

# **EVALUACIÓN NO DESTRUCTIVA EN PILOTES.**

**ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LA  
AUSCULTACIÓN DE PILOTES POR EL  
MÉTODO ULTRASÓNICO CROSS-HOLE Y  
EL MÉTODO DE IMPEDANCIA MECÁNICA.**

**DOCTORADO INGENIERÍA DE  
ESTRUCTURAS.**

# INTRODUCCIÓN Y OBJETO

## ● DILEMA USUAL EN LA AUSCULTACIÓN DE PILOTES EN OBRA.

- PROYECTOS SIN DEFINICIÓN DE LA AUSCULTACIÓN.
- COSTES UNITARIOS PREVISTOS.

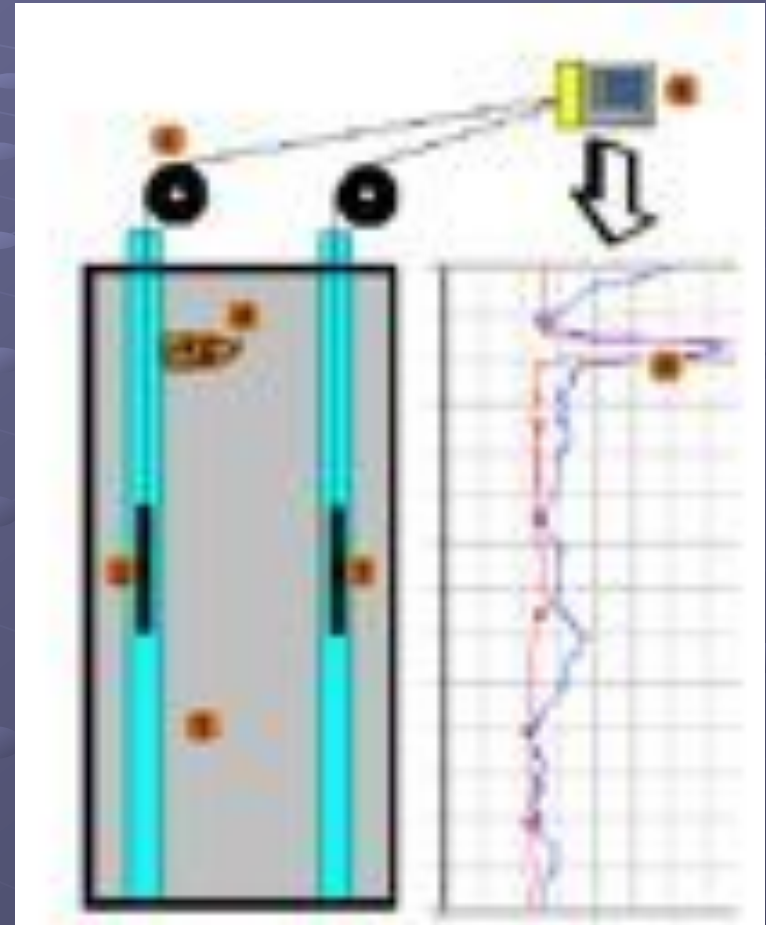


*concluir recomendaciones que faciliten la elección del método de auscultación*

# DESCRIPCIÓN DE SENDOS MÉTODOS DE AUSCULTACIÓN

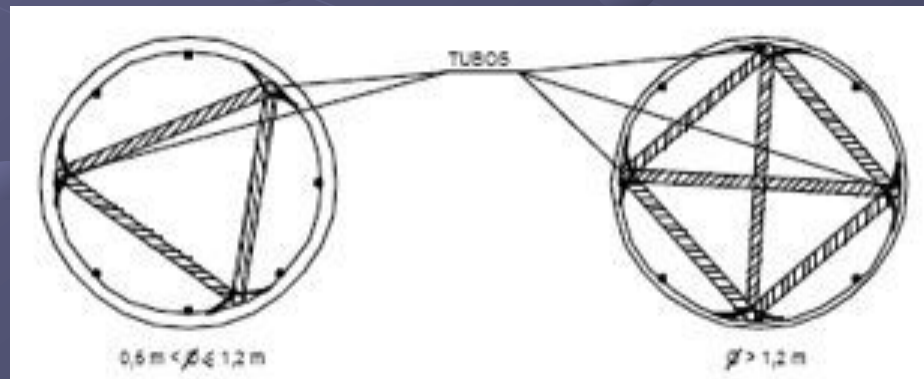
- **Método ultrasónico de cross-hole**

- Tiempo recorrido onda emisor a un receptor
- Ambos se desplazan simultáneamente por dos tubos paralelos sujetos a la armadura del pilote
- Tiempo función del material atravesado



# DESCRIPCIÓN DE SENDOS MÉTODOS DE AUSCULTACIÓN

- TUBOS: DIÁM. 40 – 50 MM.  
PREFERIBLEMENTE ACERO, (EVITAR PVC). CON JUNTA ARROSCABLES Y TAPONES.(NO TUBOS DE INYECCIÓN).
- LLENADO DE TUBOS DE AGUA.
- NÚMERO DE TUBOS, (NORMA DTU FRANCESA), (2, 3 Ó 4 TUBOS)





# DESCRIPCIÓN DE SENDOS MÉTODOS DE AUSCULTACIÓN

## ● REQUERIMIENTOS

- EDAD HORMIGÓN > 7 AÑOS
- LIMPIEZA Y ACCESIBILIDAD PILOTES
- ESTANQUEIDAD TUBOS
- CORONAR TUBOS POR ENCIMA DE PILOTE
- REFERENCIA COTAS CORONACIÓN TUBOS
- ENSAYOS POR PAREJA DE TUBOS
- DATOS POR P, A Y/O TIEMPO, (SOFTWARE)

# DESCRIPCIÓN DE SENDOS MÉTODOS DE AUSCULTACIÓN

## ● ANOMALÍAS

### ■ POR TIEMPO

- $t_a$ , zona de anomalía, (3 medidas)
- $t_n$ , zona fuera de anomalía.
- $t_0$ , tiempo cadena de medida

### ■ POR AMPLITUDES

- $a_a = A_a / A_{max}$ ,  $A_a$  zona singular,  $A_{max}$ . (medias de 3 medidas consecutivas).

$$\frac{t_a - t_n}{t_n - t_0} \geq 0,2 \text{ y } \alpha_a \leq 0,2$$

# DESCRIPCIÓN DE SENDOS MÉTODOS DE AUSCULTACIÓN

## ● Método de impedancia

- GENERACIÓN DE ONDA DE COMPRESIÓN, (MARTILLO)
- RECEPCIÓN DE RESPUESTA, (ACELERÓMETRO)
  - GENERACIÓN DE REFLECTOGRAMA
  - CURVA VELOCIDAD / TIEMPO





# DESCRIPCIÓN DE SENDOS MÉTODOS DE AUSCULTACIÓN

- REFLEXIÓN DE LA ONDA EN LA BASE DEL PILOTE Y EN LOS DEFECTOS EXISTENTES
- CAMBIO DE IMPEDANCIA, (E, DENSIDAD).
  - velocidad de propagación:  $C = (E/d)^{1/2}$
  - $t = 2 L/C$  , (L Longitud pilote).
  - $F = Z v$ , (F fuerza, Z impedancia, v velocidad masa)
  - $Z = E x A / C$ , (E mód. Elástico, A área).
  - CAMBIO DE IMPENDANCIA, ( $Z_2$  A  $Z_1$ )  $\rightarrow F_i, F_d, F_u$ , ondas iniciales, (fuerza impacto inicial, reflejada hacia abajo y hacia arriba)

$$F_d = F_i \left[ \frac{2Z_2}{Z_2 + Z_1} \right]$$

$$F_u = F_i \left[ \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \right]$$



# DESCRIPCIÓN DE SENDOS MÉTODOS DE AUSCULTACIÓN

## ● REQUERIMIENTOS

- EDAD > 7 DÍAS.
- DESCEZADO MUY UNIFORME
- AUSENCIA DE AGUA Y BARRO, MORTERO, ETC...
- NORMA NFP 94-160-2 y NFP 94-160-4.

# DESCRIPCIÓN DE SENDOS MÉTODOS DE AUSCULTACIÓN

## ● VENTAJAS E INCONVENIENTES

- LOCALIZACIÓN EN PROFUNDIDAD FALLO
  - SÓNICO: BUENO
  - IMPEDANCIA: ALGO MENOS PRECISO.
- LOCALIZACIÓN EN SECCIÓN FALLO, (ANÁLISIS REPERCUSIÓN ESTRUCTURAL)
  - SÓNICO: BUENO
  - IMPEDANCIA: POCO PRECISO.
- AFECCIÓN SECCIÓN ESTRUCTURAL
  - SÓNICO: AFECCIÓN RECUBRIMIENTOS FERRALLA.  
REDUCCIÓN DE LA SECCIÓN NETA
  - IMPEDANCIA: NO REQUIERE IMPLANTACIÓN DE TUBOS

# DESCRIPCIÓN DE SENDOS MÉTODOS DE AUSCULTACIÓN

## ■ COSTE

- SÓNICO: MUY ALTO
- IMPEDANCIA: BARATO.

## ■ DIFICULTAD DEL ENSAYO

- SÓNICO: COLOCACIÓN TUBOS, LLENADO, RECORRIDO DE TRANSDUCTORES.
- IMPEDANCIA: MUY SENCILLO

## ■ REQUERIMIENTOS CABEZA PILOTE

- SÓNICO: AUSENCIA DE BARRO,  $T > 7$  DÍAS.
- IMPEDANCIA: MUY BUEN DESCABEZADO, SIN SUCIEDAD.

## ■ ACOPLAMIENTO PILOTE

- SÓNICO: MALO, (JUNTA DE TUBOS, AGUA).
- IMPEDANCIA: BUENO.

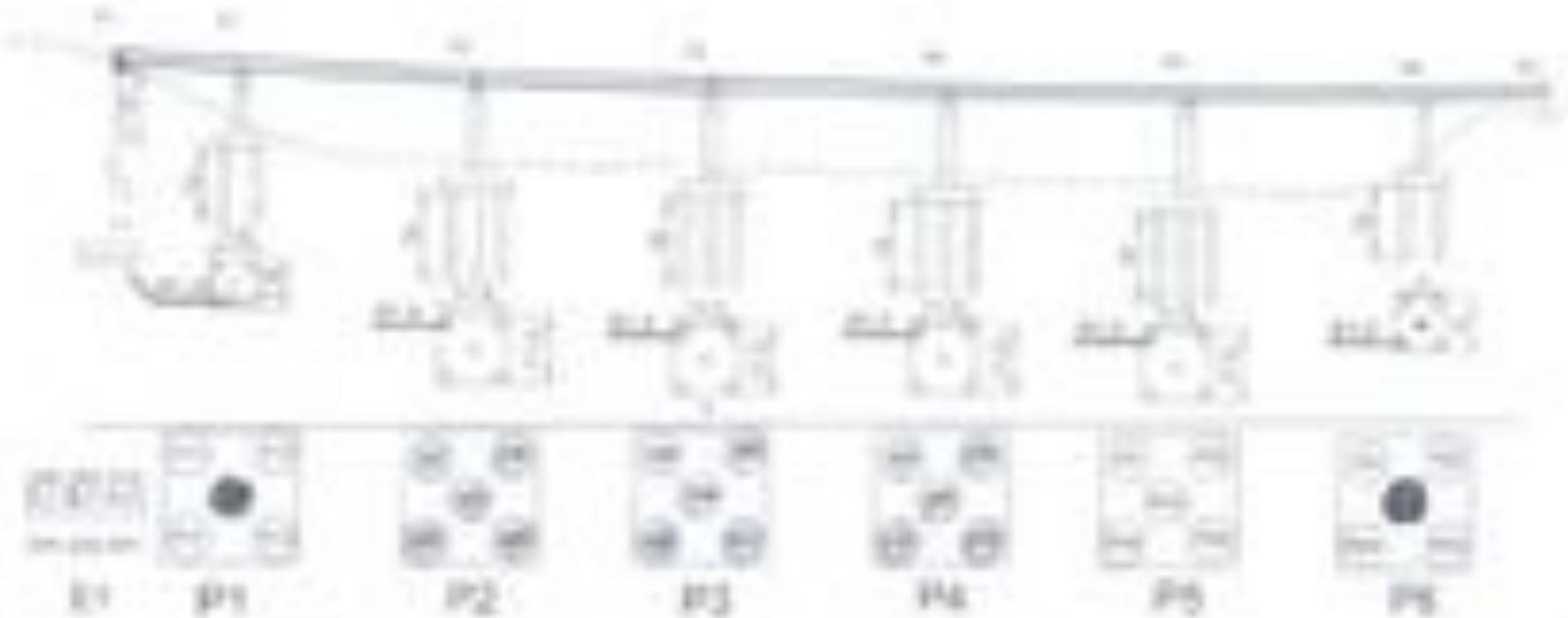
## APLICACIÓN A UN CASO CONCRETO. EL VIADUCTO DEL ANDARAX EN LA A-348.

- VIADUCTO DE LONGITUD 200 M.
- PILOTES DE 1250 MM Y 1500 MM, (12-15 m)
- ENSAYOS DE AUTOCONTROL: SÓNICOS POR CROSS-HOLE.
- ENSAYOS DE VERIFICACIÓN: IMPEDANCIA, (contraste en fallos)
- OBJETO: DETECCIÓN DE FALLOS, VERIFICACIÓN, AFECCIÓN ESTRUCTURAL, CALIDAD DEL HORMIGÓN.



# APLICACIÓN A UN CASO CONCRETO. EL VIADUCTO DEL ANDARAX EN LA A-348.

ESTRUCTURACIÓN PILOTES DE LA ESTRUCTURA DEL RIO ANDARAX



# APLICACIÓN A UN CASO CONCRETO. EL VIADUCTO DEL ANDARAX EN LA A-348.

- Ejecución de los pilotes y colocación de los tubos sónicos.



## APLICACIÓN A UN CASO CONCRETO. EL VIADUCTO DEL ANDARAX EN LA A-348.

- Gravas y arenas, NF: colocación de camisa metálica.





# APLICACIÓN A UN CASO CONCRETO. EL VIADUCTO DEL ANDARAX EN LA A-348.

## ● SOLDADURA TUBOS, (SIN ROSCA)





# APLICACIÓN A UN CASO CONCRETO. EL VIADUCTO DEL ANDARAX EN LA A-348.

## ● MONTAJE TUBOS: CERCO ADICIONAL Y TAPONES



# APLICACIÓN A UN CASO CONCRETO. EL VIADUCTO DEL ANDARAX EN LA A-348.

## ● EJECUCIÓN TAPÓN DE FONDO





# APLICACIÓN A UN CASO CONCRETO. EL VIADUCTO DEL ANDARAX EN LA A-348.

- COLOCACIÓN FERRALLA



# APLICACIÓN A UN CASO CONCRETO. EL VIADUCTO DEL ANDARAX EN LA A-348.

- COMPROBACIÓN COLOCACIÓN TUBOS SÓNICOS





# APLICACIÓN A UN CASO CONCRETO. EL VIADUCTO DEL ANDARAX EN LA A-348.

## ● HORMIGONADO CON TUBO TREMI



# APLICACIÓN A UN CASO CONCRETO. EL VIADUCTO DEL ANDARAX EN LA A-348.

## ● ENSAYO SÓNICO

- PC portátil NDT (Non Destructive Testing) software CSL de Olson Instruments los módulos CSL generador de impulsos y amplificador. Tarjeta adquisición datos
- unidad de descenso/ascenso con medida de profundidad.
- dos transductores Hidrófobos piezoeléctrico



# APLICACIÓN A UN CASO CONCRETO. EL VIADUCTO DEL ANDARAX EN LA A-348.

## ● MONTAJE DE EQUIPO





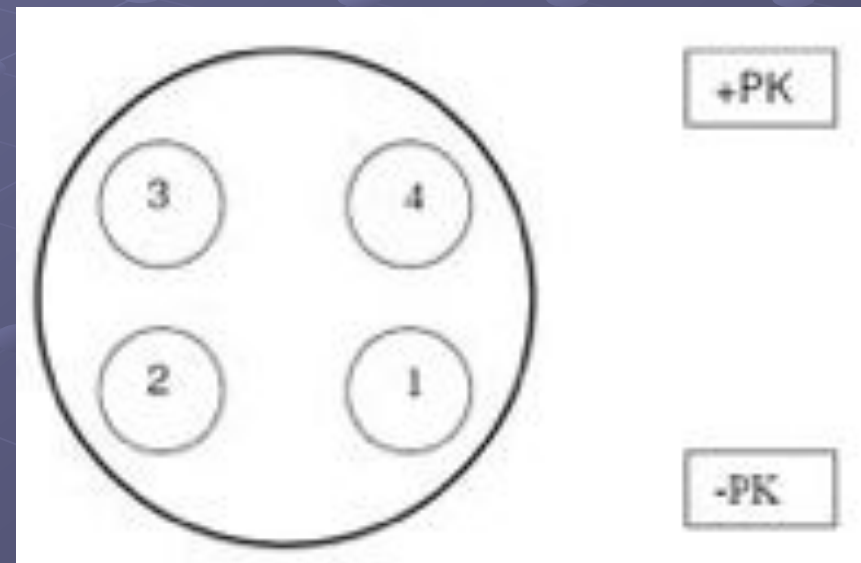
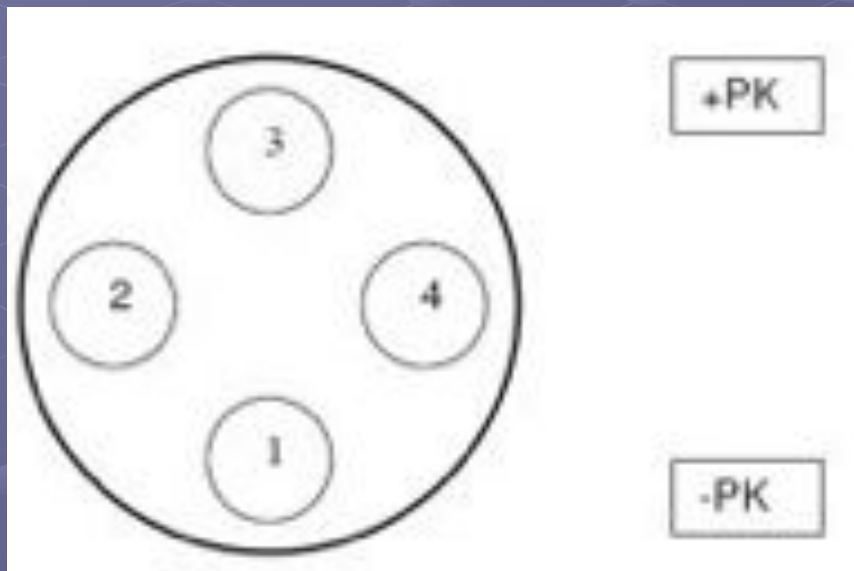
# APLICACIÓN A UN CASO CONCRETO. EL VIADUCTO DEL ANDARAX EN LA A-348.

## ● DESARROLLO DEL ENSAYO



# APLICACIÓN A UN CASO CONCRETO. EL VIADUCTO DEL ANDARAX EN LA A-348.

## ● NUMERACIÓN DE TUBOS



# APLICACIÓN A UN CASO CONCRETO. EL VIADUCTO DEL ANDARAX EN LA A-348.

- ENSAYO DE IMPEDANCIA, (3 pilotes con fallo)

- EQUIPO

- Martillo manual generador de onda sónica.
- Acelerómetro receptor PET con acoplante de cera de petróleo.
- Amplificador.
- Tarjeta electrónica de registro.
- Software de representación gráfica PET.



# APLICACIÓN A UN CASO CONCRETO. EL VIADUCTO DEL ANDARAX EN LA A-348.

- LIMPIEZA CON AGUA A PRESIÓN TRAS DESCABEZADO



# APLICACIÓN A UN CASO CONCRETO. EL VIADUCTO DEL ANDARAX EN LA A-348.

## ● REALIZACIÓN DEL ENSAYO



# APLICACIÓN A UN CASO CONCRETO. EL VIADUCTO DEL ANDARAX EN LA A-348.

## ● INTERPRETACIÓN RESULTADOS IN SITU





# APLICACIÓN A UN CASO CONCRETO. EL VIADUCTO DEL ANDARAX EN LA A-348.

## ● **RESULTADOS SENDOS ENSAYOS**

### ● **SÓNICOS: TRES PILOTES DE LOS 31.**

- PILOTE 2 PILA 2: FONDO PILOTE, (TAPÓN)
- PILOTE 3 PILA 2: A 12 M, (LOCAL D 20 CM).
- PILOTE 4 PILA 4: A 12,5 M, (LOCAL D 20 CM)
- **defectos locales provocados por algo de contaminación y que no afectan a la totalidad del pilote**

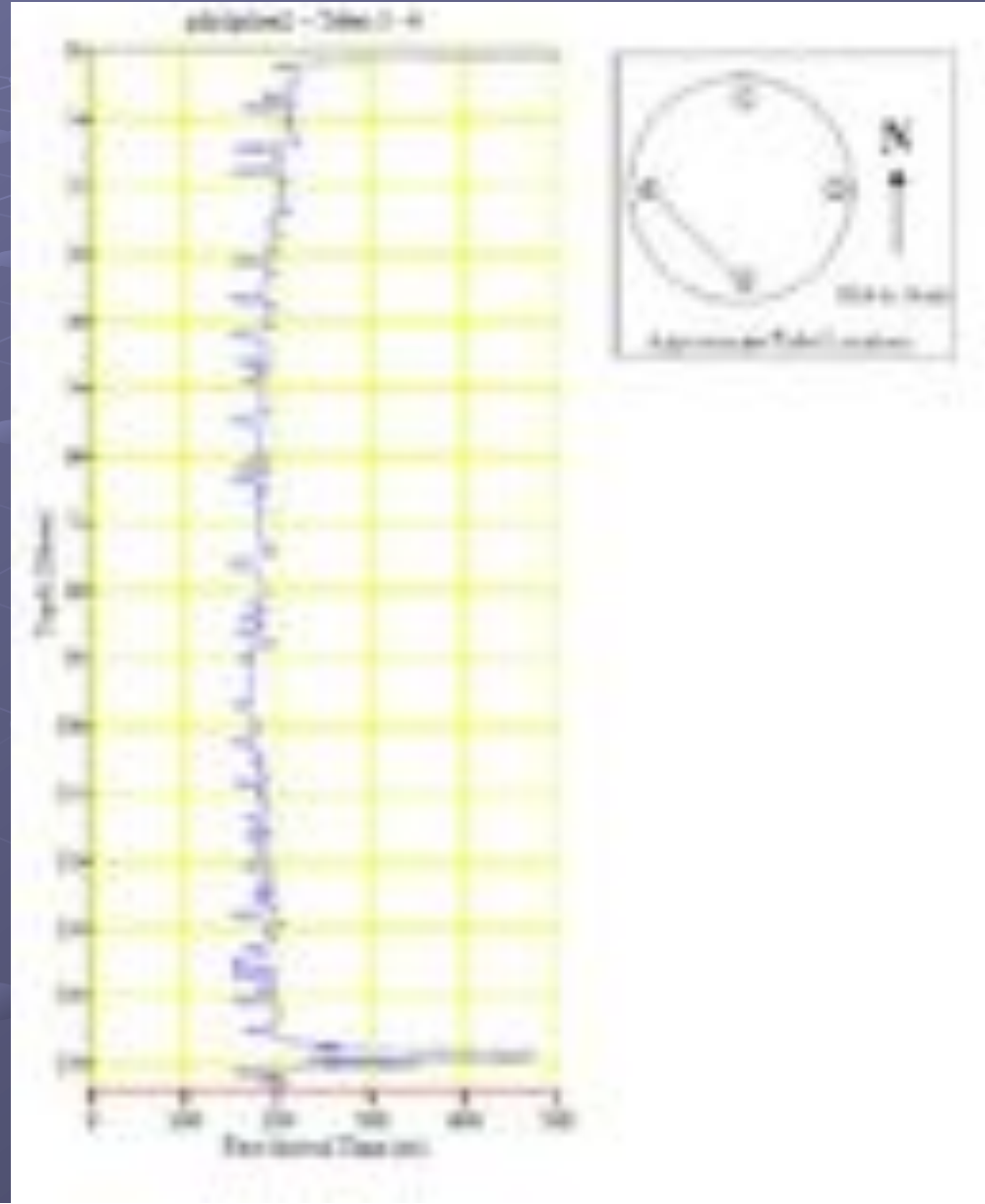
# APLICACIÓN A UN CASO CONCRETO. EL VIADUCTO DEL ANDARAX EN LA A-348.

- ENSAYOS REALIZADOS
- P.EJ. PILA 2

PILA	PELLE	Nº DE TUBOS CONCRETO	Nº DE SECCIONES	SECCIONES TUBOS PARA CADA SECCION	RESISTENCIA AL TALLADO (MPa)
1	1	1	1	11	101
				12	103
				13	105
				14	107
				15	109
	2	1	1	16	111
				17	113
				18	115
				19	117
				20	119
	3	1	1	21	121
				22	123
				23	125
				24	127
				25	129
	4	1	1	26	131
				27	133
				28	135
				29	137
				30	139
	5	1	1	31	141
				32	143
				33	145
				34	147
				35	149
	6	1	1	36	151
				37	153
				38	155
				39	157
				40	159

# APLICACIÓN A UN CASO CONCRETO. EL VIADUCTO DEL ANDARAX EN LA A-348.

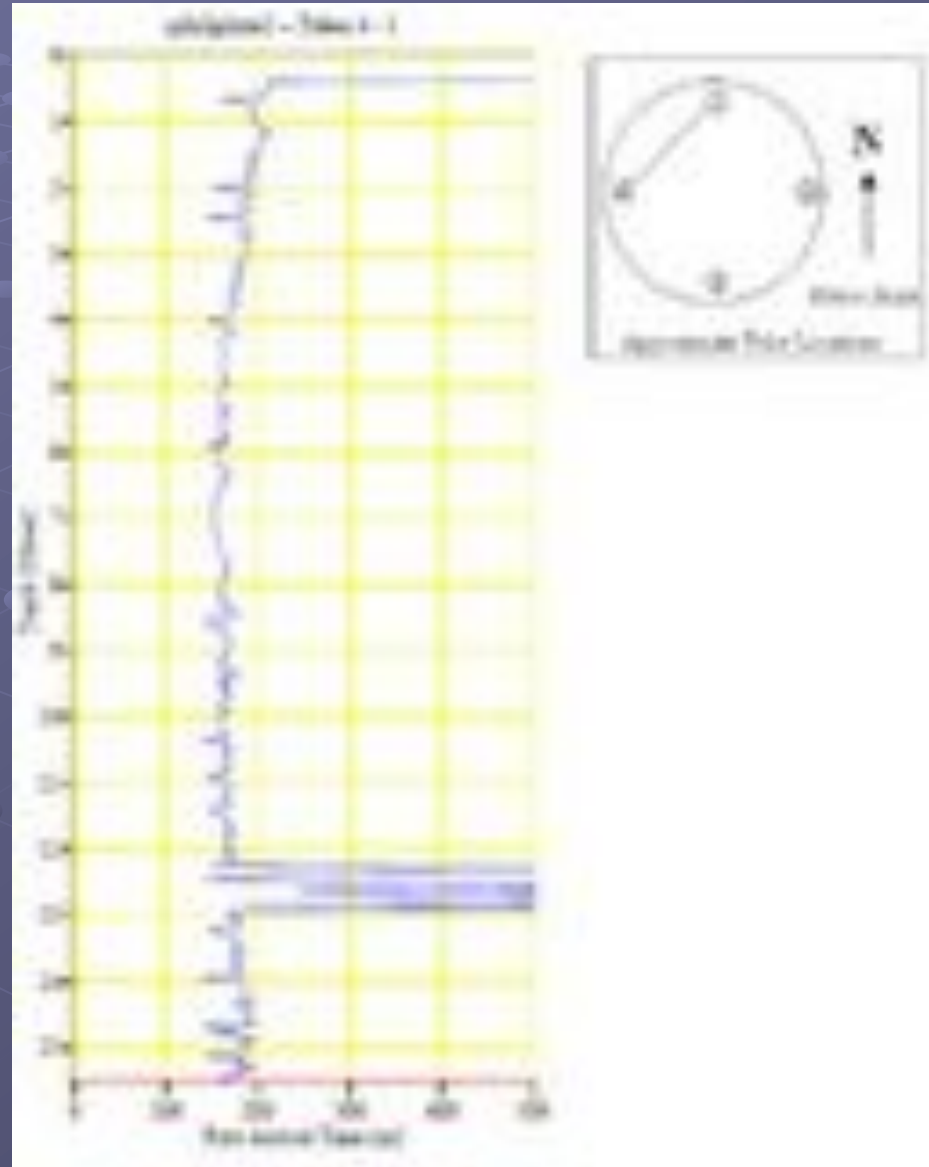
## ● PILOTE 2 PILA 2





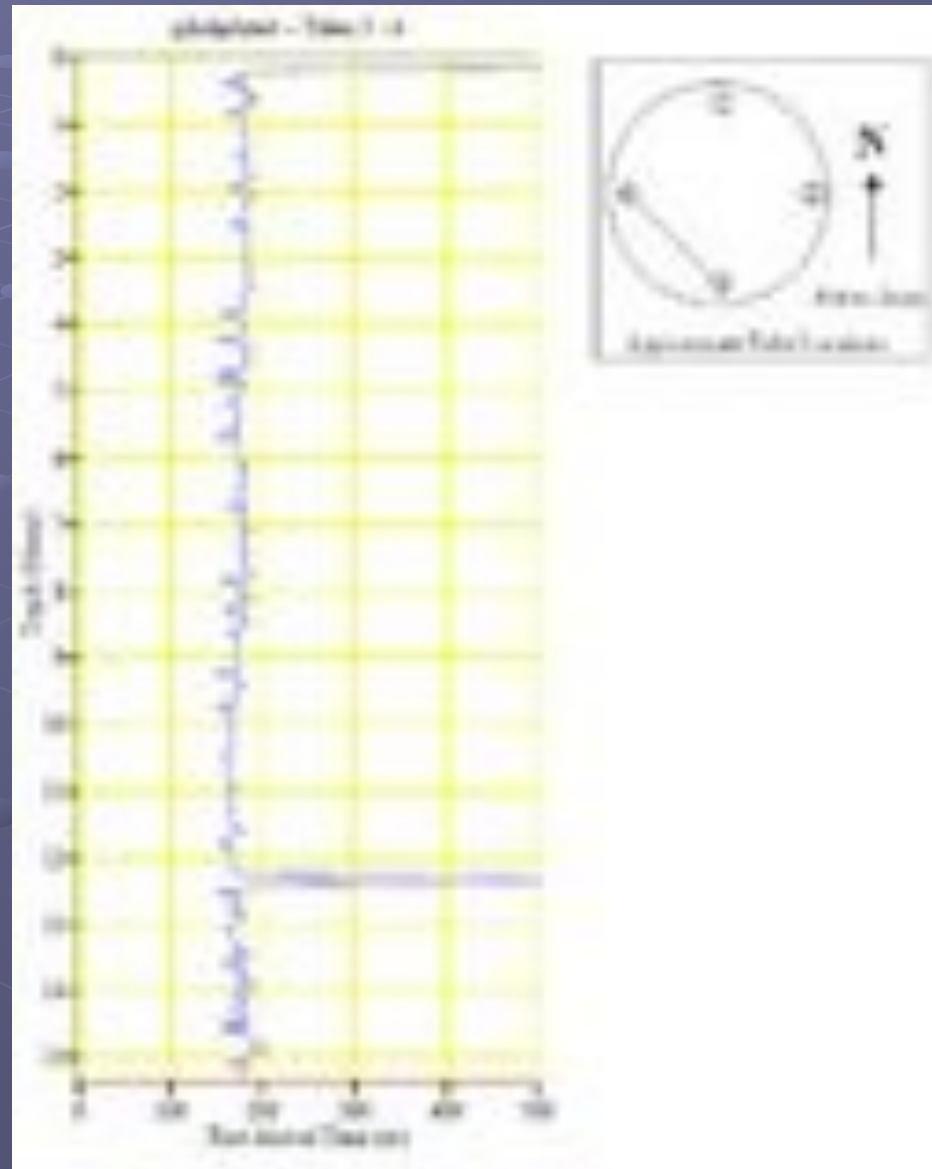
# APLICACIÓN A UN CASO CONCRETO. EL VIADUCTO DEL ANDARAX EN LA A-348.

- PILOTE 2  
PILA 3



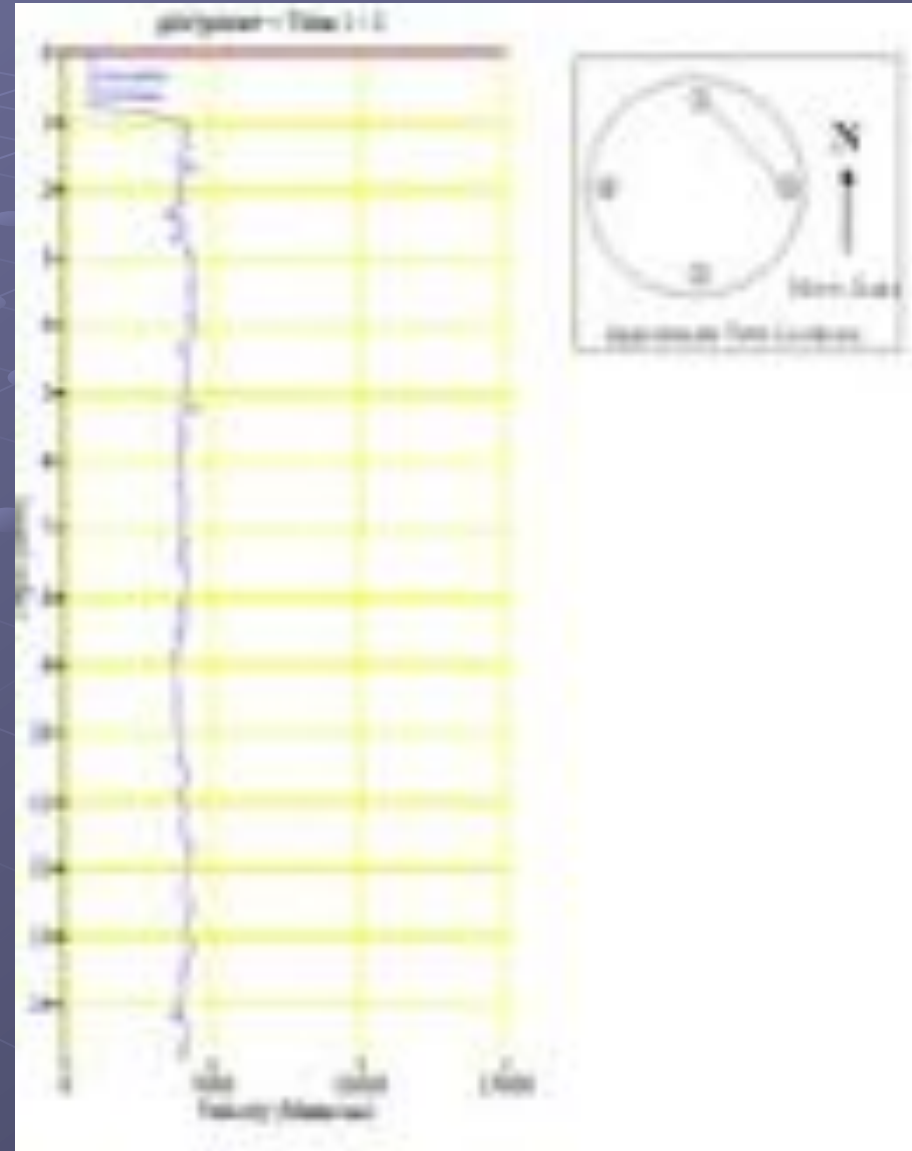
# APLICACIÓN A UN CASO CONCRETO. EL VIADUCTO DEL ANDARAX EN LA A-348.

## ● PILOTE 4 PILA 4



# APLICACIÓN A UN CASO CONCRETO. EL VIADUCTO DEL ANDARAX EN LA A-348.

- Velocidad de propagación:  
3700-4200 m/s





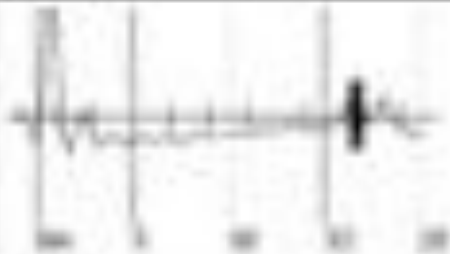


# APLICACIÓN A UN CASO CONCRETO. EL VIADUCTO DEL ANDARAX EN LA A-348.

## ● RESULTADOS ENSAYOS DE IMPEDANCIA

- COTAS MENOS EL DESCABEZADO
- OBTENCIÓN DE REFLECTOGRAMAS
- SÓLO SE DETECTAN FALLOS EN:
  - PILA 2 PILOTE 2: estrechamiento a 2,4 m
  - PILA 4 PILOTE 4: estrechamiento a 13,30 m de profundidad.

# APLICACIÓN A UN CASO CONCRETO. EL VIADUCTO DEL ANDARAX EN LA A-348.

## REFLECTOGRAMAS

Pilote	Longitud (m)	Detalles	Reflectogramas	Observaciones
L 4. El Pila 3 P1	15,519	24-03-2006 V=4000m/s Aug 170		Reflexión fuerte a 15,40 m. Se detecta la junta. Seleccionar la columna del diagrama.
L 4. El Pila 3 P1	15,519	24-03-2006 V=4000m/s Aug 171		Reflexión en la columna.
L 7. El Pila 4 P4	15,519	24-03-2006 V=4000m/s Aug 200		Reflexión fuerte a 15,50 m. Se detecta la junta. Seleccionar la columna.

# APLICACIÓN A UN CASO CONCRETO. EL VIADUCTO DEL ANDARAX EN LA A-348.

## ● ANÁLISIS COMPARATIVO

### ■ PILA 2 PILOTE 2:

- IMPEDANCIA A 2,4 M, (IRREGULARIDAD PILOTE)
- SÓNICOS: FONDO.

### ■ PILA 3 PILOTE 2:

- IMPEDANCIA: NO SE DETECTA FALLO
- SÓNICOS: A 12,5 M.

### ■ PILA 4 PILOTE 4:

- IMPEDANCIA: A 13,3 M.
- SÓNICOS: A 12,4 M.



# APLICACIÓN A UN CASO CONCRETO. EL VIADUCTO DEL ANDARAX EN LA A-348.

## ● CONCLUSIONES:

- IMPEDANCIA NO DETECTA FALLOS LOCALES, (PILOTE 2 PILA 3)
- REQUIERE BUEN DESCABEZADO Y LIMPIEZA, (PILOTE 2 DE PILA 2)
- VERTICALIDAD DE ONDA EN IMPEDANCIA, (PILA 4 PILOTE 4).

# APLICACIÓN A UN CASO CONCRETO. EL VIADUCTO DEL ANDARAX EN LA A-348.

## ● ANÁLISIS RETROSPECTIVO

### ● 1. Correlación de las gráficas de velocidad con la edad del hormigón de los pilotes

- POCO RIGUROSO

- 25,5 y 29,5 N/mm<sup>2</sup> a 7 días y entre 34,5 y 42,3 N/mm<sup>2</sup> a 28 días, (Rotura probetas)

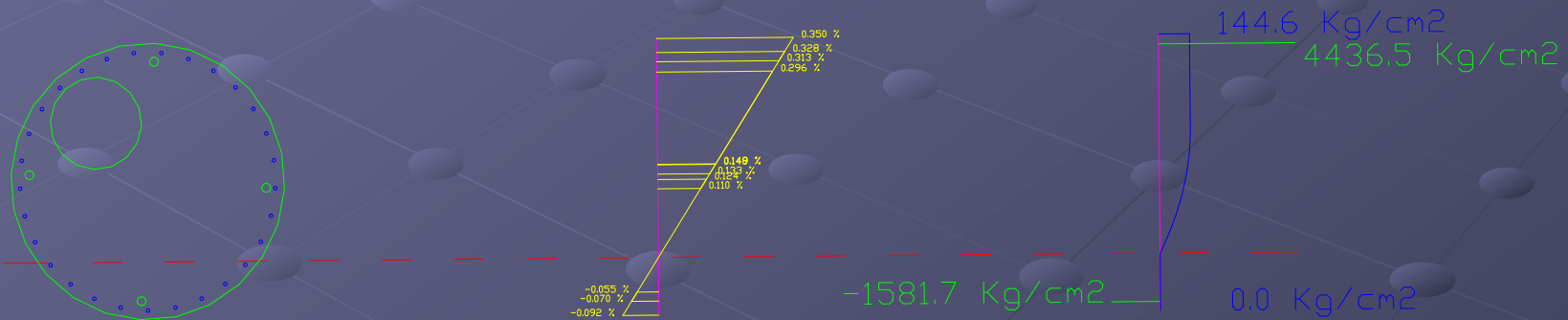
- **f<sub>cm,j</sub> = de 22,78 N/mm<sup>2</sup> a 48,7 N/mm<sup>2</sup>.**

- Correlación V - E

# APLICACIÓN A UN CASO CONCRETO. EL VIADUCTO DEL ANDARAX EN LA A-348.

## ● 2. Repercusión sobre la resistencia estructural.

- Sección original: CS 2,986
- Sección original + tubos: 2,974
- IDEAM + oquedad: 2,655





# APLICACIÓN A UN CASO CONCRETO. EL VIADUCTO DEL ANDARAX EN LA A-348.

## ● COSTES:

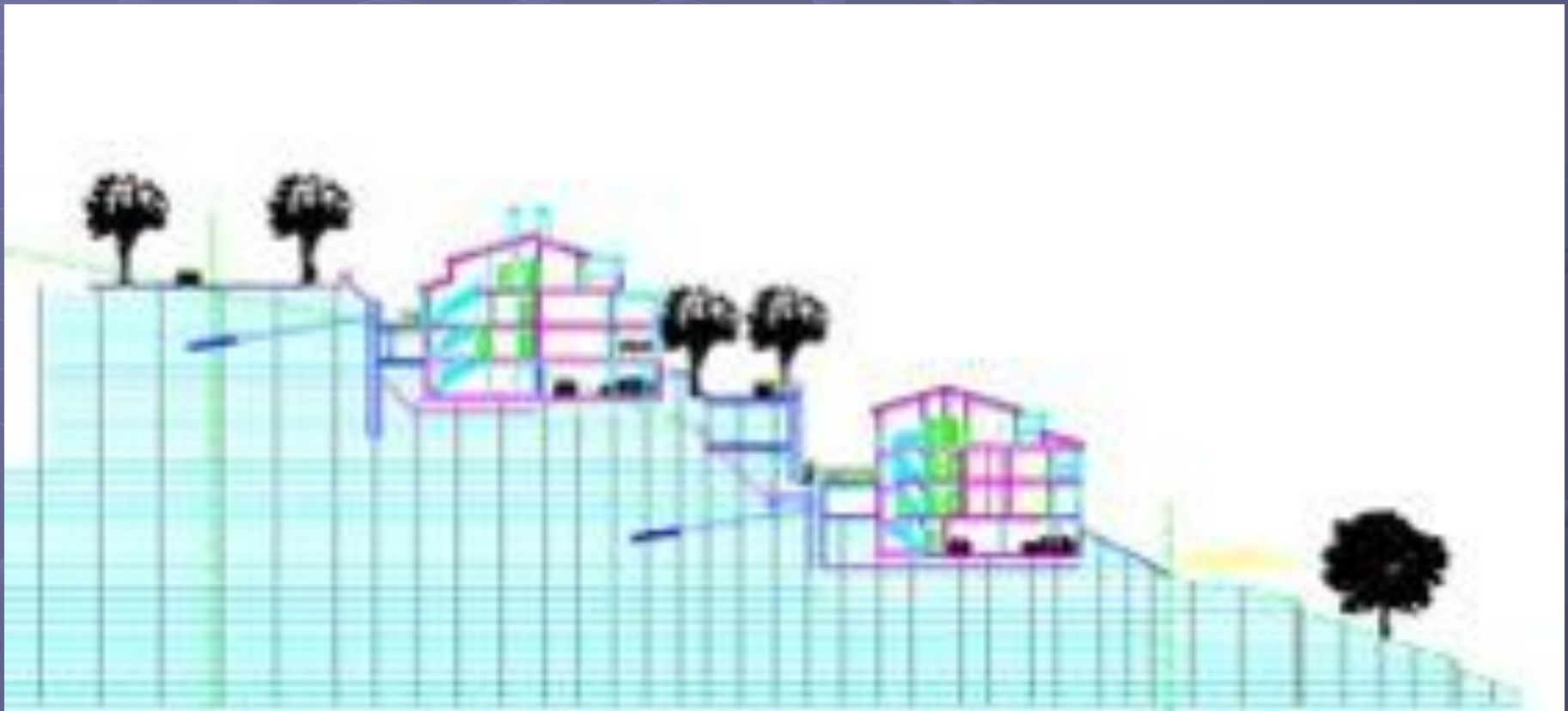
- SÓNICO: 18.000,00 € APROX. (7% CIMENTACIÓN).
- IMPEDANCIA: 1.500,00 €.

# OTRAS EXPERIENCIAS

## ● Urbanización Interior RI-2 de la Alcaidesa.

- GRAN MURO PANTALLA, 550 PILOTES.
- PROPUESTA AUSC. SÓNICA NO ACEPTADA, (11% PEM PANTLLA).
- DIFÍCIL GEOTECNIA – DIFÍCIL EJECUCIÓN PILOTES.
- SOLUCIÓN: IMPEDANCIA 100% +  
CRITERIO CÁLCULO: FALLO 1 DE CADA 4 PILOTES

# OTRAS EXPERIENCIAS





# OTRAS EXPERIENCIAS

- **Variante Exterior de Palma del Río.**
  - **FALLO GRAVE RESISTENCIA HORMIGÓN.**
  - **NO DETECTADO EN PROBETAS SÓLO SÓNICOS.**
- **Pilotes en muros pantallas de sótanos de edificación..**
  - **SÓNICOS EN PILOTES BAJO PILARES.**
  - **IMPEDANCIA EN EL RESTO.**
  - **CRITERIOS DE CÁLCULO CON FALLO SEGÚN CASO.**

# OTRAS EXPERIENCIAS



# CRITERIOS DE APLICACIÓN

¿Existen restricciones al coste de la auscultación?

Sí

No

Tipología de la obra

ENSAYO SÓNICO

Muros pantalla de contención: 100% pilotes con Impedancia. En su caso cálculo con fallo.

Muros pantalla en edificación: Zona apoyo pilares ensayo Sónico. Resto ensayo impedancia En su caso cálculo con fallo.

Otras estructuras: Sónicos combinados con impedancia y cálculo con fallo



# CONCLUSIONES

- La auscultación con ensayo sónico por el método de cross-hole permite conocer con mayor detalle la ubicación de los fallos en la ejecución de los pilotes.
- La auscultación por impedancia por lo general sólo permite detectar fallos importantes en la sección, no detectando en algunos casos fallos parciales o locales en los mismos.
- El coste del ensayo sónico es muy superior al de impedancia.
- Cuando no se pueda aplicar una buena auscultación de los pilotes se deben considerar hipótesis de fallo en el cálculo de la cimentación.