

**1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO**  
13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.



## CARACTERIZACIÓN DEL HORMIGÓN PROYECTADO



**Dr. Ing. Luis Fernández Luco**  
**Laboratorio de Materiales y Estructuras**



**1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO**  
13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.



## Contenidos

- ¿Qué diferencias esenciales existen entre el hormigón proyectado y el hormigón convencional?
- Estado fresco
- Estado endurecido
- Procedimientos complementarios
- Hormigones proyectados especiales
- Nuevos enfoques para la caracterización y el control

Dr. Ing. Luis Fernandez Luco – Laboratorio de Materiales y Estructuras - FIUBA

1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO  
13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.



## Contenidos

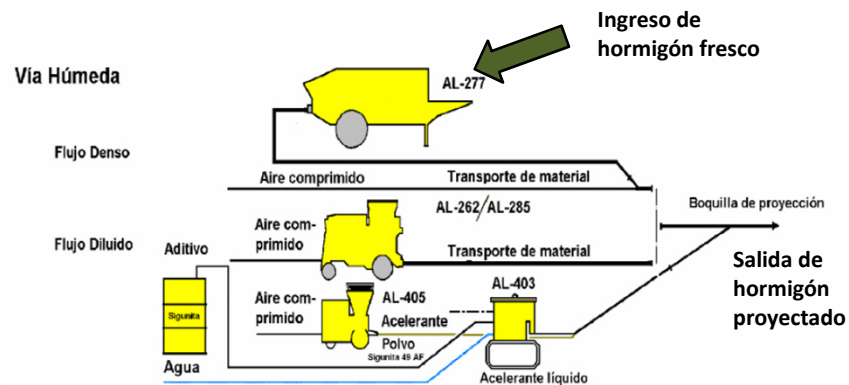
- ¿Qué diferencias esenciales existen entre el hormigón proyectado y el hormigón convencional?
- Estado fresco
- Estado endurecido
- Procedimientos complementarios
- Hormigones proyectados especiales
- Nuevos enfoques para la caracterización y el control

Dr. Ing. Luis Fernandez Luco – Laboratorio de Materiales y Estructuras - FIUBA

1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO  
13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.

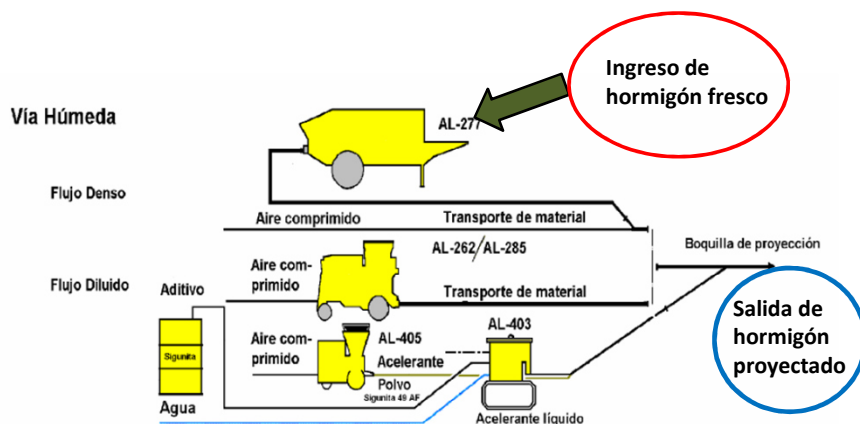


## Esquema del proyectado vía húmeda



Dr. Ing. Luis Fernandez Luco – Laboratorio de Materiales y Estructuras - FIUBA

### Esquema del proyectado vía húmeda



Dr. Ing. Luis Fernandez Luco – Laboratorio de Materiales y Estructuras - FIUBA

### Puede / deben caracterizarse ambos hormigones

- Hormigón provisto (hormigón base)
- Hormigón proyectado / al salir de la boquilla
- Control convencional (estado fresco, moldeo de probetas, compatibilidad del aditivo y tiempo "abierto" de la mezcla)
- Aparece el efecto de los aditivos (ya sean sólidos y líquidos), que mejoran la adhesión y suponen una ganancia de resistencia cuasi-instantánea

Dr. Ing. Luis Fernandez Luco – Laboratorio de Materiales y Estructuras - FIUBA

1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO  
13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.



Foto gentileza de SIKA España

Dr. Ing. Luis Fernandez Luco – Laboratorio de Materiales y Estructuras - FIUBA

1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO  
13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.



### Distintos objetivos – etapas de control

- Verificación de aptitud de los materiales constituyentes
- Verificación de la idoneidad del equipo de mezcla y dosificación.
- Verificación de la mezcla “base” (sin aditivo ultra-acelerante)
- Verificación de las propiedades del hormigón proyectado (resistencia mecánica, módulo de elasticidad, % de rebote, permeabilidad, etc.)

Dr. Ing. Luis Fernandez Luco – Laboratorio de Materiales y Estructuras - FIUBA

**1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO**  
13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.



## ¿Qué se mide en cada caso? ¿Con qué objetivo?

- Estado fresco
- Bombeabilidad
- Compatibilidad de los aditivos (slump-loss)
- Moldeo de probetas para caracterizar el estado endurecido
- Interacciones múltiples de aditivos
- Propiedades mecánicas tempranas
- Propiedades mecánicas a largo plazo
- Transición y fraguado
- Porosidad
- Permeabilidad y otras

Dr. Ing. Luis Fernandez Luco – Laboratorio de Materiales y Estructuras - FIUBA

**1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO**  
13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.



## Contenidos

- ¿Qué diferencias esenciales existen entre el hormigón proyectado y el hormigón convencional?
- Estado fresco
- Estado endurecido
- Procedimientos complementarios
- Hormigones proyectados especiales
- Nuevos enfoques para la caracterización y el control

Dr. Ing. Luis Fernandez Luco – Laboratorio de Materiales y Estructuras - FIUBA

1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO  
13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.



## Caracterización del estado fresco

- Aplica sólo al hormigón base
- Interesa la fluidez o consistencia /la pérdida de fluidez vs. Tiempo / bombeabilidad / tiempo de fraguado / temperatura y eventualmente, el contenido de aire incorporado.
- Métodos de ensayo convencionales, adaptados a las condiciones de ensayo (cono de Abrams, mesa de Graf, Ensayo del cono invertido, agujas de Proctor,... etc.).

Dr. Ing. Luis Fernandez Luco – Laboratorio de Materiales y Estructuras - FIUBA

1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO  
13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.



## Contenidos

- ¿Qué diferencias esenciales existen entre el hormigón proyectado y el hormigón convencional?
- Estado fresco
- Estado endurecido
- Procedimientos complementarios
- Hormigones proyectados especiales
- Nuevos enfoques para la caracterización y el control

Dr. Ing. Luis Fernandez Luco – Laboratorio de Materiales y Estructuras - FIUBA

1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO  
13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.



Por ejemplo, una guía chilena para el uso del hormigón proyectado indica:

### CAPÍTULO 3: PROPIEDADES DEL HORMIGÓN PROYECTADO

Docilidad.....  
Resistencia a la compresión.....  
Resistencia temprana.....  
Resistencia a la flexión.....  
Tenacidad.....  
Densidad.....  
Módulo de elasticidad.....  
Contracción por secado.....  
Fluencia lenta (Creep).....  
Coeficiente de expansión térmica.....  
Durabilidad.....  
Unión al sustrato.....

Dr. Ing. Luis Fernandez Luco – Laboratorio de Materiales y Estructuras - FIUBA

1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO  
13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.



### Caracterización del H° en estado endurecido

#### En Hormigón Base

- Composición
- Resist. a compresión a varias edades
- Módulo de elasticidad
- Resist. a la tracción
- Permeabilidad /

#### En Hormigón Proyectado

- Composición
- Resist. a la compresión a varias edades
- Módulo de elasticidad
- Resist. a la tracción
- Permeabilidad

Dr. Ing. Luis Fernandez Luco – Laboratorio de Materiales y Estructuras - FIUBA

1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO  
13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.



## ¿Son aplicables los mismos métodos?

- Esencialmente, son los mismos principios pero
  - No es posible moldear probetas, sino que se deben sacar testigos
  - Se emplean métodos semidestructivos porque no puede medirse la resistencia temprana
  - El tiempo de fraguado no puede medirse con métodos convencionales / no se tamiza el hormigón / alcanzan rigidez inmediata
  - La proyección altera la compacidad

Dr. Ing. Luis Fernandez Luco – Laboratorio de Materiales y Estructuras - FIUBA

1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO  
13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.



## Panel para la toma de muestras



De "Intro to Sprayed Concrete"

Dr. Ing. Luis Fernandez Luco – Laboratorio de Materiales y Estructuras - FIUBA

1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO  
13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.



## Ejecución de paneles con equipo robotizado



1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO  
13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.



## Análisis comparado

	H. Convencional	H. Proyectado
<b>Resist. potencial</b>	38 MPa	46 MPa
<b>Resist. en testigos</b>	39 MPa	24 MPa
<b>C.V. probetas (28d)</b>	0,11	0,13
<b>C.V. testigos (&gt;56d)</b>	0,05	0,23

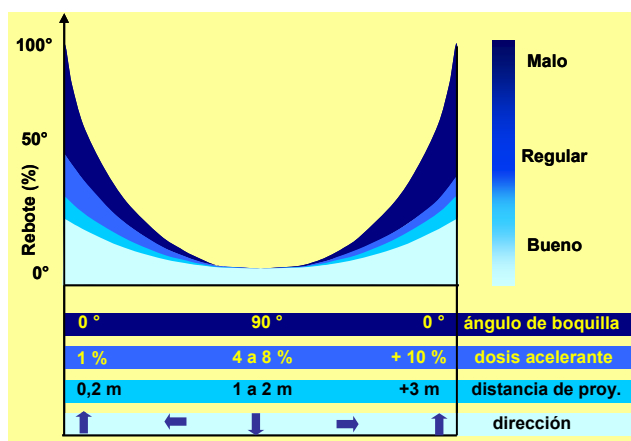
Gentileza de O.Rio y L. Fernandez Luco

Dr. Ing. Luis Fernandez Luco – Laboratorio de Materiales y Estructuras - FIUBA

1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO  
13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.



## Influencia de parámetros de ejecución sobre la variabilidad



Gentileza de O.Rio y L. Fernandez Luco

Dr. Ing. Luis Fernandez Luco – Laboratorio de Materiales y Estructuras - FIUBA

1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO  
13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.



## Contenidos

- ¿Qué diferencias esenciales existen entre el hormigón proyectado y el hormigón convencional?
- Estado fresco
- Estado endurecido
- **Procedimientos complementarios**
- Hormigones proyectados especiales
- Nuevos enfoques para la caracterización y el control

Dr. Ing. Luis Fernandez Luco – Laboratorio de Materiales y Estructuras - FIUBA

1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO  
13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.



## Procedimientos complementarios

- Se emplean con fines diferentes de los habituales, y se aplican al
  - Control de compatibilidad cruzada entre aditivos y cemento
  - Control de la eficacia de los procesos de aplicación (% de rebote / resistencia residual / porosidad, permeabilidad, etc.)
  - Diseño por retroalimentación de parámetros

Dr. Ing. Luis Fernandez Luco – Laboratorio de Materiales y Estructuras - FIUBA

1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO  
13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.



## Contenidos

- ¿Qué diferencias esenciales existen entre el hormigón proyectado y el hormigón convencional?
- Estado fresco
- Estado endurecido
- Procedimientos complementarios
- **Hormigones proyectados especiales**
- Nuevos enfoques para la caracterización y el control

Dr. Ing. Luis Fernandez Luco – Laboratorio de Materiales y Estructuras - FIUBA

1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO  
13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.



## Hormigones proyectados “especiales”

- Hormigones proyectados con fibras
- Hormigones proyectados de altas prestaciones
- Hormigones proyectados con formulaciones especiales (cementos de bajo pH)
- Hormigones proyectados de baja densidad y un largo etcétera

Dr. Ing. Luis Fernandez Luco – Laboratorio de Materiales y Estructuras - FIUBA

1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO  
13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.



## Ensayo de panel (tenacidad)



Tesis grad. Rodrigo Saura

Dr. Ing. Luis Fernandez Luco – Laboratorio de Materiales y Estructuras - FIUBA

1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO  
13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.



## Ensayo de panel (tenacidad)



Tesis grad. Rodrigo Saura

Dr. Ing. Luis Fernandez Luco – Laboratorio de Materiales y Estructuras - FIUBA

1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO  
13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.

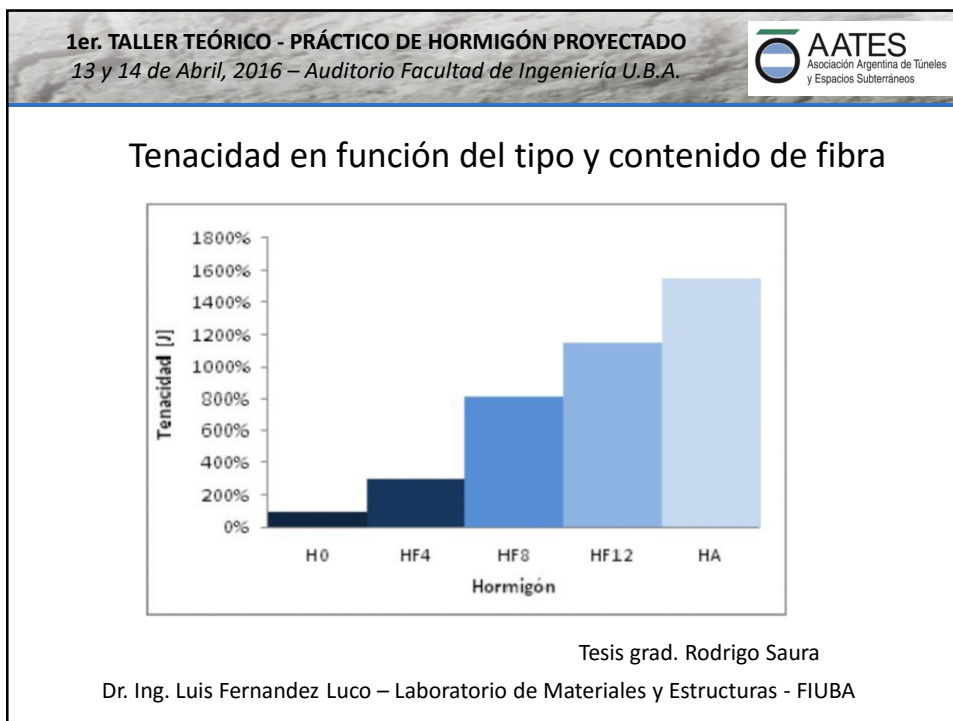
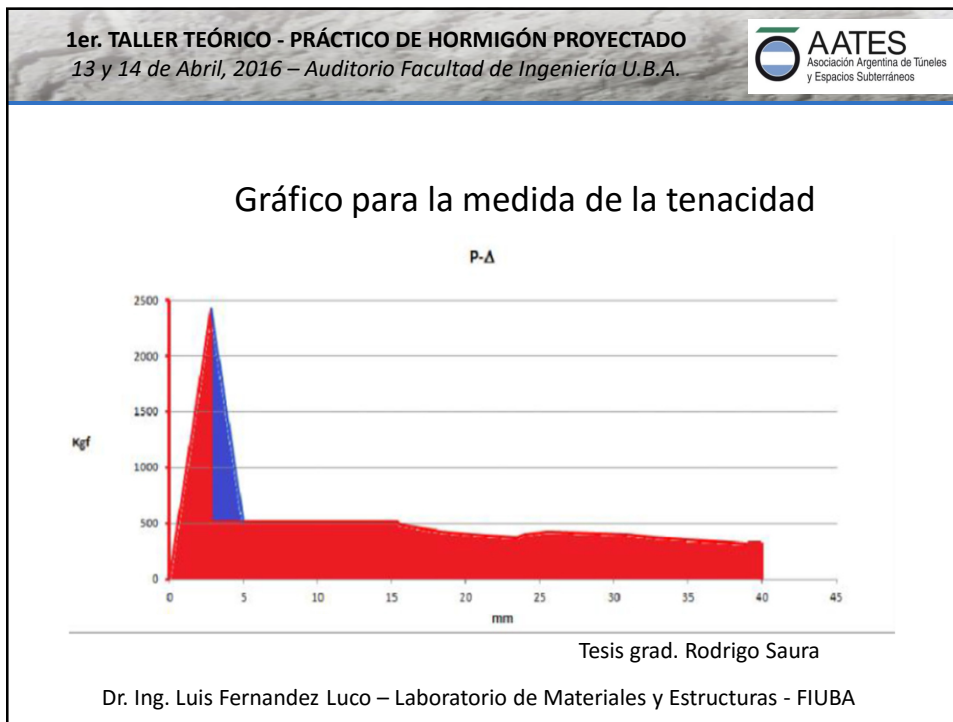


## Ensayo de panel (tenacidad)



Tesis grad. Rodrigo Saura

Dr. Ing. Luis Fernandez Luco – Laboratorio de Materiales y Estructuras - FIUBA



**1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO**  
13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.



## Contenidos

- ¿Qué diferencias esenciales existen entre el hormigón proyectado y el hormigón convencional?
- Estado fresco
- Estado endurecido
- Procedimientos complementarios
- Hormigones proyectados especiales
- Nuevos enfoques para la caracterización y el control

Dr. Ing. Luis Fernandez Luco – Laboratorio de Materiales y Estructuras - FIUBA

**1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO**  
13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.

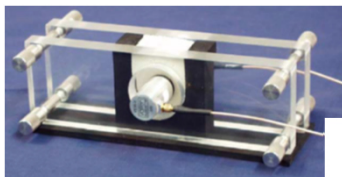


## Uso de métodos no convencionales para la caracterización

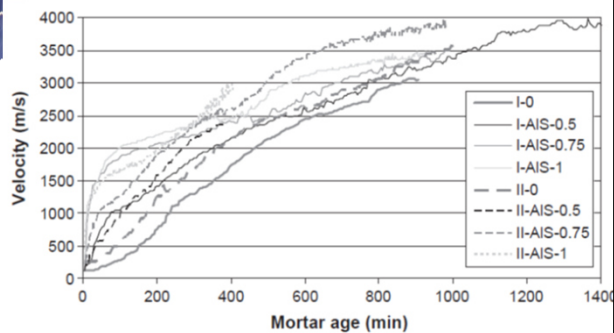
- Uso de métodos específicos para caracterizar el estado fresco
- Uso de técnicas no destructivas
- Monitorización continua
- Medida de espesores con sensores laser
- Medida de la homogeneidad del aditivo ultraacelerante con medidas térmicas remotas

Dr. Ing. Luis Fernandez Luco – Laboratorio de Materiales y Estructuras - FIUBA

### Valoración del fraguado por método ultrasónico

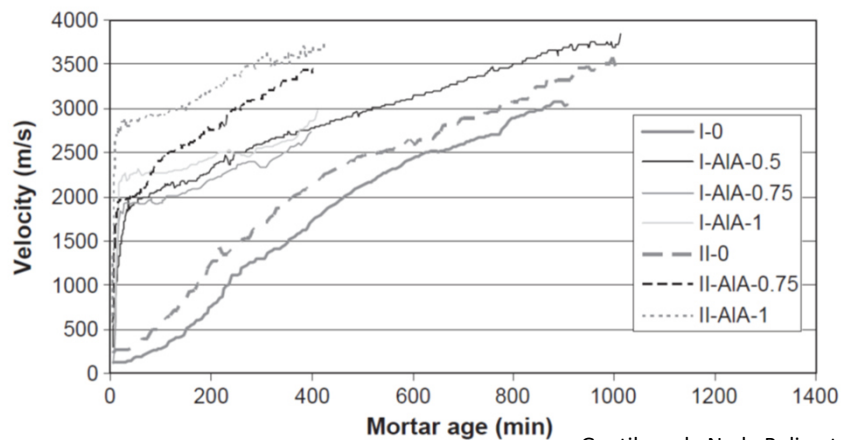


Gentileza de N. de Belie et al.



Dr. Ing. Luis Fernandez Luco – Laboratorio de Materiales y Estructuras - FIUBA

### Efecto de aditivo ultraacelerante en boquilla



Gentileza de N. de Belie et al.

Dr. Ing. Luis Fernandez Luco – Laboratorio de Materiales y Estructuras - FIUBA

**1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO**  
*13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.*



**GRACIAS POR SU ATENCIÓN**

Dr. Ing. Luis Fernandez Luco – Laboratorio de Materiales y Estructuras - FIUBA