

Informe Técnico de Avance Fondo María Viñas

PARTE I.- DATOS DE IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO

CÓDIGO DE IDENTIFICACIÓN	PR_FMV_2009_1_2717
TÍTULO DEL PROYECTO	Investigación, Desarrollo y aplicación de Microhormigón de alto desempeño para infraestructura urbana, vivienda social y construcción edilicia

Indique la opción que corresponda

MODALIDAD DEL PROYECTO	Modalidad I	Proyectos de excelencia con alto requerimiento de gastos e inversiones	
	Modalidad II		
	Modalidad III	Proyecto de tesis	
		Proyecto de joven investigador no-tesista	

RESPONSABLE CIENTÍFICO	NOMBRE:	Gemma Paula
	APELLIDOS:	Rodríguez Baccino
	C.I.:	1367026-4

En caso de Modalidad III - Proyecto de Tesis- indique:

ORIENTADOR	NOMBRE:	
	APELLIDOS:	
	C.I.:	

CO- ORIENTADOR	NOMBRE:	
	APELLIDOS:	
	C.I.:	

INSTITUCIÓN	Pública	X	1º NIVEL (*)	UDELAR
	Privada		2º NIVEL (*)	Fac. Arquitectura
	Mixta		3º NIVEL (*)	Fac. Ingeniería

(*) En el primer nivel ingrese la denominación más general de la institución para luego avanzar en el grado de especificación. Por ejemplo 1ºUDELAR - 2ºFacultad de Ciencias Sociales – 3ºDepartamento de Economía

Fecha de Inicio del Proyecto (dd/mm/aaaa)	1/3/2011
Duración del Proyecto (en meses)	27 (pues hay 3 meses de prórroga)
Periodo del Informe desde (dd/mm/aaaa)	1/9/2012
Periodo del Informe hasta (dd/mm/aaaa)	28/2/2013
Nº de Informe Técnico de Avance	4
Fecha de presentación (dd/mm/aaaa)	28/3/2013

PARTE II.- SEGUIMIENTO DE LAS ACTIVIDADES DESARROLLADAS

II.1.- Enumere y describa las actividades previstas en el Plan de Trabajo que fueron efectivamente desarrolladas y el porcentaje de avance de las mismas a la fecha de entrega del Informe. Compárelas con el Cronograma de Ejecución de Actividades planteado en la solicitud original. En caso de no correspondencia, justifique los desvíos que llevaron a modificar el mismo.

Nº	Descripción de la actividad	Nº DE MES:						Porcentaje de Avance	Justificación De:
		Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6		
1	Rev. bibl., relevamiento y planeamiento de la inv.							100%	No hubieron desvíos
2	Caracter. y categ. de mats. Nac. para MHAD							100%	No hubieron desvíos
3	Establecer un Proc. de dosific. de MHAD							100%	No hubieron desvíos
4	Estudio de las propiedades del MHAD en estado fresco y endurecido							100%	No hubieron desvíos
5	Aplicación del MHAD, realización de prototipos	X	X	X	X	X	X	90%	Hubo pequeño desvío (*)
6	Elaboración de un manual de recomendaciones relativas a la elaboración y aplicación de MHAD	X	X	X	X	X	X	90%	Hubo pequeño desvío (**)
7									
8									

(*) Hubo cierto atraso en la actividad 5, o sea la realización de prototipos con el microhormigón de alto desempeño desarrollado en las etapas anteriores ya que ellos son realizados a escala natural (ejemplo: paneles de 120 cm de ancho por 240 cm de altura y 14 cm de espesor; vigas de 14cm de ancho, 15 cm de altura y longitud de 300cm), una vez realizados son ensayados a los 28 días; en algunos casos hubo que repetir la hechura y ensayo de los prototipos. Además de ello al inicio de la actividad , no se disponía de una hormigonera de capacidad adecuada para hacer los hormigones de los prototipos la cual se compró en diciembre de 2012, además hubo una disminución paulatina del personal que trabajaba en el proyecto lo cual llevó a que la actividad esta insuma mas tiempo del previsto originalmente. Debido a ello por finales de enero se solicitó autorización para prorrogar la fecha de finalización del proyecto 3 meses o sea hasta el 31 de mayo de 2013.

(**) Si bien esta actividad está casi terminada, faltan detalles como ser la elaboración de la tapa y la revisión final del manual de recomendaciones sobre todo en lo relativo a la aplicación del MHAD en función de los resultados obtenidos y a obtenerse con los ensayos de prototipos .

II.2.- Describir, en un máximo de 1000 palabras, los principales resultados obtenidos hasta el momento en el marco del Proyecto:

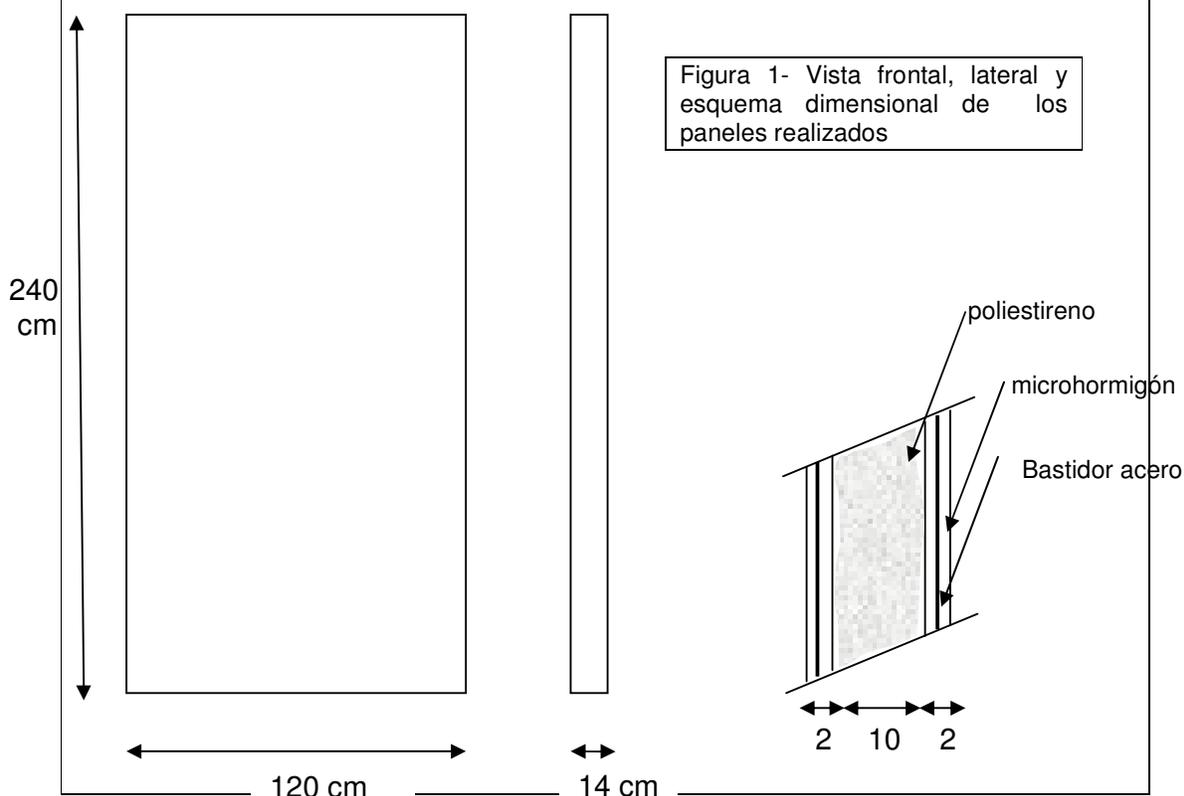
Las etapas realizadas en el transcurso de la actividad 5, han posibilitado la realización de prototipos de paneles y vigas y los ensayos correspondientes para estudiar sus propiedades.

En relación a los prototipos, la dosificación del MHAD empleado para los paneles fue la correspondiente al MHAD8 estudiado en la actividad 4, la cual corresponde a un MHAD medio rico en cemento con microfibras de polipropileno. Dicho microhormigón fue el que se mostró más eficiente, considerando la razón entre la resistencia y el contenido de cemento de las distintas mezclas estudiadas. En la tabla 1 se presenta la dosificación empleada. Para los prototipos de vigas se utilizó la misma dosificación para una serie de 3 vigas denominada VF y la correspondiente al MHAD7 que era un MHAD medio rico en cemento para otra serie de 3 vigas denominada V a los efectos de estudiar los efectos de la incorporación de fibras

Tabla 1 – Dosificación del MHAD empleado para la realización de prototipos

Materiales	Paneles y vigas VF (Kg/m ³)	Vigas V (Kg/m ³)
Cemento Portland Normal (CPN)	707	707
Arena	1413	1413
Agua	252	252
Aditivo	3	3
Fibras	0,6	-

Primeramente se realizaron paneles. Cada serie constaba de 3 paneles. Ellos estaban conformados por un cuerpo interno de poliestireno expandido de 10cm de espesor y dos capas externas de MHAD de aproximadamente 2cm de espesor cada una, incluyéndose un bastidor perimetral de varilla de acero de 4mm de diámetro. En la figura 1 se presentan dimensiones y detalles de ellos.



Cabe observar que los paneles fueron realizados en la planta de prefabricación Cecilio Amarillo S.C.; el diseño de ellos fue igual al realizado en la planta, ver detalle en figura 2, pero la dosificación del MHAD fue la desarrollada en el proyecto a los efectos de comparar posteriormente los resultados obtenidos con los de los paneles elaborados en la planta habitualmente. Se encontraron diversas dificultades en la realización de los paneles, las mismas se presentan en II.3. Ello llevó a la realización de varias series de paneles hasta obtener buenos resultados.

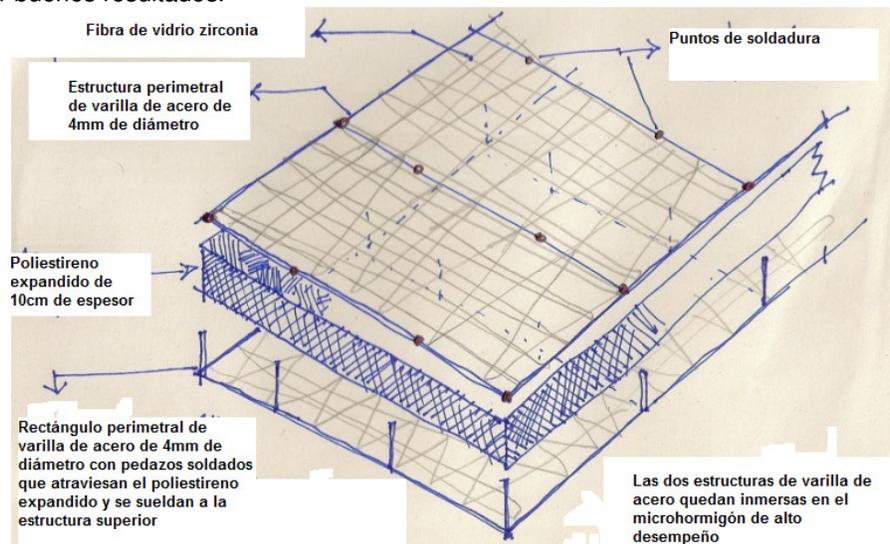


Figura 2- Detalle de la estructura de los paneles realizados

Una vez realizada cada serie de paneles por el equipo investigador, sin cura a los 3 días eran desencofrados y luego transportados desde la fábrica en Pando hasta el Laboratorio del Instituto de la Construcción (IC) donde a los 28 días de edad eran ensayados para evaluar su resistencia estructural y al impacto de cuerpo duro (ISO 7892). La resistencia estructural fue evaluada en pórtico de carga equipado con prensa ENERPAC de 75t, manómetro digital ENERPAC Modelo DG P (10000 psi) y viga de repartición de carga, siendo sometidos los paneles a carga centrada localizada en el eje longitudinal de la cara superior horizontal (fig. 3).



Figura 3- Ejecución de ensayos de prototipos: paneles y vigas



Además de prototipos de paneles en el marco del Proyecto se realizaron prototipos de vigas en el Laboratorio del IC. Las vigas se realizaron de 328cm de largo a los efectos de tener una luz

libre entre apoyos de 300cm (dimensión usual para luz de habitaciones en viviendas) por 14cm de ancho (dimensión igual al espesor de los paneles), y 14cm de altura a los efectos de no tener un excesivo peso ya que las vigas de esta dimensión pesaban aproximadamente 165 kg. Cabe observar que la sección de las vigas adoptada (14x14cm) es similar a las de las viguetas RIPPEN (15x15cm) elaboradas por una de las empresas de prefabricados de nuestro país (www.hopresa.com.uy/productos/techos). Las mismas se armaron con acero conformado ADN500 emplándose 3 hierros A de diámetro 12, 2 hierros E de diámetro 8 y estribos de diámetro 6 cada 14 cm; considerando como hipótesis de cálculo: carga distribuida uniformemente de 700kg/m suponiendo que descargan en ella dos losas contiguas, apoyan los paneles en estudio, y la resistencia a compresión del MHAD es de 70MPa (según ensayos realizados en la actividad 4). Se hicieron dos series de 3 vigas cada una con microfibras de polipropileno y sin ella. El encofrado empleado para la realización de las vigas fue de madera, el MHAD fue realizado en la hormigonera adquirida con fondos del Proyecto; las vigas no tuvieron curado, a los 28 días de edad se desencofraron y ensayaron de acuerdo a la norma IRAM 11598 que establece el método de ensayo de resistencia a la flexión para elementos lineales prefabricados. Los ensayos fueron realizados en el pórtico de carga mencionado anteriormente con dispositivo de carga y soportes que fueron diseñados y realizados con fondos del Proyecto, y dos comparadores (flexímetros) marca ENERPAC . Se aplicaron dos cargas iguales a una distancia igual a un cuarto de la luz de ensayo, medida desde el centro de los apoyos, se colocaron los dos comparadores en el centro de la luz, uno en cada borde de la viga a ensayar (Figura 3).

Los principales resultados obtenidos en los prototipos de paneles y vigas figuran a continuación

a) Paneles:

En la tabla 2 se presentan los parámetros estadísticos básicos: media, desviación estándar (σ) y coeficiente de variación (CV) correspondientes a los valores de carga máxima alcanzada para la serie inicial y final de prototipos realizados con el MHAD desarrollado en el marco del Proyecto (denominadas S1 y SF, respectivamente); a los efectos de comparación se presentan también los resultados de una serie de prototipos realizados con el MHAD habitual de la empresa de prefabricados Cecilio Amarillo S.C. en las condiciones habituales de ejecución siendo denominados (EMP)

Tabla 2- Parámetros estadísticos básicos de carga de rotura (daN) de prototipos de paneles

Denominación	Media (daN)	Desviación (daN)	CV (%)
S1	19024	12323	64,78
SF	24954,8	777,39	3,115
EMP	12564,2	3332,97	26,53

Si bien los resultados obtenidos en la primer serie de paneles realizados con el MHAD desarrollado en el Proyecto son superiores a los obtenidos por la empresa habitualmente, los coeficientes de variación obtenidos son muy altos lo cual llevó a tomar diferentes precauciones que sirvieron para la realización del manual de recomendaciones (actividad 6), siendo por ejemplo de gran importancia el control de la humedad de la arena a emplear.

Los resultados obtenidos en la serie SF muestran casi una duplicación de la carga máxima alcanzada, una gran disminución de la desviación estándar (76,675 %) y del coeficiente de variación (88,26%) cuando son comparados con los de EMP.

Se comparó el costo del MHAD empleado en los prototipos de los paneles realizados, obteniéndose un costo de US\$ 250/m³ para el MHAD dosificado conforme lo desarrollado en el presente Proyecto mientras que para el empleado en la empresa Amarillo Cecilio S.C. es de US\$ 215/m³. Por lo que la diferencia de costos entre ambos es de US\$ 35/m³, siendo el MHAD desarrollado un 16,28% mas caro que el que la empresa utiliza habitualmente para realizar paneles prefabricados. Considerando el costo por daN que resisten los paneles el del MHAD desarrollado en el proyecto es de US\$ 0,010 mientras que el del que emplea la empresa mencionada es de US\$ 0,017 lo cual muestra la eficiencia del material desarrollado en el

marco del Proyecto ya que se obtiene una disminución del costo de 41,17% por daN de resistencia.

En relación a los resultados de resistencia al impacto de cuerpo duro a que fueron sometidos paneles realizados con el MHAD desarrollado en el proyecto, con energías de impacto de 20J (de seguridad) y de 3,75J (de uso) no sufrieron fallas superficiales como abolladuras, fisuras, desprendimientos ni degradaciones por lo que pueden ser aptos para elementos estructurales con cualquier ubicación (fachadas, interior de edificios, etc...) atendiendo requisitos para vivienda del sistema de otorgamiento de aptitud técnica a sistemas constructivos no tradicionales del MVOTMA-DINAVI.

b) Vigas

Si bien a igualdad de carga los valores de las deformaciones registradas en las vigas sin y con fibras fueron similares y la deformación luego de la descarga también (4mm), el tipo de rotura fue muy diferente como se observa en la figura 4, ya que las vigas con MHAD sin fibras rompen por tracción (4 a) mientras que ls que tienen fibras lo hacen por cortante (4 b). Se verifica con ello ,en los prototipos de vigas, que la incorporación de microfibras de polipropileno mejora la resistencia a tracción del MHAD.



Figura 4 – Rotura producida en ensayo de vigas realizadas con MHAD :
 (a) sin fibras; (b) con 0,6kg/m³ de microfibras de polipropileno

En la tabla 3 se presentan los parámetros estadísticos básicos correspondientes a los valores de carga de rotura de prototipos de viga elaboradas con MHAD sin fibras (V) y con 0,6 kg/m³ de microfibras de polipropileno (VF).

Tabla 2- Parámetros estadísticos básicos de carga de rotura (daN) de prototipos de vigas

Denominación	Media (daN)	Desviación (daN)	CV (%)
V	4479	213,85	4,75
VF	4537	148,49	3,28

Si bien los resultados de carga máxima no difieren significativamente entre sí se puede observar que la incorporación de microfibras de polipropileno produce una disminución de aproximadamente 30% en la desviación estándar y el coeficiente de variación lo cual posibilita realizar prototipos con resultados mas parejos dentro de una misma serie y mejorar las condiciones de ejecución, respectivamente.

Finalmente, cabe observar que con los prototipos de vigas realizados se obtuvo una carga máxima similar a la máxima admisible de las viguetas de hormigón pretensionado RIPPEN simple con bovedilla de hormigón de 10cm de altura y espesor de carpeta superior de 5cm (www.hopresa.com.uy/tablas/rippen.gif)

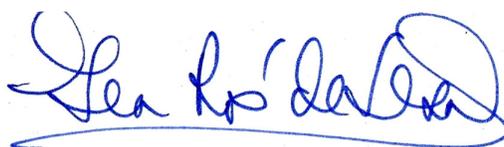
II.3.- En caso de corresponder, mencione las principales dificultades halladas y/o los aspectos positivos que contribuyeron al desarrollo de su Proyecto.

Si bien la actividad 5 insumió mas tiempo y recursos (tanto humanos, económicos y de equipamiento) que los previstos en la formulación del proyecto originalmente, se considera positivo para el desarrollo del mismo los resultados obtenidos hasta la fecha con los prototipos realizados.

Otros de los aspectos positivos a señalar son los siguientes:

- la realización de la actividad 5 posibilitó un mayor acercamiento con empresas de prefabricación del medio
- la realización de los prototipos de vigas mostró que la incorporación de microfibras de polipropileno es esencial para el MHAD
- los resultados presentados muestran las potencialidades del empleo del MHAD en prototipos.
- la realización de prototipos a escala natural en fábrica de prefabricados y laboratorio, permitió afrontar la temática de la actividad 6 (elaboración de un manual de recomendaciones) de manera integral tanto para la elaboración como la aplicación del MHAD.
- los resultados obtenidos en las diferentes actividades realizadas hasta la fecha del informe permitieron la redacción casi total a la fecha (90%) del manual de recomendaciones para la elaboración y aplicación de MHAD

Las actividades realizadas en el marco del Proyecto han posibilitado preparar un trabajo titulado "Self-compacting High-Performance Microconcrete" que fue aceptado para su presentación y publicación en la Fifth North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete (SCC2013) a ser realizada en mayo de 2013 en Chicago.



Dra. Gemma Rodríguez
Responsable Técnico del Proyecto