proceso avanza las barras se convierten en su superficie en herrumbre, con pérdida uniforme de su sección.

2) Por el grado de avance del proceso

- a)- Indicios
- b)- Leve.
- c)- Medio.
- d)- Severo.

En la Tabla N° 1 se indican los valores de la patología observada en probetas luego de periodos de exposición de seis, doce y dieciocho meses.

Tabla N° 1: Evaluación de la corrosión

Tiempo (meses)	Evaluación de la corrosión	
	Extensión	Graduación
6	Sin corrosión	-----
12	Localizada	Indicios
18	Localizada	Indicios

Los valores indicados en la tabla corresponden a la observación efectuada sobre 8 conectores para cada período de tiempo de exposición a las condiciones de ensayo. Adoptándose el que se presenta en la mayoría de las observaciones. En todas las observaciones realizadas se encontró similares estados de la patología. De ocurrir dispersiones significativas en el futuro, éstas serán detalladas.

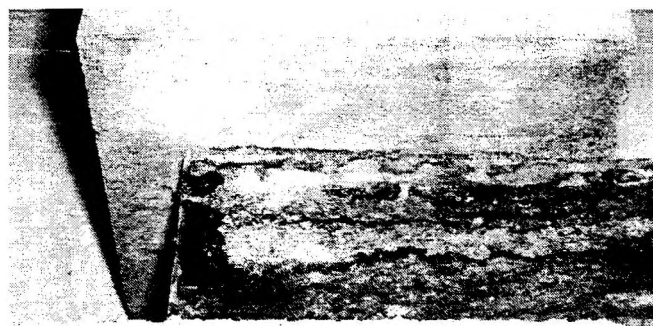


Figura N° 2: Probeta de ensayo.



Figura N° 3: Vista de conectores con indicios de corrosión localizada.

Conclusiones

- Los ensayos realizados hasta el momento permiten corroborar que la zona de interfase entre el hormigón y la madera se presentan patologías de corrosión en conectores de acero, por lo que se hace necesario buscar medios de protección adecuados para preservar la pasividad del material.
- Si bien el grado de corrosión observado hasta el presente no pondría en riesgo la seguridad estructural, se requiere un período de duración del ensayo más extenso para analizar la evolución del proceso.
- Debe analizarse también la posibilidad de ocurrencia de corrosión bajo tensión, dado la concentración de tensiones en esta zona de los conectores.
- El método de ensayo propuesto, con los ajustes que surjan de la experimentación, puede resultar un medio apropiado para analizar el problema de la corrosión en estos elementos.
- La realización de ensayos sobre elementos de medidas estructurales aportará mayor precisión al estudio.

Bibliografía

- 1- Howard, J..“**Diseño moderno de estructuras de madera**”. Ed. Continental. Pp. 115-173 y 248-255. 1972.
- 2- Van der Linden, M.. “**Timber-concrete composite beams**”. HERON. TNO Building and Constructions Reseach. Pp. 215-239. Rijswijk. Netherlands. 1999

- 3- Mungwa, M.S. & Kennmou, D. A.. **"Instantaneous and time-dependent analysis of composite wood-concrete cross-sections using Dischinger, equations of state: Part I - Instantaneous analysis"**. RILEM. Materials and Structures. N° 26. Pp. 98-102. Paris. Francia. 1993.
- 4- Pincus, G.. **"Behaviour of Wood-Concrete Composite Beam"**. Journal of Structural Engineering. ASCE. Vol. 96. N° ST10. USA. 1970.
- 5- Balcock, R.H. and Mc Culloch, C.B.. **"Loading test on a new composite type short span highway bridge combining concrete and timber in flexure"**. Oregon State Highway Department. Technical Bulletin N° 1. Pp. 209-215. 1984.
- 6- Cook, J.P.. **"Composite construction methods"**. Robert E. Krieger Publishing Company. Inc. Krieger driv. Malabar. Florida 32950. U. S.A.. 1985.
- 7- Yttrup, P.. **"Concrete enhanced timber"**. University of Tasmania. Australia. Internet. 1996.
- 8- Jutila, A., Mäkipuro, R. and Salokangas, L.. **"Testing a wood concrete composite bridge"**. Structural Engineering Internacional. S. E. I.. Vol. 7. Número 4. 1997.
- 9- Gómez, A., Astori, R. y Natalini, M.. **"Secciones mixtas de hormigón-madera solicitadas a flexión"**. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas-1998. Universidad Nacional del Nordeste. Tomo IV. Pp. 43-46. Editorial Eudene. Corrientes. Argentina. 1998.
- 10- Astori, R. y Natalini, M.. **"Eficiencia de conectores para secciones mixtas de hormigón-madera"**. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas-2000. Universidad Nacional del Nordeste. Tomo IV. Editorial Eudene. Corrientes. Argentina. 2000.
- 11- Ahmadi, B.H. & Saka, M.P.. **"Behaviour of composite timber concrete floors"**. Journal of Structural Engineers, Vol 119, N° 11, pp. 3111-3130. 1993.
- 12- Traversa, L. P. **"Corrosión de armaduras en atmósferas rurales, urbanas, marinas e industriales"**. Durabilidad del Hormigón Estructural. Seminario XIV Reunión Técnica de la Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón. Pp. 217-255. Editorial Autoeditor. La Plata. Argentina. 2001.
- 13- Giovambattista, A. **"El diseño por durabilidad de las estructuras de hormigón y los reglamentos de seguridad: Soluciones actuales y en desarrollo"**. Durabilidad del Hormigón Estructural. Seminario XIV Reunión Técnica de la Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón. Pp. 258-306. Editorial Autoeditor. La Plata. Argentina. 2001.