

CUADERNOS INTEMAC

**Metodología e interpretación de los ensayos de integridad de pilotes (Cross-Hole).
Defectos más comunes detectados en pilotes reales**

**Pile integrity testing methodology and interpretation (Crosshole tests).
Common flaws in real piles**

Prof. Jorge Ley Urzaiz
Dr. Ingeniero de Caminos Canales y Puertos
Director del Área de Ensayos Estructurales
del Instituto Técnico de Materiales y Construcción (INTEMAC)



METIRE UT SCIAS

INTEMAC

INSTITUTO TECNICO DE MATERIALES Y CONSTRUCCIONES

N.º 78

2.º TRIMESTRE '10



METRE UT SCIAS

INTEMAC

INSTITUTO TÉCNICO DE MATERIALES Y CONSTRUCCIONES

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES Y CONSTRUCCIONES

CONTROL DE PROYECTO

CONTROL DE OBRA

GARANTÍA DE CALIDAD

(O.C.T.) CONTROL PARA EL SEGURO DE DAÑOS

INFORMES DE PATOLOGÍA, REHABILITACIÓN Y REFUERZOS DE CONSTRUCCIONES

OBRAS PÚBLICAS
EDIFICACIÓN
INSTALACIONES



INTEMAC
AUDIT

AUDITORIA TÉCNICO-ECONÓMICA DE CONSTRUCCIONES

- ASESORÍA EN EL PLANTEAMIENTO Y EN LA CONTRATACIÓN DE LA OBRA
- SEGUIMIENTO DE COSTOS Y PLAZOS DURANTE LA CONSTRUCCIÓN
- VALORACIONES DE TERRENOS, INMUEBLES Y CONSTRUCCIONES
- AUDITORIAS DE TRABAJOS PARCIALES Y DE LIQUIDACIÓN DE LA OBRA



INTEMAC
ECO

AUDITORÍA TÉCNICA MEDIOAMBIENTAL

CONTROL DE IMPACTO AMBIENTAL

Obras Públicas
Edificación
Instalaciones

CONTROL DE CALIDAD AMBIENTAL

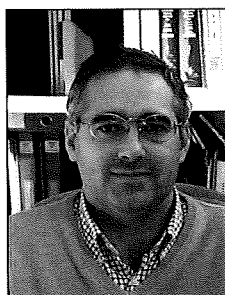
Aire
Agua
Ruido

AUDITORIA MEDIOAMBIENTAL

ASESORAMIENTO EN MATERIA DE MEDIO AMBIENTE

**METODOLOGÍA E INTERPRETACIÓN DE LOS ENSAYOS DE INTEGRIDAD
DE PILOTES (CROSS-HOLE). DEFECTOS MAS COMUNES DETECTADOS
EN PILOTES REALES**

**PILE INTEGRITY TESTING METHODOLOGY AND INTERPRETATION
(CROSSHOLE TESTS). COMMON FLAWS IN REAL PILES**



Prof. Jorge Ley Urzaiz

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Director del Área de Ensayos Estructurales del
Instituto Técnico de Materiales y Construcciones (INTEMAC)
Civil Engineer, MSc, Phd.
Head of the Structural
Testing Area. INTEMAC

Copyright © 2010, INTEMAC

Todos los derechos reservados. Ninguna parte de esta publicación puede ser reproducida o distribuida de ninguna manera ni por ningún medio, ni almacenada en base de datos o sistema de recuperación, sin el previo permiso escrito del editor.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced or distributed in any form or by any means, or stored in a data base or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

ISSN 1133-9365

Depósito legal: M-4699-2010
Infoprint, S.A. - San Vicente Ferrer, 40

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN
 2. PROCEDIMIENTO OPERATIVO DEL ENSAYO DE INTEGRIDAD DE PILOTES
 3. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS
 - 3.1. INTERPRETACIÓN DE UNA ANOMALÍA EN UNA DIAGRAFÍA PERIMETRAL
 - 3.2. INTERPRETACIÓN DE UNA ANOMALÍA EN UNA DIAGRAFÍA CENTRAL
 - 3.3. INTERPRETACIÓN DE UNA ANOMALÍA EN UNA DIAGRAFÍA PERIMETRAL Y UNA CENTRAL O EN LAS DOS CENTRALES
 4. EJEMPLOS DE DEFECTOS COMUNES DETECTADOS EN PILOTES REALES
 5. ENSAYOS REALIZADOS SOBRE UN PILOTE "PROTOTIPO" CON DEFECTOS ARTIFICIALES, FABRICADO EN LABORATORIO
- BIBLIOGRAFÍA.

CONTENTS

1. INTRODUCTION
 2. PILE INTEGRITY TESTING. OPERATING PROCEDURE
 3. INTERPRETATION OF RESULTS
 - 3.1. INTERPRETATION OF AN ANOMALY IN A PERIMETRIC DIAGRAPH
 - 3.2. INTERPRETATION OF AN ANOMALY IN A CENTRAL DIAGRAPH
 - 3.3. INTERPRETATION OF AN ANOMALY IN A PERIMETRIC AND A CENTRAL DIAGRAPH OR IN BOTH CENTRAL PATTERNS
 4. EXAMPLES OF COMMON FLAWS IN REAL PILES
 5. TRIALS CONDUCTED ON A LABORATORY "PROTOTYPE" PILE WITH ARTIFICIAL FLAWS
- REFERENCES

ABSTRACT

The use of crosshole testing to assess pile integrity has become enormously popular in recent years in the wake of the development of IT and other electronic technologies. The present Review describes the methodology most often used for these tests and discusses INTEMAC's approach to interpreting the main anomalies detected. This approach is based on the experience accumulated over 20 years (over 4 000 piles and diaphragm wall sections monitored) and laboratory research conducted on piles deliberately built with flaws to assess their impact on integrity.

1. INTRODUCTION

The use of cross-hole ultrasonic testing to monitor pile integrity has been fuelled in the last 20 years by progress in information technology and electronics, with the development of very powerful, reliable, portable and not overly expensive testing equipment. And yet the interpretation of the results delivered by this equipment calls for a certain understanding of the science underlying ultrasonic probing in reinforced concrete members. Experience with experiments conducted on test piles with artificially created flaws is likewise needed. Semi-destructive probing (core drilling with visual inspection of the samples) has also been performed in the last 20 years to explore the actual state of flawed piles. Guidelines on the interpretation of the results obtained with this type of tests would therefore appear to be in order.

2. PILE INTEGRITY TESTING. OPERATING PROCEDURE

The number of piles to be tested should be specified in the design documents or control programme. In public works (bridges, wharfs) in Spain, probe tubes are routinely installed in all the members to establish the percentage to be tested, depending on the preliminary findings. Initially, 30 % of the piles are tested and if significant anomalies are detected trials are run on 60 %. If further anomalies are found, testing intensity is increased to 100 %. Another approach is to begin by testing 100 % of the piles erected, gradually reducing the sampling intensity if no significant anomalies are detected (although less than 30 % is not recommended). In this author's opinion, the latter procedure is more satisfactory. In piles under columns, standard practice is to test 100 % of the members.

In French legislation, test sampling depends on the number of piles, the component stressed and the number of piles per cap, as summarised below.

RESUMEN

El control de Integridad de pilotes mediante ensayos sónicos (Cross Hole) se ha popularizado enormemente en los últimos años a consecuencia del desarrollo de la informática y la electrónica. En este Documento se describe la metodología más usada en España para la realización de estos ensayos y se expone cómo realizar, a juicio de INTEMAC, la interpretación de las anomalías que más comúnmente se detectan. Esa interpretación esta basada en la gran experiencia (20 años y más de 4.000 pilotes y bataches auscultados) acumulada y en investigaciones realizadas en laboratorio sobre pilotes construidos con defectos, para valorar su trascendencia.

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos 20 años el control de integridad de pilotes mediante el reconocimiento ultrasónico (Cross – Hole) ha tenido un gran impulso a consecuencia de los avances en los campos de la informática y la electrónica que han permitido el desarrollo de equipos muy potentes, fiables, portátiles y no excesivamente caros que han popularizado esta técnica. Sin embargo, la correcta interpretación de los resultados obtenidos con estos equipos exige un cierto conocimiento del fundamento científico de las técnicas de prospecciones ultrasónicas en elementos de hormigón armado y también resulta básico el conocer la experiencia de los resultados obtenidos con estos equipos en la experimentación llevada a cabo en pilotes de prueba con defectos artificialmente creados. Además en estos 20 años se han realizado multitud de prospecciones semidestructivas (realización de sondeos con inspección ocular de muestras, etc.) para investigar la situación real de pilotes calificados como defectuosos y por ello parece indicado dar unas pautas de interpretación de los resultados obtenidos en este tipo de ensayos.

2. PROCEDIMIENTO OPERATIVO DEL ENSAYO DE INTEGRIDAD DE PILOTES

El número de pilotes a ensayar debe venir especificado en la documentación de proyecto o en el plan de control. En los pilotes de obras civiles (puentes, muelles, etc) es común en España colocar tubos en el 100 % de los elementos y fijar el alcance del control en función de los resultados obtenidos. Por ejemplo se comienza realizando el control al 30 % de los pilotes y si se detecta alguna anomalía significativa se pasa a controlar el 60 %, si vuelve a encontrarse una anomalía se incrementa la intensidad del control hasta llegar al 100 %. En otras ocasiones se procede de forma contraria inicialmente se ensaya el 100 % de los pilotes que se van ejecutando y si no se encuentran anomalías significativas se va reduciendo la intensidad del muestreo (no es recomendable controlar menos del 30 %). Esta segunda forma de actuar es en nuestra opinión más correcta. En el caso de pilas pilote lo habitual es auscultar el 100% de los elementos.

La normativa francesa en función del número de pilotes de la obra, de la forma de trabajo del pilote y del número de pilotes por encepado señala las siguientes intensidades del muestreo.

| Component stressed | Total piles | Percentage to be tested | |
|--------------------|-------------|----------------------------|------------------------------|
| | | Four or less piles per cap | More than four piles per cap |
| Shaft | ≤ 50 | 100% | From 50 to 100% |
| Shaft | > 50 | 100% | From 50 to 100% |
| Shaft and tip | ≤ 50 | 100% | From 50 to 100% |
| Shaft and tip | > 50 | From 50 to 100% | From 50 to 100% |
| Tip | ≤ 50 | 100% | From 50 to 100% |
| Tip | > 50 | From 50 to 100% | From 50 to 100% |

Code PG-3 calls for crosshole tests in at least one third of all isolated piles under columns.

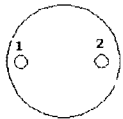
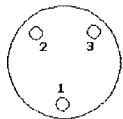
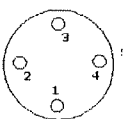
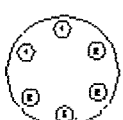
According to the Spanish Building Code, structural ceilings 25 % higher than the test results can be acceptably assumed for the piles that test to standard; French standard DTU 13.2 establishes a similar criterion, allowing a 20 % increase in the bearing capacity of piles instrumented and found to be flawless. The Spanish code (mandatory for building works) further specifies that where isolated piles with diameters of under 100 cm are used, 50 % must be instrumentally monitored, and where the pile diameter is over 100 cm, at least 25 % must be sampled. In structures with non-isolated piles, 5 % must be tested.

Since Spain has no standard for conducting these tests, they are generally run to the specifications set out in ASTM's "Standard Test Method for Integrity Testing of Concrete Deep Foundations by Ultrasonic Crosshole Testing", D 6760-02, or in AFNOR's "Sols: reconnaissance et essais. Auscultation d'un élément de fondation. Partie 1: Méthode par transparence" NF P 94-160-1 (1993).

The method usually followed for (crosshole) ultrasonic testing in piles is, then, as described briefly below.

- A series of tubes are tied to reinforcement bars during pile construction.

The number of tubes per pile recommended by INTEMAC is shown in the Table below.

| Pile diameter | No. of tubes recommended | Tube arrangement | No. of diagrams |
|--|--------------------------|------------------|---|
| $45 \text{ cm} \leq D < 60 \text{ cm}$ | 2 | 180° |  1 |
| $60 \text{ cm} \leq D < 100 \text{ cm}$ | 3 | 120° |  3 |
| $100 \text{ cm} \leq D < 150 \text{ cm}$ | 4 | 90° |  6 |
| $150 \text{ cm} \leq D < 250 \text{ cm}$ | 6 | 60° |  12 |

| Forma del trabajo del pilote | Nº total de pilotes | Porcentaje a ensayar | |
|------------------------------|---------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| | | Cuatro o menos pilotes por encepado | Más de cuatro pilotes por encepado |
| Fuste | ≤ 50 | 100% | Entre 50 y 100% |
| Fuste | > 50 | 100% | Entre 50 y 100% |
| Fuste y Punta | ≤ 50 | 100% | Entre 50 y 100% |
| Fuste y Punta | > 50 | Entre 50 y 100% | Entre 50 y 100% |
| Punta | ≤ 50 | 100% | Entre 50 y 100% |
| Punta | > 50 | Entre 50 y 100% | Entre 50 y 100% |

En el PG-3 se indica la necesidad de realizar ensayos de Cross-Hole en al menos 1 pilote de cada 3, si se trata de pilotes aislados bajo pilar (pila-pilote).

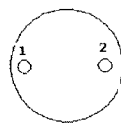
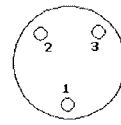
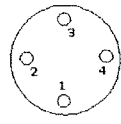
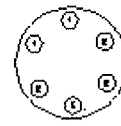
El Código Técnico de la Edificación indica que si se va a realizar un control adecuado de la integridad, los pilotes perforados podrán ser utilizados con topes estructurales un 25 % mayores; similar criterio es el adoptado por la normativa francesa DTU 13.2 que permite incrementar un 20% la capacidad de los pilotes auscultados en los que no se hayan detectado anomalías. En cuanto al número de pilotes a ensayar, el Código Técnico (preceptivo para obras de edificación) indica que si se trata de pilotes aislados con diámetro inferior a 100 cm debe auscultarse el 50 %, si el diámetro es superior a 100 cm se auscultarán al menos el 25 %. Si se trata de pilotes no aislados al menos se auscultarán el 5 % de los pilotes.

En España no hay una normativa que rijan la realización de estos ensayos y por ello normalmente estos ensayos se realizan siguiendo las prescripciones de la norma norteamericana ASTM "Standard Test Method for Integrity Testing of Concrete Deep Foundations by Ultrasonic Crosshole Testing" D 6760-02 o bien siguiendo la normativa francesa AFNOR "Sols: reconnaissance et essais. Auscultation d'un élément de fondation. Partie 1: Méthode par transparence" NF P 94-160-1 (1993)

Por todo ello, la metodología que se sigue habitualmente para llevar a cabo los ensayos de reconocimiento ultrasonico en pilotes (método CROSS-HOLE) es la que a continuación se describe brevemente.

- Durante la ejecución de los pilotes que posteriormente serán ensayados, se colocan una serie de tubos de acero convenientemente arriostrados a las armaduras del elemento.

El número de tubos que INTEMAC recomienda disponer en los pilotes es el siguiente:

| Diámetro del pilote | Nº de Tubos recomendado | Distribución de los tubos | | Nº de diagraffías |
|---------------------|-------------------------|---------------------------|--|-------------------|
| 45 cm ≤ D < 60 cm | 2 | 180° |  | 1 |
| 60 cm ≤ D < 100 cm | 3 | 120° |  | 3 |
| 100 cm ≤ D < 150 cm | 4 | 90° |  | 6 |
| 150 cm ≤ D < 250 cm | 6 | 60° |  | 12 |

Four or five tubes are generally used in diaphragm walls when built by alternating sections (see Figure 1).



Fig. 1

Steel tubes with a 35-mm interior diameter should preferably be used.

The tubes should project at least 50 cm over the crown of the pile or section of wall to ensure that they have sufficient water when the cable and probes are positioned on the inside.

The tubes must be firmly secured to the reinforcing steel, screw-spliced (they are normally marketed in 6- and 12-m lengths) and capped at the top and bottom. The bottom of the tube is normally positioned 15 to 20 cm from the pile tip.

The top of the pile or wall must be as clean as possible during testing, with no rubble or soil hindering access to or obstructing the tubes. The tubes must contain no sediments, mud, oil or similar. If necessary, prior to instrumental monitoring they should be cleaned with pressurised water and subsequently filled with clean water.

- The tubes are filled with water immediately after the concrete is cast in the piles and capped to prevent leakage. The water plays a dual role: on the one hand it helps maintain a constant temperature between the outside of the tube in contact with the concrete, which may reach temperatures of nearly 60 °C, and the inside where, if not filled with water, the temperature would be barely 40 °C. This reduces the likelihood of tube detachment from the surrounding concrete. At the same time it serves as the transmission medium for the sonic wave between the probes and the tube. The tubes must be checked for the water level and refilled daily.
- The tests are to be conducted on 3- to 45-day piles and consist of placing a 35-kHz ultrasonic emitter and receiver in a tube. Testing begins when the transducers are set in the bottom of the tubes.

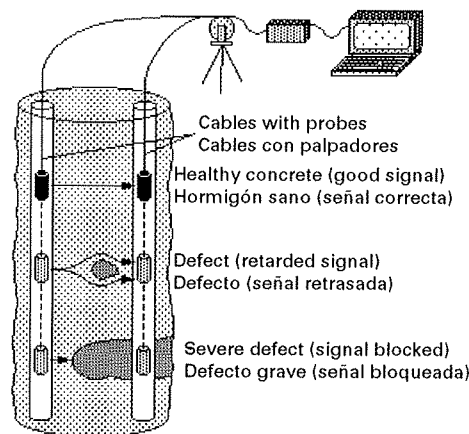


Fig. 2

- As the transducers move upward from the bottom of the tube (Figure 2), the system is automatically activated at pre-established intervals (usually 2 to 6 cm), at which points the ultrasonic wave is emitted, received and recorded.
- The graphs obtained when the transducers reach the surface reflect the wave energy and the ultrasonic pulse count time per step between tubes. Each and every wave record can be visualised. All the information is saved in a file for subsequent processing and inclusion in the printout. The monitoring records obtained for "healthy" and flawed areas of a pile and a standard diagram are shown in Figure 3 below.

En el caso de bataches de pantallas es habitual la colocación de 4 o 5 tubos.

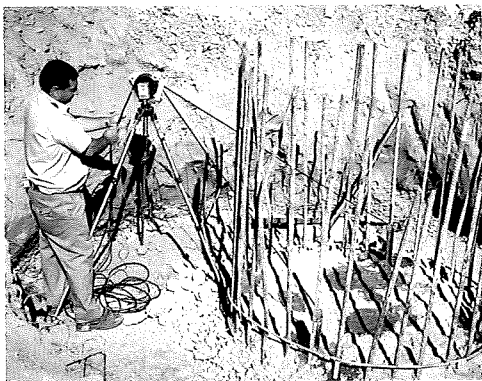
Los tubos serán preferiblemente de acero con un diámetro interior mínimo de 35 mm.

Los tubos deben sobresalir al menos 50 cm de la coronación del pilote o batache para permitir que al introducir el cable y los palpadores en el pilote haya suficiente agua dentro del tubo.

Los tubos deben estar convenientemente arriostrados a la armadura, se solaparán (normalmente se comercializan en longitudes entre 6 y 12 m) mediante roscado y tendrán tapón inferior y superior. Lo normal es que el extremo inferior del tubo quede a unos 15 o 20 cm de la punta del pilote.

Para llevar a cabo correctamente los ensayos, la cabeza del pilote o pantalla estará desbrozada y lo mas limpia posible, sin escombros ni restos de tierra que dificulten el acceso y obstruyan los tubos. Los tubos estarán perfectamente limpios de sedimentos, barro, aceite u otros elementos y si es preciso antes de la auscultación se limpiarán mediante agua a presión para asegurar la correcta limpieza. Posteriormente se volverán a rellenar de agua limpia.

- Inmediatamente después de realizar el hormigonado de los pilotes se rellenarán como se ha indicado los tubos de agua y se tapanán para evitar fugas. El agua cumple una doble función: por una parte ayuda a mantener una temperatura uniforme entre la parte externa del tubo en contacto con el hormigón vertido que puede alcanzar temperaturas cercanas a los 60° y el interior del tubo que si no estuviera relleno de agua difícilmente alcanzaría los 40°. Esto reduce la presencia de eventuales fenómenos de desadherencia entre el tubo y el hormigón circundante. Adicionalmente, durante el ensayo, sirve de acoplante (medio por el que circulará la onda sónica) entre los palpadores y el tubo. Es preciso comprobar el nivel de agua en los tubos y rellenarlos diariamente.
- A una edad del elemento a ensayar comprendida entre los 3 y los 45 días se realizará el ensayo, que consiste en introducir un emisor y un receptor de impulsos ultrasónicos de 35 KHz cada uno en un tubo. Los transductores se llevan hasta el fondo de los tubos y a partir de allí comenzará el ensayo.



Fotografía nº 1. Equipo de Cross Hole en el ensayo de un pilote
Photo 1. Crosshole setup for pile test



Fotografía nº 2. Ordenador donde se registra y analiza la señal.
Photo 2. Computer for recording and analysing the signal

- Al desplazar los transductores desde el fondo de los tubos (Fig. nº 2) se activa automáticamente cada cierta distancia prefijada (normalmente entre 2 y 6 cm) el equipo, produciéndose automáticamente la emisión, recepción y registro de la onda ultrasónica.
- Una vez que los transductores llegan a la superficie pueden observarse los gráficos obtenidos que reflejan la energía de la onda y el tiempo de paso entre tubos del impulso ultrasónico. Es posible observar cada uno de los registros de la onda realizados. Toda la información queda además grabada en archivo para poder ser posteriormente procesada e incorporada al informe de resultados. A modo de ejemplo se muestran a continuación registros obtenidos en la auscultación de un pilote en una zona "sana", en una zona con defectos, y una diagrafía tipo.

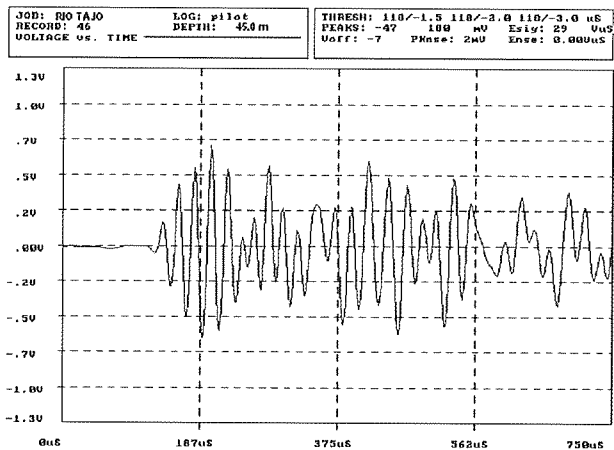


Fig. 3a. Spectrum in a healthy area
Fig. 3a. Espectro de la onda en una zona sana

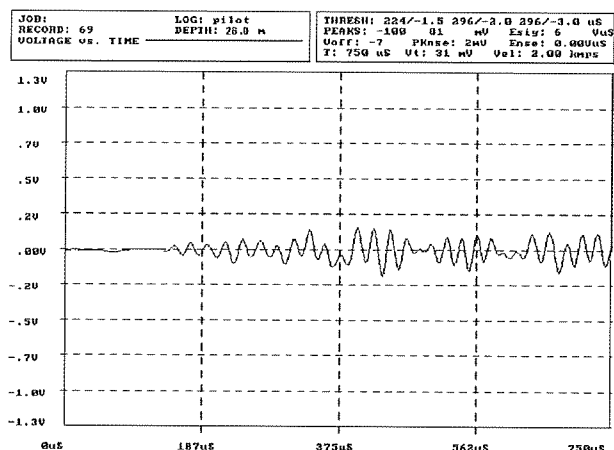


Fig. 3b. Spectrum in a flawed area
Fig. 3b. Espectro de la onda en una zona defectuosa

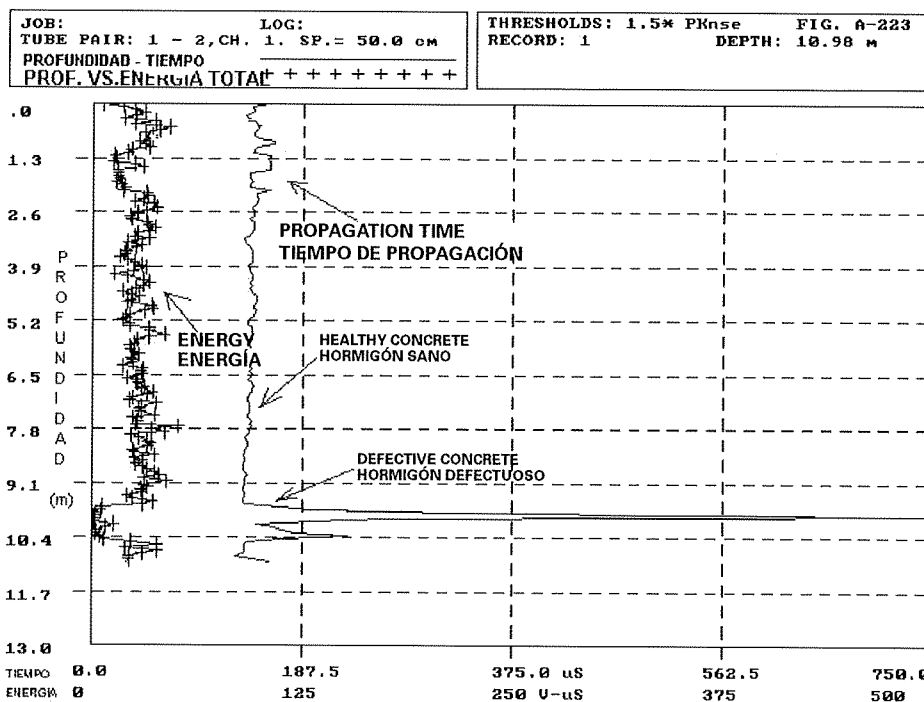


Fig. 3c. Diagraph showing propagation time and energy
Fig. 3c. Ejemplo de diagrafía donde se observa el tiempo de propagación de la onda y la energía.

A diagraph is a graph that plots pile depth on the y-axis and a dual scale on the x-axis, on the one hand for wave energy received and on the other for the ultrasonic pulse propagation time (or velocity, obviously obtained by dividing the distance between tubes by the propagation time).

The technician who conducts the test must be absolutely certain of the reliability of the field measurements taken. In particular, where anomalies are detected, the trial should be repeated for verification. Univocal identification of the piles instrumented and the numbering on the tubes is imperative.

The worksite supervisor must provide the test technician with a list, in advance, of the members to be tested and their location and theoretical length.

La diagrafía (Fig n° 3c) es un gráfico que representa en el eje de ordenadas la profundidad del pilote y en el eje de abscisas, con una doble escala, la energía de la onda recibida y el tiempo de propagación del impulso ultrasónico (o su velocidad, obtenida obviamente de dividir la distancia entre los tubos por el tiempo de propagación).

Es fundamental que el técnico que realiza el ensayo esté absolutamente seguro de la fiabilidad de las medidas realizadas en obra, siendo aconsejable que si se han detectado anomalías durante el ensayo, se repita éste para verificar su correcta ejecución. Es imprescindible identificar unívocamente tanto el pilote auscultado como la numeración de los tubos empleados.

El responsable de las obras a auscultar deberá entregar previamente al técnico que ejecutará los ensayos un listado con la ubicación de los elementos a ensayar y la longitud teórica de cada pilote.

El técnico que realizará el ensayo debe medir la distancia entre tubos, medir el diámetro del pilote (o el espesor de la pantalla), el diámetro de los tubos, medir el stick (la longitud de tubo que sobresale), indicar si el nivel de agua era el correcto o no cuando se realizó la auscultación y señalar cualquier incidencia que se observe (defectos superficiales en pilote, tubos doblados u obstruidos, etc.).

Hay que destacar que en los últimos años se han desarrollado programas de ordenador (GEOTOM, SLICERCER, TOMOSONIC, etc.) para el análisis más pormenorizado de las eventuales señales anómalas y para la obtención de gráficos en dos y tres dimensiones que permiten una interpretación más precisa de las anomalías (técnicas CSLT frente a las convencionales CSL). En las figuras 5 a 8 (cortesía de Olson Instruments y Olson Engineering) puede observarse cómo gracias al tratamiento y análisis de los datos se pueden identificar más fácilmente las zonas con daños:

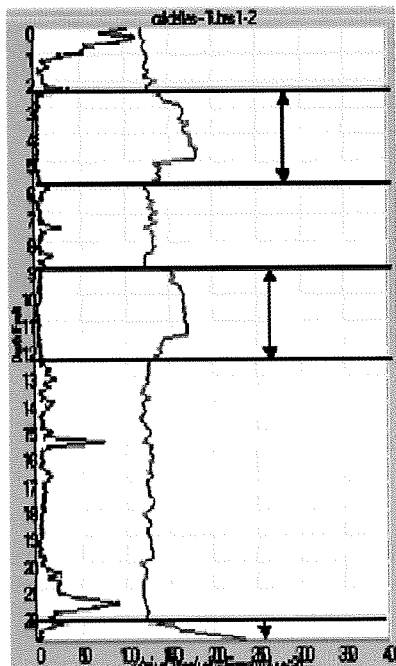


Fig. 4

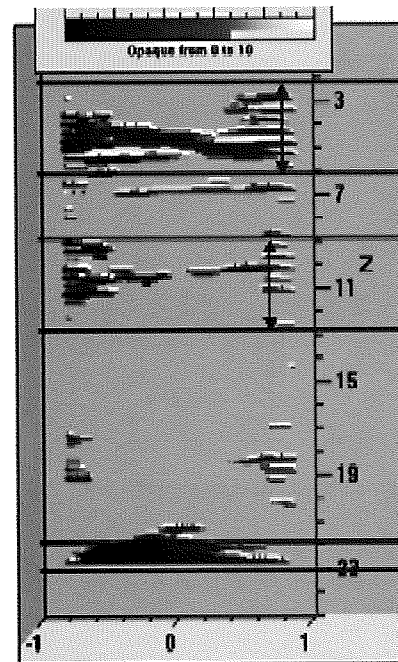


Fig. 5

3. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En lo que sigue se expone cómo realiza INTEMAC la interpretación de los resultados en el caso más común, que es el de pilotes o pantallas con al menos 4 tubos embebidos en su masa. La disposición de los tubos en los pilotes instrumentados con 4 tubos debe ser la que se aprecia en la Fig. 8.

Con esta disposición de tubos, las diagrafías que pueden realizarse son: entre los tubos 1 y 2, 2 y 3, 3 y 4, 4 y 1, 1 y 3, y 2 y 4. En la siguiente Figura se muestran las posibles diagrafías:

The test technicians must measure the distance between tubes, pile diameter (or wall thickness), tube diameter and stick length (length of tube projecting beyond the pile). They must specify whether the water level was suitable when the instruments were read and list any incident observed (surface flaws on pile, bent or obstructed tubes and so on).

In recent years, software (GEOTOM, SLICERDICER, TOMOSONIC) has been developed to analyse possibly anomalous signals and obtain two-and three-dimensional graphs to interpret anomalies more precisely (i.e., cross-hole sonic logging tomography rather than conventional crosshole sonic logging techniques). Figures 4 to 7 (courtesy of Olson Instruments and Olson Engineering) show that data processing and analysis facilitates the identification of damaged areas.

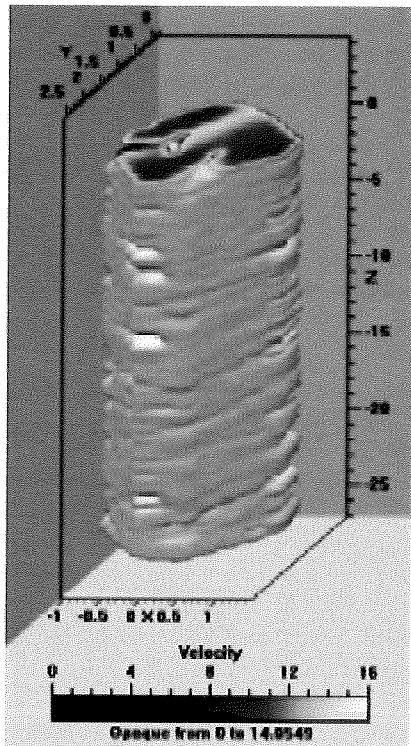


Fig. 6

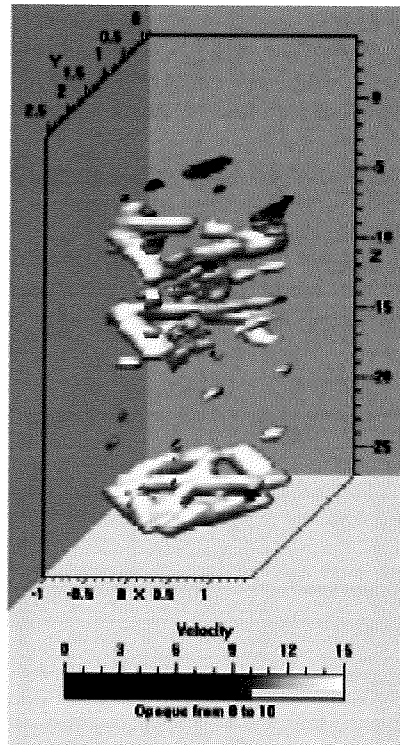


Fig. 7

3. INTERPRETATION OF RESULTS

The following discussion describes INTEMAC's criteria for interpreting the findings in the most common case, i.e., piles or diaphragm walls with at least four embedded tubes. When four tubes are used, they should be arranged as shown in Figure 8.

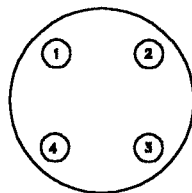


Fig. 8

With this arrangement, diagraphs can be performed between tubes 1 and 2, 2 and 3, 3 and 4, 4 and 1, 1 and 3, and 2 and 4, as depicted in Figure 9.

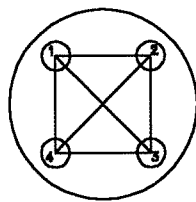


Fig. 9

3.1. INTERPRETACIÓN DE UNA ANOMALÍA EN UNA DIAGRAFÍA PERIMETRAL.

Las anomalías perimetrales pueden aparecer en las diagrafías 1 y 2, 2 y 3, 3 y 4, y 4 y 1. En caso de encontrarse exclusivamente en la diagrafía entre los tubos 1 y 2, la sección estará afectada de la siguiente forma:

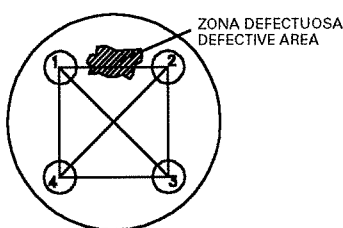


Fig. 10

En este caso, la anomalía siempre afectará a una zona inferior al 25% de la sección, y generalmente no superior al 20% ya que, de no ser así, aparecería en otra diagrafía.

El tiempo de llegada de la onda depende de la distancia entre los tubos y del medio que recorre la onda. En una zona sana, la onda recorre la distancia entre tubos con una trayectoria recta, tardando un tiempo t_1 .

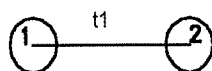


Fig. 11

En caso de haber un defecto, como una coquera, la onda no sigue una trayectoria recta, ya que tiene que recorrer el perímetro del defecto. En este caso, el tiempo de llegada será igual al tiempo que tarda en recorrer la distancia entre tubos menos la longitud del defecto, más el tiempo que tarda en recorrer el perímetro:

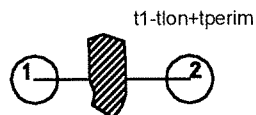


Fig. 12

Cuanto mayor sea el defecto, mayor será el perímetro que tiene que recorrer la onda y por lo tanto mayor será su retraso. Al mismo tiempo, cuanto mayor sea la distancia a recorrer por la onda, mayor será la pérdida de energía de la misma. Según el retraso de la señal y la pérdida de energía que se de, consideramos que un defecto es importante o no.

A continuación, se muestran dos diagrafías reales obtenidas con uno de nuestros equipos, una en la que el retraso de la señal y la pérdida de energía son pequeñas, y que por lo tanto se trata de un defecto carente de importancia (caso a), y otra en la que el retraso de la señal y la pérdida de energía son grandes y en la que, por lo tanto, se trata de un defecto que puede afectar a la capacidad estructural (caso b).

3.1. INTERPRETATION OF AN ANOMALY IN A PERIMETRIC DIAGRAPH

Perimetric anomalies may appear in diagraphs 1 - 2, 2 - 3, 3 - 4 and 4 - 1. If they appear in the diagraph between tubes 1 and 2 only, the cross-section is affected as shown in Figure 10.

In this case, the anomaly always affects less than 25 % of the cross-section, and usually not over 20 %, for otherwise it would appear in another diagraph.

The propagation time depends on the distance between the tubes and the medium through which the wave travels. In a healthy area, the wave crosses the distance between tubes in a straight line, in time t_1 .

Where a flaw is found, such as a bug hole, the wave travels not along a straight line, but skirting the perimeter of the defect. In this case, the propagation time is equal to the time it takes to travel the distance between tubes less the length of the defect, plus the time it takes to skirt the perimeter, as shown in the diagram in Figure 12.

The larger the flaw, the longer the perimeter to be skirted and therefore the longer the delay. Moreover, the longer the distance the wave has to travel, the greater its energy loss. The significance of a flaw is determined on the grounds of signal delay and energy loss.

The two real diagraphs shown below were found with the Institute's instruments. In one, signal delay and energy loss were small, and the flaw consequently insignificant (case a), while the magnitude of both parameters in the other was indicative of a defect potentially able to affect structural strength (case b).

- **Case a.** Diagraph with small signal delay and energy loss

Figure 13 shows the signal in a healthy area of the pile.

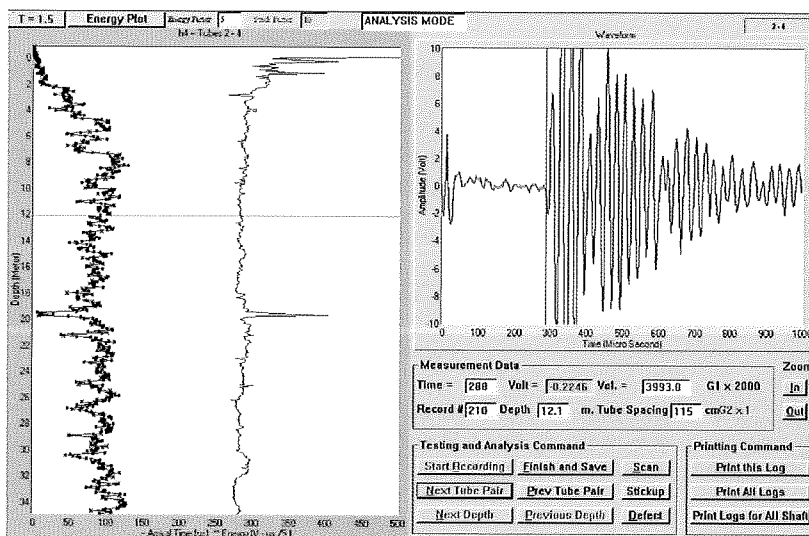


Fig. 13

Figure 14 shows the signal in a defective area of the pile.

The diagraph in Figure 14 shows signal delay and energy loss at elevation 19,7 m. Nonetheless, the wave velocity reached 3 662,4 m/s, compared to the 4 000 m/s found in healthy areas of the pile. While the energy declined (the energy is the area between the signal value and the x axis), it did not drop to zero. The defect, in turn, was around 20 cm thick. For all the foregoing, the flaw was regarded to be scarcely significant.

- **Case b.** Diagraph with delayed signal and significant energy loss affecting a significant area of the pile Figure 15 shows the signal in a healthy area of the pile.

- **Caso a.** Diagrama con retraso en la señal y pérdida de energía pequeñas.

En la Figura 13 se puede observar la señal en una zona sana del pilote:

En la siguiente Figura se puede observar la señal en una zona defectuosa del pilote:

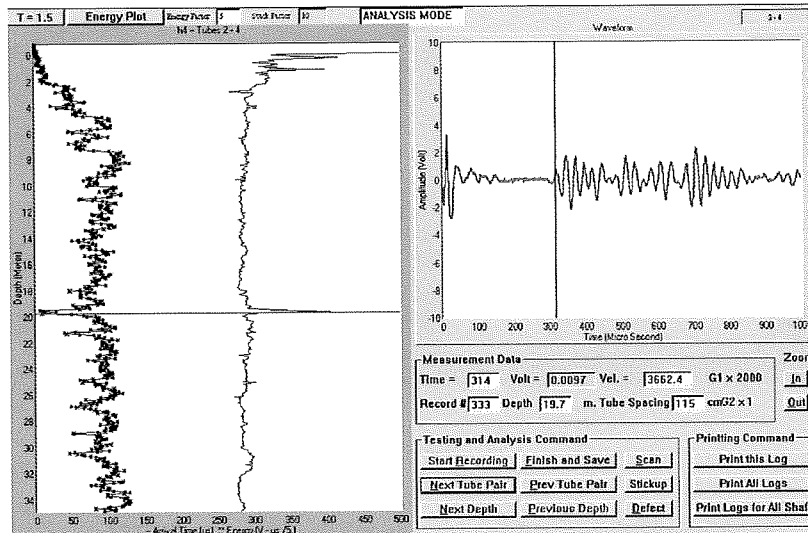


Fig. 14

En la diagrama anterior aparece un retraso de la señal y una pérdida de energía en la cota 19,7 m. A pesar de esto, la onda llega con una velocidad de 3662,4 m/s, cuando lo normal en las zonas sanas del pilote era de 4000 m/s. Además, observamos que la energía (la energía es el área existente entre el grado de la señal y el eje de abscisas) disminuye pero no llega a cero, y que el espesor del defecto es de unos 20 cm. Por esto, podemos estimar que en este caso se ha detectado un defecto de escasa importancia.

- **Caso b.** Diagrama con retraso en la señal y pérdida de energía significativa afectando a una zona sustancial del pilote:

En la Figura 15 se puede observar la señal en una zona sana del pilote:

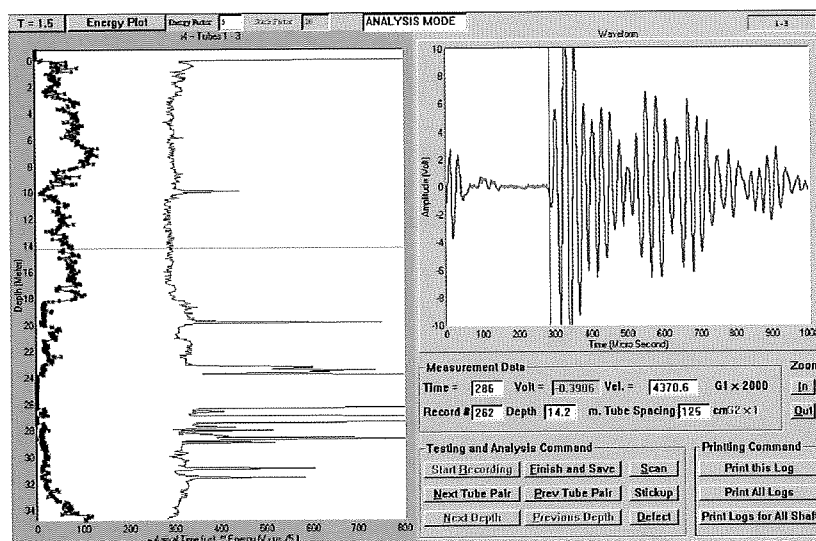


Fig. 15

Figure 16 shows the signal in a defective area of the pile.

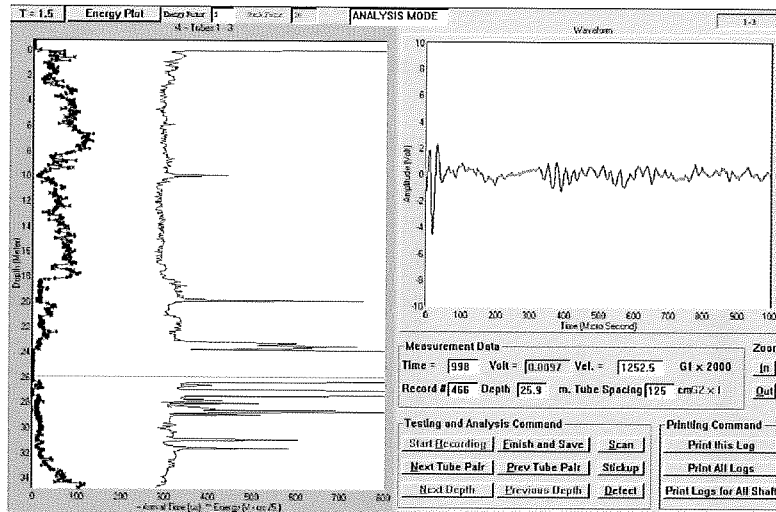


Fig. 16

The diagram in Figure 16 shows signal delay and energy loss at elevation 25,9 m. The velocity at this elevation was 1252,5 m/s, much lower than the 4300 m/s recorded for the healthy areas. Moreover, the energy declined to zero and the area containing the defects measured approximately two metres. In light of these findings, the defect found was regarded to be substantial and potentially able to affect structural stability.

3.2. INTERPRETATION OF AN ANOMALY IN A CENTRAL DIAGRAPH

The anomalies affecting the pile core are shown in diagraphs 2 – 3 and 2 – 4. If they appear in the diagraph between tubes 1 and 3 only, the cross-section is affected as shown in Figure 17.

In this case, the anomaly always affects less than 50 % of the cross-section, and usually not over 40 %, for otherwise it would appear in another diagraph. For this reason, more weight is placed on the central than the perimetric diagraphs. The procedure for analysing the diagraphs is the same, however.

3.3. INTERPRETATION OF AN ANOMALY IN A PERIMETRIC AND A CENTRAL DIAGRAPH OR IN BOTH CENTRAL PATTERNS

When the anomaly appears in a perimetric and a central diagraph, the flawed area is as shown in Figure 18.

If it appears in both central diagraphs, the result is as depicted in Figure 19.

Such a pattern was found in pile 14, whose central diagraphs are reproduced in figures 20 and 21.

En la Figura 15 se puede observar la señal en una zona defectuosa del pilote:

En la diagrafía anterior aparece un retraso de la señal y una pérdida de energía en la cota 25,9 m. La velocidad a esta cota es de 1252,5 m/s, que es muy inferior a los 4300 m/s que se registra en las zonas sanas. Además, observamos que la energía disminuye hasta llegar a cero, y que la zona en que se producen los defectos es aproximadamente de unos 2 m. Por esto, podemos asegurar que este caso hay un defecto importante y que puede afectar a la estabilidad estructural.

3.2. INTERPRETACIÓN DE UNA ANOMALÍA EN UNA DIAGRAFÍA CENTRAL.

Las anomalías que afectan al núcleo del pilotes se manifiestan en las diagrafías 1 y 3, y 2 y 4. En caso de encontrarse entre los tubos 1 y 3, la sección estará afectada de la siguiente forma:

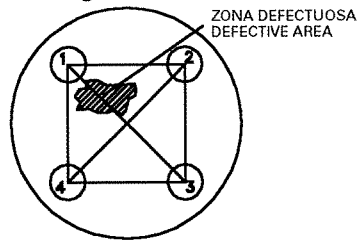


Fig. 17

En este caso, la anomalía siempre afectará a una zona inferior al 50 % de la sección, y generalmente no superior al 40% ya que, de no ser así, aparecería en otra diagrafía. Por esto, damos más importancia a las diagrafías centrales que a las perimetrales. No obstante, el análisis de las diagrafías es igual.

3.3. INTERPRETACIÓN DE UNA ANOMALÍA EN UNA DIAGRAFÍA PERIMETRAL Y UNA CENTRAL O EN LAS DOS CENTRALES.

Cuando la anomalía aparezca en una diagrafía perimetral y una central, la zona defectuosa tendrá la siguiente forma:

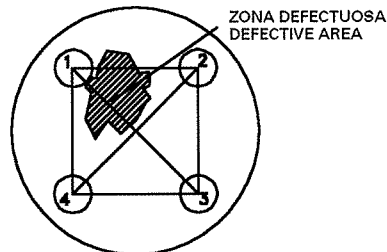


Fig. 18

En caso de aparecer en las dos centrales, tendrá la siguiente forma:

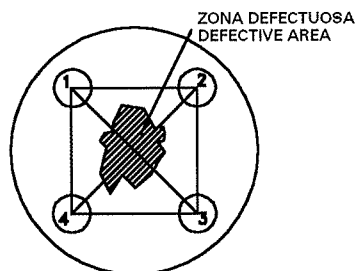


Fig. 19

Diagraph 1 – 3 in pile 14. Signal at elevation 25,3 m
 Diagrafía 1-3 del pilote 14. Señal a la cota 25,3 m.

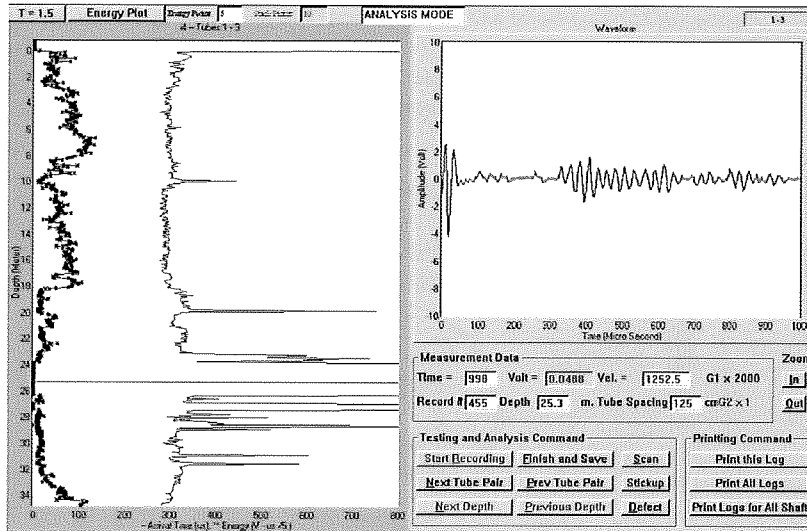


Fig. 20

Note that the signal nearly disappeared at elevation 25,3 m. The velocity at arrival dropped from 4 300 m/s in the healthy area to 1 200 m/s in the flawed area. In both diagraphs, the area affected measured over 1 m. In light of these findings, the defect found was regarded to be substantial and potentially able to affect structural stability. Since the flaw did not appear in the perimetric diagraphs, it was assumed to be due to an erroneous mix of concrete components and defective setting or hardening. If instead of appearing in two central diagraphs, the flaw had been detected in one central and one perimetric spectrum, it may have been attributable to soil collapse.

Note, in connection with the foregoing, that concrete compressive strength is proportional to the fourth power of the velocity of the ultrasonic pulse circulating across it. Consequently, any substantial decline (over 15 %) in velocity is indicative of a significant drop in concrete quality or compactness.

In 14-day or older concretes, velocities normally range from 4 000 to 4 300 m/s for strength H30, while velocities of under 3 700 m/s are indicative of concrete of under H20, providing the concrete is neither contaminated by the soil nor insufficiently compacted.

Li, Zhang and Tang noted that when the pile is monitored with at least three tubes, there is a 95 % likelihood of finding flaws whose cross-sectional area is 15 % of the area of the member. When four or more tubes are used, the size of the detectable flaw declines to 5 % of the pile cross-section. The trials conducted at the INTEMAC laboratory to assess the anomalies detected are discussed below.

When doubts arise over the significance of a flaw, standard practice is to bore into the pile from the top to extract a sample for subsequent visual inspection of the core removed and confirmation of the size and nature of the defect.

4. EXAMPLES OF COMMON FLAWS IN REAL PILES

The diagraphs shown below, obtained for piles with diameters ranging from 60 to 220 cm, depict some of the most common defects appearing in these members.

The tip of the pile in Figures 22, 23 and 24 had a flaw typically found when the bottom of the hole is not thoroughly cleaned or material works loose from the walls. The pile in question was 500 mm in diameter and 13,6 m deep. The three diagraphs clearly show an increase in the propagation time and a decline in the amount of energy received in the lower 80 cm. The characteristics of the medium through which the wave travelled were likewise plainly visible in the spectra for the healthy and defective areas.

Un caso como este se da en el pilote I4, en el que las diagrafas centrales son las siguientes:

Diagrafia 2-4 del pilote I4. Señal a la cota 25,3 m.
Diagraph 2 – 4 in pile 14. Signal at elevation 25,3 m

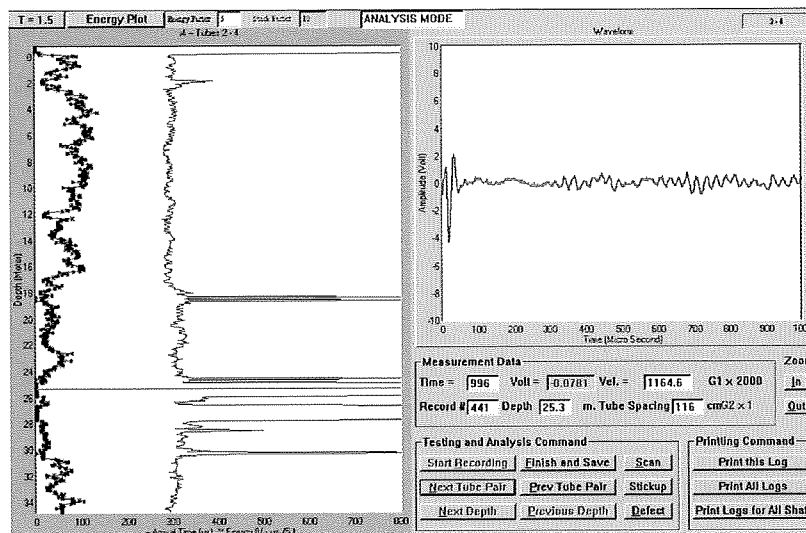


Fig. 21

Como podemos observar, la señal a la cota 25,3 m prácticamente desaparece. La velocidad de llegada se reduce de los 4300 m/s en la zona sana hasta los 1200 m/s en la zona defectuosa, y en ambas diagrafas la zona afectada es superior a 1 m. Por esto, podemos asegurar que este defecto es de gran importancia y puede afectar a la estabilidad estructural. Dado que este defecto no aparece en las diagrafas perimetrales, suponemos que el defecto se debe a una mala mezcla de los componentes del hormigón, pudiendo haber no fraguado ni endurecido el hormigón. Si en lugar de haber sido dos diagrafas centrales hubiesen sido una central y una perimetral, el defecto también podría deberse a un derrumbe del terreno.

En relación con algunos aspectos antes comentados, indicar que la resistencia a compresión de un hormigón es proporcional a la potencia cuarta de la velocidad de impulso ultrasónico que circule por su masa. Por ello una disminución notable (superior al 15%) de la velocidad es indicativa de un descenso significativo en la calidad o compacidad del hormigón.

Se recuerda que en hormigones de al menos 14 días de edad velocidades en torno a los 4000 y los 4300 m/s son habituales para un H30 y velocidades inferiores a 3700 m/s serían las de un hormigón de calidad inferior a un H20, siempre suponiendo que los hormigones no estuvieran contaminados con el terreno y no hubiera defectos de compacidad.

Li, Zhang y Tang señalan que, si la auscultación se realiza con al menos tres tubos, existe un 95% de probabilidad de encontrar defectos cuya área en sección supere al 15 % de la del elemento auscultado. Si hay cuatro o más tubos el tamaño del defecto detectable disminuye hasta el 5% de la sección del pilote. Más adelante se comentaran las investigaciones realizadas en el Laboratorio de INTEMAC con objeto de valorar la anomalía que se detectara.

Comúnmente si se tiene alguna duda sobre la trascendencia del defecto se realiza una investigación de las anomalías detectadas realizando un sondeo desde la cabeza del pilote con extracción de muestra para efectuar posteriormente una inspección ocular del testigo y confirmar el tamaño y naturaleza del defecto.

4. EJEMPLOS DE DEFECTOS COMUNES DETECTADOS EN PILOTES REALES

A continuación se representan las diagrafas obtenidas en diversos pilotes, de diámetros comprendidos entre los 60 cm y los 220 cm, que muestran algunos de los defectos más comunes que aparecen en estos elementos.

En las figuras nº 22, 23 y 24 se observa un defecto en punta muy típico, el cual aparece por una mala limpieza del

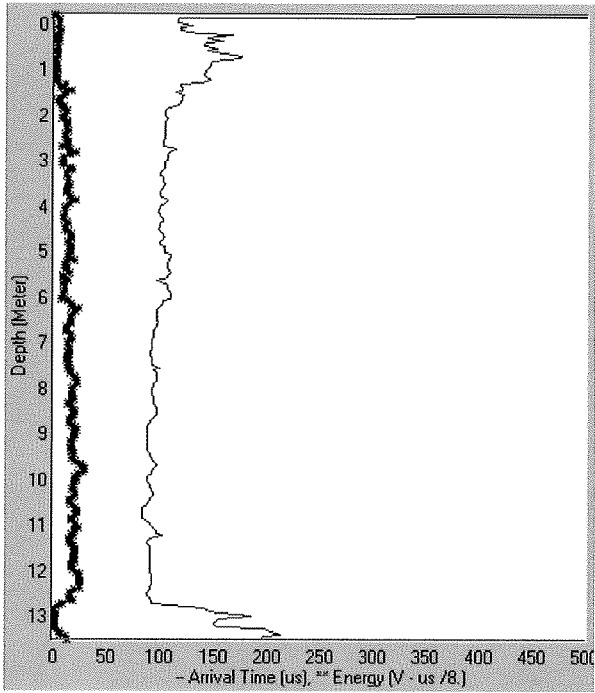


Fig. 22a. Pile 84, diagraph 1-2
Fig 22a. Pilote 84. Diagrafia 1-2

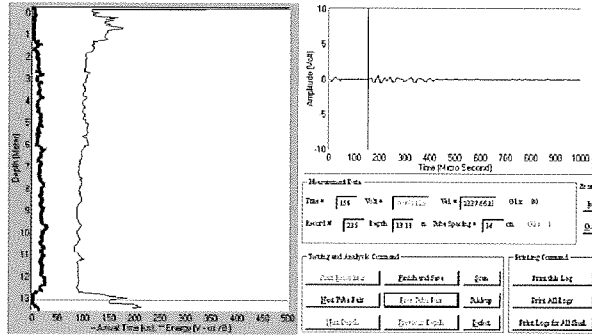
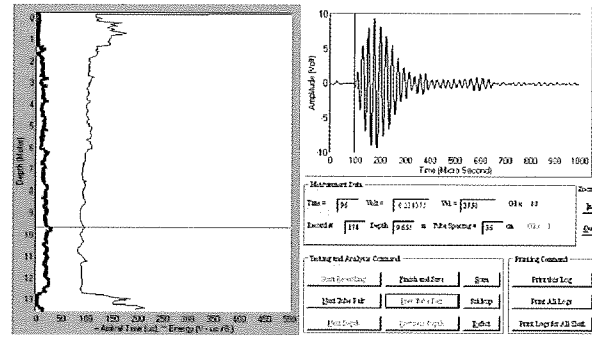


Fig. 22b and c. Pile 84. Diagraph 1-2. Spectra for the healthy (above) and defective (below) areas
Fig 22b y c. Pilote 84. Diagrafia 1-2 Espectros de la onda en zona sana (superior) y en zona inferior con defecto

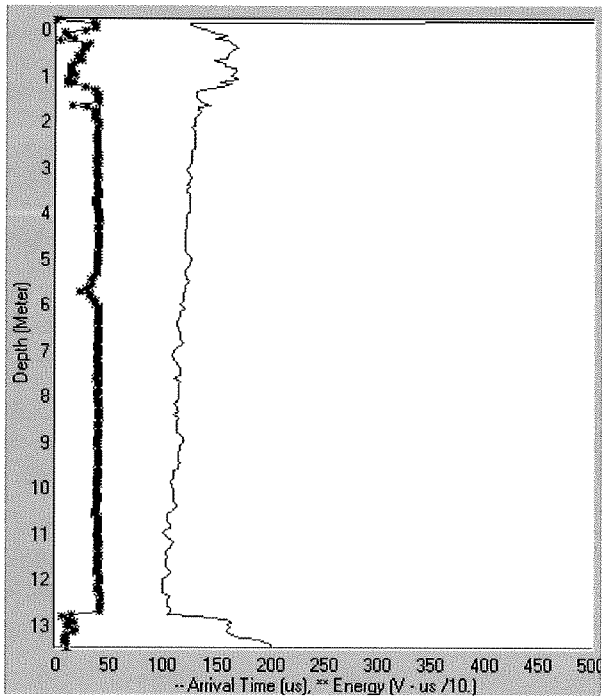


Fig. 23a. Pile 84, diagraph 2 - 3
Fig 23a. Pilote 84. Diagrafia 2-3

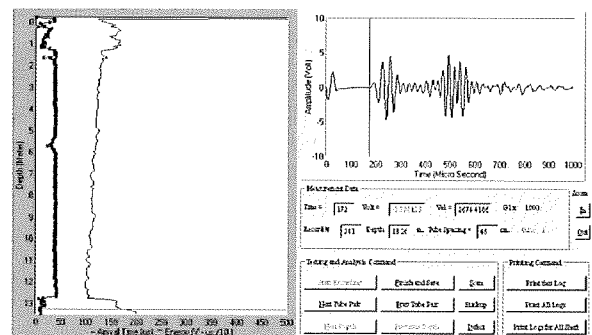
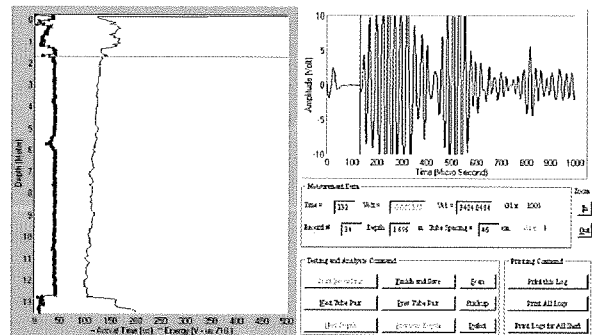


Fig. 23b and c. Pile 84. Diagraph 2 - 3. Spectra for the healthy (above) and defective (below) areas
Fig 23b y c. Pilote 84. Diagrafia 2-3 Espectros de la onda en zona sana (superior) y en zona inferior con defecto

fondo o por caída de material de las paredes. El pilote auscultado tenía 500 mm de diámetro y 13,6 m de profundidad. En las 3 diagrafas realizadas se observa perfectamente en los últimos 80 cm un incremento en el tiempo de propagación de la onda y un claro descenso en la cantidad de energía de la onda recibida. Los espectros de la onda en la zona sana y en la zona defectuosa muestran claramente las distintas características del medio que atraviesa la onda.

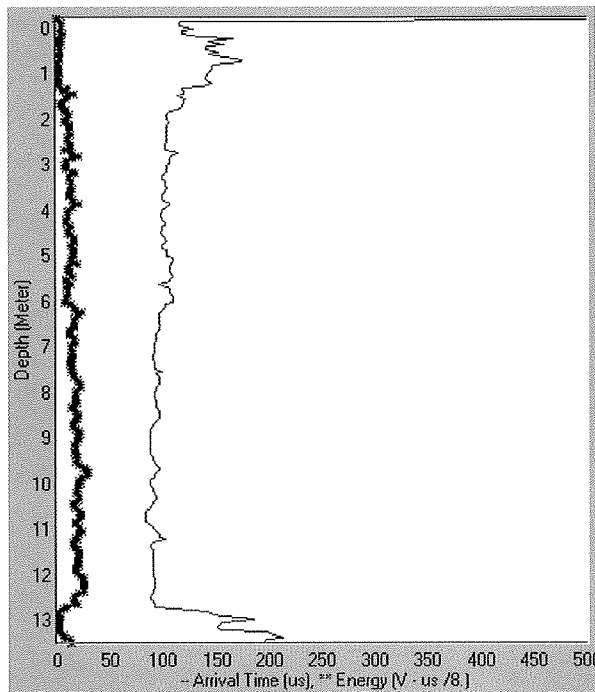


Fig. 24a. Pilote 84. Diagrafia 3-1
Fig. 24a. Pile 84, diagraph 3-1

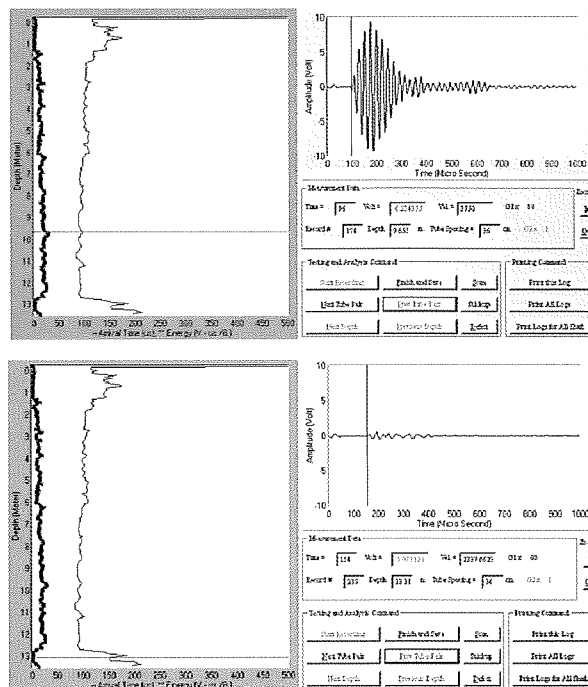


Fig. 24b y c. Pilote 84. Diagrafia 3-1 Espectros de la onda en zona sana (superior) y en zona inferior con defecto
Fig. 24b and c. Pile 84. Diagraph 3-1. Spectra for the healthy (above) and defective (below) areas

En las figuras n° 25, 26 y 27 se observan dos claras anomalías observadas en el fuste (aproximadamente a 6,5 m y a 12 m de profundidad) en un pilote de 150 cm de diámetro y 16 m de profundidad. En el pilote se dejaron 4 tubos para su posterior auscultación, pero uno de ellos (el denominado n°1) estaba obstruido y únicamente se pudieron realizar 3 de las diagrafas previstas, observándose en todas ellas las anomalías citadas. El perjuicio de que un tubo este obstruido hace que en el mejor de los casos se juzgue exclusivamente la integridad de aproximadamente la mitad del pilote (la zona cubierta por los tres tubos no obstruidos). En opinión de INTEMAC si se cuestiona la integridad del pilote a la vista de los resultados de las diagrafas que si se pueden realizar, hay que extrapolar conservadoramente los resultados, suponiendo que la zona no auscultada presenta las mismas deficiencias que la auscultada. Los defectos en zonas intermedias pueden ser consecuencias de derrumbes parciales de las paredes, defectos en el hormigón a consecuencia de interrupciones en el hormigonado, aire atrapado en el proceso de hormigonado, etc.

Figures 25, 26 and 27 show two obvious anomalies in the shaft (at depths of around 6,5 and 12 m) in a 150-cm diameter, 16-m deep pile. The pile was fitted with four tubes for subsequent instrumenting but as one (tube 1) was obstructed, only three of the diagraphs could be conducted. Flaws were detected in all three. The drawback of having one tube obstructed is that even under the most favourable conditions only approximately half of the pile (the area covered by the three unobstructed tubes) can be tested for integrity. In INTEMAC's opinion, if the diagraphs that can be read cast doubts on pile integrity, the results must be extrapolated conservatively, assuming that the non-instrumented area exhibits the same flaws as the rest. The defects in intermediate areas may be the result of partial wall collapse, flaws in the concrete due to interruptions during casting or entrained air.

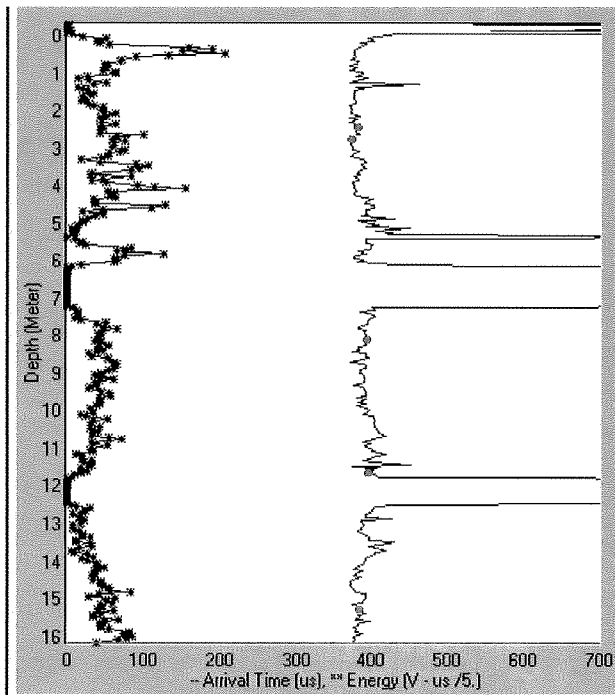


Fig. 25a. Pile 83, diagraph 2-4 (diagonal)
 Fig. 25a. Pilote 83. Diagrafía 2-4 (diagonal)

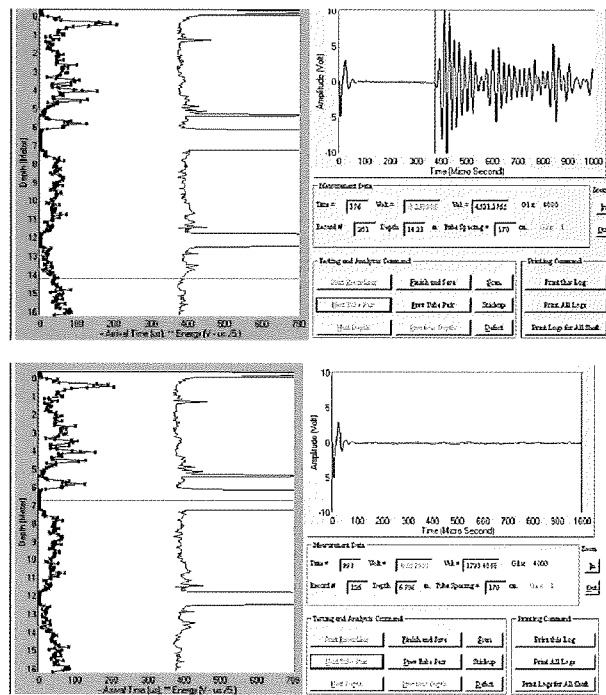


Fig. 25b and c. Pile 83. Diagraph 2-4. Spectra for the healthy (above) and defective (below) areas
 Fig. 25b y c. Pilote 83. Diagrafía 2-4 Espectros de la onda en zona sana (superior) y en zona inferior en zona defectuosa

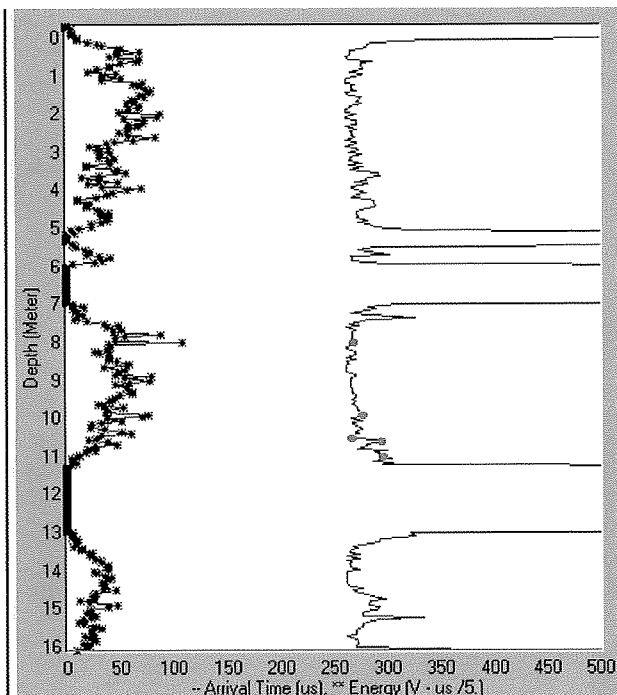


Fig. 26a. Pilote 83. Diagrama 3-4 (perimétrico)
 Fig. 26a. Pile 83, diagram 3-4 (perimetric)

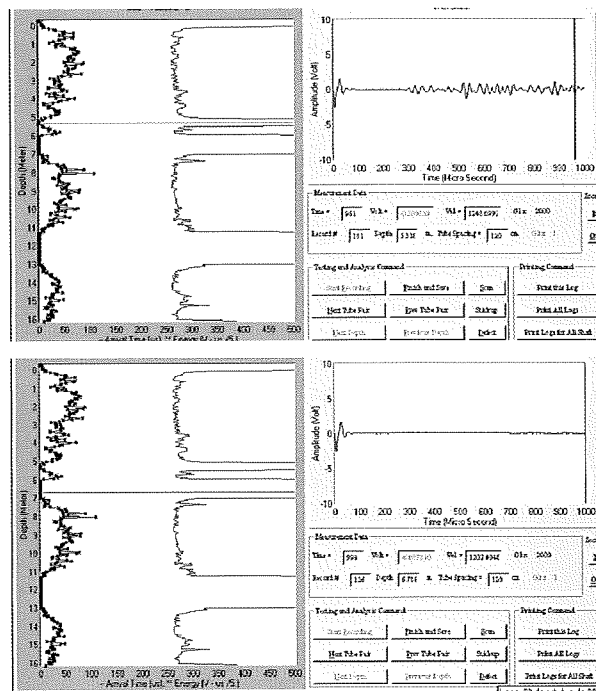


Fig. 26b y c. Pilote 83. Diagrama 3-4 Espectros de la onda en zonas defectuosas
 Figs 26b and c. Diagram 3-4. Spectra for defective areas

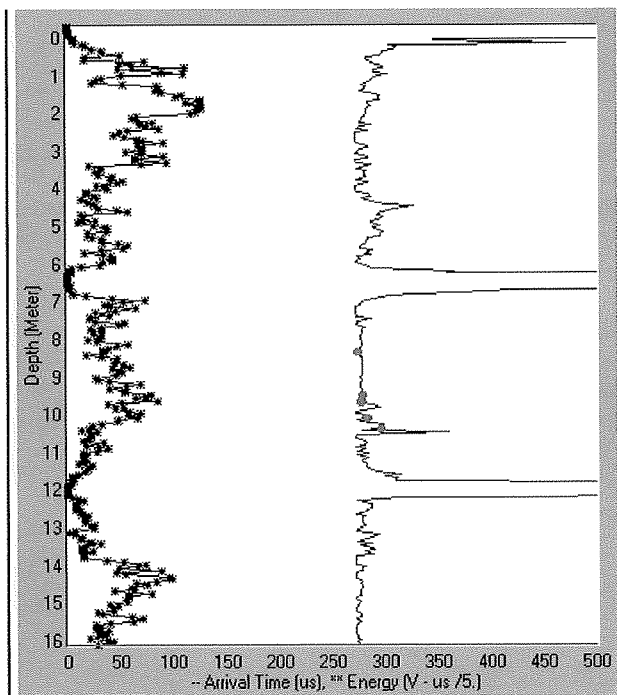


Fig. 27a. Pilote 83. Diagrama 2-3 (perimétrico)
 Fig. 27a. Pile 83, diagram 2-3 (perimetric)

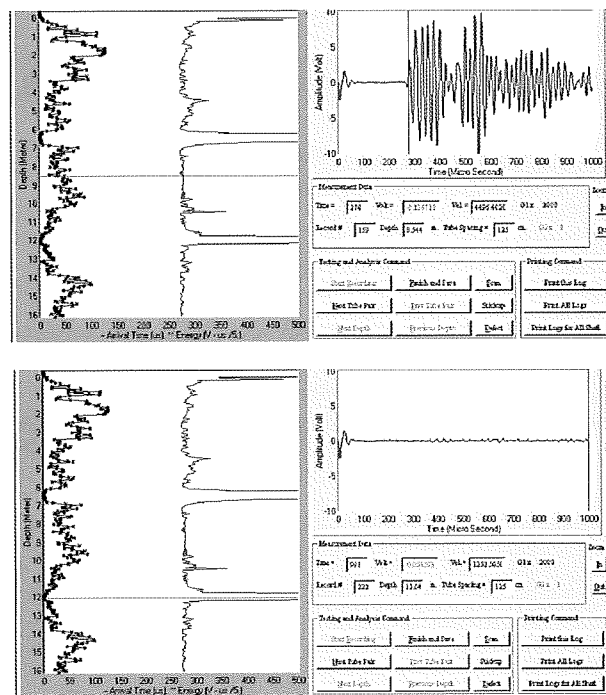


Fig. 27b y c. Pilote 83. Diagrama 2-3 Espectros de la onda en zona sana (superior) y en zona inferior en zona defectuosa
 Figs 27b and c. Pile 83. Diagram 2-3. Spectra for the healthy (above) and defective (below) areas

Figures 28 and 29 contain diagraphs for a 75-cm diameter, 18-m deep pile that show, among other flaws, an obvious anomaly in the outer-most part of the pile. A core was drilled in the area possibly affected, where no damage whatsoever could be observed. A second hole was drilled between the first and the embedded tubes, and again no anomaly was detected. This is unfortunately a common occurrence, the result of detachment of the tubes from the concrete during operations that cause substantial vibration, such as flushing to remove debris from the tubes prior to testing. The problem also arises when the tubes are not filled with water in the interval between concrete casting and the test date. The result is a diagraph such as reproduced in Figure 24, where the signals affecting the detached tube (and only those signals) exhibit discontinuities.

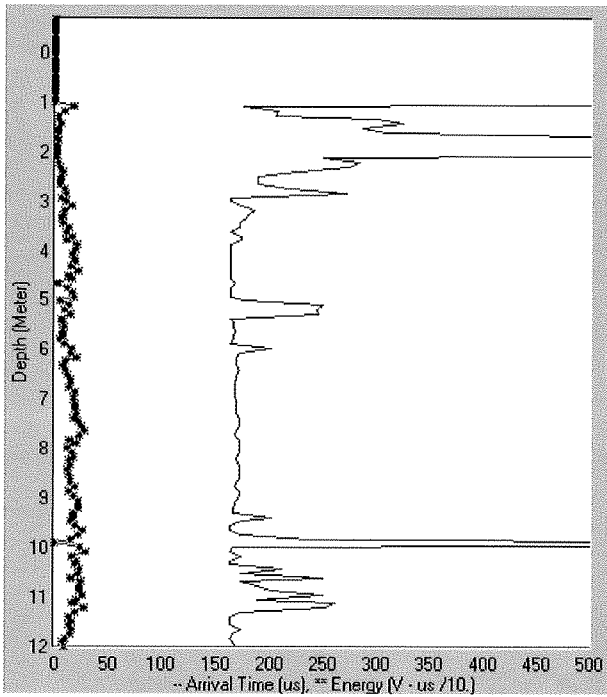
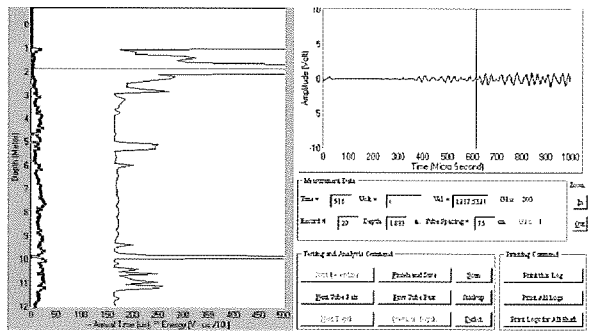
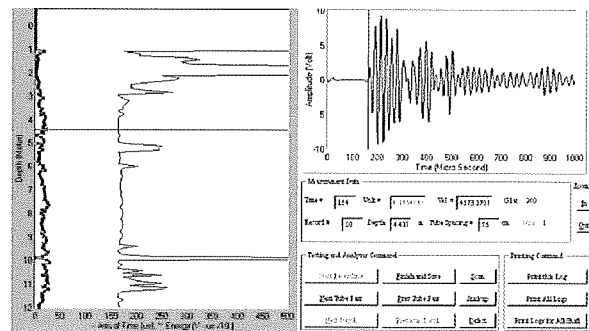


Fig. 28a. Pile 84B, diagraph 2-3 (perimetric)
Fig. 28a. Pilote 84B. Diagrafia 2-3 (perimétral)



Figs. 28b and c. Pile 83. Diagraph 2-3. Spectra for the healthy (above) and defective (below) areas
Fig. 28b y c. Pilote 83. Diagrafia 2-3 Espectros de la onda en zona sana (superior) y en zona defectuosa

Figure 30 shows a flaw detected at a shallow (3,3 m) depth, apparently due to deficient concrete quality (the ultrasonic velocity declined from nearly 3,6 to 2,9 km/s). The pile was excavated to that depth for visual confirmation of the flaw. As no defect whatsoever was observed, a core was drilled to the problem area, where the existence of the defect was verified. Photographs 3 to 6 depict the core extraction process and the cores themselves used to assess the flaws, while the sketch in Figure 31 shows the position of the cores and the anomalies observed.

En las figuras n° 28 y n° 29 se recogen dos diagragfías realizadas en un pilote de 75 cm de diámetro y 18 m de profundidad, en la que se aprecia entre otros defectos claramente una anomalía en la zona más superficial del pilote. Se realizó un sondeo con extracción de muestra en la zona del posible defecto, no detectándose daño alguno, y al repetir el ensayo entre el taladro realizado en el sondeo y los tubos embebidos no se manifestó anomalía alguna. Esta problemática es por desgracia relativamente usual, y es consecuencia de la deshaderencia de los tubos al hormigón cuando se realizan operaciones muy enérgicas (introducción de barras, etc) con el objeto de limpiar los tubos de intrusiones que impiden la realización de los ensayos. También suele presentarse este problema cuando no hay agua en los tubos desde el momento del hormigonado hasta la fecha de ensayo. La presentación del fenómeno se manifiesta como puede verse en la Figura n° 24, apareciendo una discontinuidad en las señales que afectan a ese tubo (y solo en esas).

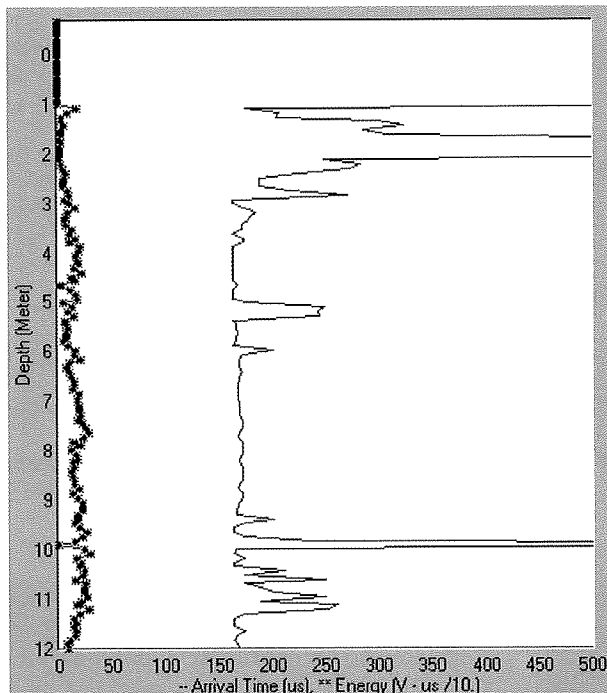


Fig. 29a. Pilote 84B. Diagrafía 3-4 (perimetral)
Fig. 29. Pile 84B, diagraph 3-4 (perimetric)

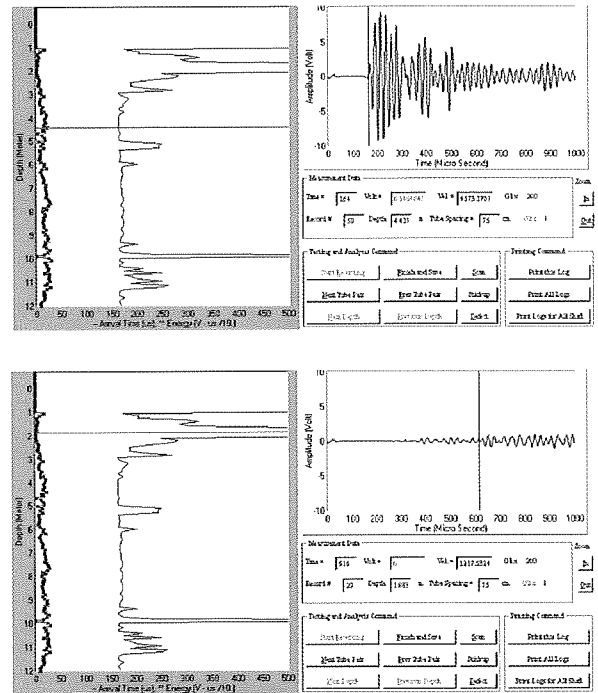


Fig. 29b and c. Pile 83. Diagraph 3 – 4. Spectra for the healthy (above) and defective (below) areas
Figs 29b and c. Pile 83. Diagraph 3 – 4. Spectra for the healthy (above) and defective (below) areas

En la Figura n° 30 se observa un defecto detectado a poca profundidad (3,3 m) y aparentemente consistente en un hormigón de calidad deficiente (la velocidad de ultrasonidos descendió de valores próximos a 3,6 km/s hasta 2,9 km/s). Para verificar la existencia del defecto se excavó el pilote hasta esa cota para comprobar visualmente el aspecto del mismo, y al no observar aparentemente defecto alguno, se realizó la extracción de una probeta testigo con sonda rotativa a la altura de la zona problemática, con la que se constató la presencia del defecto señalado. En las fotografías n° 3 a 6 se observa la extracción de las probetas testigo para valoración de los defectos y las probetas testigo extraídas y en la Figura n° 31 se han incluido croquis con la ubicación de las probetas testigo extraídas y otros con las anomalías observadas.

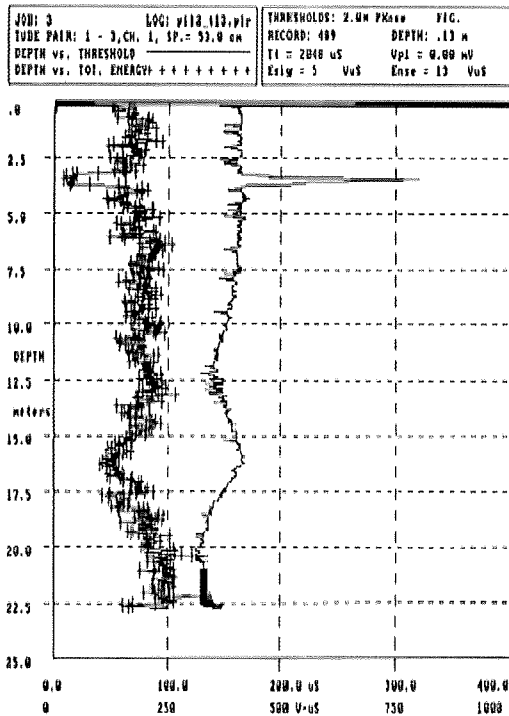
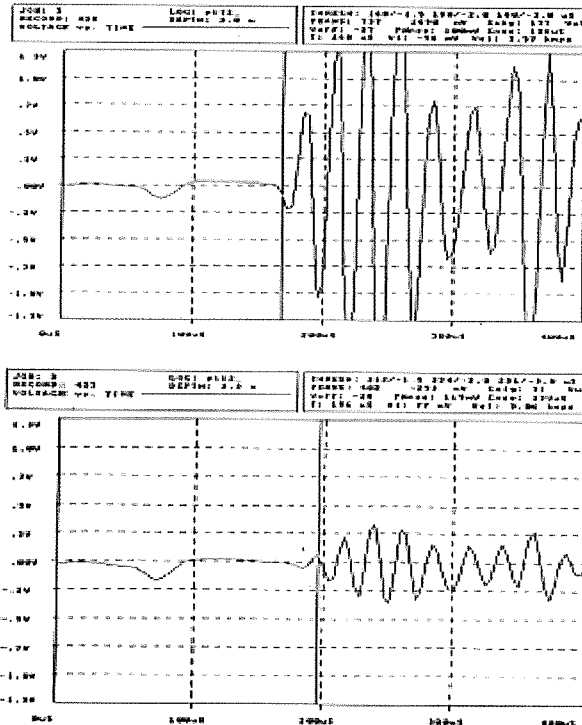
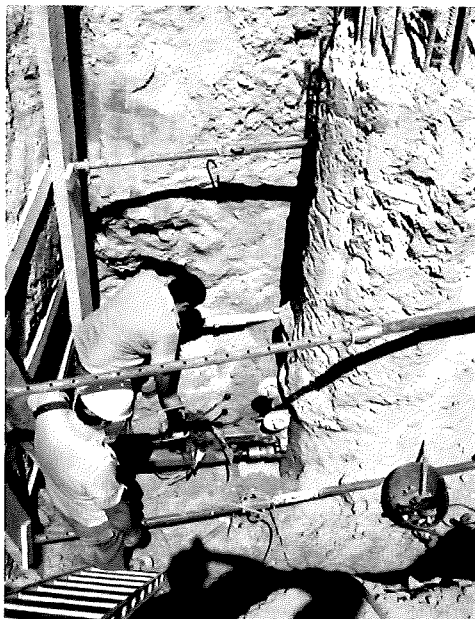


Fig. 30a. Pile 3, diagraph 1-2 (perimetral)
Fig. 30a. Pilote 3. Diagrama 1-2 (perimetral)



Figs. 30b and c. Pile 3. Diagraph 1-2. Spectra for the healthy (above) and defective (below) areas
Fig. 30 b y c. Pilote 3 Diagrama 1-2 Espectros de la onda en zona sana (superior) y en zona inferior en zona defectuosa



Photographs 3, 4, 5 and 6. Core drilling to determine the quality of the concrete in the pile
Fotografías n° 3,4,5 y 6. Extracción de probetas testigo para determinar la calidad del hormigón del pilote.

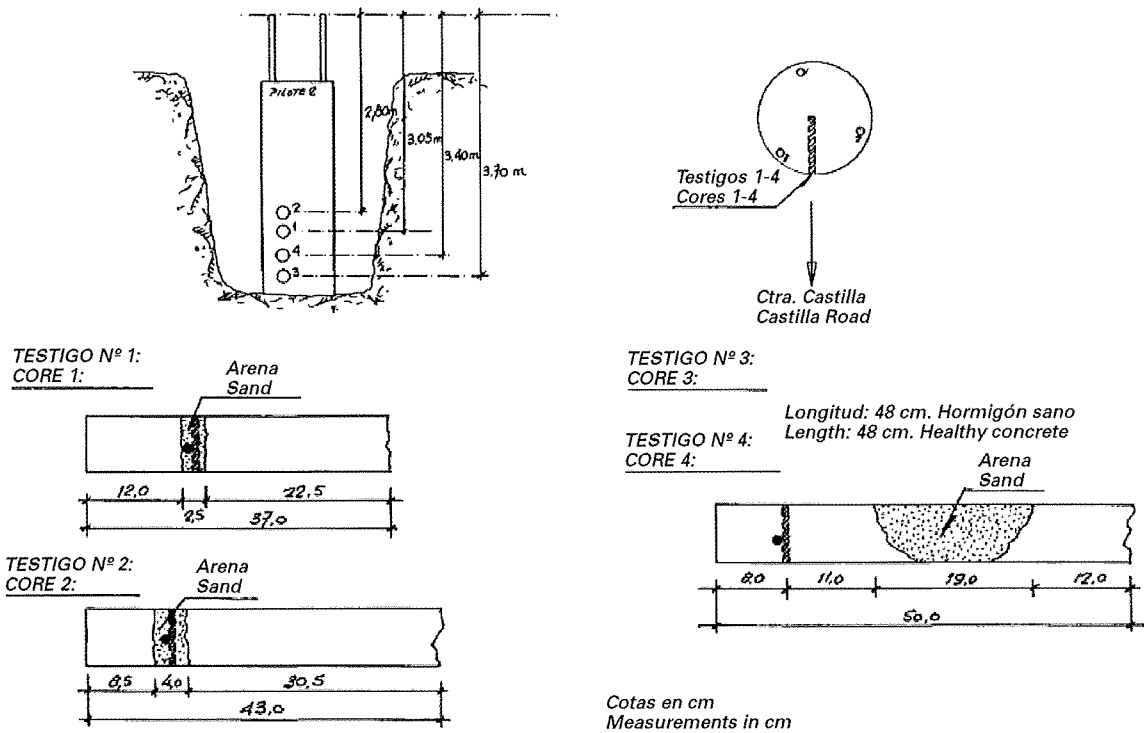


Fig. 31

5. ENSAYOS REALIZADOS SOBRE UN PILOTE "PROTOTIPO" CON DEFECTOS ARTIFICIALES, FABRICADO EN LABORATORIO

En el Laboratorio Central del Instituto Técnico de Materiales y Construcciones (INTEMAC) se fabricó un prototipo de pilote simulando distintos defectos, con objeto de estudiar las respuestas del equipo de análisis ante ellos.

En las fotografías n° 7 a 10 se pueden observar la armadura del pilote, los tubos para realizar la auscultación y distintos elementos colocados simulando defectos, y en la Fotografía n° 4 se observa la "pila-pilote" una vez hormigonada. En esta última fotografía se puede observar la junta de hormigonado ejecutada deficientemente y rellena de arena para simular una intrusión del terreno.

En la Figura n° 32 se indican los defectos reales localizados a distintas alturas, indicando las trayectorias de lectura y en la Figura 33 se muestran cuatro de las diagráfias obtenidas, donde se aprecia como el equipo ha registrado las distintas anomalías existentes.

5. TRIALS CONDUCTED ON A LABORATORY "PROTOTYPE" PILE WITH ARTIFICIAL FLAWS

A prototype pile simulating flaws was built in the Instituto Técnico de Materiales y Construcciones (INTEMAC) Central Laboratory to study the instrumental response to several types of defects.

Photographs 7 to 10 show the pile reinforcement, the tubes used for the probes and the flaw-simulating elements, while Photograph 4 depicts the "pile under a column" after the concrete was cast. This fifth photograph also shows a defective construction joint filled with sand to simulate soil intrusion.

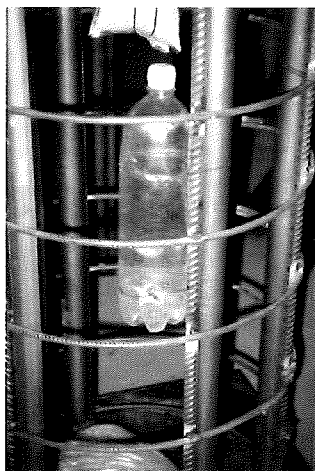
Figure 32 gives the positions of the actual flaws found at different depths, indicating the wave paths. The four diagrams in Figure 33, in turn, show how the instruments recorded the anomalies.



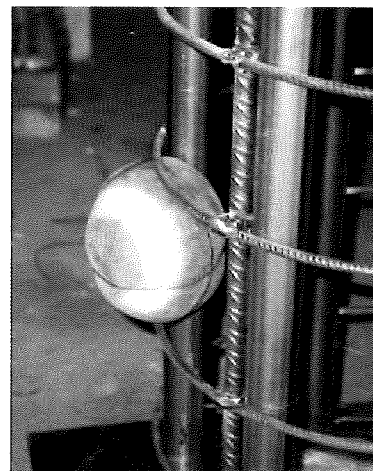
Photograph 7. Rebar and instrument tubes in the test pile
Fotografía n° 7. Vistas de las armaduras y tubos de auscultación del pilote de prueba.



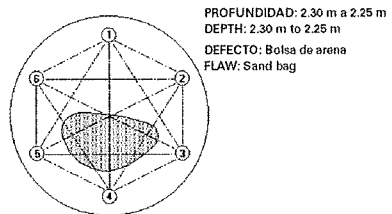
Photograph 8. Sack of sand used to simulate the collapse of a pile wall
Fotografía n° 8. Bolsa con arena para simular el derrumbe de una de las paredes del pilote



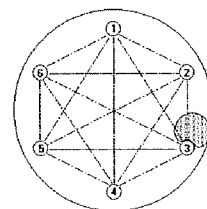
Photograph 9. Bottle simulating entrained air
Fotografía n° 9. Botella para simular una bolsa de aire



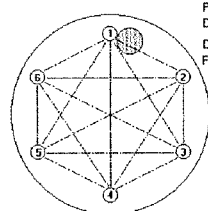
Photograph 10. Ball simulating a flaw
Fotografía n° 10. Pelota para simular defecto



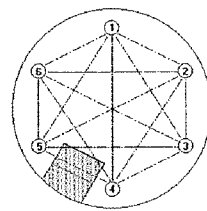
PROFUNDIDAD: 2.30 m a 2.25 m
 DEPTH: 2.30 m to 2.25 m
 DEFECTO: Bolsa de arena
 FLAW: Sand bag



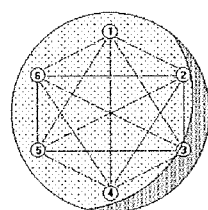
PROFUNDIDAD: 1.95 m a 1.80 m
 DEPTH: 1.95 m to 1.80 m
 DEFECTO: Pelota de $\phi = 13$ cm
 FLAW: Ball, $\phi = 13$ cm



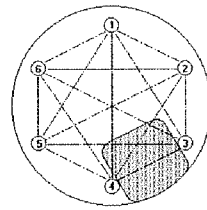
PROFUNDIDAD: 1.78 m a 1.46 m
 DEPTH: 1.78 m to 1.48 m
 DEFECTO: Botella de plástico vacía
 FLAW: Empty plastic bottle



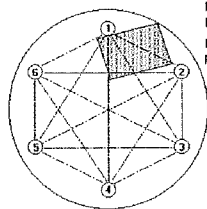
PROFUNDIDAD: 1.53 m a 1.38 m
 DEPTH: 1.53 m to 1.38 m
 DEFECTO: Dos bolsas de arena
 FLAW: Two sand bag



PROFUNDIDAD: 1.35 m a 1.24 m
 DEPTH: 1.35 m to 1.24 m
 DEFECTO: Junta de hormigonado simulando un desplome del terreno
 FLAW: Construction joint simulating soil collapse



PROFUNDIDAD: 1.15 m a 0.85 m
 DEPTH: 1.15 m to 0.85 m
 DEFECTO: Bolsa de serrín
 FLAW: Bag of sawdust



PROFUNDIDAD: 0.78 m a 0.49m
 DEPTH: 0.78 m to 0.49m
 DEFECTO: Bolsa de porexpan
 FLAW: Bag of styrofoam

Figura nº 32. Defectos inducidos en el pilote de prueba.
 Figure 32. Flaws induced in the test pile

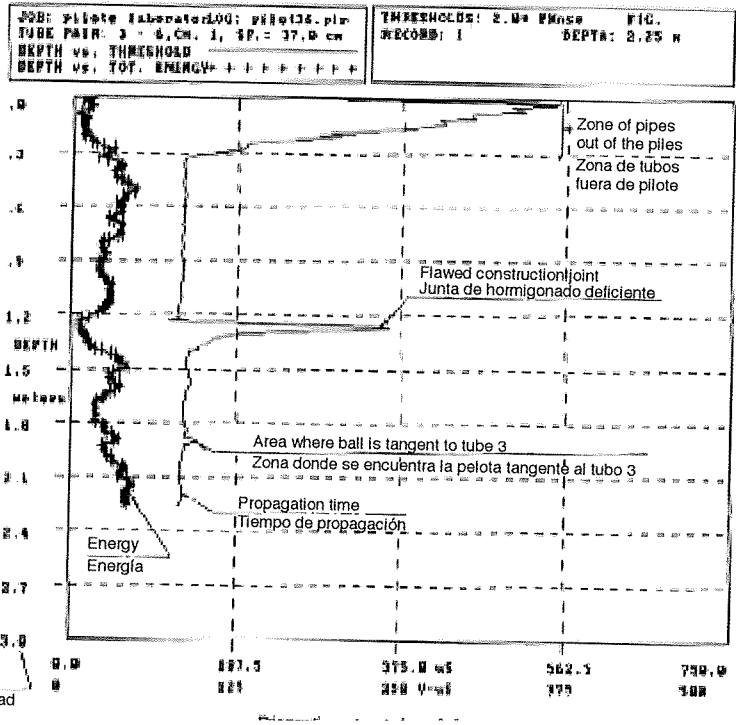


Figure 33a. Diagraph 3-6
Figura 33a. Diagrafia 3-6

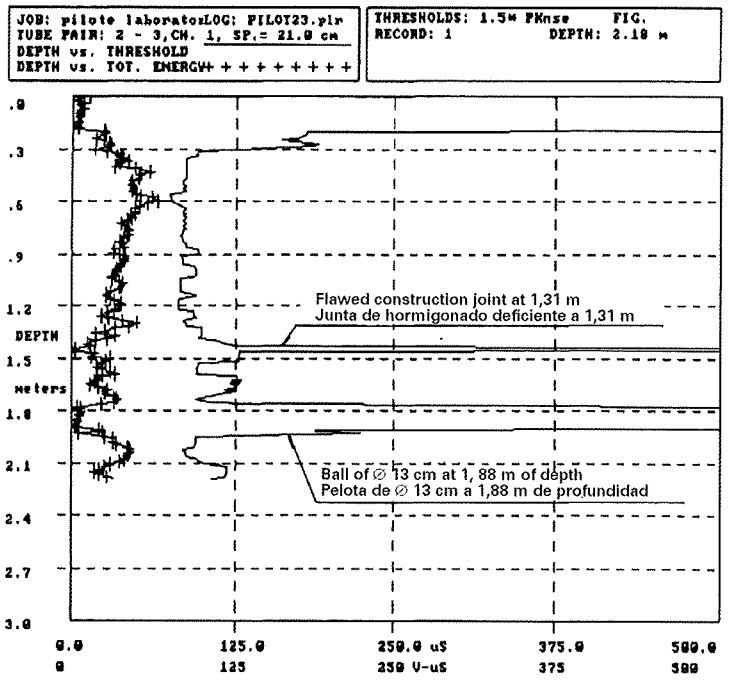


Figure 33b. Diagraph 2-3
Figura 33b Diagrafia 2-3

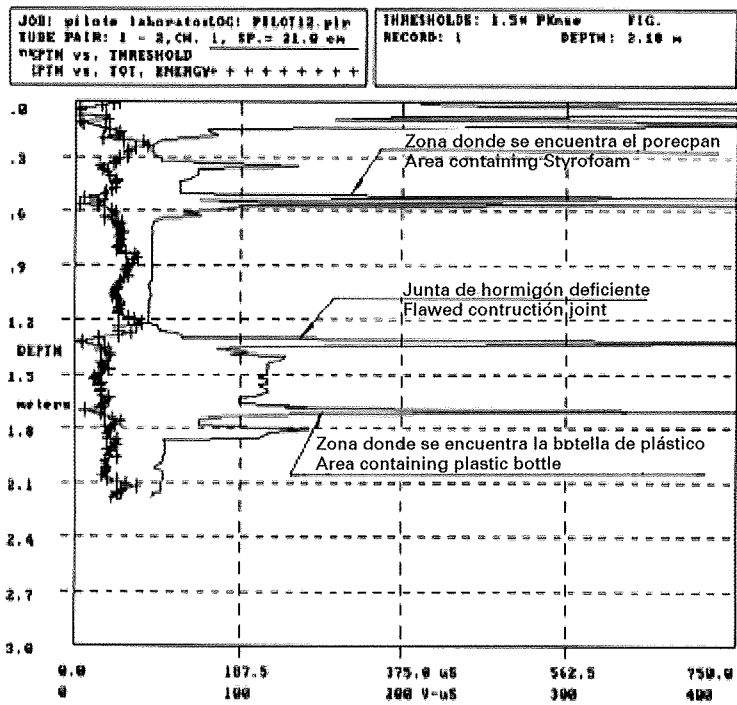


Figura 33c . Diagrafía 1-2
 Figure 33c. Diagraph 1-2

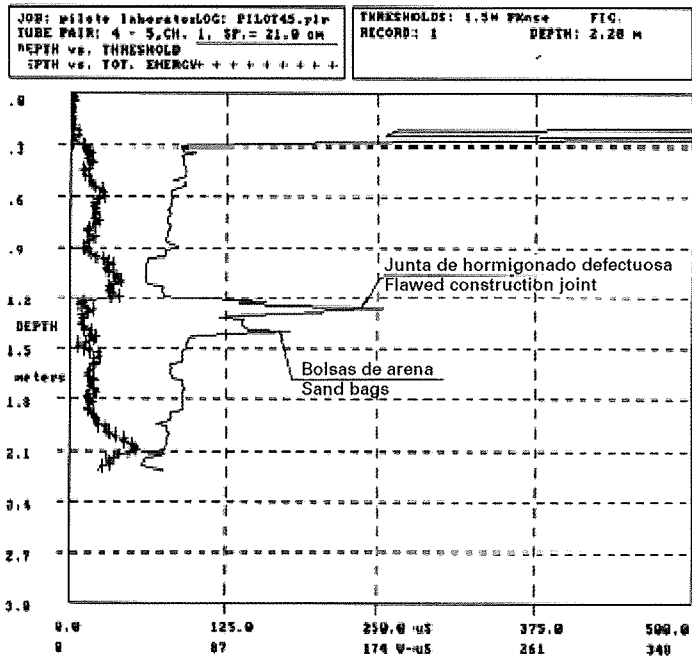


Figura 33d. Diagrafía 4-5
 Figure 33d. Diagraph 4-5

The tests conducted in INTEMAC's Central Laboratory confirmed that, as discussed above, the crosshole method applied to piles containing at least four probe tubes detects anomalies affecting approximately 5 % or over of the pile cross-section, provided the spectrum for the section is reviewed in detail. Such analysis can only be conducted, however, if the instruments are able to deliver not only the diagraphs but also the spectrum obtained for each wave. In future, the development of software to process signals with tomographic methods will facilitate defect analysis.

REFERENCES

- AFNOR. "SOLS, reconnaissance et essais. Auscultation d'un element de fondation. Partie 1. Méthode par transparence". NFP 94-160-1, 1993.
- ASTM. "Standard Test Method for Integrity Testing of Concrete Dep. Fondations by Ultrasonic Crosshole Testing" ASTM D 6760-02.
- Arnau Rodríguez, J.M.; Fernández Tadeo, C y Correa Lloreda, L; "Ensayo de Control de integridad en pilotes". Cimbra, Enero de 1993.
- Benatov, B; Farazo, C y Noret, A. Aplicación de Métodos no destructivos a los controles de cimentación profundos en España. Revista de Ingeniería Civil, 1979.
- Chernauskas, L.R, and Paikowsky, S.G (1999). " Deep foundations integrity testing: Techniques and case histories". Civ. Eng. Pract., 14(1), 39-56.
- Finno, R.J, and Champy, P. (1997). "Cross-hole sonic logging evaluation of drilled shafts at the Northwestern University National Geotechnical Experimentation Site". Final Rep. Dept. of Civil Engineering, Northwestern Univ.
- Samman, M.M., and O'Neill, M.W. (1997). "The reliability of sonic testing of drilled shafts". Concr. Int., 19(1), 49-54.
- Ley, J, Fernández, J y Rozas, J.J.; "Auscultación de defectos en pilotes mediante técnicas de sondeo sónico" I Congreso de la Asociación Científico Técnica del Hormigón Estructural. Congreso de Puentes y Estructuras.1996
- CEDEX. "Recomendaciones para la ejecución e interpretación de ensayos de integridad de pilotes y pantallas "in situ".
- Zhang,D.Q.Li ;Tang,W.H." Reability Evaluation of Cross-Hole Sonic Logging for Bored Pile Integrity. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering .ASCE Sept 2005
- Chan,F.W.Y.;Tsang,S.W.F. Quality assurance of concrete foundation elements using an ultrasonic evaluation technique. Insight V 48 Junio 2006
- Olson, L.D and Hollema, D.A "Crosshole Sonic Logging and velocity Tomography Imaging of Drilled Shaft Foundations" International Symposium (NDT-CE 2003)
- Klingmueller, O. and Kirsch F. 2 Review of years of German Practice of Pile Integrity Testing and Possible Developments.

Los ensayos realizados en nuestro Laboratorio Central confirman que efectivamente como ya se había comentado anteriormente, el método de Cross - Hole cuando se aplica a pilotes en los que se han dejado al menos cuatro tubos permite detectar anomalías que supongan aproximadamente un 5% de la sección transversal del pilote si se hace un estudio pormenorizado del espectro de la onda en la sección afectada. Para ello es básico que el equipo de auscultación no solo proporcione las diagragfías sino también el archivo del espectro de cada una de las ondas obtenidas para realizar su posterior análisis. En un futuro próximo el desarrollo del software para el tratamiento de la señal mediante métodos tomográficos permitirá realizar de forma más fácil el análisis de los defectos.

BIBLIOGRAFÍA

- AFNOR. "SOLS, reconnaissance et essais. Auscultation d'un element de fondation. Partie 1. Méthode par transparence". NFP 94-160-1, 1993.
- ASTM. "Standard Test Method for Integrity Testing of Concrete Dep. Foundations by Ultrasonic Crosshole Testing" ASTM D 6760-02.
- Arnau Rodríguez, J.M.; Fernández Tadeo, C y Correa Lloreda, L; "Ensayo de Control de integridad en pilotes". Cimbra, Enero de 1993.
- Benatov, B; Farazo, C y Noret, A. Aplicación de Métodos no destructivos a los controles de cimentación profundos en España. Revista de Ingeniería Civil, 1979.
- Chernauskas, L.R, and Paikowsky, S.G (1999). " Deep foundations integrity testing: Techniques and case histories". Civ. Eng. Pract., 14(1), 39-56.
- Finno, R.J, and Champy, P. (1997). "Cross-hole sonic logging evaluation of drilled shafts at the Northwester University National Geotechnical Experimentation Site". Final Rep. Dept. of Civil Engineering, Northwestern Univ.
- Samman, M.M., and O'Neill, M.W. (1997). "The reliability of sonic testing of drilled shafts". Concr. Int., 19(1), 49-54.
- Ley, J, Fernández, J y Rozas, J.J.; "Auscultación de defectos en pilotes mediante técnicas de sondeo sónico" I Congreso de la Asociación Científico Técnica del Hormigón Estructural. Congreso de Puentes y Estructuras.1996
- CEDEX. "Recomendaciones para la ejecución e interpretación de ensayos de integridad de pilotes y pantallas "in situ".
- Zhang,D.Q.Li ;Tang,W.H." Reability Evaluation of Cross-Hole Sonic Logging for Bored Pile Integrity. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering .ASCE Sept 2005
- Chan,F.W.Y.;Tsang,S.W.F. Quality assurance of concrete foundation elements using an ultrasonic evaluation technique. Insight V 48 Junio 2006
- Olson, L.D and Hollema, D.A "Crosshole Sonic Logging and velocity Tomography Imaging of Drilled Shaft Foundations" International Symposium (NDT-CE 2003)
- Klingmueller, O. and Kirsch F. 2 Review of years of German Practice of Pile Integrity Testing and Possible Developments.

Relación de Personal Titulado de INTEMAC

Arquitectos

Benito Díez, María Pilar
Fernández Sáez, Ana María
Fraile Mora, Serafín
González Balseyro, María José
Luzón Cánovas, José M^a
Nieto Esteban, Eva
Sánchez Arroyo, Jesús M^a
Sicilia Mañá, Beatriz
Vergara Pérez, Carlos

Ingenieros Aeronáuticos

Alonso Gordo, Ana
Hernández Pamplona, Juan Vicente
* París Loreiro, Angel
Moreno Toriz, Juan José

Ingenieros de Caminos

Baena Alonso, Eva
* Barrios Corpa, Jorge
Barrios Corpa, Roberto
* Calavera Ruiz, José
Calderón Bello, Enrique
Castillo Fernández, Luis Javier
Corbacho Vicioso, José Angel
Cortés Bretón, Juan María
De la Cuerda del Olmo, Francisco Javier
De la Fuente Gómez, Ana Isabel
Dávila Sánchez-Toscano, Suyapa
Díaz Heredia, Elena
Díaz Lorenzo, Lucía
Díaz Lozano, Justo
Díaz Pavón Cuaresma, Eduardo
* Fernández Gómez, Jaime Antonio
Fernández Montes, David Constantino
García Oliva, Miriam
García de Diego Cano, Eva María
Gómez Mariño, Cristina
González González, Juan José
* González Valle, Enrique
* Hostalet Alba, Francisco
* Izquierdo Bernaldo de Quirós, José M^a
Jiménez Ortiz, Gonzalo
León Bello, Raúl
* Ley Urzaiz, Jorge
López Dormal, Mariano
Menéndez Martínez, Laura
Mísol Moyano, Carolina
Pérez García, Noemí
* Rodríguez Escribano, Raúl Rubén
* Rodríguez Romero, Jesús M^a
Rueda Contreras, Jorge Ladislao
Ruiz Jiménez-Alfaro, Felipe
Sanz Pérez, Lorenzo
Tapia Menéndez, José
Torre Cobo, María Carmen

Valdés Fernández de Alarcón, Pablo
Villanueva Ramírez, Santiago

Ingeniero en Cartografía y Geodesia

López-Canti Casas, Elisa

Ingenieros Civiles

Almeida da Silva, Pedro Miguel
Teixeira Martins, Hermano Tiago

Ingenieros Geólogos

Catalán Navarro, Antonio

Ingeniero I.C.A.I.

Marín Estévez, Gonzalo

Ingenieros Industriales

* Alvarez Cabal, Ramón Amado
Argüelles Galán, Manuel
Arroyo Arroyo, José Ramón
Bayonne Sopo, Enrique
Borraz López, Alfonso
De la Cruz Morón, Diego
Estrada Gómez, Rafael
Gasca Martínez, Antonio
González Carmona, Manuel
Ibañez Mayayo, Miguel
Liébana Ramos, Miguel Angel
López de Asiaín Gamazo, Leticia Teresa
Mainar Durán, Alejandro
Martos Ojanguren, Víctor
Pou Esquiús, Carles
Ramírez de la Pinta, Rubén
Suárez Fernández, Antonio
* Valenciano Carles, Federico

Ingeniero de Minas

Ramos Sánchez, Adelina

Ingeniero de Montes

Carrillo Bobillo, Oliva

Dra. en Geografía e Historia

Calavera Vayá, Ana María

Licenciada en Administración y Dirección de Empresas

Perales Gómez, Natalia

Licenciado en Ciencias Ambientales

Gil Esteban, Luis Miguel

Licenciado en C. Económicas y Empresariales

González Chavero, Antonio

Licenciado en Ciencias Físicas

Salas Roa, Luis David

Licenciada en Ciencias Políticas y de la Administración

Estébanez Morer, Ana María

Licenciados en Ciencias Químicas

Grandes Velasco, Sylvia María

López Sánchez, Pedro

Morgado Sánchez, José Carlos

Licenciado en Derecho

Jarillo Cerrato, Pedro

Licenciados en Geología

Blanco Zorroza, Alberto

Casado Chinarro, Alejandro

Catalán Navarro, Antonio

Lara Avila, Carlos

López Velilla, Oscar

Martín López, Jesús Heliodoro

Usillos Espín, Pablo

Licenciada en Filología Hispánica

Valentín Sierra, M^a Consuelo

Licenciada en Psicología

Catalá Pellón, Diana

Master of Science in Civil Engineering

Hoogendoorn, Peter Paul

Arquitectos Técnicos

Carrato Moñino, Rosa M^a

Díaz Lorenzo, Lucía

Jiménez Salado, Borja

Montejano Jiménez, María del Carmen

Vicente Minguela, Francisco

Ingeniero Técnico Aeronáutico

Mainar Durán, Alejandro

Ingeniero Técnico Forestal

Carrillo Bobillo, Oliva

Ingeniero Técnico en Informática de Gestión

Esteban Pérez, Ramón

Ingenieros Técnicos Industriales

Alcubilla Villanueva, Rubén

Ases Rodríguez, Cristóbal

Jiménez Rodríguez, José Antonio

Madueño López, Javier

Madueño Moraño, Antonio

Quílez Hernáiz, Sonia

Remacha Mangado, Mikel

Rodríguez Luque, Ana María

Ruiz Rivera, Rafael

Villar Riñones, Jesús

Ingeniero Técnico de Minas

Sillero Arroyo, Andrés

Ingenieros Técnicos Obras Públicas

Alcubilla Villanueva, Rubén

Ases Rodríguez, Cristóbal

Jiménez Rodríguez, José Antonio

Madueño López, Javier

Madueño Moraño, Antonio

Quílez Hernáiz, Sonia

Remacha Mangado, Mikel

Rodríguez Luque, Ana María

Ruiz Rivera, Rafael

Villar Riñones, Jesús

Ingenieros Técnicos Topógrafos

Amador Orensa, Germán

Barragán Bermejo, M^a Vicenta

Carreras Ruiz, Francisco

De Francisco Rodríguez, Francisco

López de Castro, Daniel

López Jiménez, Luis

Martínez Ochando, Eduardo

Sánchez Martín, María de la O

Torés Campos, Ana M^a

Técnicos en Administración de Empresas

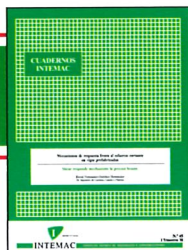
Cebrián Sobrino, M^a José

Técnico en Publicidad

Blanco Armas, Cristina

*NOTA: Todo el personal de INTEMAC trabaja en dedicación completa y exclusiva, con la excepción de las personas arriba indicadas con * a las que se autoriza la dedicación a la Enseñanza Universitaria en régimen de dedicación parcial.

CUADERNOS INTEMAC



CUADERNOS INTEMAC es una publicación trimestral, bilingüe en español e inglés, en forma de monografías que recogen trabajos realizados por los técnicos del Instituto o presentados en los Cursos y Conferencias organizados por el mismo.

Los temas tratados cubren tanto el campo de las Obras Públicas como el de la Edificación y sus Instalaciones.

Precio de la suscripción Año 2010: 35 €

ÚLTIMOS TÍTULOS PUBLICADOS

Cuaderno Nº 77

“El muro de contención para el nuevo Museo de Colecciones Reales”.
Autores: ALBERTO BLANCO ZORROZA, ROBERTO BARRIOS CORPA Y JOSÉ ÁNGEL CORBACHO.

Cuaderno Nº 78

“Metodología e interpretación de los ensayos de integridad de pilotes (Cross-Hole). Defectos más comunes detectados en pilotes reales”.
Autor: JORGE LEY URZAIZ.

CUADERNOS DE PRÓXIMA APARICIÓN

Cuaderno Nº 79

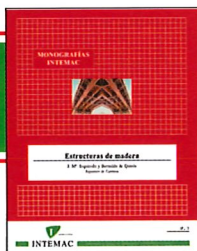
“Estanque de tormentas de Arroyofresno. Control de hormigones y de equipos”.
Autores: FEDERICO VALENCIANO CARLES, LUIS GONZÁLEZ NUÑO Y FERNANDO LÓPEZ ORTÚN.

Cuaderno Nº 80

“Factores que afectan a la resistencia y durabilidad de las aceras pavimentadas con baldosas de hormigón”.
Autor: FERNANDO CATALÁ MORENO.

Consulte lista completa de la Colección

MONOGRAFÍAS INTEMAC



Publicación de INTEMAC con un carácter eminentemente práctico destinada a tratar temas muy concretos que, o bien presentan un nivel de problemas acusado en la práctica, o bien están insuficientemente cubiertos por la Normativa y la documentación técnica correspondientes.

MONOGRAFÍA INTEMAC Nº 5

“Mantenimiento y reparación de paramentos de hormigón”.
Autores: R. Barrios Corpa, C. Beteta Cejudo, E. Díaz Heredia, Prof. J. Fernández Gómez, J. M. Rodríguez Romero.
Precio de la Monografía 38 €

MONOGRAFÍA INTEMAC Nº 6

“Patología, técnicas de intervención y limpieza de fábricas de ladrillo”.
Autores: P. López Sánchez, J. M. Luzón Cánovas, I. Martínez Pérez, A. Muñoz Mesto, A. Fernández Sáez.
Precio de la Monografía 38 €

MONOGRAFÍA INTEMAC Nº 7

“Estructuras de madera”.
Autores: J. M. Izquierdo y Bernaldo de Quirós.
Precio de la Monografía 38 €

NOTAS DE INFORMACIÓN TÉCNICA NIT



Con independencia de la serie de Cuadernos de INTEMAC, de los que se publica un número trimestral, bilingüe en español e inglés, en INTEMAC se producen, con acentuada frecuencia notas de información sobre aspectos concretos que pensamos que no solamente tienen una utilidad interna, sino que pueden resultar interesantes para muchos Técnicos de la Construcción.

Las Notas se envían únicamente por correo (pago por transferencia o tarjeta de crédito).

NIT-5 (06)

Influencia de la oxidación y de las manchas de mortero sobre la adherencia de armaduras de hormigón
J. Calavera Ruiz, A. Delibes, J. M. Izquierdo y Bernaldo de Quirós, G. González Isabel.
Edición en español, en color. 12 páginas
Precio 14 €

NIT-6 (07)

El previsible descenso de la seguridad en pilares con la entrada en vigor del Eurocódigo EC-2, y la necesidad de un control estricto de la calidad del hormigón en pilares

J. Calavera Ruiz.

Edición en español, en color. 10 páginas

Precio 12 €

VÍDEOS TÉCNICOS Y DVD'S

Fabricación y ensayo de probetas de hormigón.

Nº 2001 (1-1)

Contempla de forma completa y detallada el proceso de toma de muestras de hormigón fresco en obra, la medida de la consistencia con el Cono de Abrams, fabricación de probetas, curado en obra, transporte al laboratorio, curado en cámara, refrentado y ensayo a compresión.

Esta nueva versión del vídeo 8801 (1), introduce las modificaciones de EHE y un sistema de estudio de la distribución de presiones de la prensa sobre la probeta así como los aspectos particulares del ensayo de hormigones de alta resistencia.

30 minutos - 25 €



Fabricación y control de calidad de barras y mallas para hormigón armado.

Nº 2002 (1-2)

Muestra el proceso de laminación en fábrica de las barras y alambres, la fabricación de mallas y los ensayos de tracción, doblado, arrancamiento de nudos y determinación de las características geométricas del corrugado y el ensayo de Beam-test para la determinación de las características de adherencia.

30 minutos - 25 €



Compresión centrada en hormigón armado.

Nº 2002 (1-4)

Contempla la rotura de siete pilares a escala real, variando resistencias de hormigón desde 25 Mpa a 70 Mpa, las cuantías de armaduras, la separación de estribos y la velocidad de carga conectando todo ello con las fórmulas de cálculo.

35 minutos - 25 €

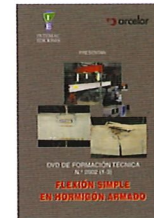


Flexión simple en hormigón armado.

Nº 2002 (1-3)

Incluye el ensayo a rotura de cinco vigas a escala real, con diferentes cuantías y diferentes desarrollos de adherencia conectando todo ello con las fórmulas de cálculo.

35 minutos - 25 €



Esfuerzo cortante en hormigón armado.

Nº 2002 (1-5)

Muestra el ensayo a rotura de cinco vigas a escala real, con diferentes formas de rotura por corte (Tracción diagonal, corte flexión, compresión diagonal, etc.) conectando todo ello con las fórmulas de cálculo.

25 minutos - 25 €



BOLETÍN BIBLIOGRÁFICO

INTEMAC viene realizando desde su fundación un BOLETIN BIBLIOGRAFICO para uso interno, que ofrece, en una lectura rápida, un panorama general de todas las publicaciones técnicas disponibles. Desde 1991, esta publicación bimestral, ha sido puesta a disposición del público.

EL BOLETIN BIBLIOGRAFICO incluye:

Fotocopia del índice y de los resúmenes de los artículos contenidos en las 105 revistas técnicas que se reciben en el Instituto referentes a los campos de la Edificación, Instalaciones, Obras Públicas y Urbanismo.

Una sección de Normativa reciente, nacional y extranjera.

Secciones de Bibliografía y Cursos.

Una sección de Congresos, Reuniones Técnicas y Ferias de próxima celebración en todo el mundo.

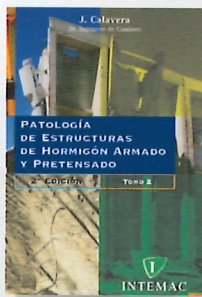
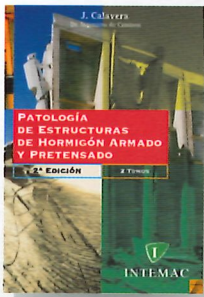
Tarifa de suscripción anual (6 números) 200 €



Consulte otras publicaciones

www.intemac.es

PUBLICACIONES



Patología de estructuras de hormigón armado y pretensado 2ª edición (2 tomos)

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 135 €



Fichas de ejecución de obras de hormigón 3ª edición

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 68 €

Nueva publicación

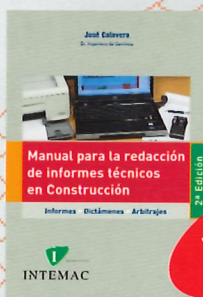


Proyecto y Cálculo de Estructuras de Hormigón 2ª edición (2 tomos)

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 180 €

Nueva edición



Manual para la redacción de informes técnicos en construcción 2ª edición

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 90 €

Nueva edición



Manual de Ferralla 3ª edición

J. Calavera, E. González Valle, J. Fernández Gómez, F. Valenciano

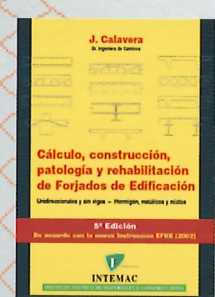
Precio: 45 €



Proyecto de estructuras de hormigón con armaduras industrializadas

J. Calavera, E. González Valle, J. Fernández Gómez, F. Valenciano

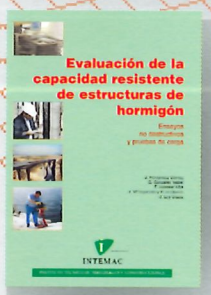
Precio: 50 €



Cálculo, construcción, patología y rehabilitación de forjados de edificación 5ª edición

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 113 €



Evaluación de la capacidad resistente de estructuras de hormigón

J. Fernández Gómez, G. González Isabel, F. Hostalet Alba, J. M^a Izquierdo, J. Ley Urzaiz

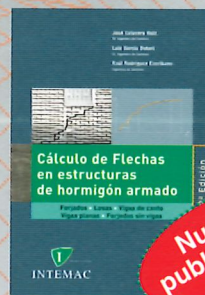
Precio: 64 €



Muros de contención y muros de sótano 3ª edición

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 80 €



Cálculo de flechas en estructuras de hormigón armado 2ª edición

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos), L. García Dutari (Ingeniero Civil), R. Rodríguez (Ingeniero de Caminos)

Precio: 110 €

Nueva publicación



Manual de detalles constructivos en obras de hormigón armado

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Libro: 123 € CD-ROM: 198 €

El libro y el CD-ROM pueden adquirirse conjuntamente o por separado

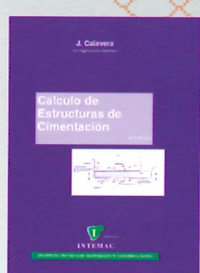
Software asociado en ficheros de AutoCAD



Ejecución y control de estructuras de hormigón

J. Calavera, P. Alaejos Gutiérrez, J. Fernández Gómez, E. González Valle, F. Rodríguez García

Precio: 133 €



Cálculo de estructuras de cimentación 4ª edición

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 80 €



Hormigón de alta resistencia

G. González-Isabel (Ingeniero Técnico de O. P.)

Precio: 47 €



Tecnología y propiedades mecánicas del hormigón

A. Delibes (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 57 €