

**Programa de doctorado de  
Planificación, Fiabilidad y Riesgo en  
la Ingeniería Civil (242/99/1)**

**EVALUACIÓN NO DESTRUCTIVA  
DEL DAÑO Y CALIDAD EN LAS  
ESTRUCTURAS .**



**AUSCULTACIÓN DE PILOTES IN SITU POR EL  
MÉTODO ULTRASÓNICO CROSS-HOLE.**

**ALBERTO CRUZ GARCÍA. JUNIO 2005.**

## 1. ANTECEDENTES

Se realiza el presente trabajo como parte de la asignatura Evaluación no destructiva del daño y calidad en estructuras. Se basa en conocer la integridad de un pilote realizado in situ sin necesidad de provocar un deterioro físico o químico del mismo durante el proceso de reconocimiento y realización del ensayo ultrasónico cross-hole.

El sistema de perfil sónico Crosshole (Crosshole Sonic Logging / CSL) se utiliza en el control de calidad aplicándose en gran variedad de cimentaciones y muros de hormigón. El requerimiento básico de cualquier estructura para que pueda ser ensayable con este sistema es que se debe proporcionar alguna forma de acceso (como tubos de auscultación fabricados “in situ” o sondeos) a los transductores. Cuando se usa para ensayos de control de calidad de pilotes perforados muros-pantalla, etc, el sistema de perfil sónico es una herramienta poderosa para verificar la integridad del hormigón, localiza defectos y evaluar la eficacia de la reparación.

El sistema de perfil sónico Crosshole consta de 4 componentes básicos en la mayoría de las aplicaciones de ensayo. Estos cuatro componentes son: un PC portátil NDT que lleva instalado una tarjeta de adquisición de datos de alta velocidad, el software CSL para la adquisición y análisis, y los módulos CSL del generador de impulsos y del amplificador; una unidad de descenso / ascenso con medida de profundidad; y dos transductores. Estos componentes están conectados entre sí mediante cables para formar un sistema completo.

## 2. OBJETO DEL TRABAJO

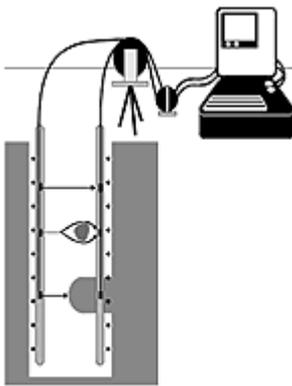
Como se ha indicado, el objeto del ensayo es comprobar o investigar la integridad y construcción adecuada de los pilotes. El ensayo de integridad mide las propiedades acústicas o vibratorias de los pilotes, para determinar la presencia de posibles anomalías en el interior de los mismos.

La valoración de su integridad comporta la investigación de posibles defectos en el camino de las ondas, tales como inclusiones de tierra, oquedades, coqueras u otros.

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1. NOCIONES BÁSICAS

El ensayo CROSSHOLE es simple y rápido; siendo requerimiento básico para poder realizar el ensayo con este sistema, proporcionar el acceso a los transductores, anclando a la armadura dos o más tubos de acero fijados de manera diametralmente opuesta.



**Crosshole Sonic  
Logging Method**

Para cada par de tubos, la medida se realiza mediante dos sondas colocadas a la misma profundidad; una de ellas genera la señal sónica y otra la recibe. Las medidas se realizan haciendo salir las sondas al mismo tiempo a lo largo de los dos tubos. Es fundamental el acoplamiento acústico entre las dos sondas y el pilote de hormigón, el cual se realiza llenando de agua los tubos de medida.

El método se basa en registrar el tiempo que tarda una onda ultrasónica en propagarse desde un emisor a un receptor, que se desplazan simultáneamente por dos tubos paralelos sujetos a la armadura del pilote. El tiempo medido es función de la distancia entre el emisor y el receptor, y de las características del medio atravesado.

En el caso de existir defectos en el camino de las ondas tales como inclusiones de tierra, oquedades, coqueas u otros, que hagan alargar el tiempo de recorrido, en la gráfica del ensayo queda reflejada la variación y la profundidad a que se ha producido. Los datos son almacenados de manera digital en el equipo.



Los ensayos se realizarán según la **norma NF P 94-160-1**. En el caso de realizarse ensayos en la totalidad de los pilotes, o en un muestreo significativo, las cargas admisibles por razón estructural de los pilotes se podrán incrementar en un 20% de acuerdo con la norma francesa DTU 13.2.

El método es aplicable a pilotes, pantallas continuas o a módulos de pantalla aislados.

### 3.2. PREPARACION DEL ENSAYO

Para la realización del ensayo se precisa que en los pilotes se dejen instalados tubos de acero para poder introducir las sondas hasta la profundidad que se quiera ensayar. Los requisitos deben de ser los siguientes:

- Los tubos deben de ser preferentemente de acero, con diámetro mínimo 40 mm y preferiblemente 50 mm.

- Los empalmes deben realizarse con manguitos roscados, ya que las uniones soldadas pueden producir rebabas que dificulten el paso de las sondas o deterioren los cables.
- Los extremos inferiores se cerraran herméticamente por medio de tapones metálicos, para impedir la entrada de elementos extraños y evitar la pérdida de agua que deben contener durante el ensayo. De igual forma los extremos superiores también deben cerrarse hasta el momento del ensayo. Los tubos deben sobresalir al menos 40 cms del hormigón del pilote.
- Los tubos deben llenarse de agua limpia antes del ensayo, y deberá comprobarse que no tienen obstrucciones, ni se producen pérdidas de agua.
- El número de tubos por pilote, según la norma francesa DTU 13.2 es el siguiente:
  - 2 tubos para diámetros de pilotes inferiores o iguales a 60 cms.
  - 3 tubos para diámetros de pilotes hasta 120 cms.
  - 4 tubos para diámetros de pilotes superiores a 120 cms.
- Los pilotes estarán accesibles y sin presencia de agua.
- El hormigón tendrá al menos una semana de vertido en el momento del ensayo.
- Es recomendable disponer de un plano con la identificación de los pilotes, su longitud aproximada, y conocer la información sobre posibles incidencias durante su construcción.

### 3.3. EQUIPO EMPLEADO

El equipo empleado es un sistema de perfil sónico Crosshole de Olson Instruments (CSL=Crosshole Sonic Logging). El sistema de perfil sónico Crosshole consta de 4 componentes básicos en la mayoría de las aplicaciones del ensayo. Estos cuatro

componentes son: un PC portátil NDT (Non Destructive Testing) Olson que lleva instalado una tarjeta de adquisición de datos de alta velocidad, el software CSL de Olson Instruments para la adquisición y análisis, y los módulos CSL del generador de impulsos y del amplificador; una unidad de descenso/ascenso con medida de profundidad; y dos transductores. Estos componentes están conectados entre sí mediante cables para formar un sistema completo.

El módulo generador de impulsos CSL es una unidad electrónica que contiene un generador de impulsos de 450 V y un circuito de medida de profundidad. El módulo amplificador consta de un circuito de amplificación y un filtro de señal de 1 Canal con cable interno hasta la tarjeta de admisión de datos. La tarjeta de admisión de datos es una tarjeta de M-muestras por segundo instalada en el PC NDT. Los transductores son Hidrófobos piezoeléctricos para transmitir y recibir la energía ultrasónica a través del hormigón.



### 3.4. INFORME DE RESULTADOS

Para cada pareja de tubos en que se haya realizado el ensayo se facilitará una gráfica del perfil ensayado, en la que figura en ordenadas la profundidad y, en abscisas, el tiempo que tardan en llegar las ondas ultrasónicas del emisor al receptor.

En el caso de que uno o varios perfiles entre parejas de tubos presenten retrasos significativos o pérdidas de señal a una o varias profundidades, se dará interpretación evaluando los posibles defectos del pilote.

El análisis de las gráficas obtenidas a lo largo de toda la longitud de una pareja de tubos, se examinan a partir de valores medidos en función de la profundidad de sonda

- la duración de frecuencia ultrasónica  $t_z$  entre la sonda emisora y la receptora.
- la amplitud de la señal recibida  $A_z$ .

Una anomalía es apreciable a partir de los dos criterios siguientes:

- a) la diferencia relativa de la duración de frecuencia ultrasónica entre los dos tubos calculada a partir de la siguiente expresión:

$$\frac{t_a - t_n}{t_n - t_0}$$

De aquí sabemos que:

$t_0$  es la duración de propagación intermedia ligada a la cadena de medida (tiempo muerto).

$t_n$  es la duración de frecuencia de la señal ultrasónica entre el emisor y el receptor tomando como referencia bien fuera de la zona singular y del término de la anomalía.

$t_a$  es el valor medio de la duración de tiempos de transcurso ultrasónico establecida a partir de tres medidas consecutivas de la zona significativa.

La variación de la duración de frecuencia de la señal ultrasónica entre la fuente emisora y la receptora puede atribuirse a dos fenómenos:

- Una distancia no constante entre tubos (tubos no paralelos).
- Un cambio de material de distinta naturaleza.

La señal de amplitud esta más afectada por un posible cambio de material (terreno) que por una distancia no constante entre tubos.

b) la relación entre la amplitud de la señal recibida en la zona que presenta la singularidad y la amplitud máxima:

$$\alpha_a = \frac{A_a}{A_{max}}$$

De aquí sabemos que:

$A_a$  es la amplitud convencional de la señal recibida a la profundidad “a” de la zona singular,  $A_a$  es el valor de la media aritmética calculada a partir de tres medidas consecutivas  $A_z$  de la zona singular y  $A_z$  es la amplitud convencional de la señal recibida dentro de la ventana de observación a la profundidad “z” (distancia entre el punto de recepción de la señal y el tope del tubo).

$A_{\max}$  es el valor máximo de la amplitud de una señal recibida a todo lo largo de una pareja de tubos, tomada convencionalmente a los valores medios aritméticos de tres lecturas consecutivas de amplitud  $A_z$ .

En una auscultación de una pareja de tubos donde se detecta una singularidad, la duración  $t_z$  de frecuencia de señal ultrasónica aumenta un 20% y la amplitud de la señal  $A_a$  es inferior o igual a 0,2 de la amplitud máxima (donde la relación  $\alpha_a$  entre amplitudes es igual o inferior a 0,2)

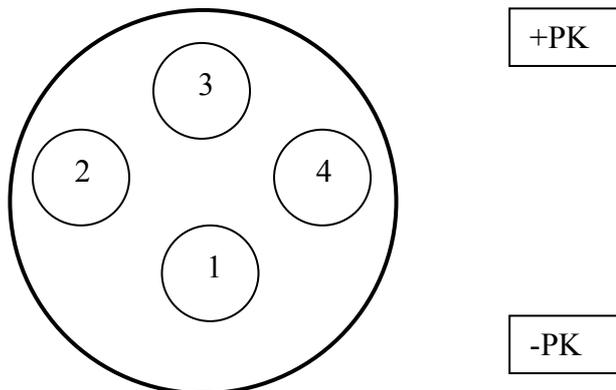
Determinar las profundidades donde las condiciones son satisfactorias:

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

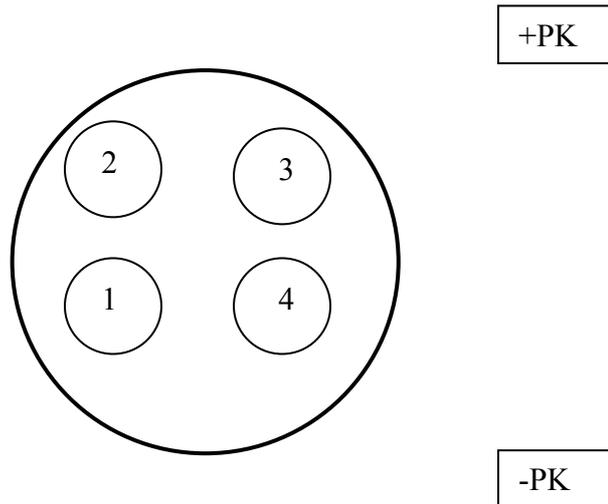
#### 4. NOMENCLATURA UTILIZADA

##### 4.1. NUMERACIÓN DE LOS TUBOS

A continuación adjuntamos un pequeño esquema donde podemos ver la disposición de los tubos dentro del pilote:



El tubo nº1 será aquel que se encuentra en el PK menor, los demás se nombran en sentido horario.



El tubo nº1 será aquel que se encuentra en el PK menor, pero en este caso, al haber dos tubos con igual PK, se tomará el tubo de la izquierda como el primero y los demás se nombran en sentido horario.

## 5. RESULTADOS OBTENIDOS Y CONCLUSIONES

Como anexo se incluyen dos presentaciones en Power Point donde se hace una demostración de uso de la herramienta informática en entorno Windows y se estudian resultados de pilotes con defectos y se realiza una comparativa entre el método Cross-Hole, el método superficial de impedancia mecánica SE (consistente en transmitir una vibración desde la superficie del pilote mediante un impacto y estudiar la respuesta de la onda) y el método tomográfico.

También se incluye en archivo Acrobat pdf las instrucciones del equipo Cross Hole CSL-1 de la firma Olson de Colorado, Estados Unidos.

Granada, 24 de junio de 2005

Fdo: Alberto Cruz García  
Ingeniero de Caminos