

## Informe Técnico de Avance Fondo María Viñas

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

|                                 |                    |
|---------------------------------|--------------------|
| <b>CÓDIGO DE IDENTIFICACIÓN</b> | PR_FMV_2009_1_2717 |
|---------------------------------|--------------------|

|                            |   |
|----------------------------|---|
| <b>TÍTULO DEL PROYECTO</b> | Investigación, Desarrollo y aplicación de Micro-hormigón 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 | 1° NIVEL (*) | UDELAR            |
|                    | Privada |   | 2° NIVEL (*) | Fac. Arquitectura |
|                    | Mixta   |   | 3° 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 1°UDELAR - 2°Facultad de Ciencias Sociales - 3°Departamento 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)    | 1/9/2011 |

|  |           |
|--|-----------|
| Periodo del Informe hasta (dd/mm/aaaa) | 29/2/2012 |
| Nº de Informe Técnico de Avance        | 2         |
| Fecha de presentación (dd/mm/aaaa)     | 27/3/2012 |

**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            | X          | X     | X     | X     | X     | X     | 100%                 | No hubieron desvíos   | No hay        |
| 4  |  |            |       |       |       |       |       |                      |                       |               |
| 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 3 permitieron elaborar un método de dosificación para MHAD adecuado a los materiales disponibles en el medio, cumpliéndose con ello el objetivo 3 planteado en la formulación del Proyecto. El método consta de seis partes las que se resumen a continuación:

a) Optimización de la pasta:

Implica determinar las cantidades óptimas de aditivo y adición a emplearse, lo cual se realiza mediante ensayos de Cono de Marsh y minicono.

b) Optimización del esqueleto granular:

Se basa en encontrar la proporción arena fino / arena gruesa considerada óptima cuando la mezcla presenta el mínimo contenido de vacíos. Para ello se siguen indicaciones dadas por norma UNIT NM 45 (2002).

c) Construcción del diagramas de dosificación y estudio de la correlación entre las variables involucradas:

Primeramente se debe construir el “diagrama de dosificación”, variando los consumos de cemento en 5 niveles (pobre, medio-pobre, medio, medio-rico, rico), como indica la figura 1.

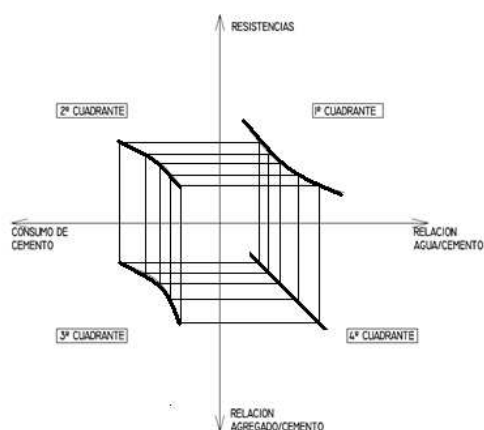


Figura 1 – Diagrama de dosificación

Para ello, en cada nivel, se siguen los siguientes pasos:

C1. Fijar inicialmente las relaciones agua/cemento y arena/cemento a emplear.

C2. Precalcular el consumo de cemento (CP) por m<sup>3</sup> empleando la expresión:

$$CP = \frac{\gamma}{1 + \text{arena/cemento} + \text{agua/cemento}} \quad (\text{ec.1})$$

siendo  $\gamma$  la masa específica del MHAD (2400 kg/m<sup>3</sup>).

- C3. Calcular las cantidades de arena y agua para alcanzar las relaciones fijadas en C1.
- C4. Determinar la cantidad de cemento y adición considerando el resultado del minicono (parte a)
- C5. Calcular la cantidad de aditivo según el resultado del Cono de Marsh (parte a).
- C6. Determinar la cantidad de arena fina y gruesa, en condición seca, con el resultado de la parte b.
- C7. Corregir el valor de agua, restando el agua presente en el aditivo.
- C8. Fijar una consistencia
- C9. Confeccionar como mínimo 3 probetas cilíndricas de 5cm x 10cm, para cada nivel, cada edad y situación en estudio (cura seca, húmeda, etc...), verificar previamente la consistencia con mesa de sacudidas; agregándose aditivo cuando no se logra el valor fijado. Identificarlas, cubrirlas con lámina de vidrio, luego de 24 horas someterlas al curado seleccionado hasta la edad de ensayo.
- C10. Ensayar a compresión las probetas.

Luego se calculan los parámetros estadísticos básicos de cada mezcla, y se grafican los resultados obteniéndose el diagrama de dosificación. Finalmente se estudia estadísticamente la correlación entre las variables involucradas mediante análisis de regresión. Cuanto mas cerca de 1 esté el coeficiente de determinación  $r^2$  mas se acerca la correlación a los resultados experimentales.

d) Cálculo de cantidad de materiales:

Con auxilio del diagrama de dosificación o las correlaciones obtenidas anteriormente, se calculan las cantidades de materiales para 1 m<sup>3</sup> de MHAD.

e) Análisis de la secuencia y tiempo de mezclado:

En la elaboración del MHAD el procedimiento seguido relativo a orden de colocación de materiales en equipos de mezclado y tiempo de mezclado, inciden fuertemente en la calidad final del material. Para determinarlos es necesario elaborar mezclas evaluando dichos aspectos.

f) Ajuste de mezclas:

Previamente a la realización de la primer hormigonada de prueba se ajusta la cantidad de agregados en función de la humedad de los mismos y el valor de agua a incorporar restando el agua que está incluida en los agregados. Mediante la fabricación de mezclas de hormigón, que se evalúan en estado fresco y endurecido, se procede a ajustar los parámetros de dosificación (asentamiento, volumen de aire ocluido, resistencia) para garantizar el cumplimiento de los requisitos exigidos al MHAD.

A los efectos de ejemplificar, se presentan los resultados obtenidos aplicando el método con los siguientes materiales de nuestro país: cemento CPN; agua;

aditivo superfluidificante basado en policarboxilatos; agregado fino seco, formado por 90% de arena gruesa y 10% de arena fina, resultado de la optimización del esqueleto granular (parte b). El porcentaje óptimo del aditivo con el cemento empleado fue de 0,2% (parte a).

Para la construcción del diagrama de dosificación se consideraron cinco niveles de consumo de cemento, relaciones agua/cemento y arena/cemento indicadas en la Tabla 1, obteniéndose aplicando los pasos C1 a C7 la cantidad de materiales a emplear en el pastón que figuran también en ella. En relación a la cantidad de aditivo empleado, cabe observar que, se ajustó hasta tener la consistencia especificada que fue de 210 a 230 mm (paso C8).

Tabla 1- Relaciones consideradas y cantidad de materiales

| Nivel       | Arena/CP | Agua/CP | CP<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Arena<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Agua<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Aditivo<br>(kg/m <sup>3</sup> ) |
|-------------|----------|---------|----------------------------|-------------------------------|------------------------------|---------------------------------|
| Pobre       | 3,5      | 0,60    | 471                        | 1647                          | 280                          | 2                               |
| Medio-pobre | 3        | 0,50    | 536                        | 1608                          | 266                          | 2                               |
| Medio       | 2,5      | 0,42    | 611                        | 1531                          | 253                          | 5                               |
| Medio-rico  | 2        | 0,36    | 707                        | 1413                          | 252                          | 3                               |
| Rico        | 1,5      | 0,30    | 856                        | 1286                          | 255                          | 3                               |

Se confeccionaron 4 probetas cilíndricas, de cada nivel para cada edad a ser estudiada; en el ejemplo las edades elegidas fueron: 7 y 28 días ; en total 40 probetas. Se identificaron, cubrieron con lámina de vidrio, luego de 24 horas se sometieron a cura húmeda hasta la edad del ensayo de resistencia a compresión. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 2, cada valor es la media de 4 resultados experimentales.

Tabla 2 – Resultados obtenidos de resistencia a compresión (fc) en MPa

| Nivel       | Arena/CP | Agua/CP | fc 7 días | fc 28 días |
|-------------|----------|---------|-----------|------------|
| Pobre       | 3,5      | 0,60    | 10,32     | 22,64      |
| Medio-pobre | 3        | 0,50    | 20,43     | 33,32      |
| Medio       | 2,5      | 0,42    | 29,74     | 45,77      |
| Medio-rico  | 2        | 0,36    | 50,67     | 58,74      |
| Rico        | 1,5      | 0,30    | 71,02     | 98,92      |

En la figura 2 se presenta el diagrama de dosificación para las edades estudiadas y las correlaciones entre las variables involucradas. Se observa claramente la evolución de la resistencia en el tiempo, la correlación entre variables y los coeficientes de determinación, que son excelentes (muy próximos a 1).

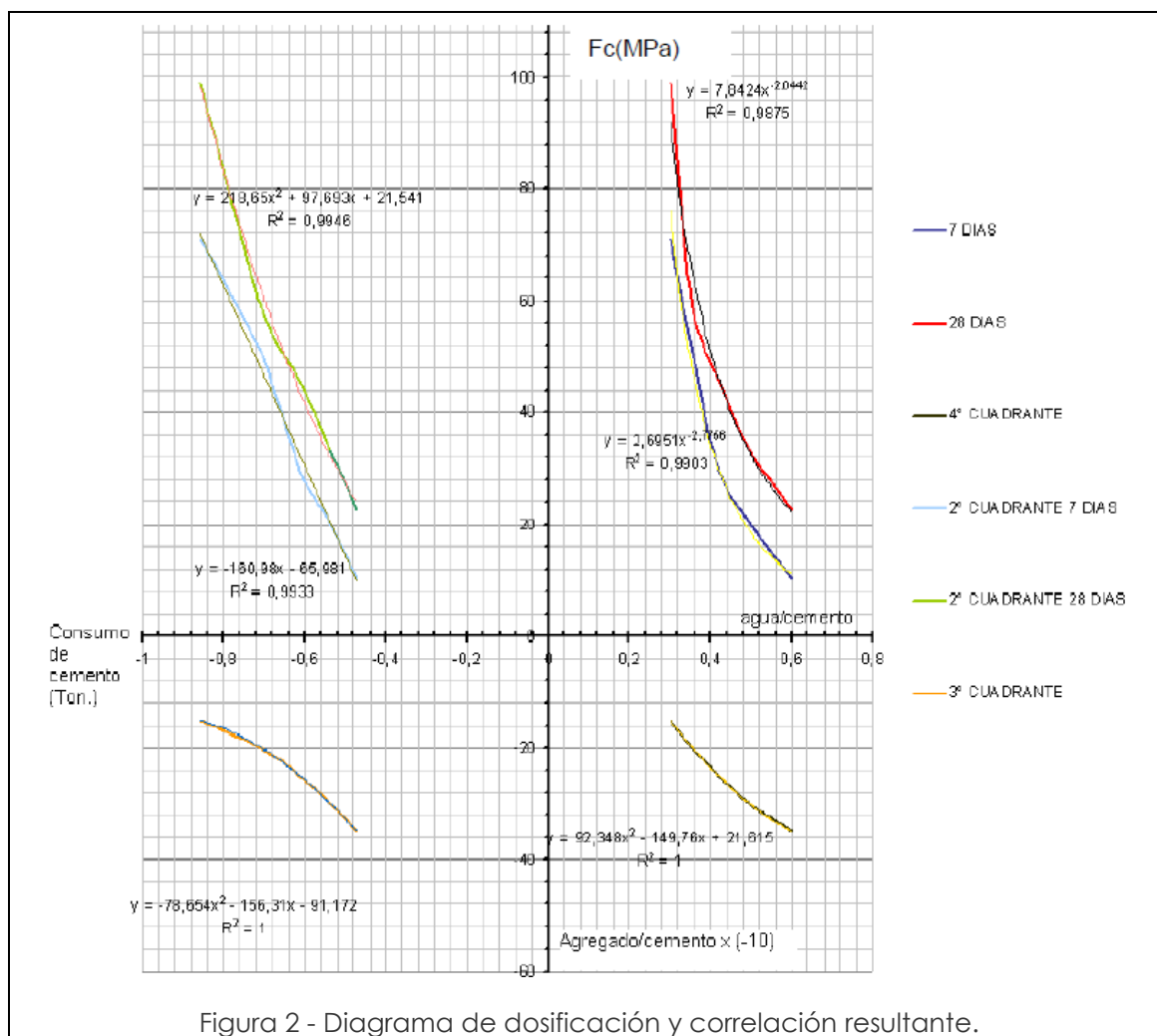


Figura 2 - Diagrama de dosificación y correlación resultante.

Con el diagrama se puede dosificar un MHAD con el consumo de cemento, la relación agua/cemento o la resistencia a emplear, obteniéndose las cantidades de materiales para 1 m<sup>3</sup> de MHAD.

Se hicieron distintas hormigonadas con dosificaciones obtenidas aplicando el método, sin y con el empleo de adiciones (microsílice y ceniza de cáscara de arroz uruguaya). La correlación entre las distintas variables estudiadas y los coeficientes de determinación obtenidos resultaron excelentes. El procedimiento desarrollado resultó muy satisfactorio.

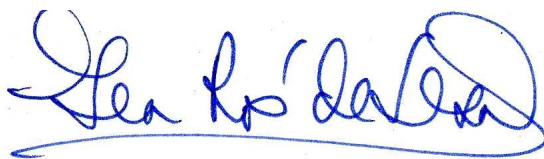
Luego de experimentar diferentes secuencias de colocación de los materiales en la hormigonera y evaluar los resultados obtenidos se adoptó el orden de mezclado siguiente: agregados con 25% de agua; luego mitad del cemento con 25% de agua; finalmente el resto del cemento con el agua y el aditivo. El tiempo total de mezclado se fijó en 3 minutos a partir del momento de la incorporación del agua y el aditivo, cuando se incorporan fibras es necesario aumentarlo a 4 minutos.

**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 durante las etapas de evaluación del desempeño de las mezclas de MHAD, tanto en estado fresco como endurecido, pudiéndose afirmar que el Método resulta ser una herramienta eficiente, para la dosificación de MHAD, utilizando los equipos normalmente disponibles y los materiales más comúnmente empleados en nuestro país. Es un método sencillo que incorpora técnicas de ensayo simples en base a un equipamiento de bajo costo. La aplicación permite elaborar mezclas de diferentes características aplicables selectivamente, de acuerdo al destino específico y los requerimientos exigidos para cada caso particular.

- Con las actividades realizadas en el marco del Proyecto se preparó el trabajo titulado "Micro-hormigón de alto desempeño: materiales y dosificación" que fue evaluado y aceptado para el 5º. Simposio Internacional sobre Hormigones Especiales (SINCO 2012) que será realizado en Fortaleza (Brasil). Se adjunta archivo con el trabajo mencionado.



Dra. Gemma Rodríguez  
Responsable Técnico del Proyecto