

4ª JORNADA DE AVANCES EN DISEÑO Y TECNOLOGÍA DEL HORMIGÓN



Avances en ensayos no destructivos



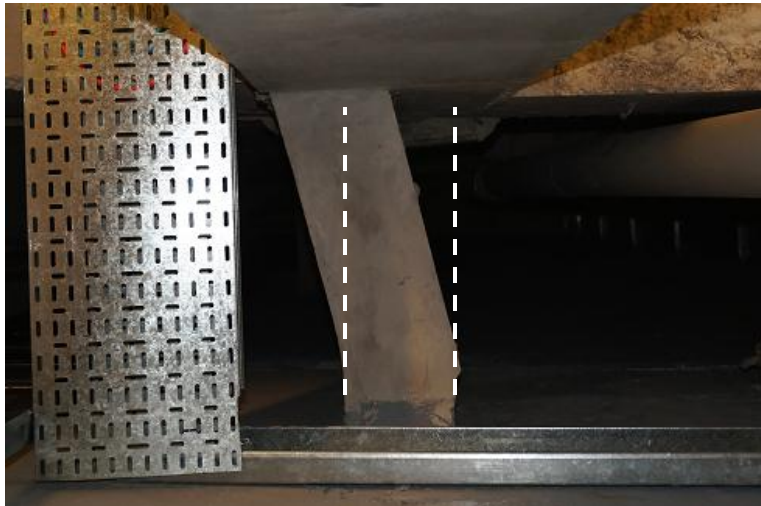


Antecedentes del grupo de investigación: Análisis Experimental de Estructuras

- Avances en la determinación de **estados de carga** en elementos de **hormigón**.
- **END** aplicados a la caracterización de **losas** y pavimentos de hormigón.
- **END** aplicados a la caracterización de cemento Portland nacional.
- Caso de estudio: detección y diagnóstico de **Alcalí-Agregado** en Uruguay.

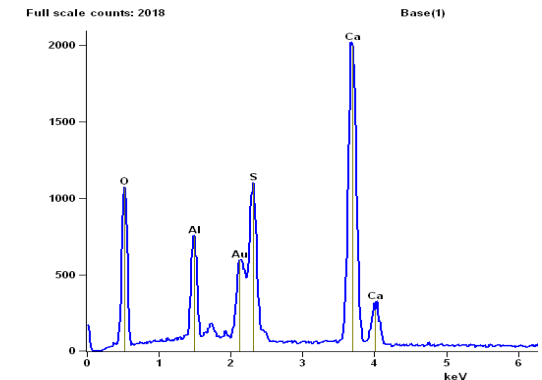
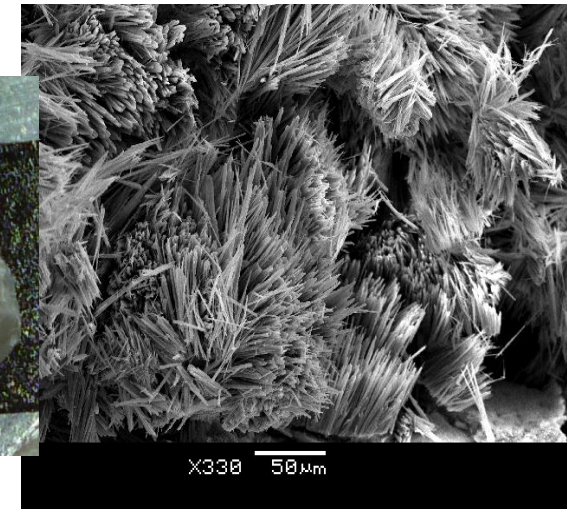
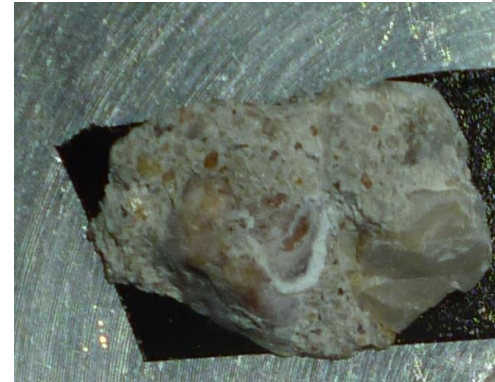


Análisis estructural y patología de estructuras



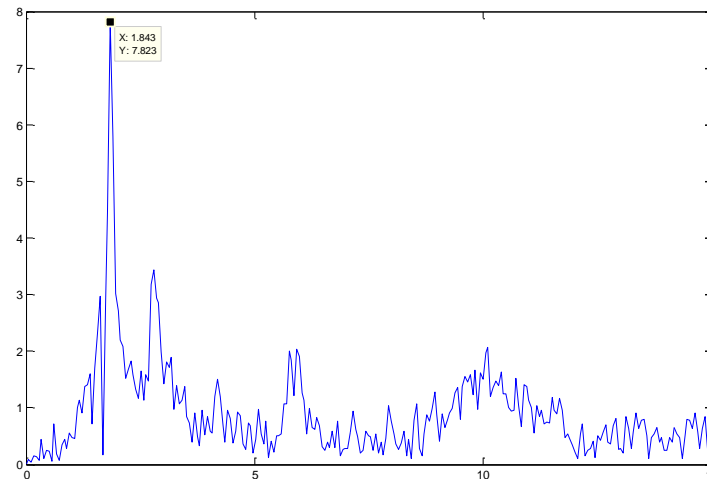


Caracterización de materiales



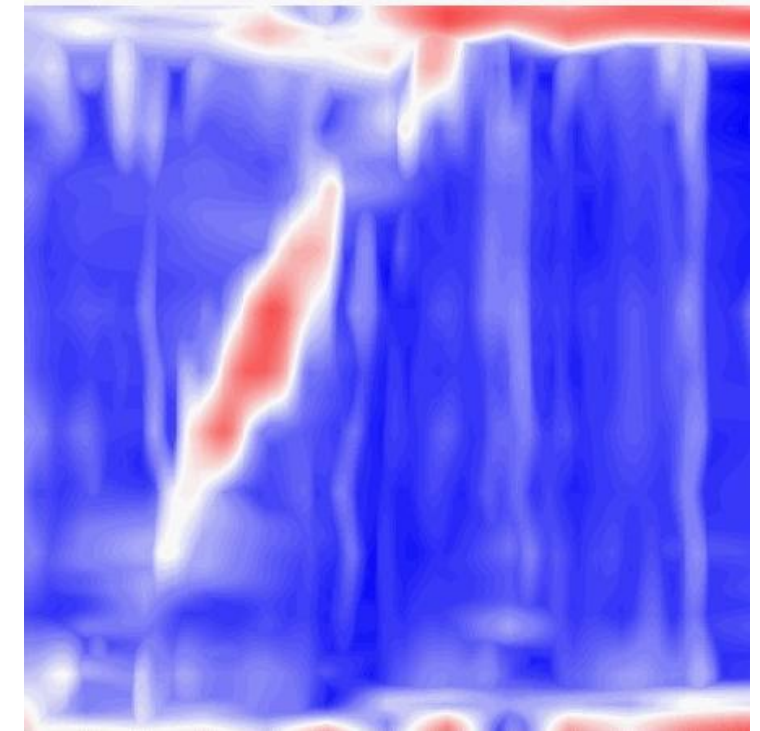
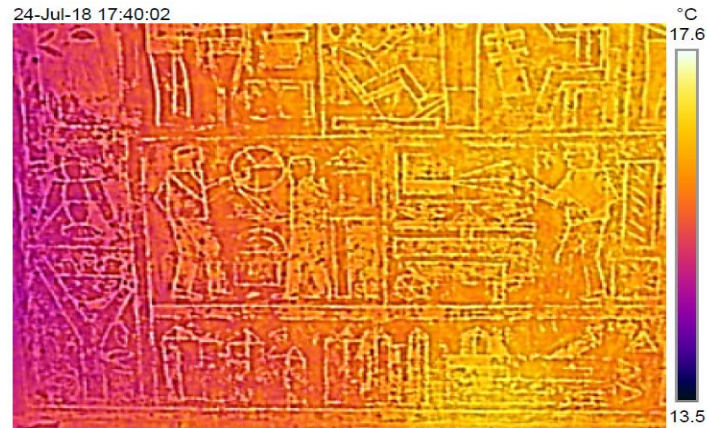
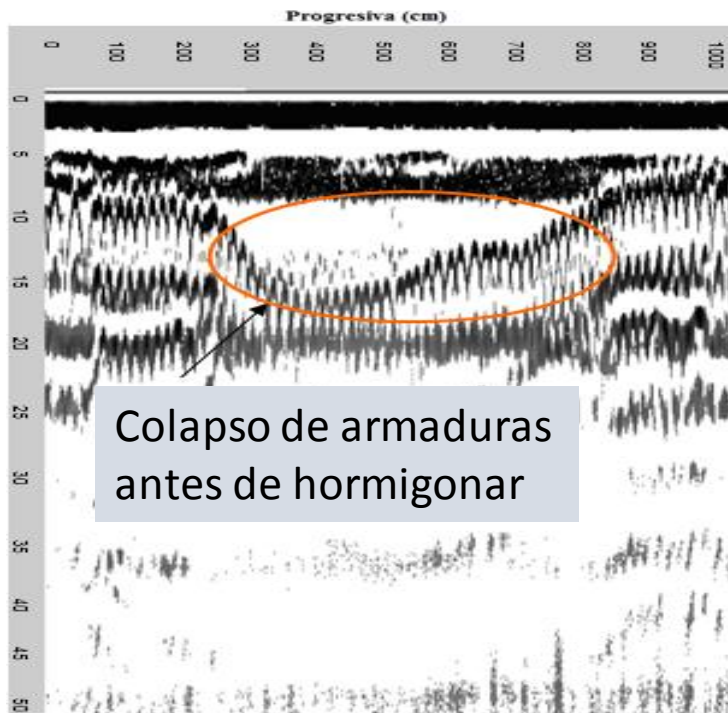


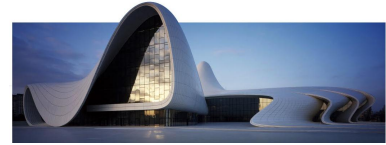
Análisis dinámico de estructuras





Ensayos no destructivos aplicados al diagnóstico estructural



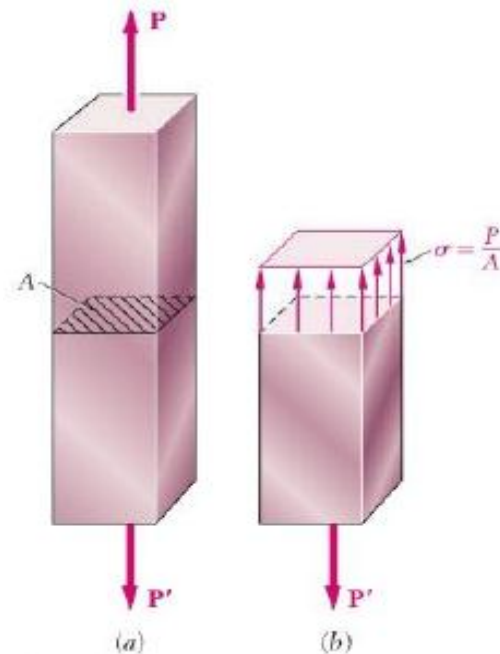


Diagnóstico de estructuras patrimoniales





Determinación del estado tensional en elementos de hormigón comprimidos

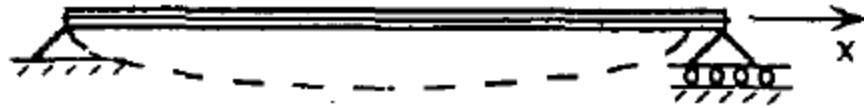




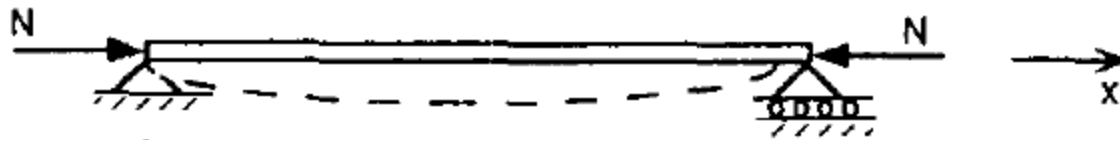
Motivación

- Determinación de **diferencias significativas** en el **estado de carga** de columnas o pilares
- Deficiencias en la tensión de **compresión** aplicada a elementos estructurales **pre y postensado**
- **Falta de métodos experimentales** para la determinación del estado de carga estructuras de hormigón





$$\omega^2 = \frac{\pi^4 EI}{mL^4}$$

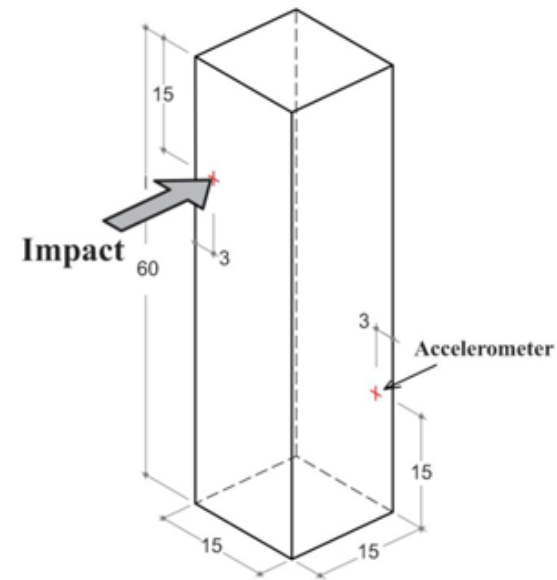


$$\omega^2 = \frac{\pi^4 EI}{mL^4} - \frac{\pi^2 N}{mL^2}$$

Existen antecedentes en hormigón pretensado donde se detectó de forma experimental que la **teoría lineal no explica** el comportamiento de elementos **comprimidos de hormigón**.

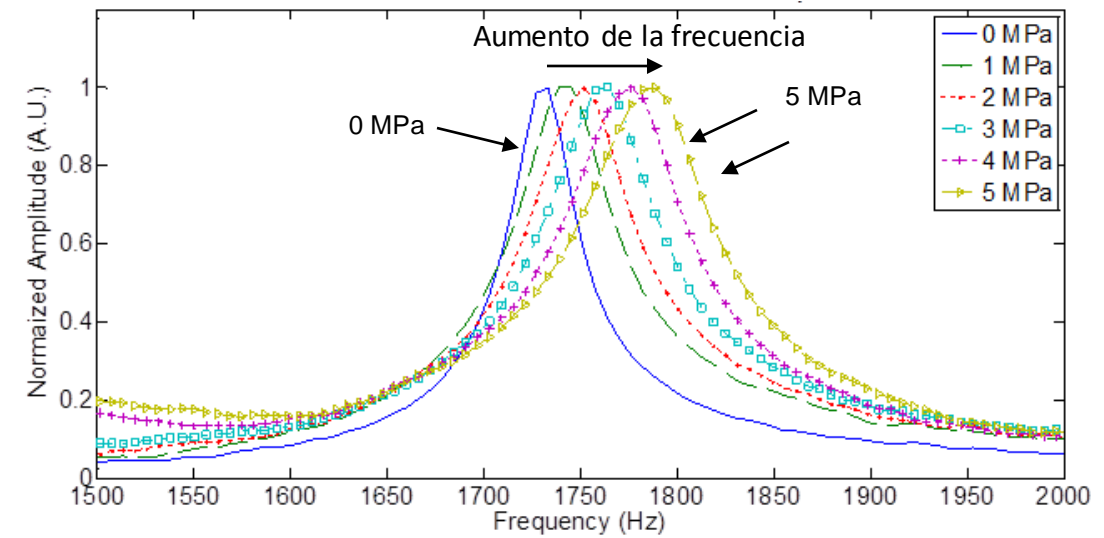
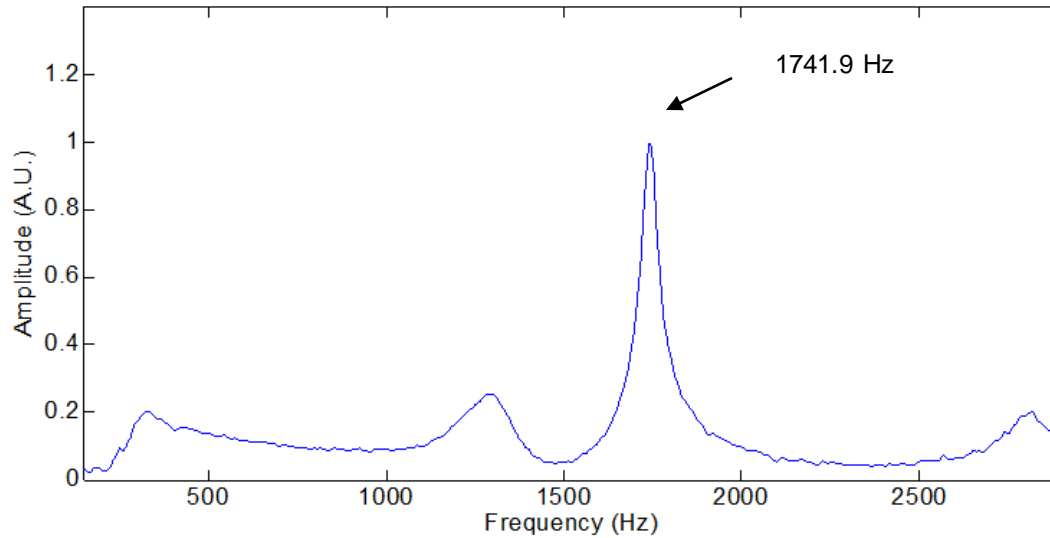


Materiales y Métodos



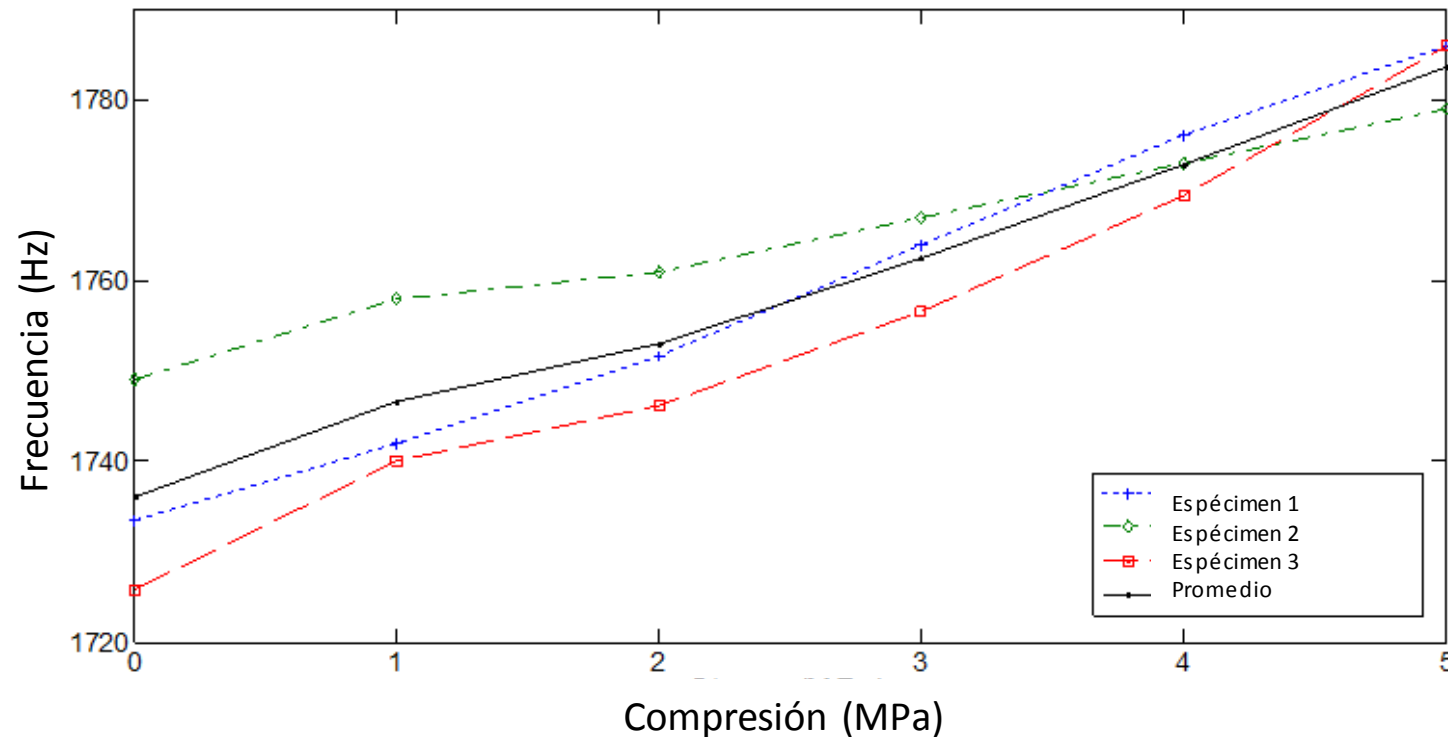


Resultados



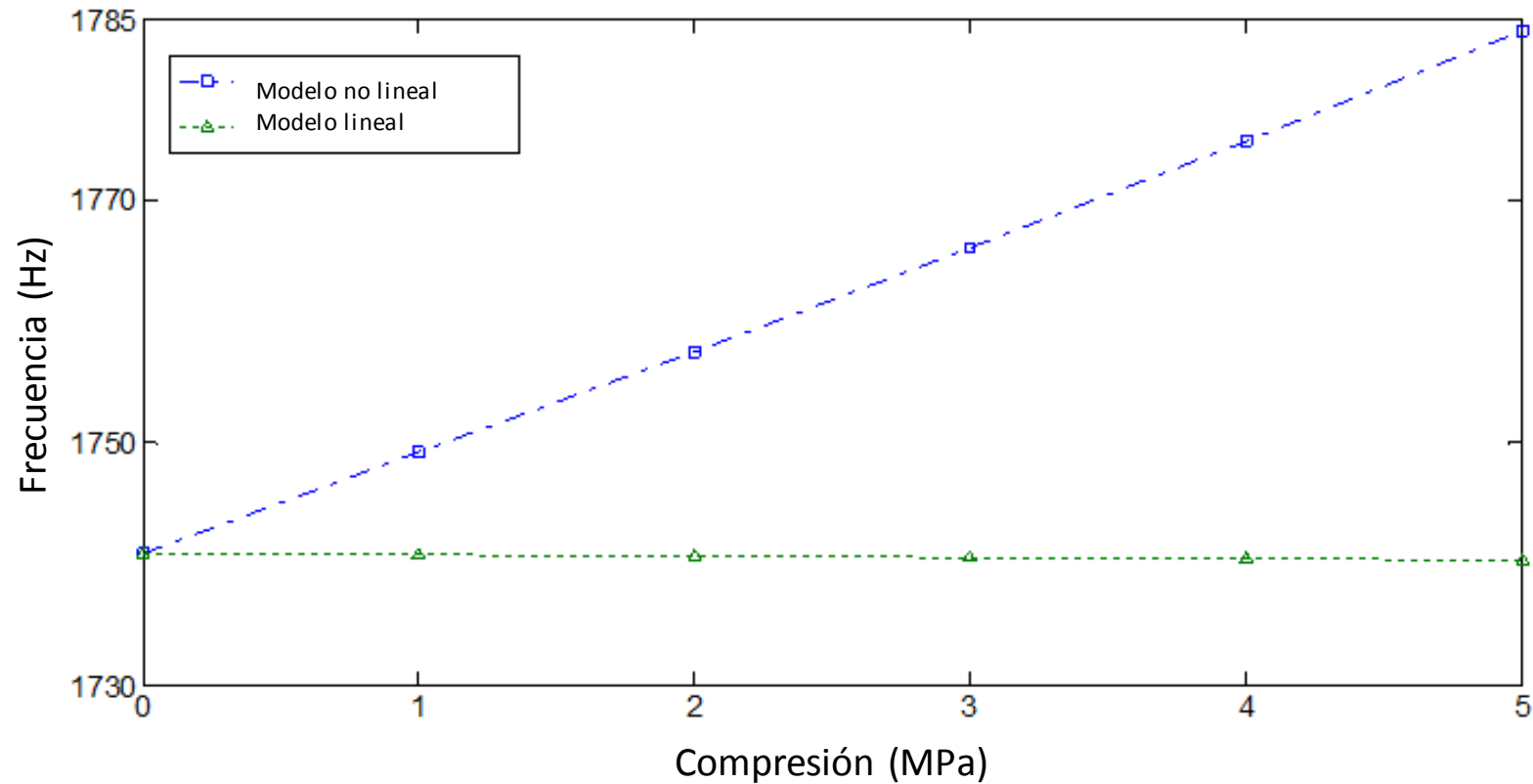


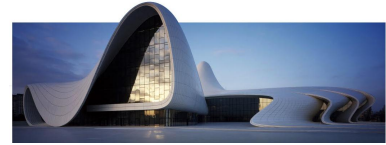
Resultados



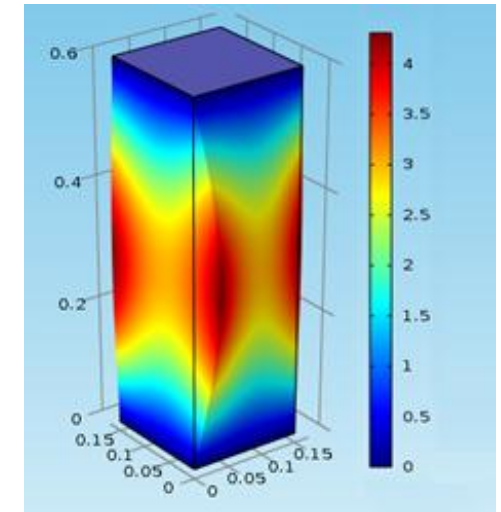
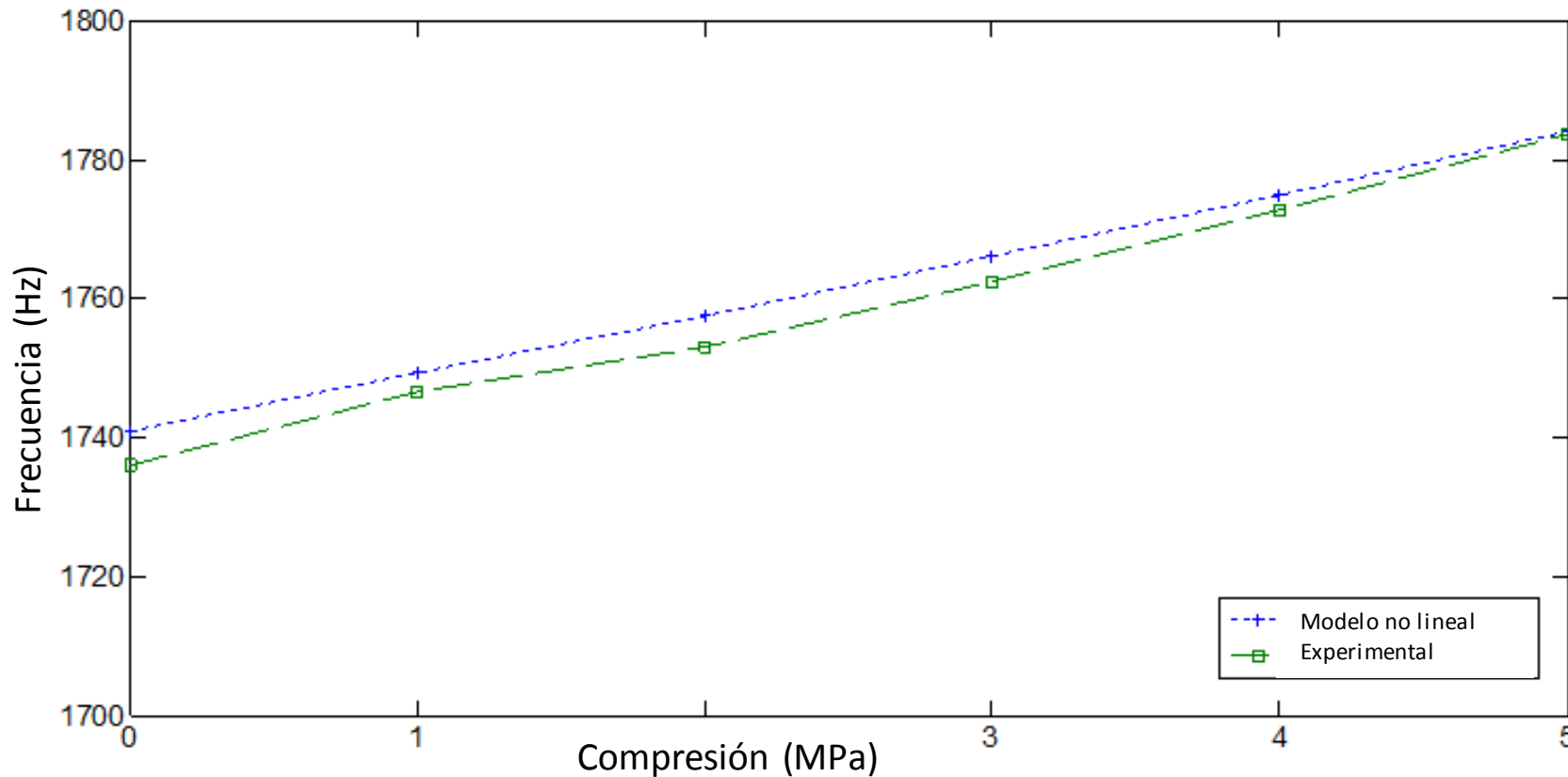


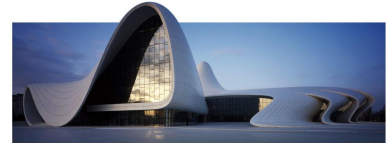
Resultados: modelo numerico (FEM)





Resultados: modelo numerico no lineal y experimentales





Comentarios:

Los resultados experimentales muestran que la **frecuencia fundamental de vibración torsional** de elementos de hormigón **aumenta al aumentar el nivel de compresión del elemento.**

En promedio el incremento es de entre **0.6 y 2.7%** con respecto a la frecuencia en estado descargado, para niveles de compresión que van desde **1 a 5 MPa** respectivamente.

Los cambios en frecuencia corresponden a incrementos en promedio de **9.5 Hz** por cada incremento del orden de **1 MPa** en la tensión de compresión del elemento.



Visualización en 3 dimensiones del interior de losas de hormigón



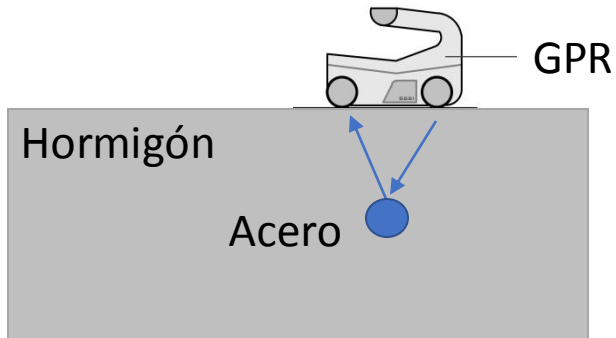


Material es y Métodos

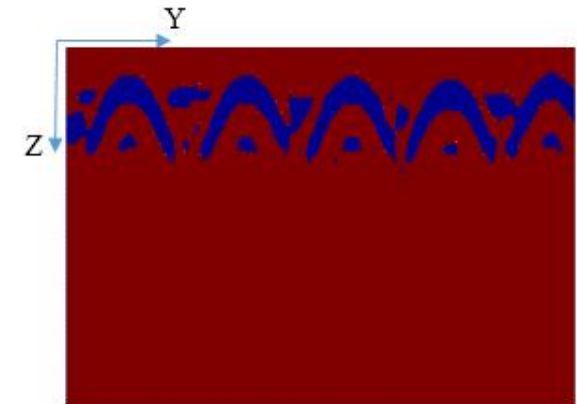
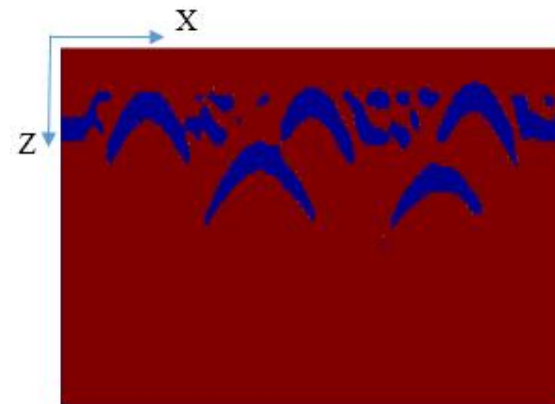


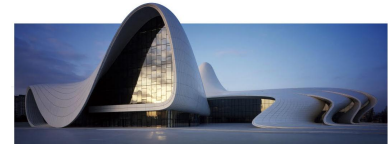


GPR

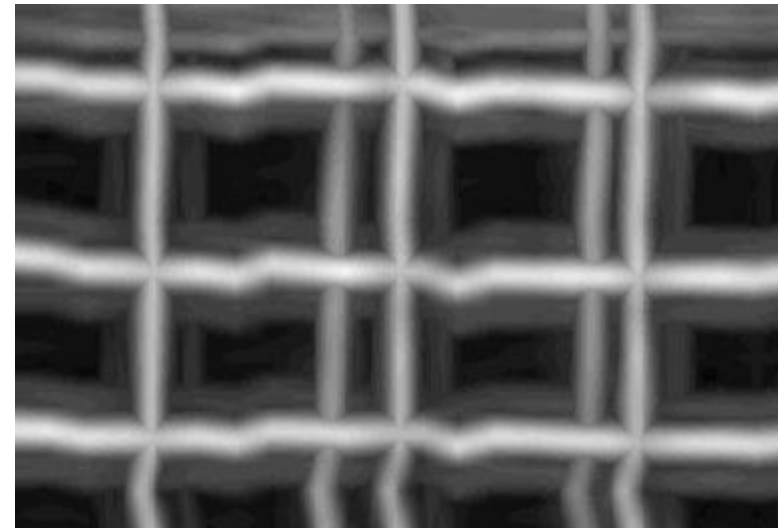
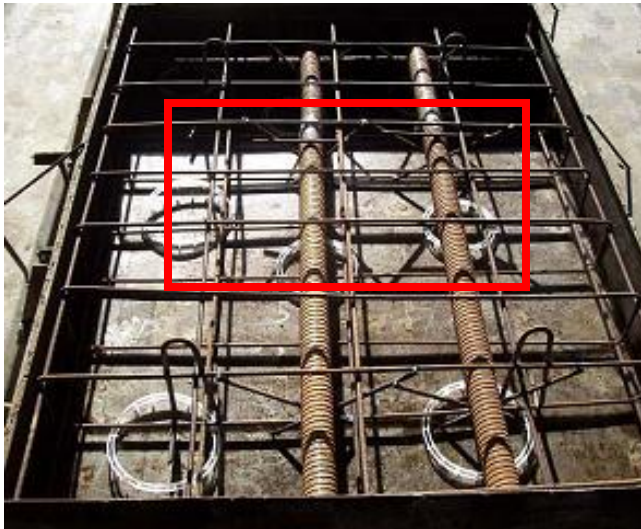


| Interfase | ϵ_1 | ϵ_2 | $R = \frac{\sqrt{\epsilon_1} - \sqrt{\epsilon_2}}{\sqrt{\epsilon_1} + \sqrt{\epsilon_2}}$ |
|----------------|--------------|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| Hormigón-Acero | 7 | ∞ | 100% |
| Hormigón-Aire | 7 | 1 | 45% |



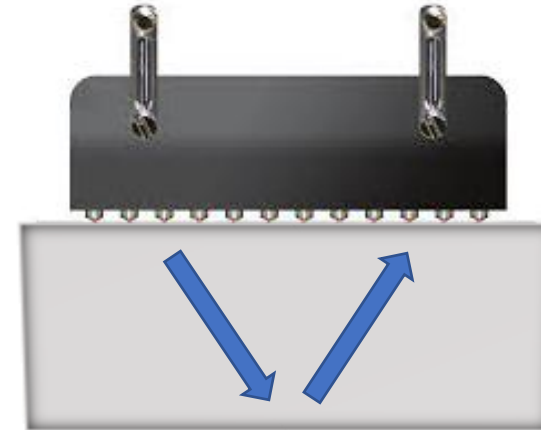


GPR





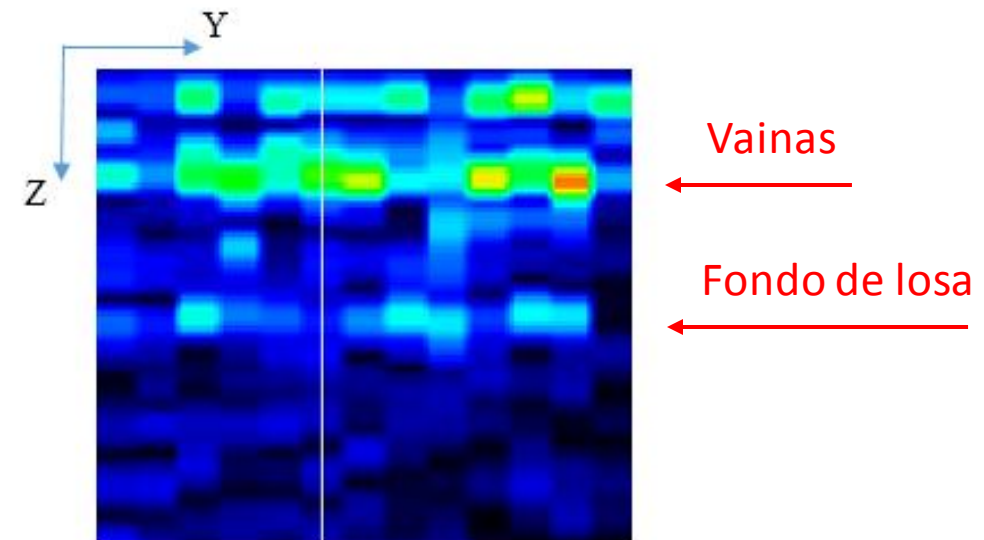
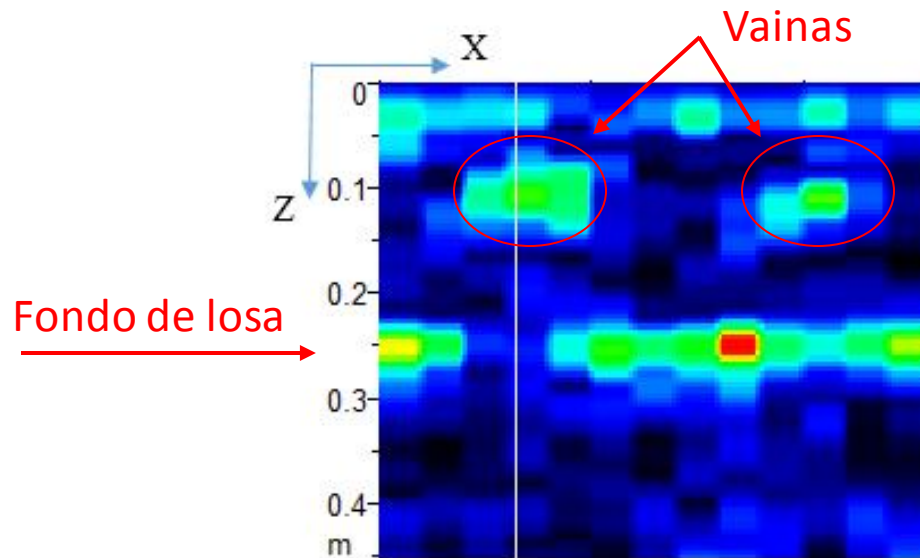
Ultrasonido: Pulso-Eco



| Interfase | Z_1 | Z_2 | $R = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}$ |
|----------------|-------|---------|-----------------------------------|
| Hormigón-Acero | 9.6 | 46.5 | 66% |
| Hormigón-Aire | 9.6 | .000429 | 99% |

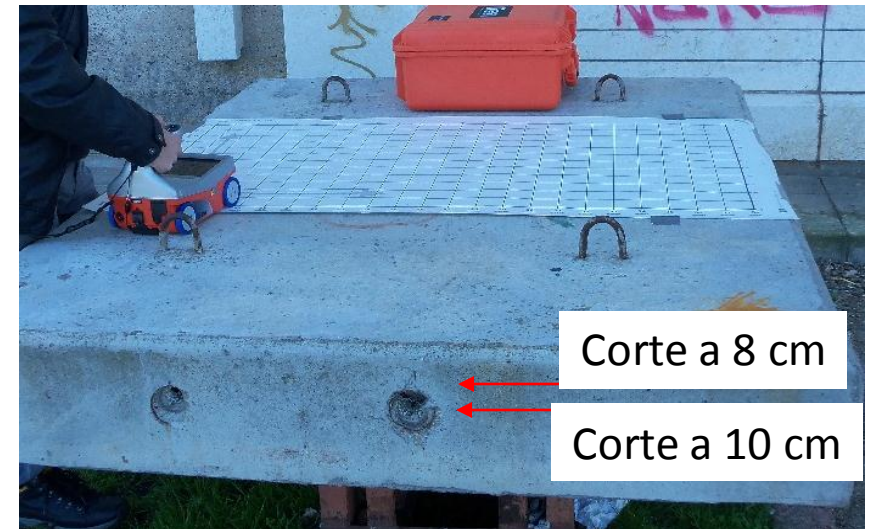
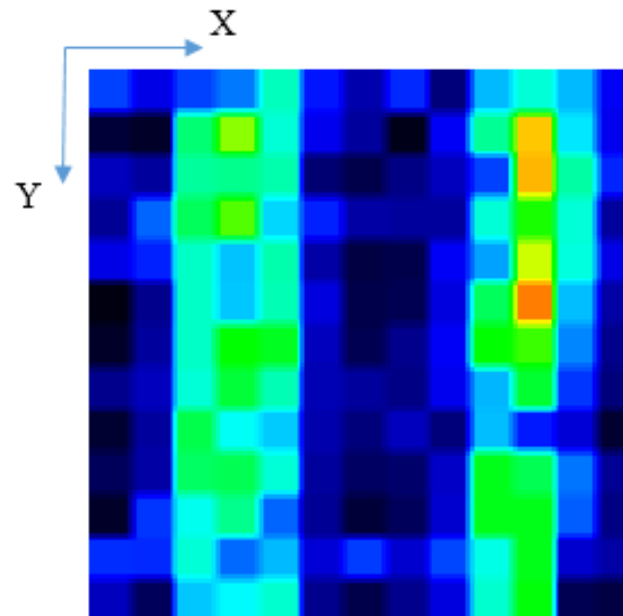
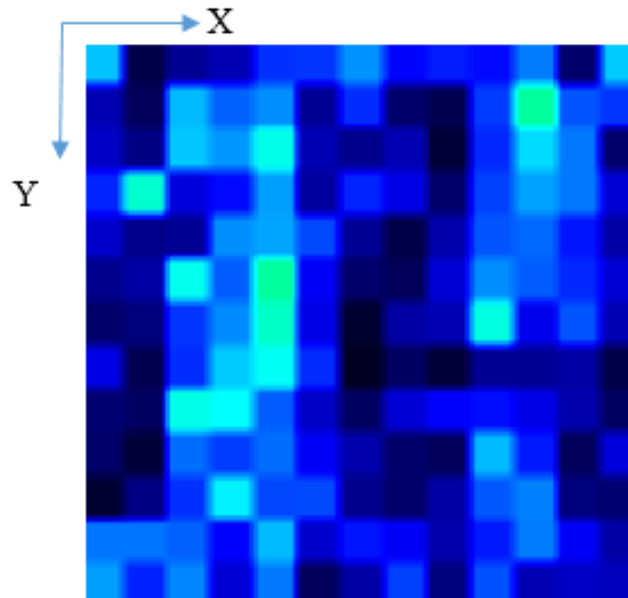


Detección de vainas y fondo de la losa



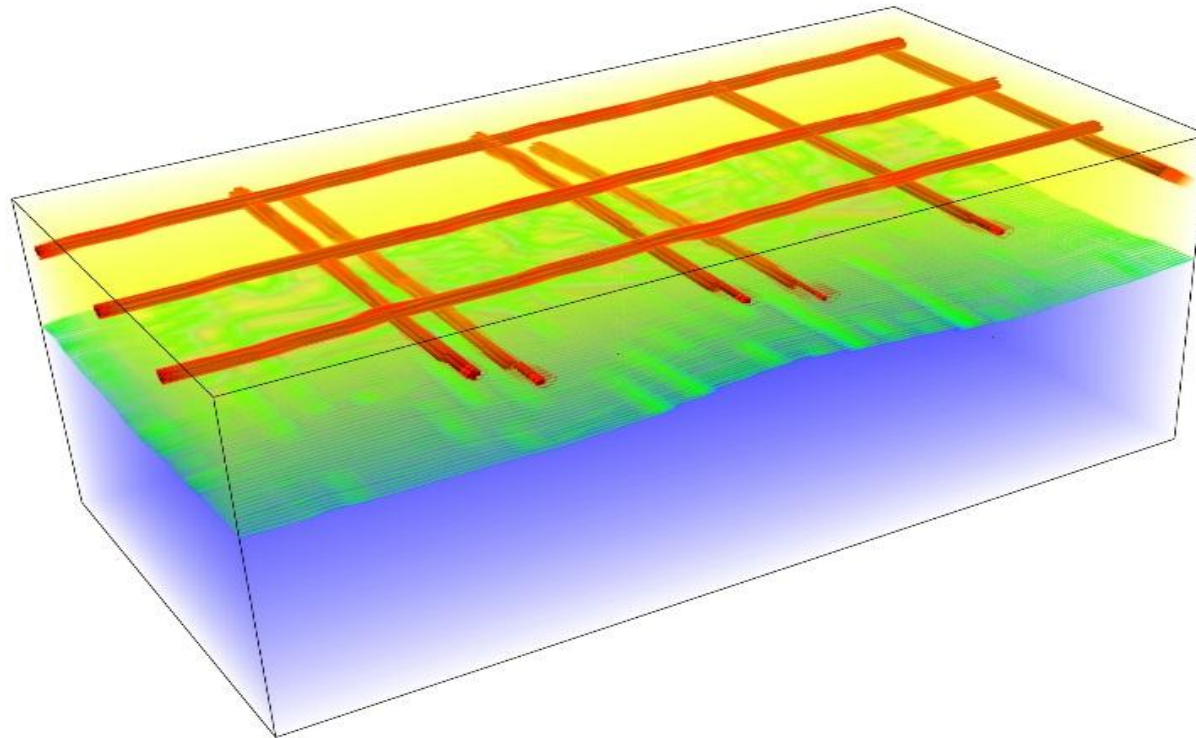


Ultrasonido: Pulso-Eco





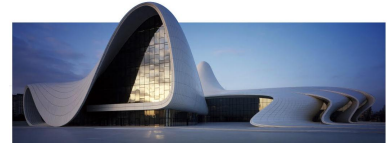
Resultados





Comentarios:

- El **GPR** es muy sensible para la detección de **armaduras y vainas metálicas**
- Con el Ultrasonido **Pulso-Eco** se puede determinar **espesores** y detectar la presencia de **huecos**
- Fusión de datos mejora la visualización del interior del hormigón



Caracterización de Cemento Portland Mediante Ensayos en probetas de Mortero

Objetivo: verificar la calidad del **cemento Portland** y comparar los resultados de **ensayos destructivos** con los resultados de **ensayos no destructivos**.

Materiales: Cemento Normal (CPN), Cemento Fillerizado (CNF) y Cemento de Bajo Calor de Hidratación (CBCH).

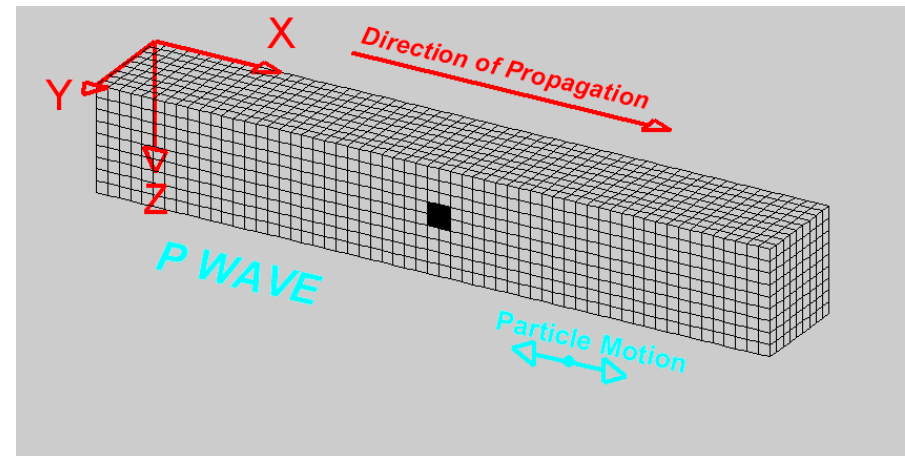
Ensayos Destructivos: Compresión a 2, 7 y 28 días.

Ensayos no Destructivos: Ultrasonido y Resonancia Mecánica.



Ensayos no destructivos aplicados a morteros

Ultrasonido:



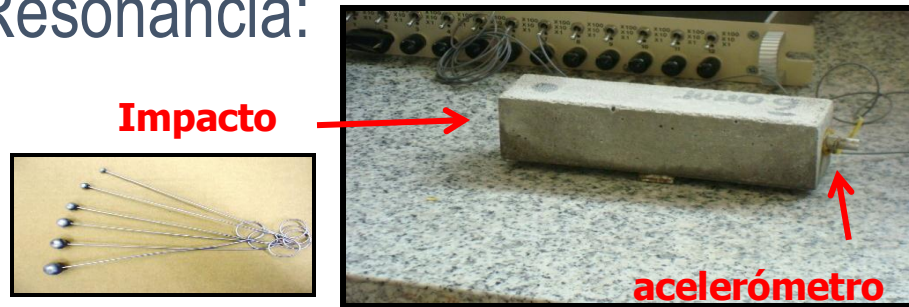
$$V_P \cong \sqrt{\frac{E}{\rho}} \rightarrow E \cong V_P^2 \rho$$

Módulo de Elasticidad \rightarrow Resistencia a compresión

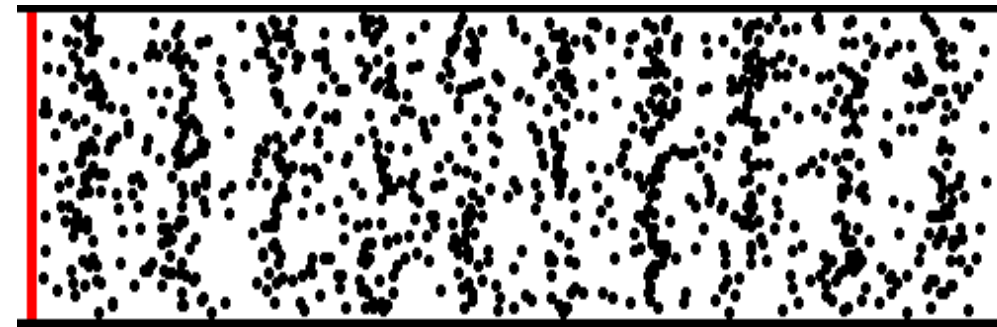


Ensayos no destructivos aplicados a morteros

Resonancia:



Excitación



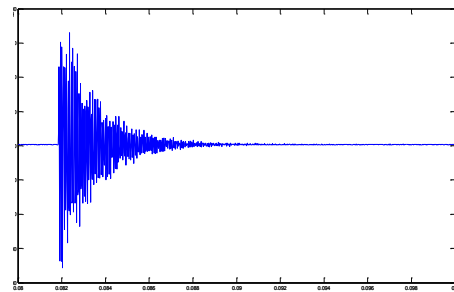
©1999, Daniel A. Russell

Dirección de propagación

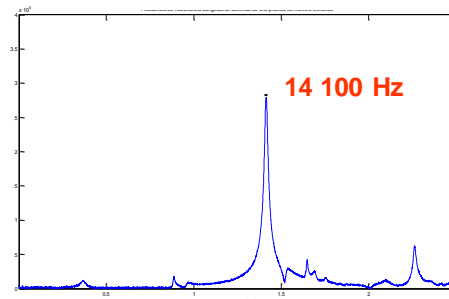
Vibración de las partículas

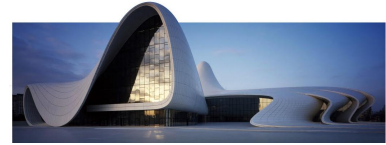
$$E = k \cdot f_{long}^2$$

Módulo de Elasticidad → Resistencia a compresión

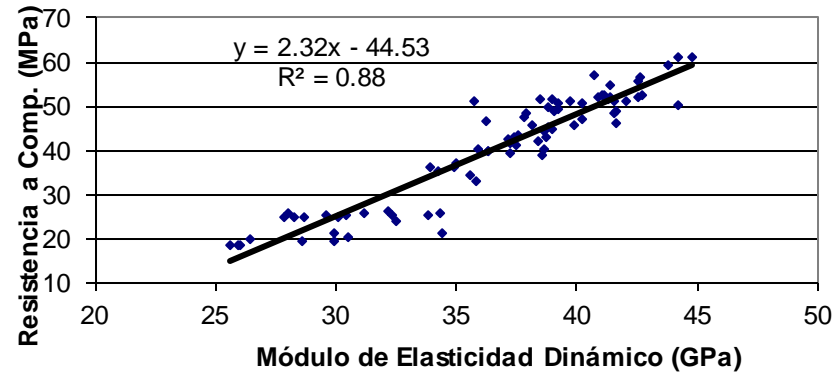


FFT

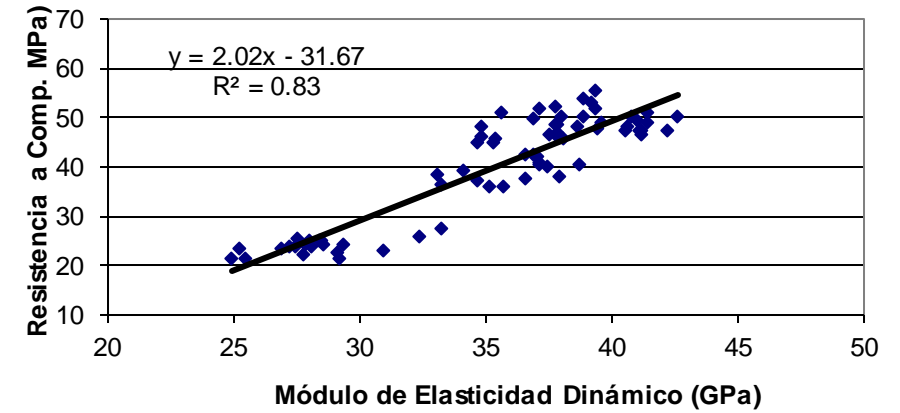




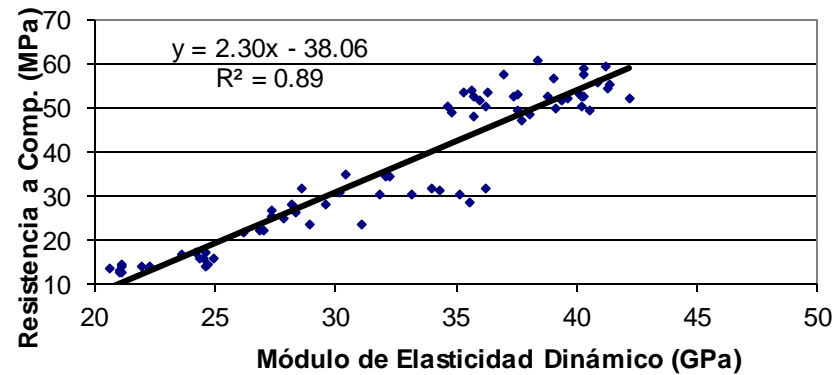
Probetas CPN: Módulo de Elasticidad Dinámico vs. Resistencia a Compresión

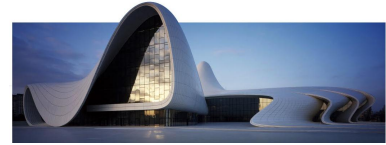


Probetas CNF: Módulo de Elasticidad Dinámico vs. Resistencia a Compresión

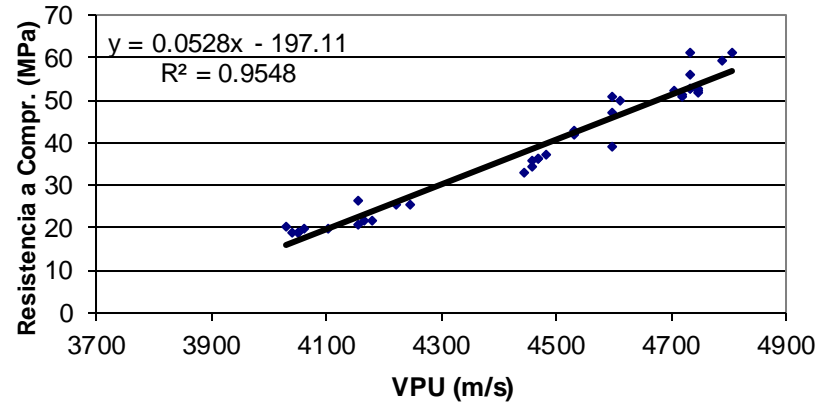


Probetas CBCH: Módulo de Elasticidad Dinámico vs. Resistencia a Compresión

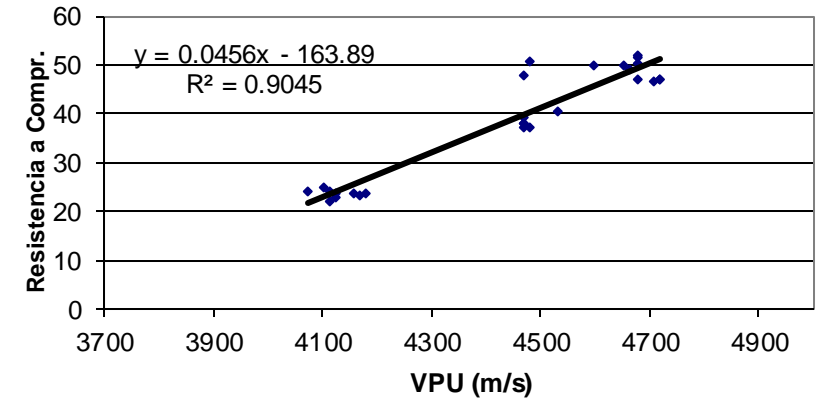




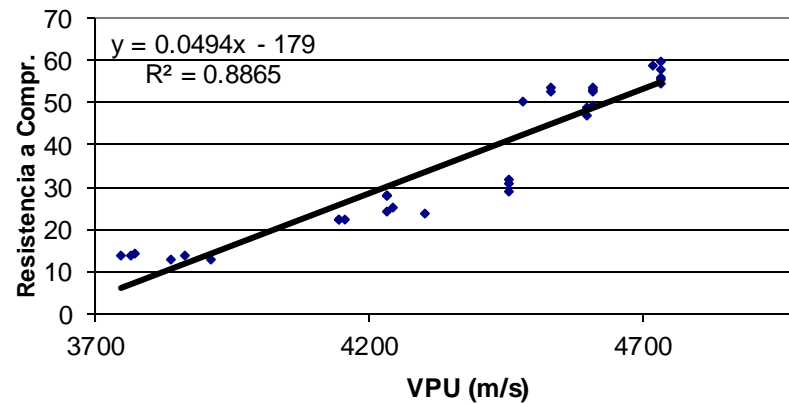
Probetas CPN: VPU vs Resistencia a Compresión

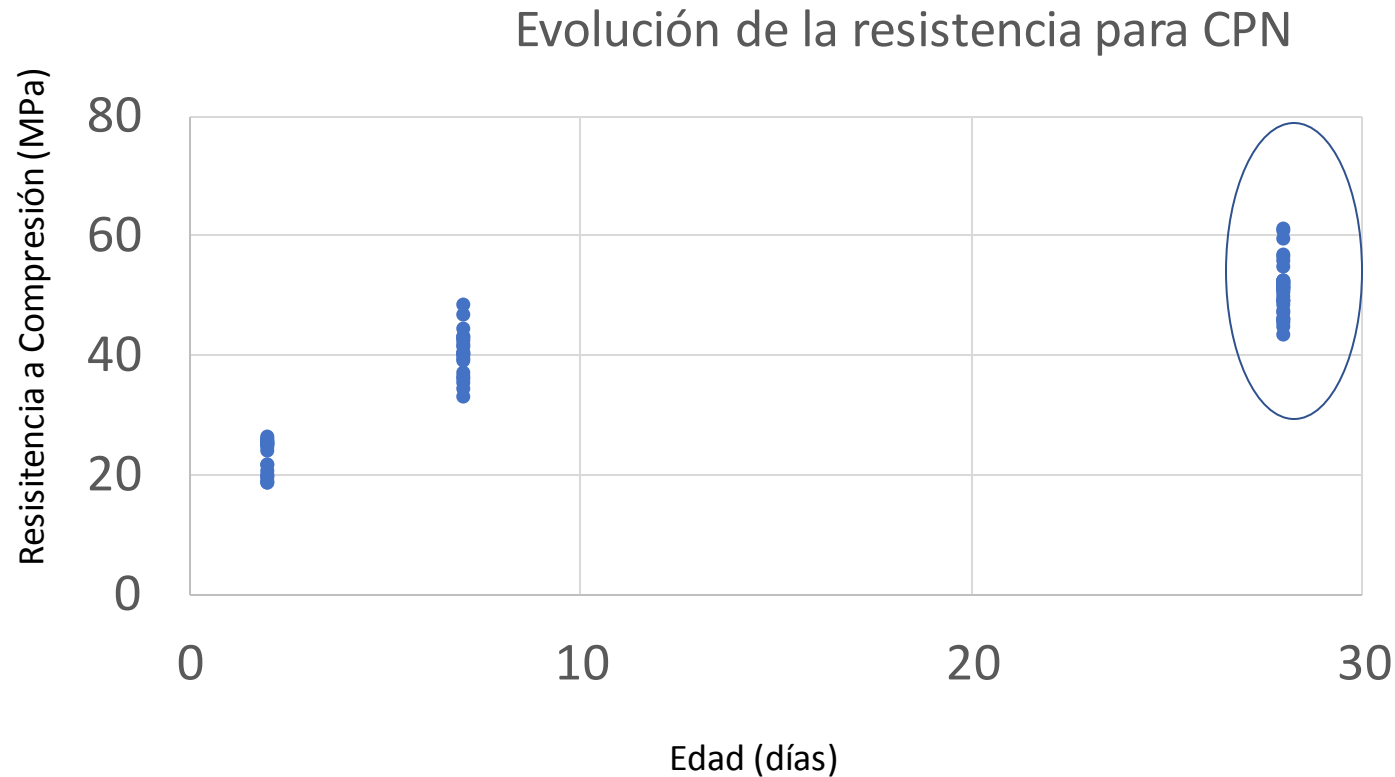


Probetas CNF: VPU vs. Resistencia a Compresión

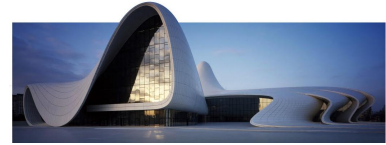


Probetas CBCH: VPU vs. Resistencia a Compresión

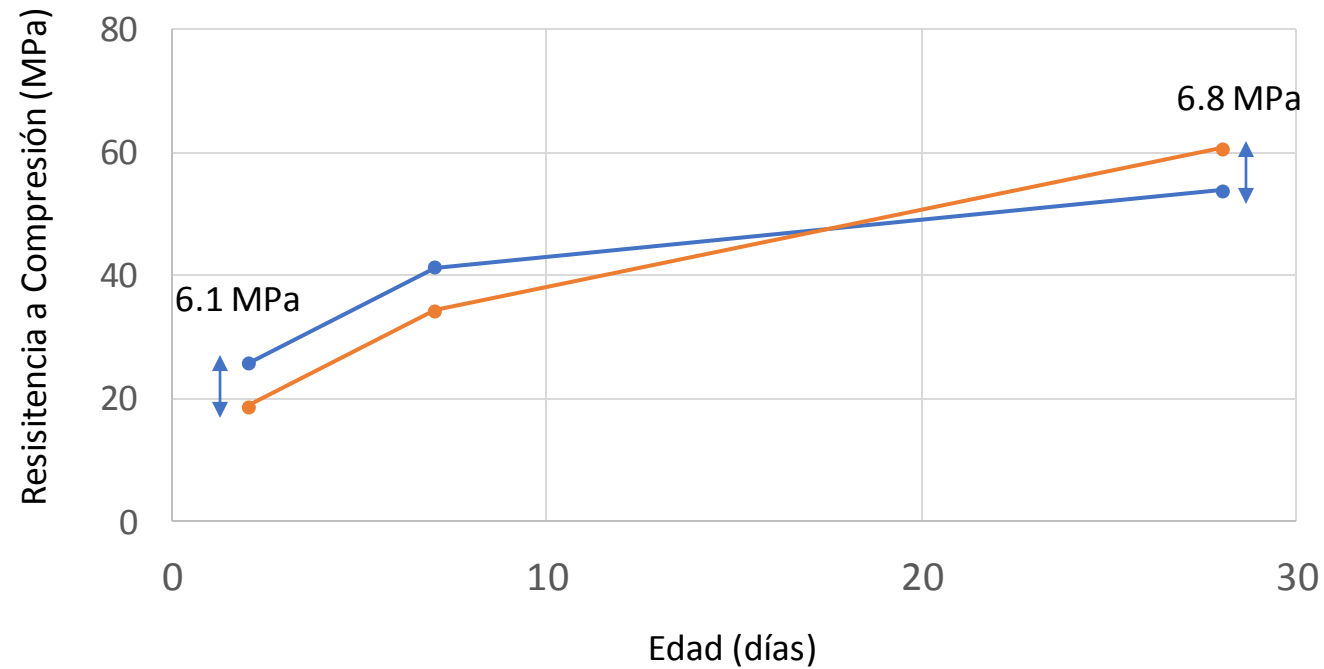




Mayor dispersión entre los valores de resistencia obtenidos (>40 MPa)



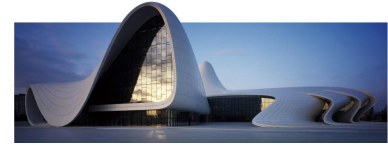
Crecimiento de resistencia de dos muestras





Comentarios:

- Buena correlación entre los **END** y la **resistencia a compresión** en probetas de mortero ensayadas en condiciones de laboratorio
- Los resultados obtenidos con **ultrasonido** muestran mayores índices de correlación lineal con la resistencia
- La propia **variabilidad del cemento** ensayado hace que sea difícil obtener una buena estimación de la **resistencia a compresión** con valores obtenidos a edades tempranas



Caso de Estudio: Detección y Diagnóstico de Reacción Alkali Agregado en Uruguay





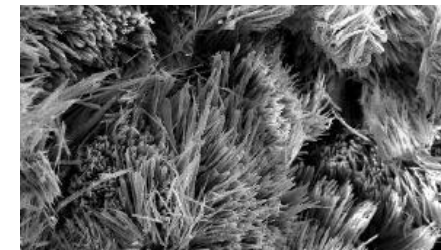
Reacción Alcali Agregado



Estudio de Antecedentes, etc.
Inspección Visual



Extracción de testigos y
Ensayos No Destructivos

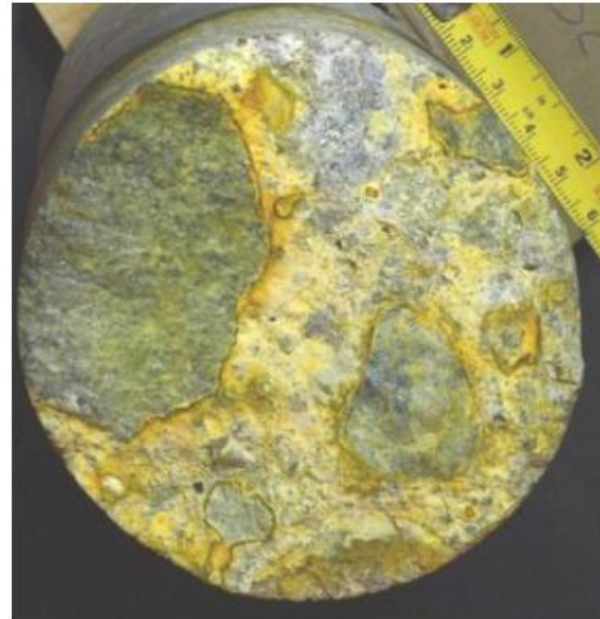


Tinciones Selectivas,
Análisis de Microscopía
Reactividad de Agregados

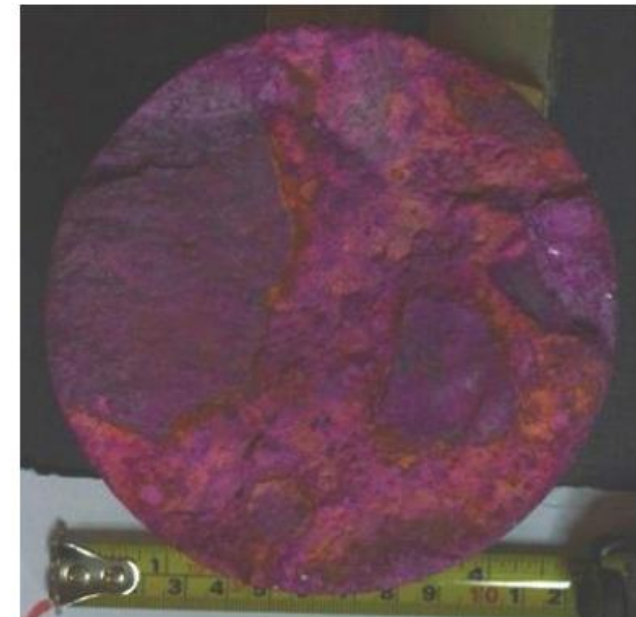


Las tinciones se producen en presencia de la reacción, pero también se pueden producir por otras causas.

Las tinciones selectivas se deben tomar como **un indicador**.



Solución de sodio cobalto nitrito

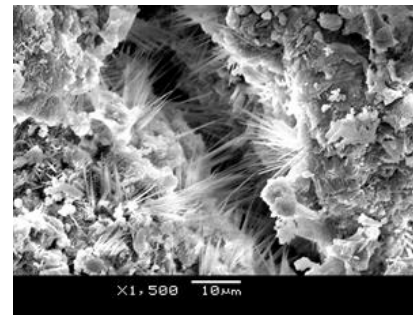
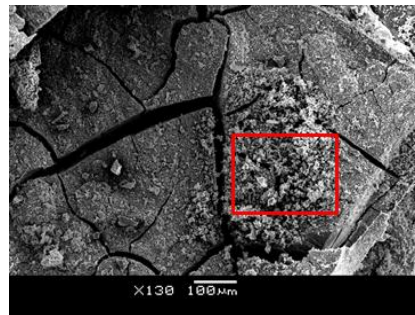


Solución de Rodamina B



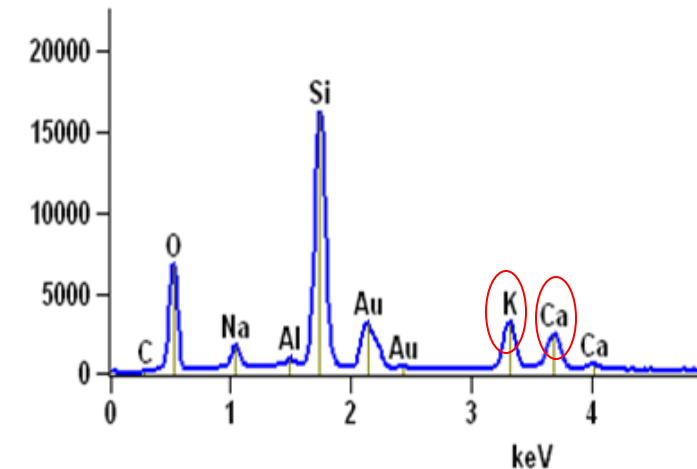
Acumulación de producto blancuzco

- Formación cuarteada con deposiciones ($100\ \mu\text{m}$)
- Formaciones tipo “agujas” o “hilos” ($10\ \mu\text{m}$) (RILEM, 2013).



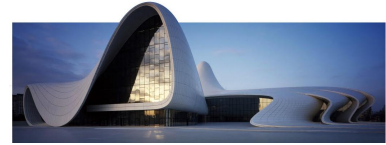
Full scale counts: 20259

3-05(1)_pt1



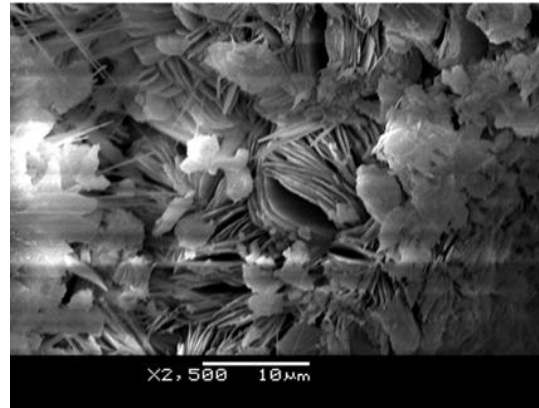
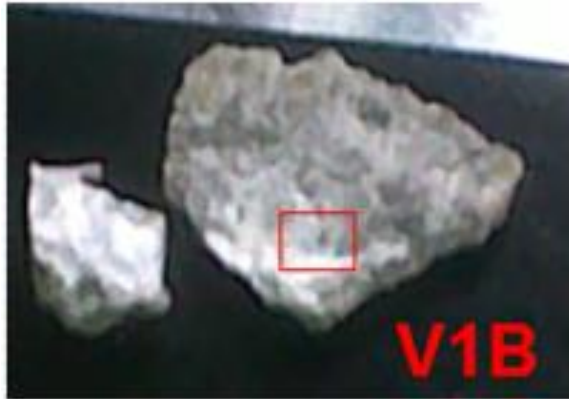
• Espectro EDS

- Presencia de Potasio y Calcio (menor contenido de Calcio)

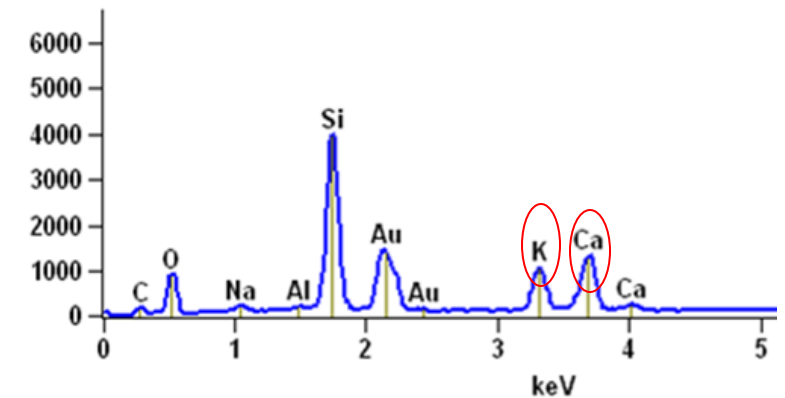


Zona superior a depósito blancuzco

- Formaciones tipo “placas” (10 μm)



Full scale counts: 601



Espectro EDS

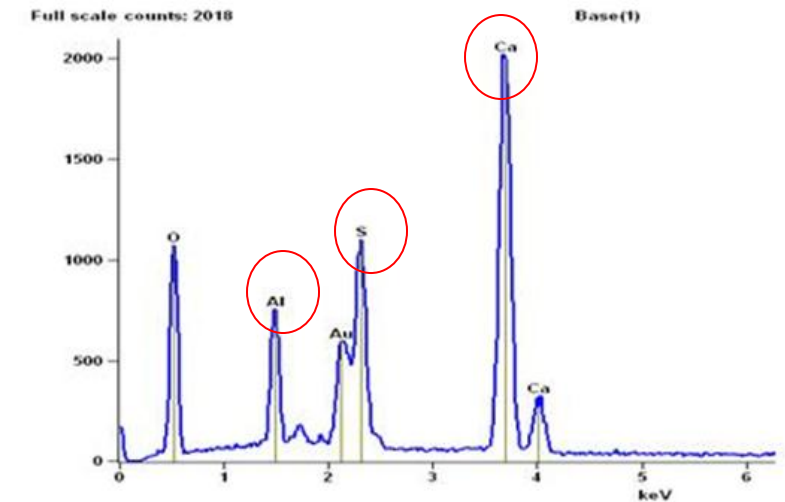
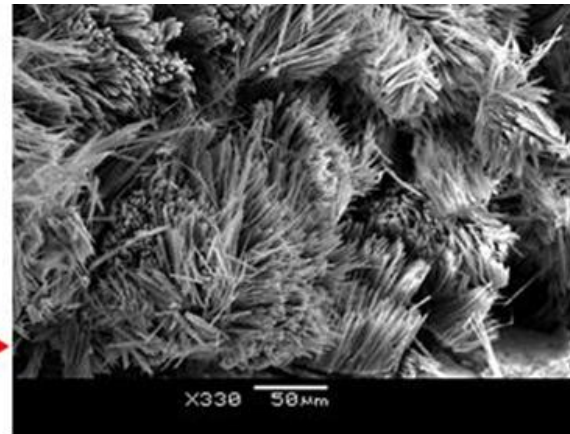
- Presencia de Potasio y Calcio (mayor contenido de Calcio)

La morfología observada, junto al espectro, confirman la presencia de la RAA (RILEM, 2013).



Zona de depósito blancuzco.

- Formaciones tipo “agujas” (10 μm)



Espectro EDS

Presencia de **azufre (S)**, **Calcio (Ca)** y **Aluminio (Al)**.

Consistente con deposiciones de **Etringita (sulfoaluminato)**

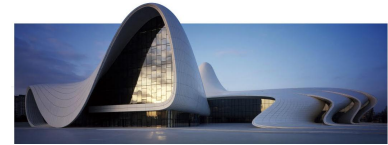


Comentarios:

Las tinciones dieron indicios de la **RAA**.

El análisis microestructural mediante **MEB/EDS** permitió identificar productos de la **Reacción Alkali Agregado**.

Se confirmó que la **RAA** es una de las **causas de la fisuración**. Sin embargo, la presencia de **etringita** puede dar pie a algún tipo de DEF.



Muchas Gracias por su Atención!

gonzaloc@fing.edu.uy