

# *APLICACION DE NUEVOS HORMIGONES PARA PREMOLDEADOS*



**Facultad de Ingeniería-Facultad de Arquitectura**

## RESUMEN

Experiencia internacional en premoldeados ha demostrado las ventajas del empleo de nuevos hormigones en lugar del hormigón convencional.

La versatilidad de las aplicaciones de los HRF y de los HAC, convierten a estos hormigones especiales en una alternativa de máximo interés para nuestro país.



El objetivo de este proyecto es la aplicación en Uruguay de

**HRF**



**HAC**



y la combinación de ambos en el hormigón autocompactante con fibras (**HACRF**), en elementos premoldeados.



## HRF



✓ facilidad y rapidez constructiva

✓ aumento de prestaciones

mejor control de fisuración

> durabilidad

< costos totales de producción

## HAC



capaz de fluir en el interior del encofrado, rellenando de forma natural el volumen del mismo, pasando entre las barras de armadura y consolidándose únicamente bajo la acción de su propio peso pero sin compactación interna o externa.

**OKAMURA, 1987**



# HRF



✓ facilidad y rapidez constructiva

✓ aumento de prestaciones  
mejor control de fisuración

> durabilidad

< **costos totales de producción**

# HAC



- ✓ tiempo
- ✓ diseño
- ✓ compacidad
- ✓ durabilidad
- ✓ costos



¿ ?

**HRF**



- ✓ facilidad y rapidez constructiva
- ✓ aumento de prestaciones

**HAC**



- ✓ tiempo
- ✓ diseño
- ✓ compacidad
- ✓ durabilidad
- ✓ costos



**HACRF**

¿ ?

HRF



HAC



**HACRF**



Introducción al país de tecnología  
en materiales y procesos relativos  
a los hormigones especiales

# RESUMEN

El objetivo de este proyecto es la aplicación en Uruguay de

HRF



HAC



HACRF

en elementos premoldeados.



Para hacer viable dicha aplicación, se dará con este proyecto una respuesta integral a nivel del material y estructural, abarcando aspectos experimentales y numéricos.

# ESTRATEGIA DE INVESTIGACION

Dos escalas:

- 1) a nivel del material en sí ,
- 2) a nivel estructural (del elemento premoldeado, o sea del prototipo)

## EL MATERIAL EN SI

tres etapas íntimamente interconectadas:

- ✓ programa de cálculo seccional se basará en una norma que,
- ✓ requiere de ciertas propiedades del material,
- ✓ obtenidas de ensayos a nivel de probetas.

# ESTRATEGIA DE INVESTIGACION

## EL MATERIAL EN SI

H

HAC

HRF

HACRF

- ✓ REALIZACION DE HORMIGONES
  - ✓ ENSAYOS EN ESTADO FRESCO
  - ✓ REALIZACION DE PROBETAS
  - ✓ ENSAYOS EN ESTADO ENDURECIDO
- Características del material**
- ✓ CALCULO SECCIONAL: Implementación de un programa de cálculo seccional que considere la colaboración a tracción de los HRF

# ESTRATEGIA DE INVESTIGACION

Dos escalas:

- 1) a nivel del material en sí ,
- 2) a nivel estructural (del elemento premoldeado, o sea del prototipo)

## NIVEL ESTRUCTURAL

- ✓ **Relevamiento y consulta** a empresas de H premoldeado: elementos y requerimientos a mejorar en ellos.
- ✓ **Selección** de un elemento (**PROTOTIPO**) a mejorar .
- ✓ **Proyecto de experimentos** para estudiar los elementos elegidos

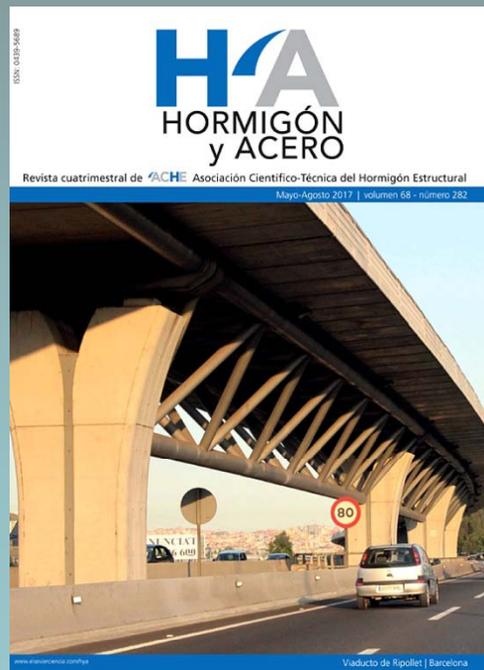
## DOS ESCALAS:

- 1) a nivel del material en sí ,
- 2) a nivel estructural (del elemento premoldeado, o sea del prototipo)



# *HORMIGON AUTOCOMPACTANTE CON FIBRAS PARA PREMOLDEADOS*

## **HACRF**



UNIVERSIDAD  
DE LA REPUBLICA  
URUGUAY

**UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA - ANII FMV -1-2014-1-104566**



**ANII**  
Agencia Nacional de  
Investigación e Innovación

# ESTRUCTURA DEL TRABAJO

- ✓ **INTRODUCCION**
- ✓ **INVESTIGACION EXPERIMENTAL**
- ✓ **RESULTADOS OBTENIDOS Y DISCUSION**
- ✓ **CONCLUSIONES**

# INVESTIGACION EXPERIMENTAL- Materiales

✓ Cemento Portland Normal

✓ Agregados

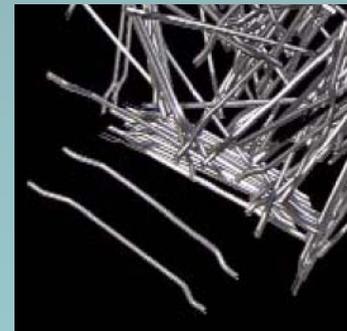
✓ Agua

✓ Aditivo superplastificante

✓ Fibras estructurales: FS



FM



# INVESTIGACION EXPERIMENTAL- Dosificación

- ✓ Se elaboraron en total 5 hormigones diferentes
- ✓ **REF** : HAC que se está empleando en las empresas de premoldeados (Referencia)
- ✓ **4 HACRF:**

**2 FS**

(4 y 8 kg/m<sup>3</sup>)

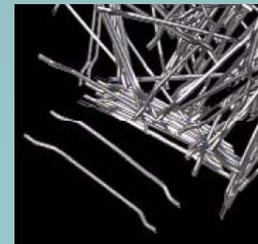
*min y máx fabricante*



**2 FM**

(20 y 30 kg/m<sup>3</sup>)

*responsabilidad  
estructural baja*



# INVESTIGACION EXPERIMENTAL- Metodología

## ESTADO FRESCO:

- ✓ Fluidez (ensayos de escurrimiento y embudo V)
- ✓ Resistencia al bloqueo (anillo J y caja en L)
- ✓ Resistencia a la segregación (ensayo de tamiz GTM)
- ✓ Propiedades reológicas (reómetro rotacional de paletas, ASTM C1749)



## ESTADO ENDURECIDO:

- ✓ resistencia a compresión y módulo de elasticidad
- ✓ resistencia a flexión por tracción (UNE 83510)
- ✓ permeabilidad al aire por el método Torrent (SIA 262/1-2003)
- ✓ resistencia a la penetración de cloruros (ASTM ASTM C1202-12)



# ESTRUCTURA DEL TRABAJO

✓ **INTRODUCCION**

✓ **INVESTIGACION EXPERIMENTAL**

✓ **RESULTADOS OBTENIDOS Y DISCUSION**

➤ **Estado fresco**

➤ **Estado endurecido**

✓ **CONCLUSIONES**

## RESULTADOS – Estado fresco

|      | <b>PUV</b><br><b>(kg/m<sup>3</sup>)</b> | <b>Escurrimiento</b><br><b>D</b><br><b>(cm)</b> | <b>Embudo V</b><br><b>Tv</b><br><b>(seg)</b> | <b>Anillo J</b><br><b>Dj</b><br><b>(cm)</b> | <b>Caja L</b><br><b>H2/H1</b> | <b>Segregación</b><br><b>(%)</b> |
|------|---|---|--|---|-------------------------------|----------------------------------|
| REF. | 2313                                    | 66.5  | 5.59   | 67.0  | 0.96                          | 7.71                             |
| FS4  | 2356                                    | 70.0  | 12.70  | 66.0  | 0.14                          | 14.17                            |
| FS8  | 2369                                    | 76.0  | 11.00  | 66.0  | Bloqueo                       | 22.50                            |
| FM20 | 2401                                    | 69.0  | 11.90  | 66.0  | Bloqueo                       | 11.67                            |
| FM30 | 2410                                    | 74.0  | 10.00  | 66.5  | Bloqueo                       | 15.83                            |



La incorporación de fibras no influye significativamente

# RESULTADOS – Estado fresco

*Cumplimiento de requisitos para HAC (Anejo 17 EHE)*

|      | <b>PUV</b><br><b>(kg/m<sup>3</sup>)</b> | Escurrimiento |  | Embudo V |  | Anillo J | Caja L  | Segregación |
|------|---|---------------|--|----------|--|----------|---------|-------------|
|      |   | D             |  | Tv       |  | Dj       | H2/H1   | (%)         |
|      |   | (cm)          |  | (seg)    |  | (cm)     |         |             |
| REF. | 2313                                    | ✓ Si          |  | ✓ Si     |  | 67.0     | 0.96    | 7.71        |
| FS4  | 2356                                    | ✓ Si          |  | ✓ Si     |  | 66.0     | 0.14    | 14.17       |
| FS8  | 2369                                    | ✓ Si          |  | ✓ Si     |  | 66.0     | Bloqueo | 22.50       |
| FM20 | 2401                                    | ✓ Si          |  | ✓ Si     |  | 66.0     | Bloqueo | 11.67       |
| FM30 | 2410                                    | ✓ Si          |  | ✓ Si     |  | 66.5     | Bloqueo | 15.83       |



**Fluidez 66-74cm**

Las fibras no influyen significativamente



# RESULTADOS – Estado fresco

*Cumplimiento de requisitos para HAC (Anejo 17 EHE)*

|      | PUV<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Escurrimiento<br>D<br>(cm) |    | Embudo V<br>Tv<br>(seg) |    | Anillo J<br>Dj<br>(cm) |    | Caja L<br>H2/H1 |    | Segregación<br><br>(%) |
|------|-----------------------------|----------------------------|----|-------------------------|----|------------------------|----|-----------------|----|------------------------|
| REF. | 2313                        | ✓                          | Si | ✓                       | Si | ✓                      | Si | ✓               | Si | 7.71                   |
| FS4  | 2356                        | ✓                          | Si | ✓                       | Si | ✓                      | Si | ✗               | No | 14.17                  |
| FS8  | 2369                        | ✓                          | Si | ✓                       | Si | ✗                      | No | ✗               | No | 22.50                  |
| FM20 | 2401                        | ✓                          | Si | ✓                       | Si | ✓                      | Si | ✗               | No | 11.67                  |
| FM30 | 2410                        | ✓                          | Si | ✓                       | Si | ✗                      | No | ✗               | No | 15.83                  |

## Resistencia al bloqueo



# RESULTADOS – Estado fresco

*Cumplimiento de requisitos para HAC (Anejo 17 EHE)*

|      | PUV<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Esgurrimiento<br>D<br>(cm) |    | Embudo V<br>Tv<br>(seg) |    | Anillo J<br>Dj<br>(cm) |    | Caja L<br>H2/H1 |    | Segregación<br>(%) |
|------|-----------------------------|----------------------------|----|-------------------------|----|------------------------|----|-----------------|----|--------------------|
| REF. | 2313                        | ✓                          | Si | ✓                       | Si | ✓                      | Si | ✓               | Si | SR1-SR2            |
| FS4  | 2356                        | ✓                          | Si | ✓                       | Si | ✓                      | Si | x               | No | SR1-SR2            |
| FS8  | 2369                        | ✓                          | Si | ✓                       | Si | x                      | No | x               | No | x No               |
| FM20 | 2401                        | ✓                          | Si | ✓                       | Si | ✓                      | Si | x               | No | SR1-SR2            |
| FM30 | 2410                        | ✓                          | Si | ✓                       | Si | x                      | No | x               | No | SR1                |

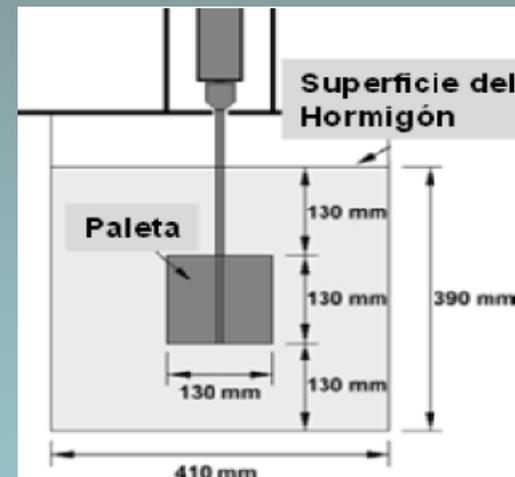


**Resistencia  
a la segregación**

## RESULTADOS – Estado fresco

Desde el punto de vista reológico se observan diferencias de comportamiento con la incorporación de fibras en el HAC.

*Resultados obtenidos con reómetro rotacional de paletas ICAR.*



## RESULTADOS – Estado fresco

Desde el punto de vista reológico se observan diferencias de comportamiento con la incorporación de fibras en el HAC.

*Resultados obtenidos con reómetro rotacional de paletas ICAR.*

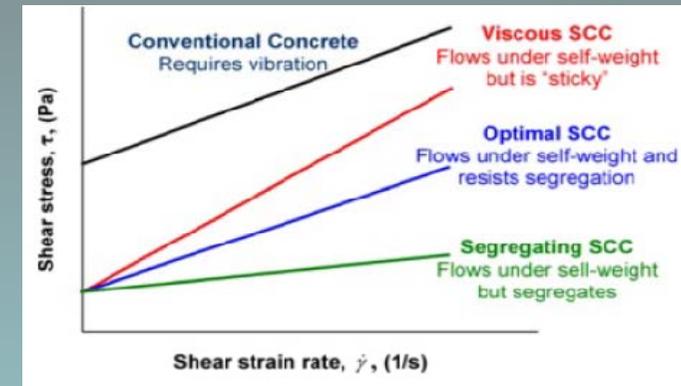
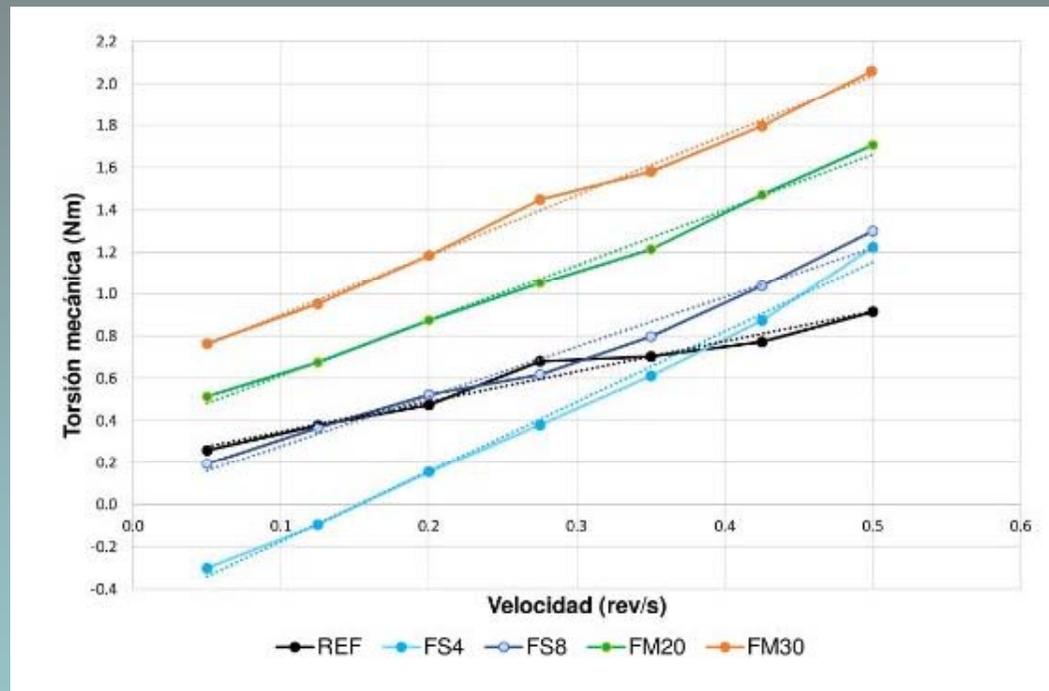
|      | Parámetros relativos        |               |                   |                | Parámetros Bingham                   |                                  |
|------|-----------------------------|---------------|-------------------|----------------|--------------------------------------|----------------------------------|
|      | Esf. Fluencia Estático (Pa) | Fluencia (Nm) | Viscosidad (Nm.s) | R <sup>2</sup> | Esf. Fluencia Dinámico $\tau_0$ (Pa) | Viscosidad Plástica $\mu$ (Pa.s) |
| REF. | 91.4                        | 0.21          | 1.42              | 0.97           | 33.4                                 | 27.9                             |
| FS4  | 93.0                        | -0.51         | 3.32              | 0.99           | 0.1                                  | 44.1                             |
| FS8  | 126.6                       | 0.04          | 2.35              | 0.98           | 4.7                                  | 47.7                             |
| FM20 | 229.0                       | 0.35          | 2.62              | 0.99           | 53.6                                 | 52.4                             |
| FM30 | 387.9                       | 0.61          | 2.85              | 1.00           | 107.2                                | 52.7                             |

Fibras aumentan los valores, siendo dependiente de la cantidad (aumenta con el contenido de fibras incorporadas) y del tipo de fibras (es mayor con fibras metálicas que con sintéticas)

# RESULTADOS – Estado fresco

Desde el punto de vista reológico se observan diferencias de comportamiento con la incorporación de fibras en el HAC.

*Resultados obtenidos con reómetro rotacional de paletas ICAR.*



Cuanto mayor es el contenido de fibras metálicas más se aleja su comportamiento del HAC sin fibras (REF)

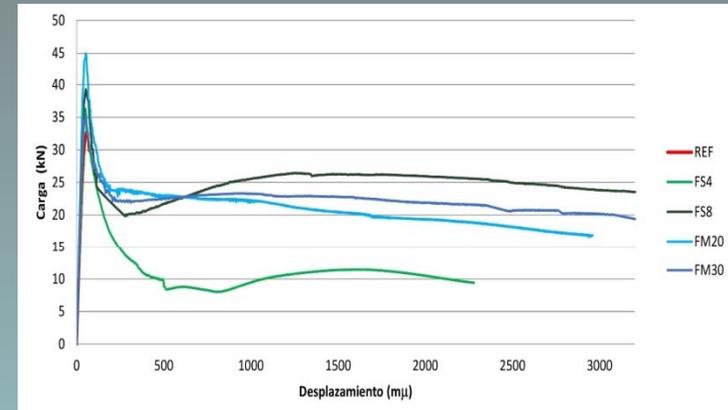
Se debe tener cuidado ya que pueden llegar a requerir energía adicional para que el hormigón se consolide al ir aumentando la torsión mecánica

# RESULTADOS – Estado endurecido

|      | Fc<br>(MPa) | $\sigma$<br>(MPa) | CV<br>(%) | Ec<br>(GPa) | $\sigma$<br>(GPa) | CV<br>(%) | $\Delta$ Fc<br>(%) | $\Delta$ Ec<br>(%) |
|------|-------------|-------------------|-----------|-------------|-------------------|-----------|--------------------|--------------------|
| REF  | 48.13       | 0.54              | 1.13      | 33.27       | 0.17              | 0.01      |                    |                    |
| FS4  | 52.60       | 1.37              | 2.61      | 35.02       | 0.44              | 0.01      | + 9                | + 5                |
| FS8  | 54.63       | 1.74              | 3.18      | 36.54       | 1.53              | 4.19      | + 14               | + 10               |
| FM20 | 54.69       | 1.81              | 3.30      | 35.61       | 1.54              | 4.31      | + 14               | + 7                |
| FM30 | 55.45       | 1.09              | 1.97      | 36.83       | 0.21              | 0.57      | + 15               | + 10               |



|      | R<br>(MPa) | $\Delta$ R<br>(%) | T<br>(KN/mm) |
|------|------------|-------------------|--------------|
| REF  | 4.70       |                   |              |
| FS4  | 5.94       | +26.38            | 26.05        |
| FS8  | 5.42       | +15.32            | 74.53        |
| FM20 | 5.77       | +22.77            | 62.82        |
| FM30 | 4.90       | +4.25             | 67.04        |

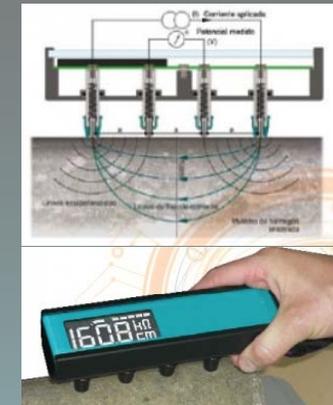


La incorporación de fibras mejora los resultados obtenidos en relación a REF

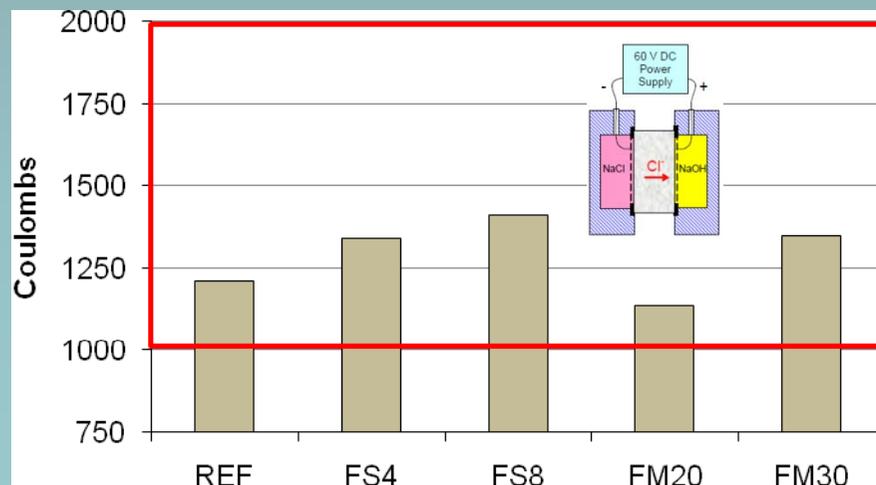
La tenacidad alcanzada en las muestras reforzadas con fibras reafirma que con el aumento del dosaje se obtiene un hormigón más tenaz

# RESULTADOS – Estado endurecido

|      | $K_t$<br>( $10^{-16} \text{ m}^2$ ) | $\rho$<br>( $\text{k}\Omega \text{ cm}$ ) | Calidad |
|------|-------------------------------------|---|---------|
| REF  | 0.022                               | 8.9                                       | Buena   |
| FS4  | 0.015                               | 9.6                                       | Buena   |
| FS8  | 0.015                               | 14.0                                      | Buena   |
| FM20 | 0.014                               | 13.8                                      | Buena   |
| FM30 | 0.021                               | 14.0                                      | Buena   |



Todos los HAC estudiados pertenecen a la misma categoría (baja permeabilidad)



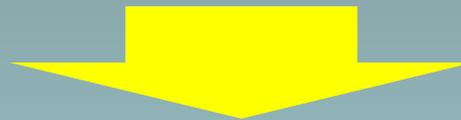
# ESTRUCTURA DEL TRABAJO

- ✓ **INTRODUCCION**
- ✓ **INVESTIGACION EXPERIMENTAL**
- ✓ **RESULTADOS OBTENIDOS Y DISCUSION**
- ✓ **CONCLUSIONES**

# CONCLUSIONES



- ✓ En estado fresco hay diferencias significativas cuando se le incorpora fibras al HAC; dependiendo el comportamiento del contenido y tipo de fibras
- ✓ En estado endurecido el empleo de fibras influye en prop relacionadas con la resistencia mecánica; incrementa muy modestamente la  $f_c$  y mejora los resultados de resistencia a flexión en relación al HAC sin fibras
- ✓ El empleo de fibras no influye en las props de durabilidad estudiadas.



El estudio de los HACRF ha demostrado que tienen características diferenciadas del HAC sin fibras, convirtiéndolos en una alternativa de gran interés,

Por ello la importancia de su estudio para elementos premoldeados

# ESTRATEGIA DE INVESTIGACION

Dos escalas:

- 1) a nivel del material en sí ,
- 2) a nivel estructural (del elemento premoldeado, o sea del prototipo)

## NIVEL ESTRUCTURAL

- ✓ **Relevamiento y consulta** a empresas de H premoldeado: elementos y requerimientos a mejorar en ellos.
- ✓ **Selección** de un elemento (**PROTOTIPO**) a mejorar .
- ✓ **Proyecto de experimentos** para estudiar los elementos elegidos

# ESTRATEGIA DE INVESTIGACION

Dos escalas:

- 1) a nivel del material en sí ,
- 2) a nivel estructural (del elemento premoldeado, o sea del prototipo)

## NIVEL ESTRUCTURAL

- ✓ **Relevamiento y consulta** a empresas de H premoldeado: elementos y requerimientos a mejorar en ellos.
- ✓ **Selección** de un elemento (**PROTOTIPO**) a mejorar

## PANELES

- ✓ **Proyecto de experimentos** para estudiar los elementos elegidos



# PROTOTIPOS: PANELES





HC, HRF: Asentamiento 20cm  
HAC: 85cm FS: 73cm FM : 70-75cm

# PROTOTIPOS: PANELES



# PROTOTIPOS: PANELES



# ENSAYO DE PANELES



**ASTM E72-17**



# ENSAYO DE PANELES

ASTM E72-17



# *APLICACION DE NUEVOS HORMIGONES PARA PREMOLDEADOS*

**Facultad de Ingeniería-Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo**

