

## Informe Técnico de Avance Fondo María Viñas

### PARTE I.- DATOS DE IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO

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

Indique la opción que corresponda

<b>MODALIDAD DEL PROYECTO</b>	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	

<b>RESPONSABLE CIENTÍFICO</b>	NOMBRE:	Gemma Paula
	APELLIDOS:	Rodríguez Baccino
	C.I.:	1367026-4

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

<b>ORIENTADOR</b>	NOMBRE:	
	APELLIDOS:	
	C.I.:	

<b>CO- ORIENTADOR</b>	NOMBRE:	
	APELLIDOS:	
	C.I.:	

<b>INSTITUCIÓN</b>	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)	24
Periodo del Informe desde (dd/mm/aaaa)	1/3/2012
Periodo del Informe hasta (dd/mm/aaaa)	31/8/2012
Nº de Informe Técnico de Avance	3
Fecha de presentación (dd/mm/aaaa)	19/9/2012

**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 Desvíos	Observaciones
		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	No hay
2	Caracter. y categ. de mats. Nac. para MHAD							100%	No hubieron desvíos	No hay
3	Establecer un Proc. de dosific. de MHAD							100%	No hubieron desvíos	No hay
4	Estudio de las propiedades del MHAD en estado fresco y endurecido	X	X	X	X	X	X	100%	No hubieron desvíos	No hay
5										
6										
7										
8										

**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 4 permitieron cumplir el objetivo específico 4 planteado en la formulación del Proyecto. Para ello, siguiendo el método de dosificación desarrollado en la actividad anterior, fueron realizadas diez dosificaciones de MHAD en total, 5 sin fibras y 5 con fibras las cuales corresponden a mezclas de números impares y pares, respectivamente, ellas se presentan en la tabla 1 y corresponden a MHAD pobres, medio pobres, medios, medio ricos y ricos en cemento.

**Tabla 1 –** Dosificación de los microhormigones estudiados

DENOMINACION	Arena/CP	Agua/CP	CP (Kg/m <sup>3</sup> )	Arena (Kg/m <sup>3</sup> )	Agua (Kg/m <sup>3</sup> )	Aditivo (Kg/m <sup>3</sup> )	Fibras (Kg/m <sup>3</sup> )
MHAD1	3,5	0,6	471	1647	280	2	0
MHAD2	3,5	0,6	471	1647	280	2,35	0,6
MHAD3	3	0,5	536	1608	266	2,25	0
MHAD4	3	0,5	536	1608	266	2,4	0,6
MHAD5	25	0,42	611	1531	253	2,5	0
MHAD6	2,5	0,42	611	1531	253	2,5	0,6
MHAD7	2	0,36	707	1413	252	3	0
MHAD8	2	0,36	707	1413	252	3	0,6
MHAD9	1,5	0,3	856	1286	255	3	0
MHAD10	1,5	0,3	856	1286	255	3	0,6

Los principales resultados obtenidos fueron los siguientes:

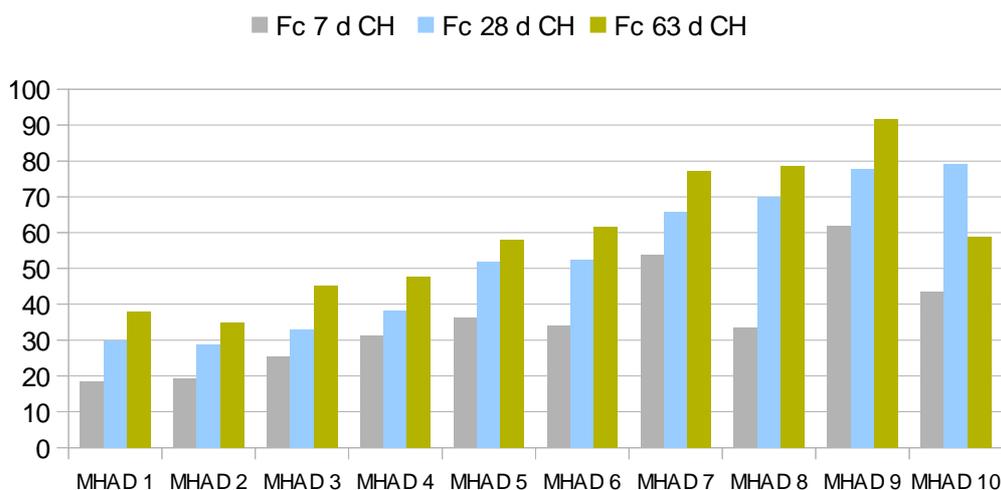
**Propiedades en estado fresco:** En la Tabla 2 se presentan los resultados obtenidos en estado fresco. Cuando se incorporaron fibras las dosificaciones correspondientes a las dos dosificaciones pobres y medio pobres en cemento (MHAD1 y MHAD3) necesitaron mayor cantidad de aditivo que las dosificaciones con fibras (MHAD2 y MHAD4) a los efectos de obtener asentamientos similares. En las otras dosificaciones manteniendo la misma cantidad de aditivo, con o sin fibras, se obtuvieron MHAD que fueron además autocompactantes en los cuales el asentamiento resultaba muy grande (> 26 cm) por lo que se evaluaron las características de explayamiento e índice visual de estabilidad. Se puede observar que al incorporar fibras disminuyen los asentamientos y escurrimientos en relación a las mezclas que no las contienen, obteniéndose en el caso de los microhormigones con contenidos medios a ricos de cemento mayor estabilidad. En relación a la densidad es de observar que los MHAD son mas livianos que los hormigones convencionales (cuyo peso específico de 2400 kg/m<sup>3</sup>) lo cual es motivado por el contenido de aire superior a 2% que ellos presentan comparados con los hormigones convencionales que se elaboran en nuestro medio, debido a la incorporación del aditivo superplastificante utilizado en su elaboración.

- **Propiedades en estado endurecido:** Se presentan a continuación los resultados obtenidos de propiedades mecánicas, deformaciones y durabilidad de los MHAD estudiados .

Los resultados de resistencia a compresión a los 7, 28 y 63 días de edad se presentan en la Figura 1, observándose la evolución de la resistencia y el comportamiento diferente que tiene la inclusión de fibras en los microhormigones estudiados. Se observa que si bien a los 28 días de edad la presencia de fibras no produce cambios

**Tabla 2 – Resultados obtenidos en estado fresco**

Denominación	Aditivo (%)	Asentamiento (cm)	Escurrimiento (cm)	Indice Visual de Estabilidad	Aire (%)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
MHAD1	2	19,5	No corresp.	No corr.	6,5	2121
MHAD2	2,35	17	No corresp.	No corr.	6,4	2109
MHAD3	2,25	19	No corresp.	No corr.	5,9	2140
MHAD4	2,40	17	No corresp.	No corr.	7,7	2083
MHAD5	2,50	No corresp.	58	1	7,1	2133
MHAD6	2,50	No corresp.	52	0	5,3	2161
MHAD7	3	No corresp.	63	1	5,8	2181
MHAD8	3	No corresp.	58	0	4,1	2197
MHAD9	3	No corresp.	68	1	6,3	2245
MHAD10	3	No corresp.	64	0	7,2	2206

**Figura 1.** Resistencia a compresión (MPa) a los 7 , 28 y 63 días de edad


significativos en la resistencia a compresión, en las mezclas con mayores contenidos de cemento a los 7 y 63 días de edad la disminuyen .

En la Tabla 3 se presenta la eficiencia de los microhormigones estudiados evaluada como la razón entre la resistencia a compresión y el contenido de cemento de cada mezcla. Los MHAD con media a altos contenidos de cemento (MHAD5 a MHAD10) presentan mejores resultados que los microhormigones pobres o medio pobres (MHAD1 a MHAD4), resaltándose el comportamiento diferenciado que fuera indicado anteriormente en relación a la inclusión de fibras en ellos. Es de señalar que si bien a medida que aumenta el contenido de cemento la eficiencia de los microhormigones mejora, como el cemento disponible en nuestro país es CPN40 su empleo limita las resistencias a compresión a ser obtenidas , notándose una pérdida de eficiencia en los MHAD9 y MHAD10 comparados con los MHAD7 y el MHAD8

**Tabla 3 – Resistencia a la compresión / contenido de cemento**

	fc 7 días/cont CP		fc 28 días/cont CP		Fc 63 días/cont CP	
	referencia	con fibras	referencia	con fibras	referencia	con fibras
<b>MHAD 1</b>	0,39		0,64		0,8	
<b>MHAD 2</b>		0,4		0,61		0,74
<b>MHAD 3</b>	0,47		0,61		0,84	
<b>MHAD 4</b>		0,58		0,71		0,89
<b>MHAD 5</b>	0,59		0,85		0,95	
<b>MHAD 6</b>		0,56		0,86		1
<b>MHAD 7</b>	0,76		0,93		1,09	
<b>MHAD 8</b>		0,47		0,99		1,11
<b>MHAD 9</b>	0,72		0,91		1,07	
<b>MHAD 10</b>		0,51		0,92		0,69

En relación a la resistencia a tracción por flexión (ft,F), tracción por compresión diametral (ft,D) y módulo de elasticidad (Ec) , los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 4. Se observan aumentos de resistencia y módulo de elasticidad conforme aumenta el contenido de cemento; también que la incorporación de fibras aumenta la resistencia a tracción y disminuye el módulo de elasticidad.

**Tabla 4. Resistencia a tracción y módulo de elasticidad a los 28 días de edad**

Denominación	Ft, F (MPa)	Ft, D (MPa)	Ec (GPa)
MHAD 1	2,8	2,8	25,3
MHAD 2	3,1	2	21,8
MHAD 3	3,4	2,5	28,13
MHAD 4	3,6	3	25,4
MHAD 5	4	3,8	30,2
MHAD 6	4,5	3,2	29,3
MHAD 7	5,4	3,7	34,3
MHAD 8	5,6	3,6	32,4
MHAD 9	7,2	5,1	36,3
MHAD 10	6,6	5,4	34,8

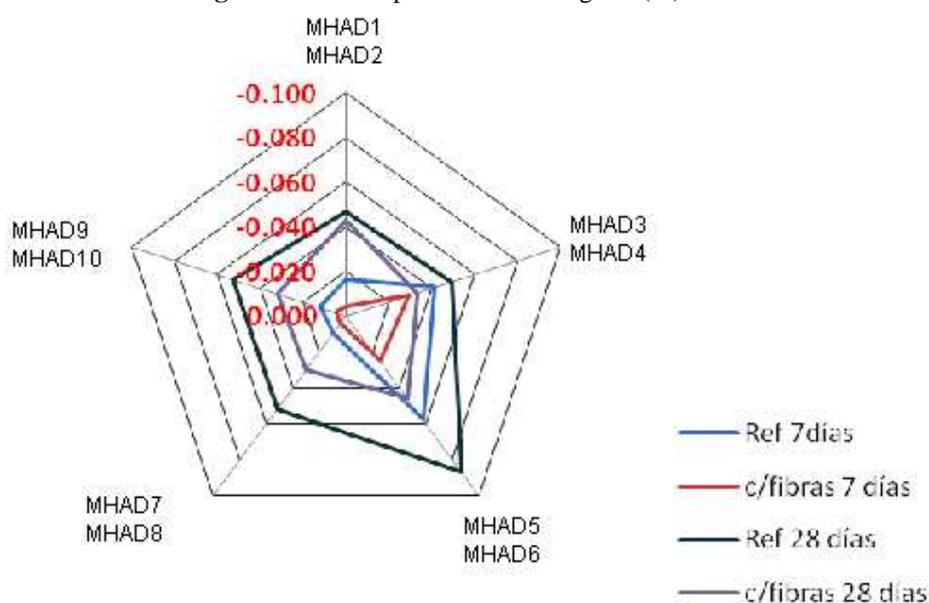
En la Tabla 5 se presenta la eficiencia de los microhormigones estudiados evaluada como la razón entre la resistencia a tracción y contenido de cemento de cada uno; aquellas mezclas que tienen contenidos medio a altos de cemento, presentan mejores resultados que las pobres a medio pobres (MHAD1 a MHAD4), no habiendo un comportamiento diferenciado en relación a la incorporación de fibras. En relación al módulo de elasticidad se observa lo opuesto, presentando los de contenidos medio a ricos en cemento disminución del módulo elástico por kg de cemento empleado y también con la incorporación de fibras cuanto mayor es el contenido de cemento que presenta el MHAD.

**Tabla 5.** Resistencia a tracción/contenido de cemento y módulo de elasticidad/contenido de cemento

Denominación	Ft, F /CP	Ft,D/CP	Ec/CP
MHAD 1	0,06	0,06	537,15
MHAD 2	0,07	0,04	462,85
MHAD 3	0,06	0,05	524,81
MHAD 4	0,07	0,06	473,88
MHAD 5	0,07	0,06	494,27
MHAD 6	0,07	0,05	479,54
MHAD 7	0,08	0,05	485,15
MHAD 8	0,08	0,05	458,27
MHAD 9	0,08	0,06	424,07
MHAD 10	0,08	0,06	406,54

En la Figura 2 se presentan los resultados obtenidos correspondientes a retracción, observándose claramente la disminución de la retracción con la incorporación de fibras en las distintas edades estudiadas.

**Figura 2.** Cambio porcentual de longitud (%)



En la tabla 6 se presentan las categorías correspondientes a la penetración de iones cloruro según ASTM C 1202 (2012), y las de permeabilidad al aire según SIA 262 (2003). En relación a la penetración de iones cloruros se evidencia claramente que los MHAD con mayores cantidades de cemento presentan mejores resultados, no produciendo variación de resultados la incorporación de fibras. En relación a la permeabilidad al aire si bien los MHAD con bajos contenidos de cemento tienen una calidad de recubrimiento normal con el aumento del contenido de cemento se obtuvieron siempre buenos resultados independientemente del contenido de cemento y de la incorporación de fibras.

**Tabla 6.** Penetración de iones cloruros y permeabilidad al aire Torrent

	Penetración de cloruros	Calidad del recubr.
MHAD1	Alta	Normal
MHAD2	Alta	Normal
MHAD3	Moderada	Buena
MHAD4	Moderada	Buena
MHAD5	Baja	Buena
MHAD6	Baja	Buena
MHAD7	Baja	Buena
MHAD8	Baja	Buena
MHAD9	Muy Baja	Buena
MHAD10	Muy Baja	Buena

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

A la fecha no se han encontrado dificultades. Se considera positivo para el desarrollo del proyecto los resultados obtenidos del desempeño de las mezclas de MHAD, tanto en estado fresco como endurecido; ellos permiten extraer las siguientes conclusiones en relación a las propiedades de los MHAD:

- La incorporación de fibras influye positivamente en la disminución de la retracción de los MHAD
- Desde el punto de vista de la resistencia en los MHAD con mayores contenidos de cemento el cemento es usado mas eficientemente ya que la razón entre la resistencia y el contenido de cemento es mayor.
- En relación al módulo de elasticidad los MHAD con mayores contenidos de cemento presentan una razón menor por kg de cemento empleado, disminuyendo la incorporación de fibras dicha razón en todos los MHAD estudiados
- En relación a la durabilidad los MHAD con mayores contenidos de cemento presentan mejor comportamiento frente a la penetración de iones cloruros y permeabilidad al aire que los pobres en cemento .

Los resultados obtenidos muestran las potencialidades del empleo del MHAD en relación a propiedades mecánicas, deformaciones y durabilidad.

La actividad realizada permitió preparar un trabajo titulado "Microhormigón de alto desempeño autocompactante" que está en evaluación por parte del Comité Científico del 3er Congreso Iberoamericano de hormigones autocompactantes: Avances y Oportunidades (Madrid, España).



**Dra. Gemma Rodríguez**  
**Responsable Técnico del Proyecto**