

Ensayos dinámicos de carga en pilotes prefabricados hincados para la cimentación de estructuras en la Isla de la Cartuja (Expo'92 - Sevilla) ⁽¹⁾

JOSE CANDELA GONZALEZ (*)
BORJA SAINZ DE BARANDA GRAF (**)

RESUMEN. La realización de ensayos dinámicos de carga en pilotes como control sistemático del pilotaje y en la posible optimización de la profundidad del mismo, es una práctica cada día más usual y extendida a nivel internacional. En nuestro país ha demostrado ser una herramienta imprescindible en muchas obras de cimentación mediante pilote prefabricado hincado. Un ejemplo claro de aplicación lo ha constituido la cimentación de estructuras y edificios en el recinto de la Isla de la Cartuja (Expo'92), donde gracias a este método se ha conseguido reducir la profundidad del pilotaje en un considerable número de obras.

DYNAMIC TESTS ON PRECAST CONCRETE DRIVEN PILES FOR THE FOUNDATIONS OF STRUCTURES ON THE ISLA DE LA CARTUJA (EXPO'92 - SEVILLE)

ABSTRACT. *The practice of performing dynamic load tests on piles, to control the foundation system and for the possible optimization of the laying depth, is becoming increasingly common and widespread on an international level. In Spain, it has proved to be an essential tool in many foundation works using precast concrete driven piles. A clear example of this application, was in the foundations of the structures and building on the Isla de la Cartuja (Expo'92). Thanks to this method, it was possible to reduce the pile foundation level in a considerable number of works.*

1. INTRODUCCION

La falta de un conocimiento completo del comportamiento del sistema de ejecución de la hincada de pilotes, así como el suelo donde ésta tiene lugar, trae consigo la necesidad de adoptar coeficientes de seguridad altos en los proyectos de cimentación mediante pilotes, lo que a la larga supone un encarecimiento de tal cimentación. Para poder eliminar tales incertidumbres es preciso realizar ensayos encaminados a obtener la capacidad portante del pilote, así como su integridad estructural. Una forma de obtener los resultados de capacidad e integri-

dad del pilote es realizar la llamada «prueba estática de carga», la cual supone un considerable costo de dinero, así como tiempo para su correcta ejecución. Esto último hace que los casos en los que dicha prueba se realiza sean pocos. Por otra parte, la información que dicha prueba proporciona tiene un carácter puntual, dando a conocer sólo el comportamiento del sistema pilote-suelo en los escasos puntos de la obra en que se realiza.

Para tener en cuenta el efecto que produce la hincada del pilote sobre sí mismo se contaba, hasta hace unos años, únicamente con fórmulas de hincada basadas en el principio de conservación de la energía. Con el desarrollo de nuevas técnicas en el campo de la electrónica se han conseguido procedimientos de medición de las variables fundamentales que gobiernan el fenómeno dinámico de la hincada de pilotes. En esta línea han proliferado durante las dos últimas décadas los sistemas de medición electrónica, hasta el punto de que en algunos países, como Estados Unidos, Suecia, Inglaterra, etc.,

(1) Conferencia pronunciada dentro del ciclo «Jornadas sobre obras de interés geotécnico ejecutadas por los constructores españoles» organizado por la Sociedad Española de Mecánica del Suelo y Cimentaciones.

(*) Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Grupo TERRATEST.

(**) Licenciado en Ciencias Geológicas. Grupo TERRATEST.

se han convertido en el procedimiento habitual de análisis en los trabajos de pilotaje.

El sistema de medida está basado en el análisis de la onda de tensión que se propaga a lo largo del pilote y que tiene lugar al producirse el impacto del martillo sobre la cabeza del mismo durante su hincado.

El primer intento de utilización de dichos análisis dinámicos fue debido a Glanville et al. (1938), pero debido a la poca precisión y sencillez de los sistemas de medida de esos años, no fue hasta la década de los sesenta cuando se desarrollaron, con ayuda de la electrónica, los diferentes sistemas de medida dinámicos.

El programa de investigación más extenso de análisis y medida de la onda de extensión se inició en los Estados Unidos en el año 1964 en el Instituto de Tecnología Case (ahora llamado *Case Western Reserve University*) de Cleveland (Ohio) y se continuó durante los doce años siguientes. A lo largo de estos años se han desarrollado estudios teóricos y realizado medidas con distintos equipos electrónicos de análisis que se han ido perfeccionando con las innovaciones que han aportado la electrónica (Goble et al., 1980).

Así se desarrolló el llamado Método Case, que toma el nombre del Instituto donde se elaboró. El método consiste en la medición de las aceleraciones y fuerzas que tienen lugar en la cabeza del pilote durante la hincado. Estas medidas se realizan con la ayuda de un sistema transductor constituido por acelerómetros y extensómetros que se acoplan al pilote. Posteriormente, dichas medidas son analizadas y procesadas «in situ» y en laboratorio, dando una completa información sobre los siguientes puntos:

- Capacidad portante del pilote.
- Comportamiento del sistema pilote-suelo durante la hincado.
- Integridad estructural del pilote.
- Tensiones producidas en el pilote durante la hincado.
- Eficacia del sistema de hincado.

A finales de los años sesenta se diseñó un procesador de señales de fuerza y aceleración, conocido con el nombre de *Pile Driving Analyzer* (Analizador de Hincado de Pilotes), con capacidad para operar en el campo y facilidad de transporte a obra.

2. FUNDAMENTO TEORICO Y METODOLOGIA DE ENSAYO

2.1. ONDA DE TENSION

Como ya se ha indicado antes, la base teórica en la cual se apoyan los métodos de análisis de hincado de pilotes consiste en el estudio y medida de la onda de choque que se propaga a lo largo del pilote, provocada por el impacto del martillo sobre la cabeza del mismo.

En el momento del golpe del martillo sobre la cabeza del pilote la onda de tensión comienza a propagarse en el pilote con la velocidad del sonido, siendo ascendente en el martillo y descendente en el pilote. Esta onda des-

cendente en el pilote se comporta como una onda de compresión, con las reflexiones provocadas por las irregularidades existentes, hasta que alcanza la punta del pilote, donde dicha onda es reflejada. Si el pilote está trabajando como pilote flotante en terrenos blandos, la onda reflejada resultante es una onda de tracción en el pilote, mientras que en los casos de terreno consistente, trabajando el pilote como pilote columna, la onda reflejada es de compresión (Fig. 1).

En el caso de pilote empotrado en la punta, se produce la compresión de una zona del mismo. Esta compresión da lugar a una deformación ϵ y por tanto a una fuerza que será donde:

$$F = \epsilon \cdot E \cdot A$$

E = Módulo de elasticidad del pilote.

A = Área de la sección transversal del pilote.

Esta fuerza F produce la compresión de las partículas inmediatas y en la zona comprimida las partículas entran en movimiento con una velocidad V en el pilote. Al comunicar dicha velocidad V a una partícula de masa m durante un período de tiempo t , la partícula es acelerada debido a la fuerza de inercia de valor:

$$F = m \cdot \frac{V}{\Delta t}$$

Esta fuerza de inercia deberá estar en equilibrio con la fuerza de deformación producida (Fig. 2).

Por otra parte, la deformación en el pilote se producirá a una cierta velocidad que será la velocidad de propagación de la onda en el pilote c .

En un intervalo de tiempo Δt la onda se desplaza una longitud ΔL que será igual a $\Delta L = c \cdot \Delta t$. En este mismo intervalo de tiempo Δt , se habrá producido una deformación δ desde el punto que inicialmente estaba todavía en reposo.

Al ser δ la deformación correspondiente a una longitud ΔL podemos expresar:

$$\epsilon = \frac{\delta}{\Delta L}, \text{ como } \Delta L = c \cdot \Delta t,$$

$$\epsilon = \frac{\delta}{c \cdot \Delta t}$$

Como la partícula se trasladó una distancia δ en un tiempo Δt podemos considerar la velocidad de la partícula v como:

$$V = \frac{\delta}{\Delta t}$$

como lo que llegamos a:

$$\epsilon = \frac{V}{c}$$

Según esto, podemos decir que la deformación unitaria producida en un punto del pilote por la propagación de la onda de tensión es proporcional a la velocidad de la partícula en dicho punto.

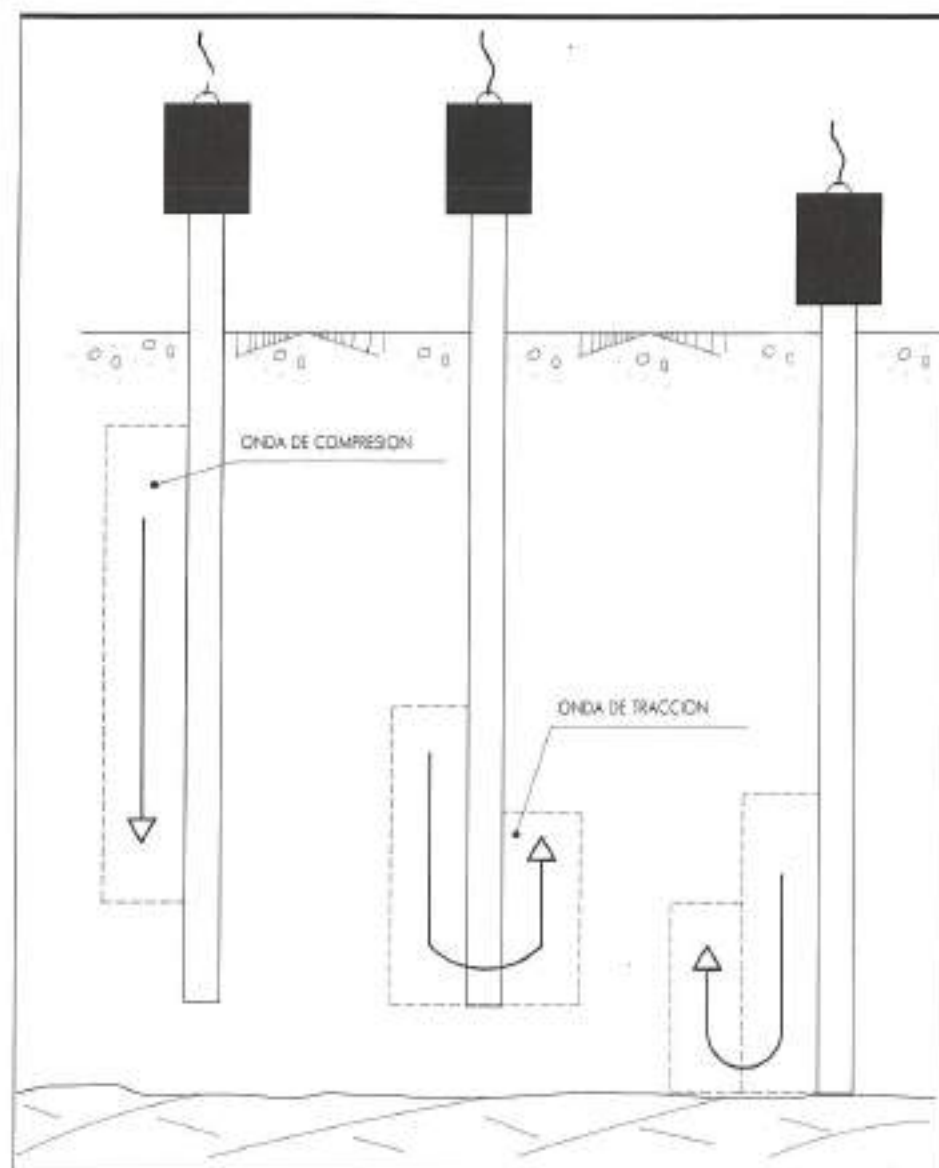


FIGURA 1. Reflexión de la onda de tensión en la punta del pilote.

Sustituyendo ϵ por dicho valor en la expresión de la fuerza de deformación llegamos a:

$$F = \epsilon \cdot E \cdot A = E \cdot A \cdot \frac{V}{c}$$

$$F = \frac{E \cdot A}{c} \cdot V$$

Esta expresión resalta un fenómeno importante de la Mecánica de Ondas, que es la proporcionalidad entre la fuerza y la velocidad producidas en el pilote mientras las ondas de tensión se propagan en una sola dirección.

La constante de proporcionalidad

$$\frac{E \cdot A}{c}$$

es una característica del pilote y de su material y recibe el nombre de IMPEDANCIA.

Si tenemos en cuenta ahora que la velocidad de propagación de la onda en el pilote c puede expresarse en función de E y de ϕ (densidad del material) según:

$$c = \sqrt{\frac{E}{\phi}}$$

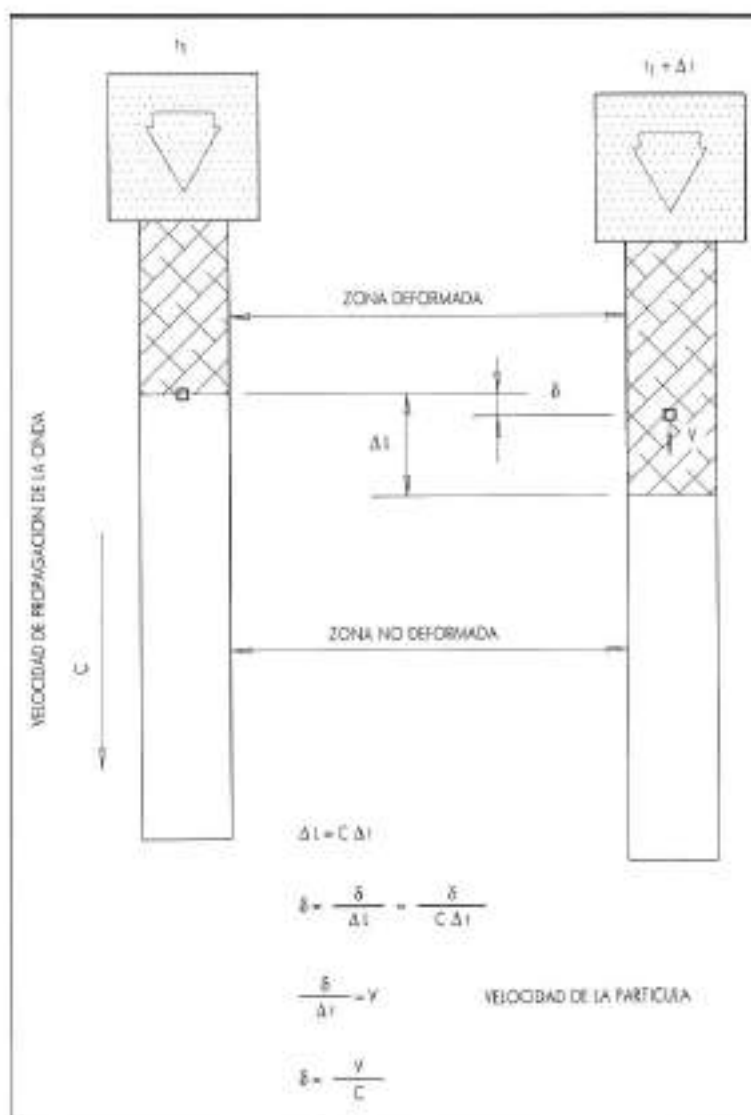
podemos llegar a expresar la impedancia del pilote

$$\frac{EA}{C}$$

de otra forma, no menos usada que la anterior:

$$\phi = \frac{m}{L \cdot A} \text{ con } m : \text{ masa del pilote}$$

FIGURA 2. Proporcionalidad entre fuerza y velocidad.



L : longitud del pilote

$$E = \rho \cdot c^2 = \frac{m}{L \cdot A} \cdot c^2$$

Laego:

$$\frac{E \cdot A}{c} = \frac{m \cdot A \cdot c^2}{L \cdot A \cdot c} = \frac{m \cdot c}{L}$$

2.2. METODO CASE

A principios de 1965 se empezó a desarrollar en la Case Western Reserve University de Cleveland (Ohio) un método de predicción de la capacidad portante del pilote basado en medidas tomadas por equipos electrónicos, en el mismo momento de la hinca (Goble et al., 1980). Tales aparatos registran los valores de la fuerza F y la aceleración a que se producen en la cabeza del pilote.

Inicialmente se consideró el pilote como un sólido

rígido de masa m al cual se le podía aplicar la ley de Newton, obteniendo la expresión.

$$R = F - (m \cdot a)$$

donde, F y a son funciones del tiempo y R es la reacción total opuesta por el suelo durante la hinca. Una de las componentes de esta fuerza resistente es función de la velocidad del pilote en cada instante. Para eliminar dicha componente, de resistencia viscosa del suelo, se tomaron los valores de F y a en el momento en que la velocidad en la cabeza del pilote era nula.

Más adelante se descubrió que el despreciar el comportamiento elástico del pilote no conducía a resultados veraces, sobre todo en pilotes largos que tuvieran una longitud de más de 18 m. Así, pues, estableciendo las hipótesis de pilote uniforme y elástico y comportamiento plástico ideal del suelo, se obtuvo en función de consi-

deraciones teóricas y experimentales la siguiente ecuación, a partir de una solución en forma cerrada de la ecuación de la onda en una dimensión,

$$R = \frac{1}{2} \left[F(t_1) + F(t_2) \right] + \frac{mc}{2L} \left[V(t_1) - V(t_2) \right]$$

donde:

$F(t)$: Fuerza en la cabeza del pilote en función del tiempo.

$V(t)$: Velocidad en la cabeza del pilote en función del tiempo.

L : Longitud del pilote por debajo del punto de medida.

c : Velocidad de propagación de la onda en el material.

m : Masa del pilote por debajo del punto de medida.

t_1 y t_2 : Tiempos elegidos durante el golpe.

Para t_2 se toma el valor

$$t_2 = t_1 + \frac{2L}{c} \quad \text{siendo} \quad \frac{2L}{c}$$

el tiempo que tarda la onda en ir y volver por el pilote.

En cuanto a la elección de t_1 , los autores proponen un valor de:

$$t_1 = t_{\max} + K \cdot \frac{2L}{c}$$

siendo $t_{\max}$ el tiempo correspondiente al primer máximo de las fuerzas, que es el momento del impacto cuando se han aplastado las almohadillas de la sufridera.

En cuanto al término $K \cdot 2L/c$, representa lo que se llama el «tiempo de retardo», que pretende tener en cuenta el diferente comportamiento que presentan los suelos consistentes frente a los más blandos en relación a la componente de resistencia viscosa. Así, K adopta diferentes valores según sea el tipo de pilote y el tipo de suelo, siendo un valor aceptable para pilotes de hormigón el de 0,25, pudiéndose tomar un valor menor, incluso 0, cuando la capa que atraviesa la punta del pilote es muy resistente.

Actualmente el Método Case expresa la resistencia del suelo R como suma de dos componentes, una estática S y una dinámica D :

$$R = S + D$$

La componente D recibe el nombre de «fuerza de amortiguamiento» y es proporcional a la velocidad de penetración del pilote, considerando ésta la de la punta del mismo.

$$D = J \cdot V_{\text{punta}}$$

La constante J de la expresión anterior tendrá determinadas dimensiones. Para conseguir un coeficiente adimensional, basta multiplicar J por el valor EA/c o bien mc/L es la impedancia del pilote. Así:

$$J = J_c \cdot \frac{EA}{c} = J_c \cdot \frac{mc}{L}$$

En cuanto a la velocidad de la punta, se producirá en el tiempo

$$t_{\max} + \frac{L}{c}$$

y según se demuestra por la teoría de propagación de la onda en el pilote, su valor es, en función de la velocidad de la cabeza del pilote:

$$V_{\text{punta}} = 2 V_{\text{cabeza}} - \frac{c}{EA} \cdot R$$

En este caso se toma t_1 como $t_{\max}$ (tiempo de impacto).

Así, podemos obtener la componente estática de resistencia del suelo S como diferencia entre la total R y la dinámica D .

$$S = R - D$$

Sustituyendo el valor de D por su valor:

$$S = R - J_c \cdot \frac{EA}{c} \left(2 V_{\text{cabeza}} - \frac{c}{EA} \cdot R \right)$$

o bien

$$S = R - J_c \cdot 2 F_{\text{tmax}} + J_c \cdot R = R - J_c (2 F_{\text{tmax}} - R)$$

La ecuación anterior es válida para el primer período $2L/c$ después de la llegada inicial de la onda de compresión a la punta del pilote.

Para determinar el valor de J_c habría que hacer, en principio, una prueba estática de carga y obtener el valor de S que, conocido el valor de R , nos daría un valor aconsejable de J_c para ese suelo. Ahora bien, después de cientos de valores obtenidos de distintas pruebas de carga, se comprueba que J_c varía en función del tipo de suelo, tomando valores desde 0,05 para arenas hasta 1,20 para arcillas.

Según lo anterior, podemos determinar, mediante el Método Case, la resistencia estática del suelo S con la única suposición razonada del valor del «coeficiente de amortiguamiento» J_c del suelo.

En la figura 3 se muestra la buena correlación que se obtiene entre el Método Case y la Prueba Estática de Carga como método de predecir la capacidad portante.

2.3. METODO CAPWAP

A principios de los años 70 se desarrolló un programa de cálculo, que completaba la investigación iniciada en el Método Case en la Case Western Reserve University, llamado CAPWAP (Programa Case de Análisis de Onda en Pilotes). Dicho programa está basado en el análisis de las medidas de fuerza y aceleración registradas en la cabeza del pilote. Mediante los valores de fuerza y velocidad (determinada por integración de la aceleración) se puede realizar un análisis dinámico tomando dichos valores medidos como valores de contorno. Para conseguir resultados satisfactorios se deben tomar, o bien valores de contorno de fuerza, o bien de velocidad. Dicho análisis dinámico puede realizarse, por otra parte, bien en

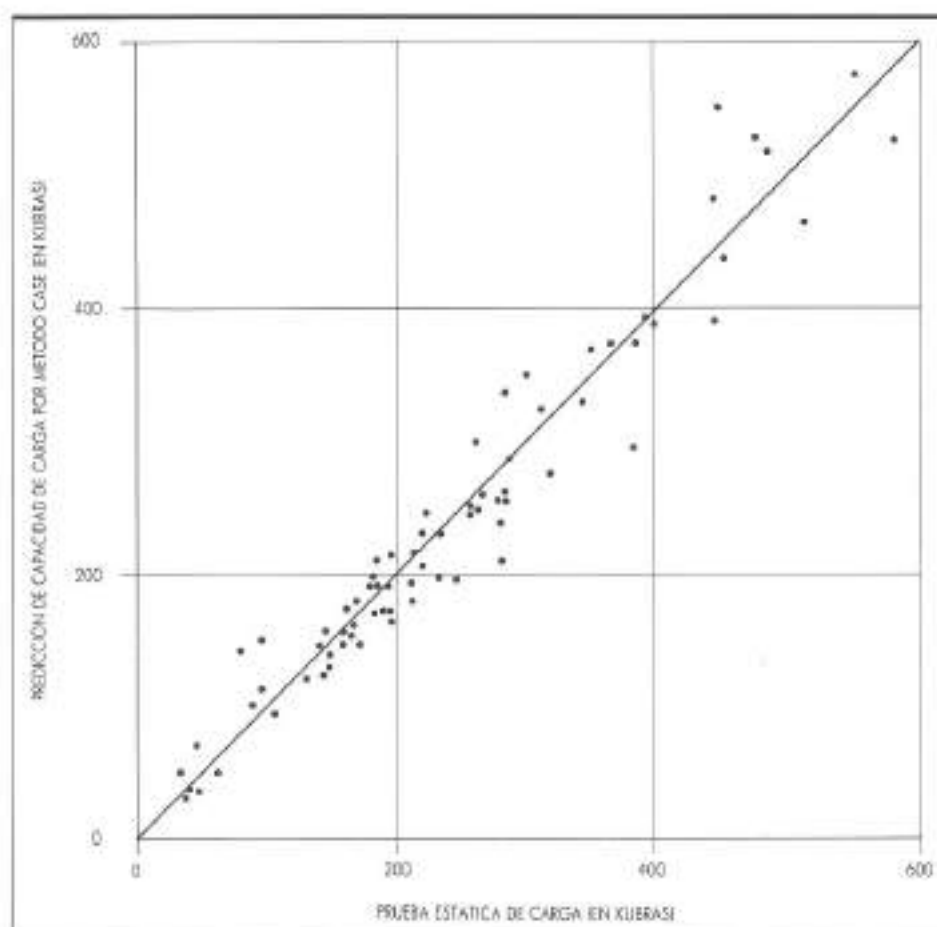


FIGURA 3. Correlación entre el método CASE y la prueba de carga estática en la predicción de la capacidad de carga.

forma cerrada o bien por procedimientos de análisis de onda, comúnmente llamados «Ecuación de Onda», en forma discreta (Goble et al., 1980).

Para realizar tal análisis es preciso considerar las fuerzas de resistencia del suelo. Por un lado, dichas fuerzas de reacción se consideran pasivas, y en el programa CAPWAP, como en casi todos los análisis de ecuación de la onda, éstas son expresadas como una función únicamente del movimiento del pilote. Por otra parte, se supone que tal fuerza de reacción del suelo está compuesta de dos componentes, una estática (elastoplástica) y una dinámica (amortiguamiento viscoso lineal). Así, pues, en cada punto existirán tres incógnitas para el suelo, a saber: la elasticidad, plasticidad y viscosidad.

El análisis dinámico realizado por CAPWAP está basado en el modelo desarrollado por Smith que discretiza el pilote en un número de masas puntuales unidas entre sí por muelles. Deben ser conocidas entonces tres constantes del suelo, por cada elemento de pilote en el tramo empotrado, que son:

- Resistencia estática: R_u .
- Desplazamiento elástico por resistencia estática del suelo: q .

— Coeficiente de amortiguamiento viscoso: J_c .

En los cálculos se suponen unos parámetros razonables para el suelo y se considera el movimiento del pilote tomando la aceleración medida como valor de contorno. Así, se obtienen no sólo todos los movimientos del pilote, sino también las fuerzas calculadas del elemento de pilote en función del tiempo.

Según lo anterior, se tendrán, por un lado, las fuerzas medidas mediante el ensayo dinámico de hincia (que son las reales) y, por otro, las fuerzas calculadas en función de los parámetros supuestos. En general, ambas fuerzas, las medidas y las calculadas, no se parecerán inicialmente, pero por un proceso iterativo modificando los parámetros del suelo se llegará a un punto en que la concordancia entre ambas fuerzas sea satisfactoria. En ese momento, los parámetros supuestos adoptados para el suelo serán los mejores valores estimados de los mismos.

La aplicación del método antes expuesto dio lugar, en 1970, a un programa de ordenador totalmente automatizado que produjo soluciones satisfactorias en pilotes que no tuvieron más de 25 m. En pilotes más largos los tiempos de proceso de datos eran excesivos. Actualmente, el programa CAPWAP realiza los cálculos itera-

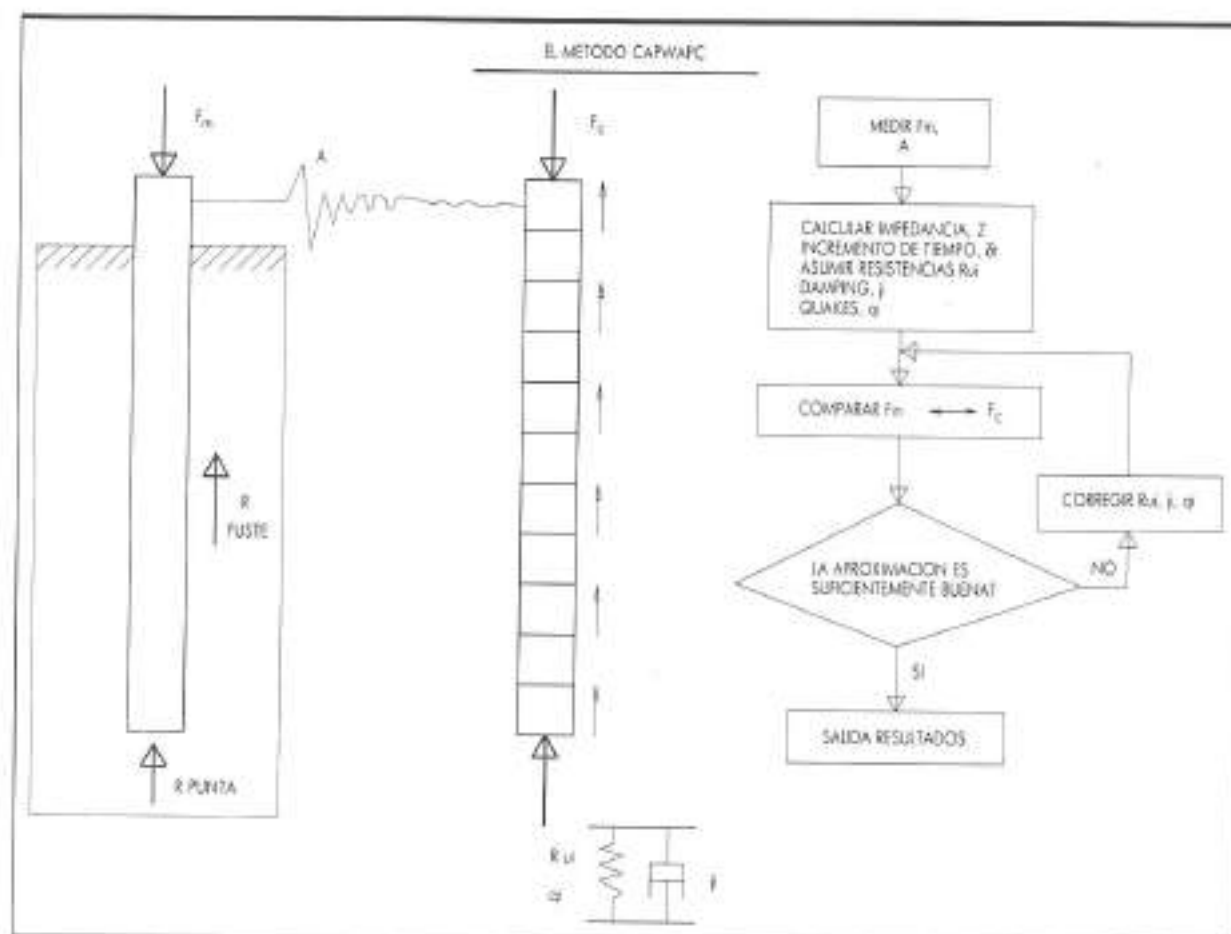


FIGURA 4. Esquema del proceso de cálculo del método CAPWAP.

tivamente de forma interactiva hombre-ordenador. El ingeniero introduce y modifica los parámetros del suelo adoptados y el ordenador hace los cálculos en cada etapa.

Finalmente, en 1984 el programa fue mejorado con la versión CAPWAP-C, que discretiza el sistema mazapilote-suelo en segmentos continuos y uniformes (Fig. 4), lo que supone un aumento en su presión. Se obtienen, así, excelentes resultados para pilotes de gran longitud.

Para realizar dicho programa se utiliza un ordenador personal y un «plotter» que dibuja las curvas de fuerza obtenidas.

Mediante este método se han analizado miles de pilotes en todo el mundo, obteniendo resultados satisfactorios. Como muestra de ello, en la figura 5 se presenta una correlación entre el Método CAPWAP y la Prueba Estática de Carga para un gran número de pilotes probados.

2.4. ANALIZADOR DE HINCA DE PILOTES

En 1970 fue utilizado, en obra, el primer analizador de

hinea con buenos resultados. Se habían incorporado mejoras en el mismo, especialmente en su sistema transductor, con la posibilidad de ser usado en condiciones ambientales difíciles y adaptándose a todo tipo de pilotes de distinta forma y material.

El equipo Analizador de Hincado de Pilotes está constituido por los siguientes componentes (Fig. 6):

- *Sistema transductor* compuesto por dos acelerómetros piezoeléctricos con amplificador interno, capacidad para frecuencia de alta resonancia y grandes niveles «g», así como dos extensómetros de resistencia. Ambos transductores son de poco peso y reutilizables en diferentes ensayos.
- *Analizador de campo* que acondiciona y amplifica las señales recibidas de los transductores convirtiendo tensiones en fuerza e integrando las aceleraciones para obtener velocidades. Con los datos de fuerza y velocidad determina la integral del producto de ambas obteniendo la energía. Además, el analizador registra los valores extremos de las variables medi-

FIGURA 5. Correlación entre el método CAPWAPC y la prueba de carga estática en la predicción de la capacidad de carga.

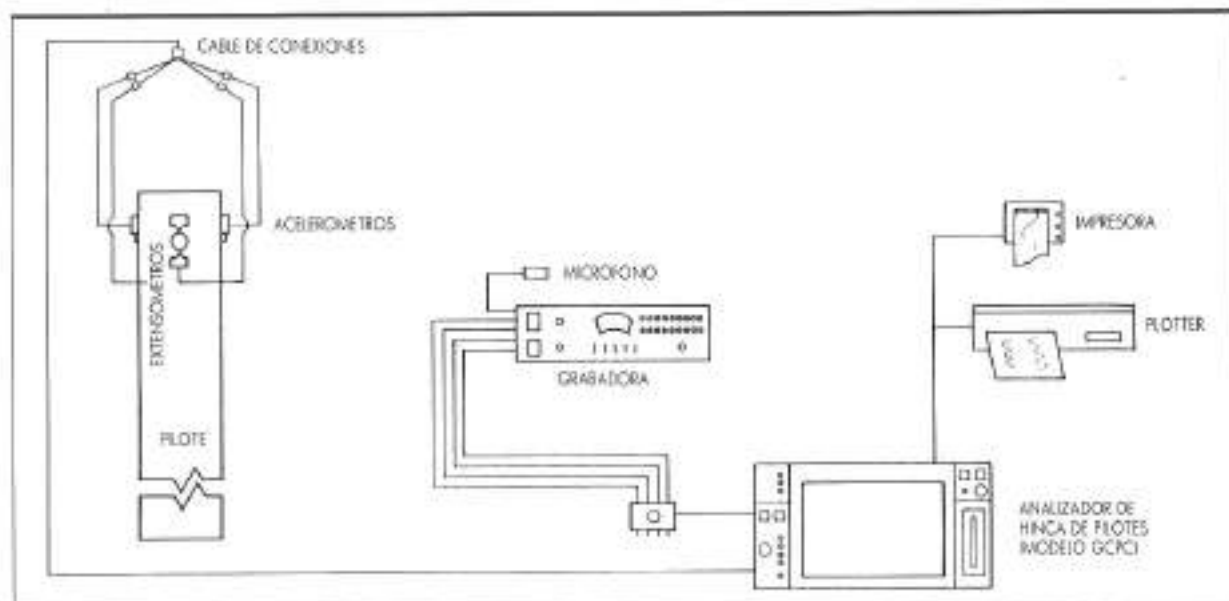
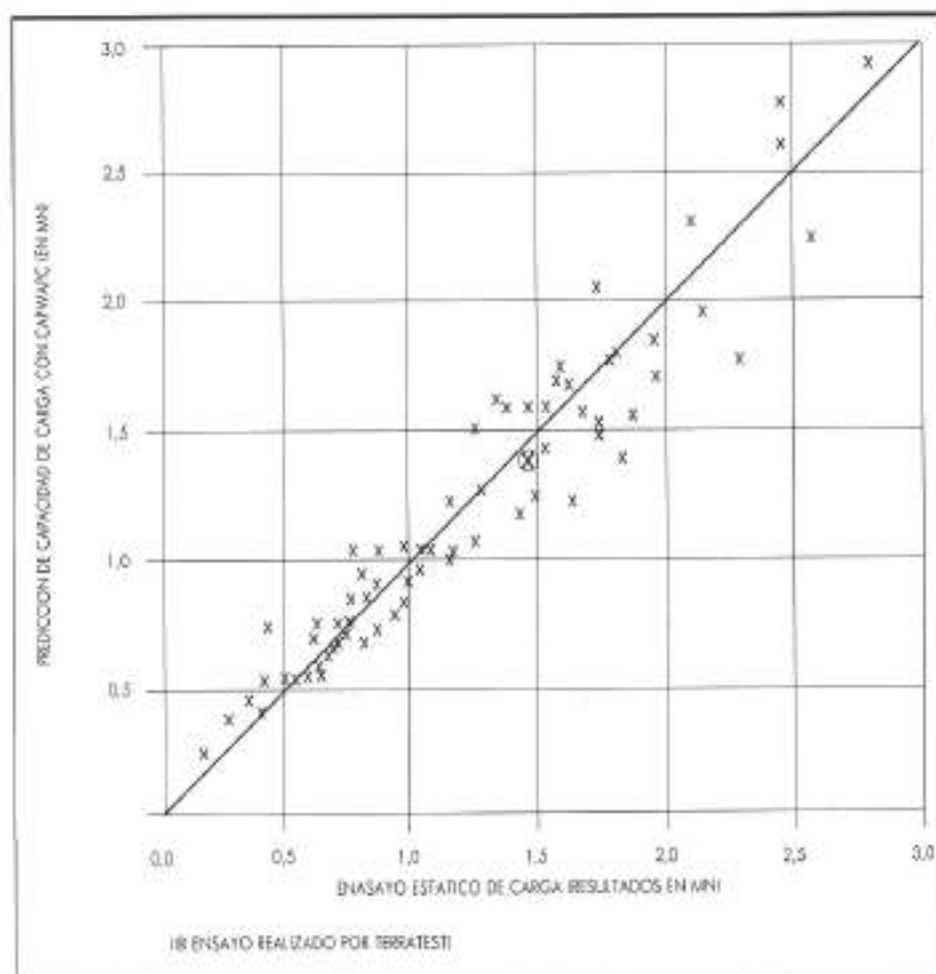


FIGURA 6. Esquema de disposición del equipo de toma de datos, proceso y salida de resultados.

ISLA DE LA CARTUJA (SEVILLA)

CARACTERISTICAS GEOTECNICAS DEL TERRENO

PROF. (m)	SUBLO	SPT	N ₆₀	Q _u (kg/cm ²)	QUAKE		I. CASE		RESIST. UNIT. (t/m ²)		
					FUITE	PUNTA	FUITE	PUNTA	FUITE	PUNTA	
3	RELENO ARENOSO-LIMOSO		5	0,35	3,0	3,0	0,07	0,02	1,0	10	
		10	10		3,0	5,0	0,07	0,02	2,0	20	
	10	10	2,0		3,8	0,09	0,02	2,0	30		
	LIMOS ARENOSOS, ARENAS Y ARCILLAS LIMOSAS		10								
15		18-27	15	2,92	1,8	18,0	0,15	0,25	4,0	350	
		30	20		1,5	22,0	0,20	0,25	5,0	450	
		40	40		2,0	24,0	0,20	0,25	6,5	500	
19	GRAVAS CON BOLOS Y ARENAS	60-8	60-8		2,0	15,0	0,20	0,25	0,8	600	
2,2			13,0	0,25	0,25	12,0	900				
21	MARGAS AZULES	R	80	2,5	8,0	0,40	0,50	5,0	500		
23			2,2	6,0	1,10	0,90	7,0	1.000			

FIGURA 7. Características geotécnicas del terreno, Isla de la Cartuja (Sevilla).

das de aceleración, velocidad, fuerza y energía. La presentación de tales datos se realiza en forma digital y en cinta de papel impresa.

Los modernos equipos llevan incorporados un ordenador con los programas de ajuste de curvas (CAPWAPC). La información es almacenada en disco duro.

El analizador determina por cada golpe del martillo:

- Capacidad portante del pilote (métodos CASE y CAPWAPC).
- Energía transferida del martillo al pilote.
- Máxima fuerza de compresión.
- Máxima fuerza de tracción.
- Máxima velocidad de impacto.
- Máxima aceleración.

Normalmente es utilizado con el propósito de obtener los siguientes resultados:

1. Capacidad portante:
 - a) Mayores cargas sobre el pilote.
 - b) Evitar hincas innecesarias (optimización de la profundidad).
2. Integridad de los pilotes:
 - a) Prueba de un pilote posiblemente dañado.

b) Formar parte de un programa de control de construcción.

3. Efectividad del equipo de hincas:

- a) Comparación de diferentes martillos.
 - b) Determinar las tensiones en el pilote durante su hincas, así como su localización.
4. Asientos previsibles para las cargas de trabajo proyectadas.

3. ENSAYOS EN LA ISLA DE LA CARTUJA (EXPO'92 - SEVILLA)

Los más de 185.000 metros lineales de pilotes hincados por TERRATEST, S. A., en la Isla de la Cartuja para la cimentación de los diferentes pabellones y edificios emblemáticos (entre los que destacaríamos el Pabellón de España, Pabellón de América, Pabellón de la Navegación, Auditorium, Pabellón del Palenque, Pabellón de los Descubrimientos, etc.) han constituido un claro ejemplo de aplicación práctica de los Ensayos Dinámicos de Carga como control en la ejecución del pilotaje, y como medida de optimización de la profundidad del mismo.

Las características geotécnicas generales del suelo en la Isla de la Cartuja pueden observarse en la figura 7. Un hecho condicionante de la profundidad de la cimentación es la potencia y compacidad del nivel de

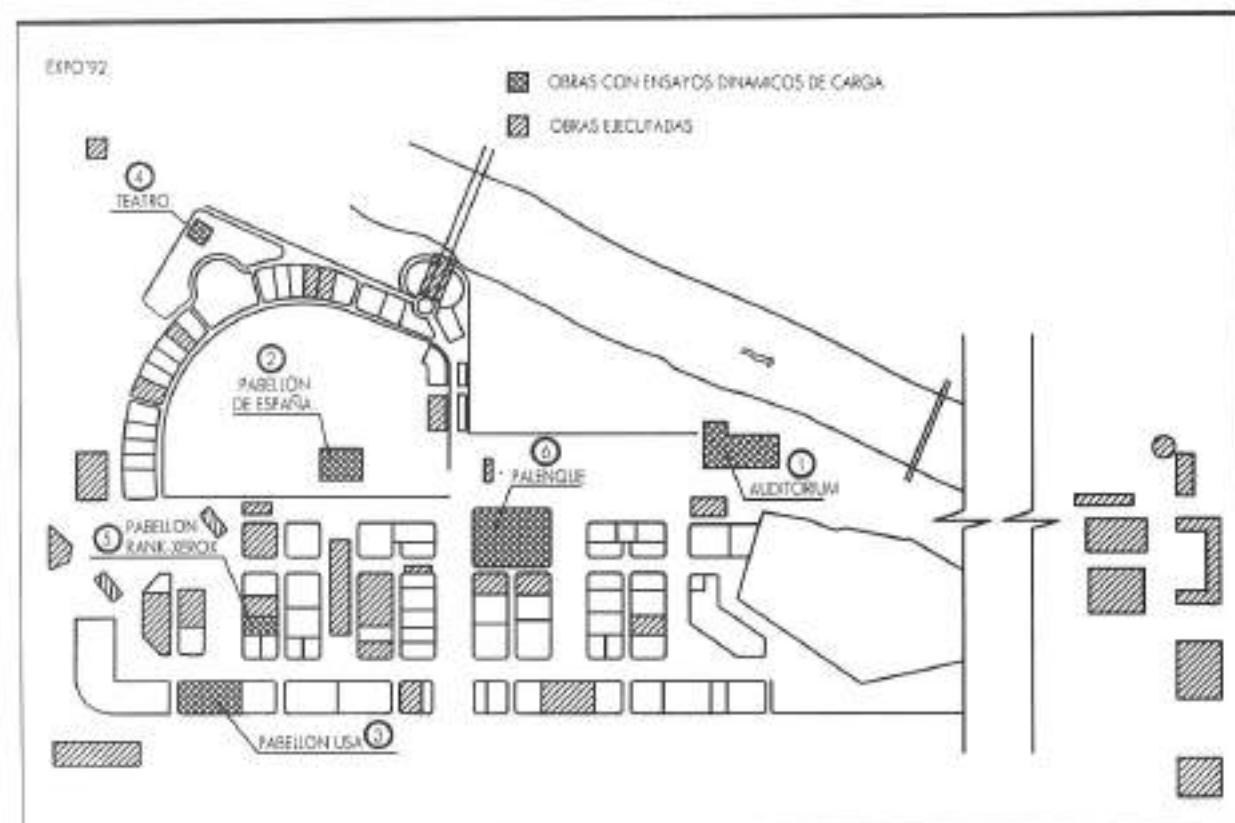


FIGURA 8. Obras ejecutadas y con ensayos dinámicos de carga en la Isla de la Cartuja (Expo'92, Sevilla).

gravas subyacente a los depósitos sedimentarios de baja resistencia (limos, arcillas y arenas). Este nivel presenta, asimismo, una gran heterogeneidad en cuanto a su grado de cementación en las diferentes zonas sondeadas del recinto.

Precisamente, este hecho condicionó la realización de un estudio exhaustivo con el Analizador de Hincado de Pilotes para determinar la capacidad resistente del estrato de gravas en cada caso, y determinar así la profundidad idónea del pilotaje, contrastando con los valores de rechazo (penetración por cada 10 golpes) y extrapolando al resto de las obras.

Con el empleo del AHP se constató además el efecto de mejora del terreno que se producía con la hincado de los pilotes, especialmente en los niveles granulares, observándose así una importante ganancia en la resistencia y compacidad de la capa de gravas.

Todo ello ha permitido una notable optimización en la profundidad del pilotaje, especialmente en aquellas zonas donde se ha constatado con el AHP la mayor resistencia del nivel de gravas.

Se han realizado ensayos dinámicos de carga en los siguientes pabellones y edificios (Fig. 8):

- Auditorium.
- Pabellón de España.
- Pabellón USA.
- Teatro Experimental.
- Pabellón de Rank-Xerox.

Asimismo, en el Pabellón del Palenque se realizó un ensayo de carga a tracción en un pilote, comparándose con los resultados de resistencia por fuste obtenidos a partir de los ensayos dinámicos en los diferentes pabellones. Una descripción completa del ensayo así como su interpretación será presentada próximamente en una comunicación al XIII ICSMFE, 1994, New Delhi, India (Justo et al., en edición). En la figura 9 se observa la variación existente entre las curvas carga-deformación en ambos tipos de ensayos. A partir de las 30 t de carga se aprecia una deformación mayor en el ensayo estático que la previsible a partir del ensayo dinámico. Ello es consecuencia de que este último no considera las deformaciones elásticas de la armadura del pilote, siendo precisamente en el escalón de las 30 t donde comienzan a apreciarse fisuras en el hormigón.

Los resultados obtenidos con la realización de los ensayos dinámicos de carga aparecen reflejados en las

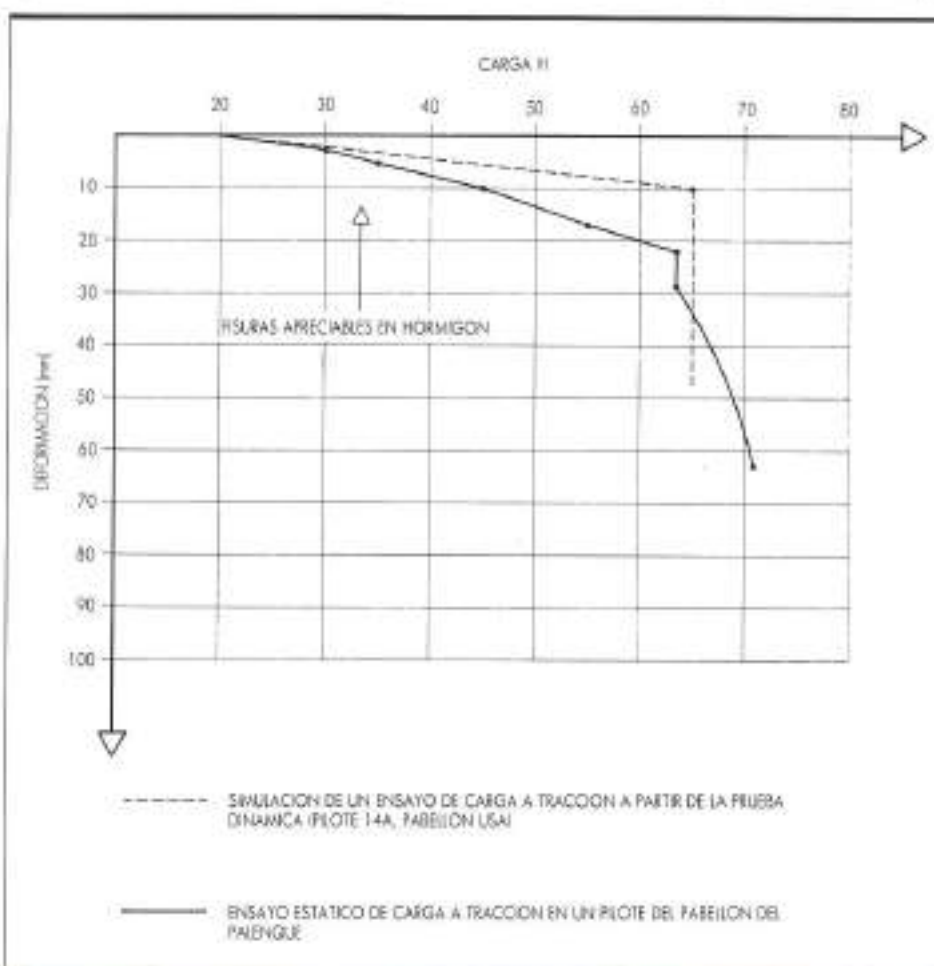


FIGURA 9. Gráfico carga-deformación en un ensayo de carga a tracción a partir de una prueba estática (Pabellón del Palenque) y dinámica (Pabellón USA).

NUM. PILOTE	TIPO PILOTE	LONG. HINCADA (m)	TIPO PRUEBA	RESISTENCIA (t)		
				FUSTE	PUNTA	TOTAL
7	T-200	22,80	R	60	45	105
132	T-200	14,00	R	25	65	90
132	T-200	17,00	I	6	44	50
36	T-200	16,00	R	35	55	90
36	T-200	18,00	I	20	30	50
36	T-200	19,00	I	15	35	50

TABLA 1. Resultados de los ensayos dinámicos de carga en el Auditorium (Expo'92). Carga de servicio de los pilotes = 40 t.

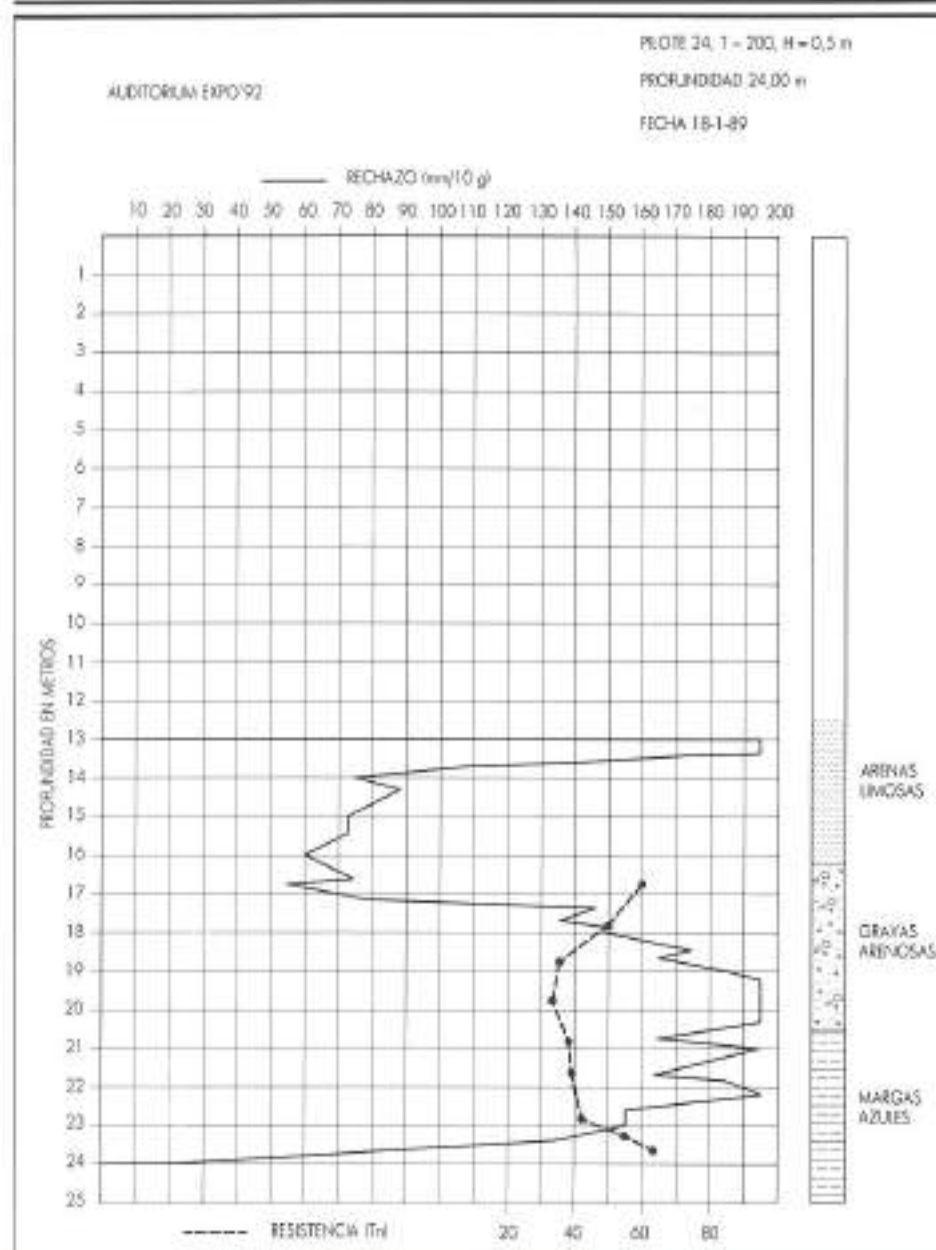


FIGURA 10. Variación del rechazo (mm/10 golpes) y resistencia (t) con la profundidad. Pilote número 24, Auditorium, Expo'92.

NUM. PILOTE	TIPO PILOTE	LONG. HINCADA (m)	METODO APLICADO	RESISTENCIA (t)		
				FUSTE	PUNTA	TOTAL
Y-25	T-235	22,90	CAPWAPC	135,9	20,0	155,9
BN-107	T-235	22,90	CASE	—	—	163
BM-103	T-235	23,10	CAPWAPC	121,7	27,9	144,6
AD-22	T-235	23,60	CASE	—	—	152
B-79-1	T-270	23,20	CAPWAPC	80,3	118,8	199,1
B-97	T-270	23,00	CAPWAPC	120,3	52,6	172,9

TABLA 2. Resultados de los ensayos dinámicos de carga en el Pabellón de España (Expo '92). Cargas máximas de servicio de los pilotes = 60 t (T-235) y 80 t (T-270).

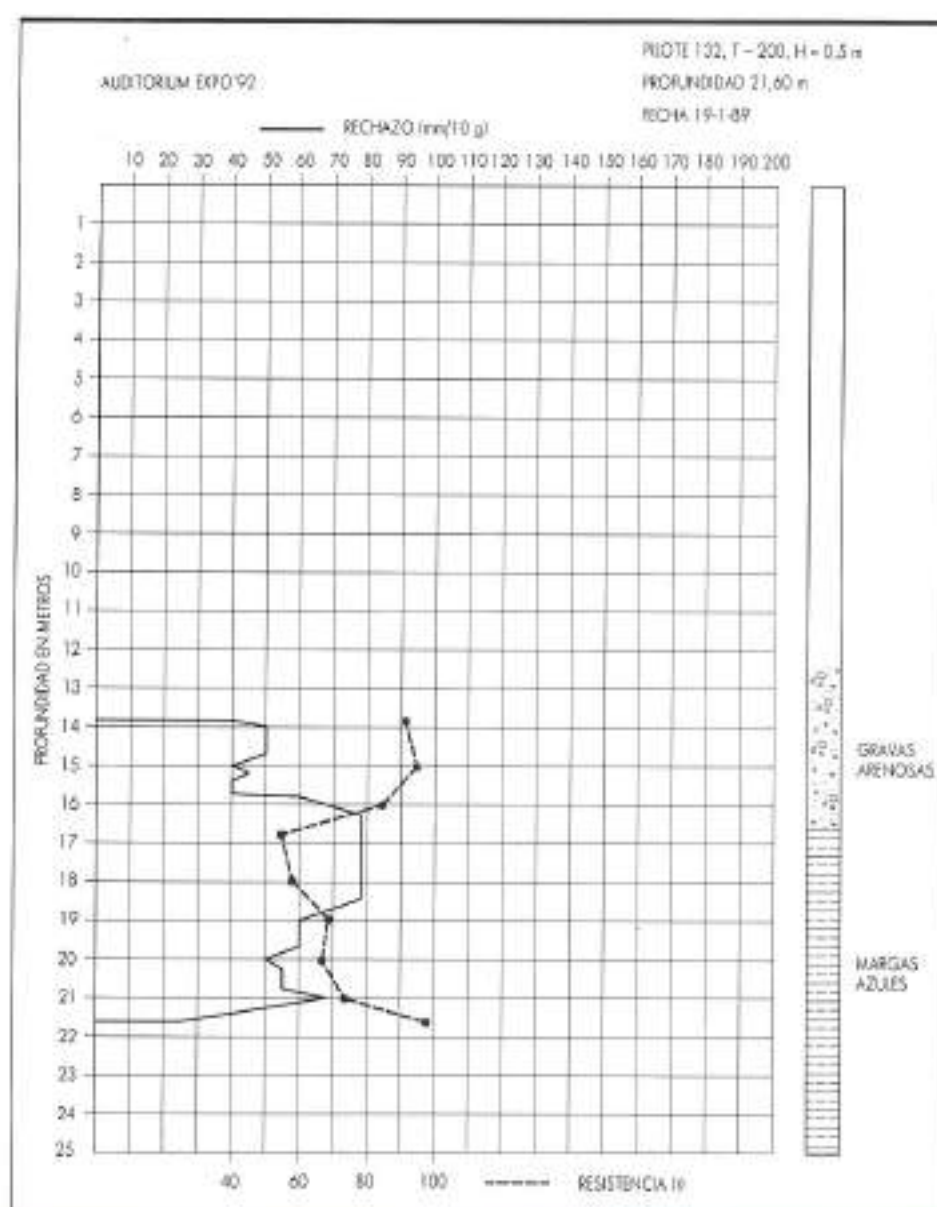


FIGURA 11. Variación del rechazo (mm/10 golpes) y resistencia (t) con la profundidad. Pilote número 132, Auditorium Expo '92.

NUM. PILOTE	TIPO PILOTE	LONG. HINCADA (m)	RESISTENCIA (t)		
			FUSTE	PUNTA	TOTAL
A2	T-235	23,40	188	68	256
B2	T-300	13,40	138	99	237
C2-2	T-300	13,10	201	67	268

TABLA 3. Resultados de los ensayos dinámicos de carga en el Pabellón de Rank Xerox (Expo'92). Cargas máximas de servicio = 60 t (T-235) y 100 t (T-300).

tablas que se adjunta, junto con algunos gráficos característicos de correlación entre las curvas medidas y calculadas con el método CAPWAPC, así como los gráficos de respuesta estática (asiento-carga estática) obtenidos con el mismo programa.

En estas tablas aparecen reflejados los siguientes parámetros:

- Capacidad de carga obtenida a partir del método CAPWAPC, por fuste y por punta.

NUM. PILOTE	LONG. HINCADA (m)	TIPO PRUEBA	RESISTENCIA (t)		
			FUSTE	PUNTA	TOTAL
14-A	20,60	INSTALACION	103	55	158
14-A	20,60	REHINCA	127	53	180
14-B	19,70	REHINCA	163,5	44,5	208
61	22,50	REHINCA	121	29	150
48	23,20	REHINCA	138	18	156
88	23,40	REHINCA	151	23	174
7	23,80	REHINCA	125	18	143

TABLA 4. Resultados de los ensayos dinámicos de carga en el Pabellón de EE.UU. (Expo'92). Cargas máximas de servicio de pilotes = 80 t.

- Resistencia unitaria por fuste respecto a profundidad (t/m) y área (t/m²).
- Resistencia por fuste (t) en cada segmento del pilote.

TERRATEST, S.A.									
PABELLON DE ESPANA, Pilote BJ-97									
Golpe No. 174									
92.05.18									
Capacidad CAPWAPC Final: Ru 172.9, Fuste 120.3, Punta 52.6 tons									
=====									
Seg. Suelo No.	Prof. Bajo Trans. m	Prof. Bajo Suelo m	Ru tons	Suma de Ru Asc. Desc. tons		Resist. Unit. respecto a Prof. Area tons/m tons/m2		Damp. Smith s/m	Quake mm
				172.9					
1	3.1	2.4	.4	172.5	.4	.19	.18	.670	2.200
2	5.2	4.5	.5	171.9	.9	.26	.24	.670	2.200
3	7.2	6.5	2.3	169.6	3.2	1.11	1.03	.670	2.200
4	9.3	8.6	5.4	164.2	8.7	2.63	2.43	.670	2.200
5	11.4	10.7	9.4	154.8	18.1	4.54	4.20	.670	2.200
6	13.4	12.7	13.0	141.8	31.0	6.28	5.82	.670	2.200
7	15.5	14.8	18.9	122.9	49.9	9.14	8.47	.670	2.200
8	17.6	16.9	24.8	98.1	74.7	12.00	11.11	.670	2.200
9	19.6	18.9	24.6	73.5	99.4	11.92	11.04	.670	2.200
10	21.7	21.0	20.9	52.6	120.3	10.13	9.38	.670	2.200
Media Fuste			12.0			5.73	5.39	.670	2.200
Punta			52.6				720.03	.963	6.153
Parametros del Modelo del Suelo						Fuste	Punta		
Damping Case						1.228	.772		
Nivel de Descarga (% de Ru)						0			
Peso Masa Suelo (tons)							.10		

TABLA 5. Saldo de resultados. Pilote BJ-97, Pabellón de España (Expo'92). Análisis CAPWAPC.

TERRATEST, S.A.
PABELLÓN DE ESPAÑA. Pilote BJ-97
Golpe No. 174

92 05 18

VALORES EXTREMOS

Segmento Pilote No.	Prof. bajo Transd. m	max. Fuerza tons	min. Fuerza tons	max. Compr. tons/cm ²	max. Tracc. tons/cm ²	Energía transf. maxima tons-m	max. Veloc. m/s	max. Despl cm
1	1.0	176.4	-1.5	.24	.00	2.85	2.8	1.915
2	2.1	180.7	-22.0	.25	-.03	2.77	2.7	1.780
4	4.1	183.7	-26.5	.25	-.04	2.64	2.6	1.640
6	6.2	190.0	-30.3	.26	-.04	2.50	2.5	1.500
8	8.3	195.7	-32.9	.27	-.05	2.31	2.4	1.350
10	10.3	201.2	-34.0	.28	-.05	2.05	2.3	1.200
12	12.4	201.1	-32.9	.28	-.05	1.75	2.1	1.060
14	14.5	190.3	-30.1	.26	-.04	1.45	1.9	.930
16	16.5	170.2	-25.2	.23	-.03	1.13	1.6	.820
18	18.6	135.8	-19.3	.19	-.03	.82	1.4	.730
20	20.7	106.5	-14.7	.15	-.02	.58	1.1	.660
21	21.7	106.3	-15.6	.15	-.02	.41	1.1	.631
Absoluto	11.4			.29		(T=	28.1 ms)	
	11.4				-.05	(T=	51.6 ms)	

TABLA 6. Salido de resultados. Valores extremos a lo largo del Pilote BJ-97. Pabellón de España (Expo'92). Análisis CAPWAPC.

- Amortiguamiento viscoso (damping) por fuste y punta, tanto Smith como Case.
- Límite de deformación elástica (quake) por fuste y por punta.
- Nivel de descarga (unloading level), en % de Resistencia Última.
- Peso de masa de suelo (plug), en toneladas.
- Gap (mm) en punta del pilote.

Los primeros ensayos se realizaron en el pilotaje prefabricado de la obra del Auditorium, poniéndose de manifiesto la necesidad de atravesar las capas de gravas existentes, en algunas zonas, para garantizar la capacidad de carga de los pilotes. Asimismo, se constató la buena correlación existente entre los resultados de dichos ensayos y las predicciones de la fórmula holandesa de hincas, con coeficientes de fórmula del orden de 8 (Figs. 10 y 11), con la participación en este análisis comparativo de don Santiago Uriel como asesor geotécnico de la Dirección Facultativa de la Obra.

Con este sistema de control se han obtenido valores moderados de resistencia unitaria por fuste (5-13 t/m²) y punta (400-500 t/m²) en el nivel de gravas, tanto en la zona del Pabellón de España, como en parte del Auditorium, constatándose así la necesidad de empotrar los pilotes en el nivel de margas azules. En los Pabellones de Estados Unidos y Rank-Xerox se ha constatado la aceptable resistencia de la capa de gravas (con valores de resistencia unitaria por fuste variables entre 11 y 24 t/m², y de 500-1.000 t/m² por punta), donde queda alo-

jado el pilotaje con unos aceptables coeficientes de seguridad.

La extrapolación de estos ensayos al resto de pabellones ha supuesto un importante ahorro económico en la cimentación de los mismos; en cada caso, se llevó un control mediante el rechazo (penetración por cada 10 golpes a una determinada altura de martillo) al final de la instalación y, en algunos casos, en rehincas, por aplicación de la fórmula holandesa.

4. ANALISIS PREVIO A LA HINCA (WEAP)

El estudio del comportamiento de un pilote, previo a su hincas, a partir de los parámetros del subsuelo estimados, pueden darnos una importante información sobre las profundidades y criterios de rechazo a seguir.

Este estudio consiste en un complejo programa numérico, que simula el comportamiento de un pilote bajo la acción del impacto del martillo de hincas.

Tras introducir los parámetros del equipo de hincas, pilote y suelo, el programa calcula, en función de la profundidad, lo siguiente:

- Número de golpes por metro y valores de resistencia última, estimando el porcentaje de resistencia por fuste y punta.
- Esfuerzos axiales (compresión y tracción).
- Energía transmitida al pilote.

Un ejemplo práctico aplicado a la Isla de la Cartuja aparece en las figuras 18 y 19. Los parámetros introdu-

TERRATEST, S.A.										
PABELLON DE ESPAÑA, Pilote BJ-97						92 05 18				
Golpe No. 174										
MODELO Y PERFIL DEL PILOTE										
	Prof. m	Area cm2	Modulo-E tons/cm2	Peso Espec. tons/ m3	Circunf. m					
1	.00	729.00	324.0	2.450	1.080					
2	21.70	729.00	324.0	2.450	1.080					
Area Punta(m2)		.073								
Segmnt No.	Prof. meter	B.T.	Impedancia tons/m/s	Cambio Imp %	T. Slack mm	C. Slack mm	Circunf. meter			
1	1.03		65.58	.00	.000	.000	1.080			
21	21.70		65.58	.00	.000	.000	1.080			
Damping Pilote(%)		2.0, Incr. Tiempo(ms)		.287,	Veloc. Onda(m/s)		3601.8			
PABELLON DE ESPAÑA, Pilote BJ-97										
Case Method Capacity Results										
	J=0.0	J=0.1	J=0.2	J=0.3	J=0.4	J=0.5	J=0.6	J=0.7	J=0.8	J=0.9
Rs	251.	243.	236.	228.	220.	212.	205.	197.	189.	181.
Rx	265.	256.	247.	238.	229.	220.	210.	201.	192.	183.
Ru	249.	241.	233.	225.	217.	209.	201.	193.	185.	176.
Ra Ra2	89.	195.								
Current CAPWAPC Ru = 172.9; Corresponding J(Rs) = 1.00; J(Rx) = 1.00										
VMAX	VFIN	V1x2	F1	FMAX	DMAX	DFIN	EMAX	EFIN	R EX	R EF
2.75	.13	169.5	159.5	176.4	1.915	-.322	2.8	1.9	282.7	1915.1

TABLA 7. Salida de resultados. Modelo y perfil del pilote y resultados del método CASE. Pilote BJ-97. Pabellón de España (Espo'92).

cidos corresponden a un pilote Terra-235 (235 x 235 mm, de sección cuadrada), hincado con un equipo de hincadora hidráulica en el terreno cuyas características aparecen esquematizadas en la figura 7.

Se han simulado las condiciones en instalación y rehincado.

Como se puede observar, el análisis predice un importante incremento del número de golpes por metro al alcanzar el nivel de gravas, a una profundidad de unos 16 a 18 metros.

Según este análisis, la resistencia aumenta progresivamente, y de forma más acusada, a partir del nivel de gravas, estimándose que un 60 % de la misma, aproximadamente, corresponde a resistencia por fuste.

Lógicamente, los valores de resistencia son menores durante la instalación del pilote (factor de fricción = 0.7) que en rehincado (factor de fricción = 1.0), debido al efecto que se produce con el tiempo en la reestructuración de los minerales que entran en la

composición de los materiales arcillosos (tixotropía de las arcillas) y el consiguiente cambio en su estado tensional.

Las obras ejecutadas con pilote prefabricado en la Isla de La Cartuja han corroborado las predicciones de profundidad y rechazo establecidas a partir del programa de cálculo WEAP, avalando así la utilidad de este estudio previo a la hincada, tanto en la previsión para la prefabricación de los pilotes, como en la optimización de los criterios de profundidad durante la ejecución del pilote.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Sociedad Estatal Expo'92, y especialmente en las personas de don Ginés Aparicio y don José Antonio Fernández Cieza, su actitud como impulsores de estos ensayos. Asimismo a las empresas constructoras OCISA, S.A.; DRAGADOS Y CONSTRUCCIONES, S.A.; CUBIERTAS Y MZOV, S.A.; AUXINI, S.A. y COMSA

TERRATEST, S.A.
Pabellón RANK-XEROX, EXPO-92, Pilote A2 92 05 19
Golpe No. 15

Capacidad CAPWAPC Final: Ru 256.4, Fuste 188.2, Punta 68.2 tons

Seg. Suelo No.	Prof. Bajo Trans. m	Prof. Bajo Suelo m	Ru tons	Suma de Ru Asc. Desc. tons		Resist. Unit. respecto a Prof. Area tons/m tons/m2		Damp. Smith s/m	Quake mm
				256.4					
1	2.0	1.7	1.0	255.4	1.0	.53	.56	.266	2.300
2	4.0	3.6	3.7	251.7	4.7	1.86	1.97	.266	2.300
3	5.9	5.6	5.8	245.8	10.6	2.96	3.15	.266	2.300
4	7.9	7.6	6.7	239.2	17.2	3.37	3.59	.266	2.300
5	9.9	9.6	6.0	233.2	23.2	3.02	3.21	.266	2.300
6	11.9	11.6	5.9	227.3	29.1	3.01	3.20	.266	2.300
7	13.8	13.5	9.0	218.3	38.1	4.55	4.84	.266	2.300
8	15.8	15.5	30.5	187.8	68.6	15.45	16.44	.266	2.300
9	17.8	17.5	32.7	155.1	101.3	16.56	17.61	.266	2.300
10	19.8	19.4	37.3	117.8	138.6	18.66	20.07	.266	2.300
11	21.7	21.4	28.7	89.1	167.3	14.56	15.49	.266	2.300
12	23.7	23.4	20.8	68.2	188.2	10.54	11.21	.266	2.300
Media Fuste			15.7			8.04	8.45	.266	2.300
Punta			68.2				1240.84	.625	6.768
Parametros del Modelo del Suelo						Fuste	Punta		
Damping Case						1.009	.858		
Nivel de Descarga (% de Ru)						0			
Peso Masa Suelo (tons)							.05		

TABLA 8. Salida de resultados. Pilote A2. Pabellón Rank-Xerox (Expo'92). Análisis CAPWAPC.

por su colaboración y ayuda en la realización de los ensayos descritos.

También agradecemos la colaboración prestada por don Santiago Uriel y don José Luis de Justo en la interpretación de algunos de los ensayos realizados.

BIBLIOGRAFIA

GLANVILLE, W. H.; GRIME, G.; FOX, E. N., y DAVIES, W. W. (1938). «An Investigation of the stresses in reinfor-

ced piles during drivings». Depto. Sci. Ind. Research, Building Res. Stat. Technical Paper 20.

GOBLE, G. G.; RAUSCHE, F., y LIKINS, G. E. (1980). «The analysis of Pile Driving». A state-of-the-art. Int. Sem. on the Application of Stress-Wave Theory on Piles, pp. 131-161.

JUSTO, J. L.; JUSTO, E.; ROMERO, R.; CANDELA, J., y SOLA, P. (1994) (en edición). «The Evaluation of Pile Loading Test in Tension and Compressions». XIII ICSMFE, New Delhi, India.

TERRATEST, S.A.
 PABELLON USA, Pilote 14A, 12.00 metros . 92 03 23
 Golpe No. 14

Capacidad CAPWAPC Final: Ru 96.6, Fuste 66.7, Punta 30.0 tons
 =====

Seg. Suelo No.	Prof. Bajo Trans. m	Prof. Bajo Suelo m	Ru tons	Suma de Ru		Resist. Unit. respecto a		Damp. Smith s/m	Quake mm
				Asc. tons	Desc. tons	Prof. tons/m	Area tons/m2		
				96.6					
1	12.2	.8	.1	96.5	.1	.09	.07	.039	2.540
2	13.2	1.8	.7	95.8	.8	.70	.59	.039	2.540
3	14.2	2.8	1.3	94.5	2.1	1.32	1.10	.039	2.540
4	15.3	3.9	2.0	92.5	4.1	1.94	1.62	.039	2.540
5	16.3	4.9	2.6	89.9	6.7	2.56	2.13	.039	2.540
6	17.3	5.9	5.3	84.6	12.0	5.18	4.32	.039	2.540
7	18.3	6.9	12.0	72.6	24.0	11.83	9.85	.039	2.540
8	19.3	7.9	12.2	60.4	36.3	12.03	10.02	.039	2.540
9	20.3	8.9	8.6	51.7	44.9	8.49	7.07	.039	2.540
10	21.4	10.0	5.8	45.9	50.7	5.74	4.78	.039	2.540
11	22.4	11.0	6.7	39.2	57.4	6.60	5.50	.039	2.540
12	23.4	12.0	9.2	30.0	66.7	9.08	7.56	.039	2.540
Media Fuste			5.6			5.56	4.55	.039	2.540
Punta			30.0				332.85	.343	18.180
Parametros del Modelo del Suelo						Fuste	Punta		
Damping Case						.031	.122		
Nivel de Descarga (% de Ru)						37			

TABLA 9. Salida de resultados. Pilote 14-A, Pabellón EE.UU. (Expo'92). Analisis CAPWAPC.

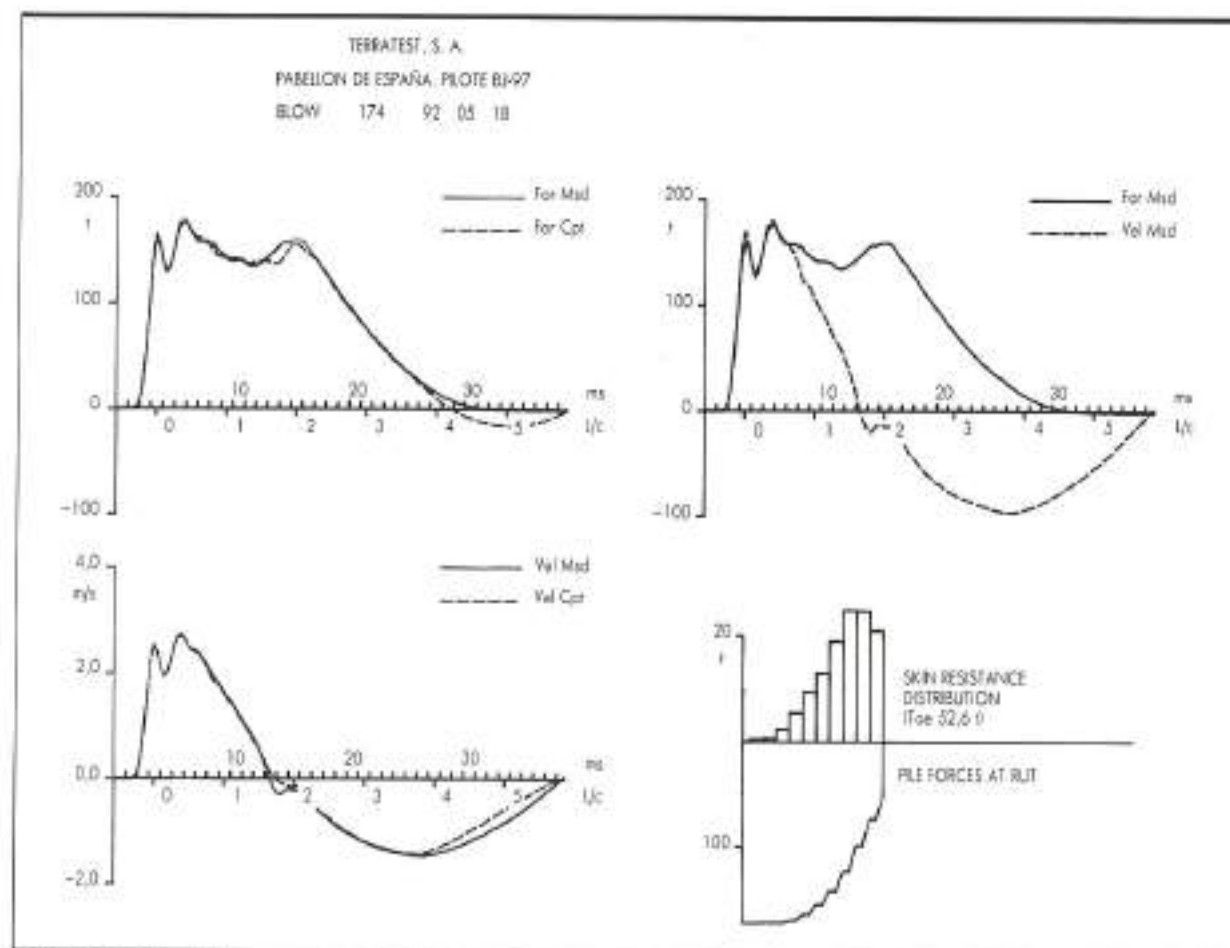


FIGURA 12. Gráficos de fuerza y velocidad, ajuste de las curvas y distribución de resistencias en el pilote número BJ-97, Pabellón de España (Expo'92). Análisis CAPWAPC.

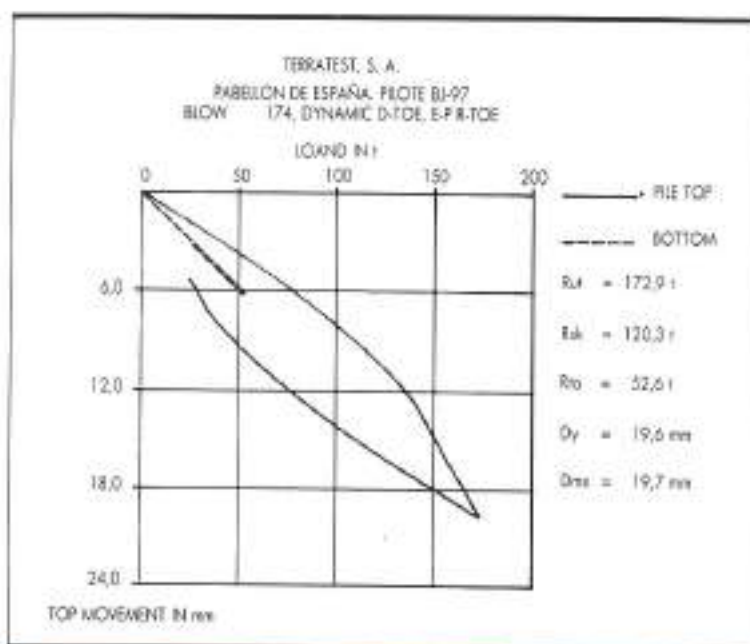


FIGURA 13. Curva carga estática-asientos, pilote número BJ-97, Pabellón de España (Expo'92). Análisis CAPWAPC.

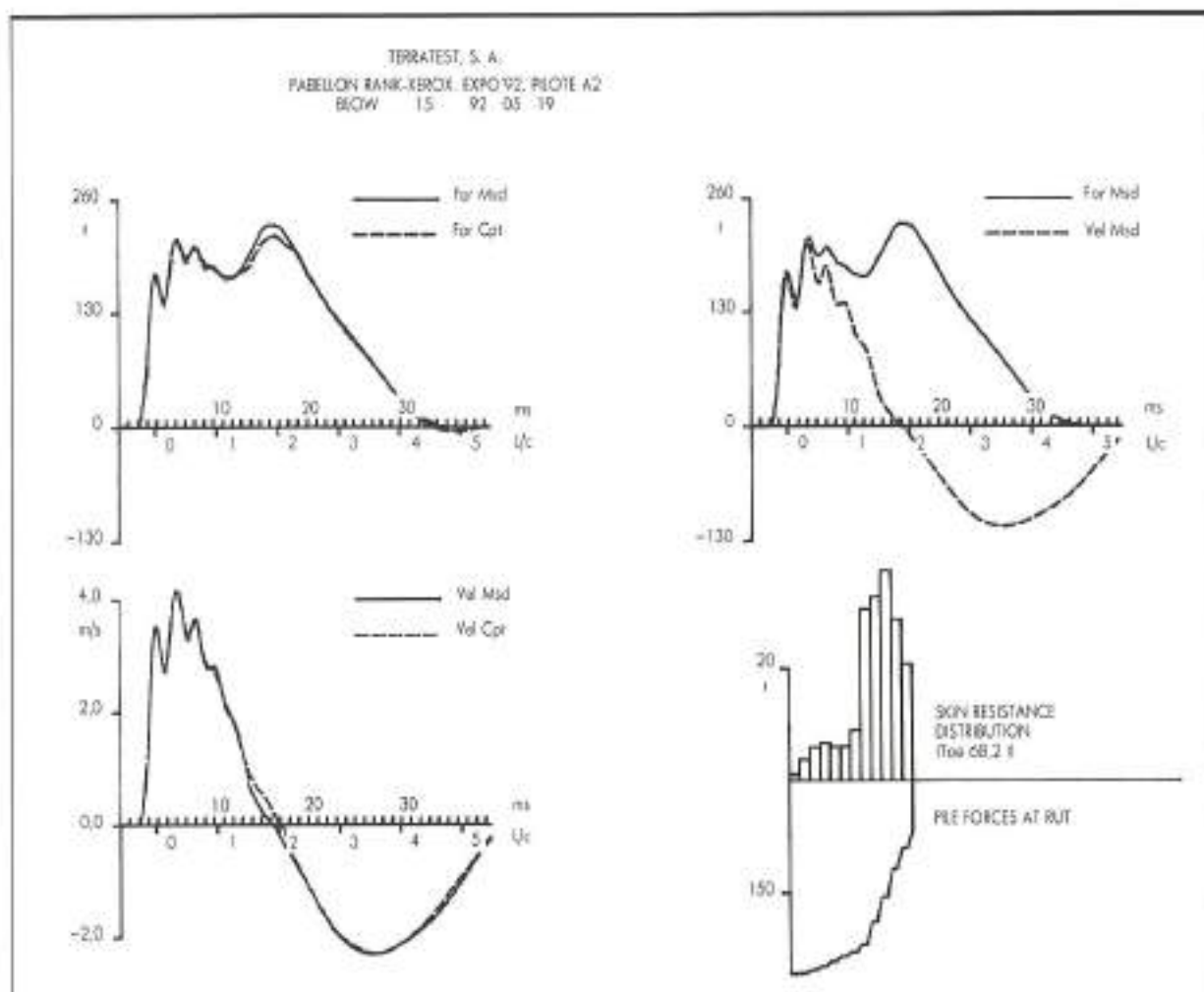


FIGURA 14. Gráficos de fuerza y velocidad, aparte de las curvas y distribución de resistencias en el pilote número A2, Pabellón Rank-Xerox (Expo'92). Análisis CAPWAPC.

FIGURA 15. Curva carga estática-asientos, pilote número A2, Pabellón Rank-Xerox (Expo'92). Análisis CAPWAPC.

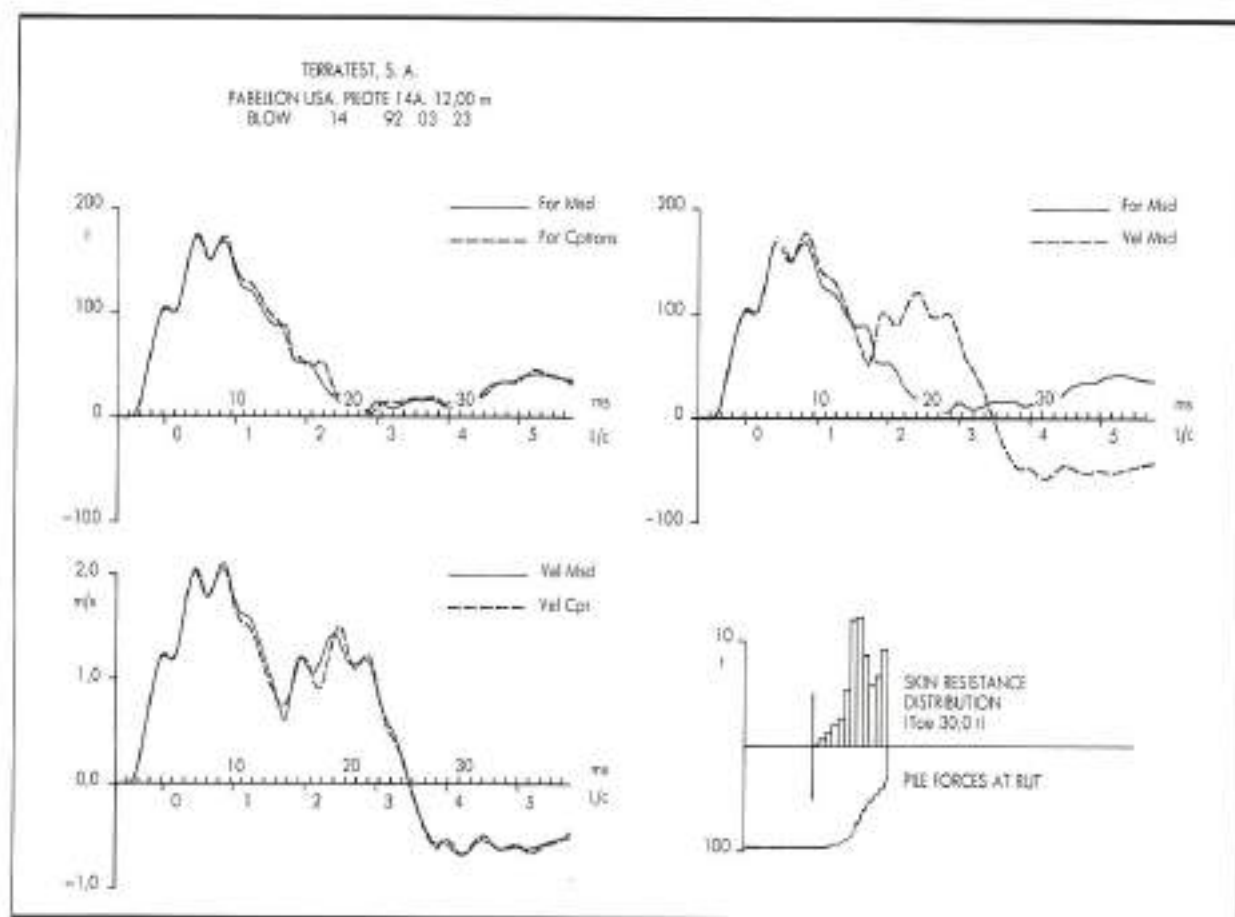
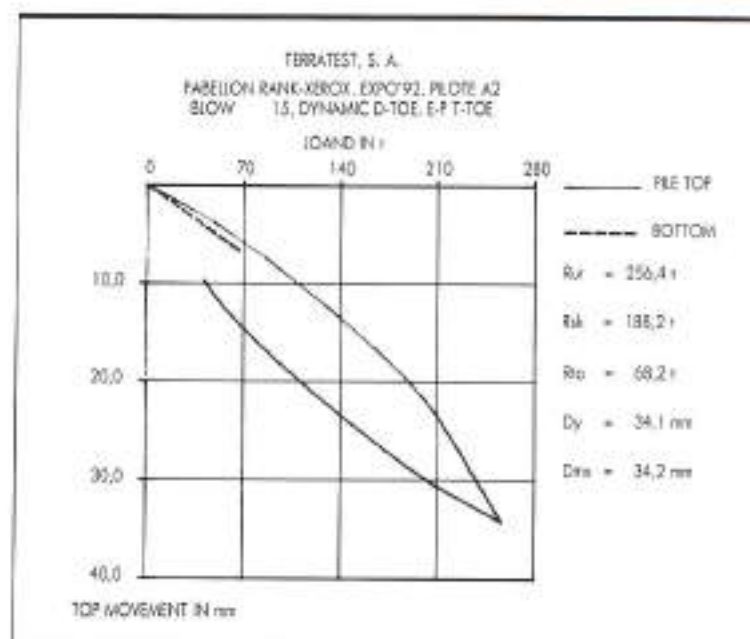


FIGURA 16. Gráficos de fuerza y velocidad, ajuste de las curvas y distribución de resistencias en el pilote número 14A, del Pabellón USA (Expo'92). Análisis CAPWAPC.

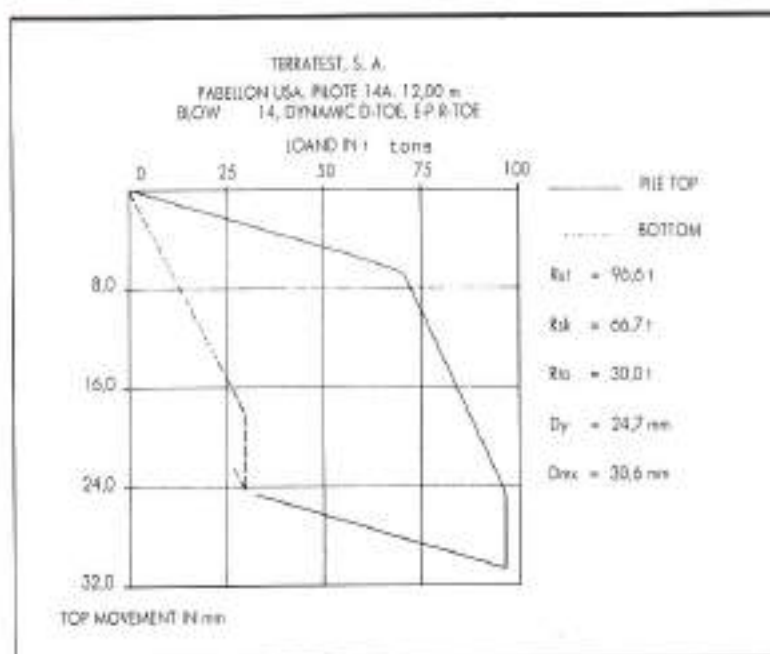


FIGURA 17. Curva carga estática-asientos, pilote número 14A, Pabellón de España (Expo'92). Análisis CAPWAPC.

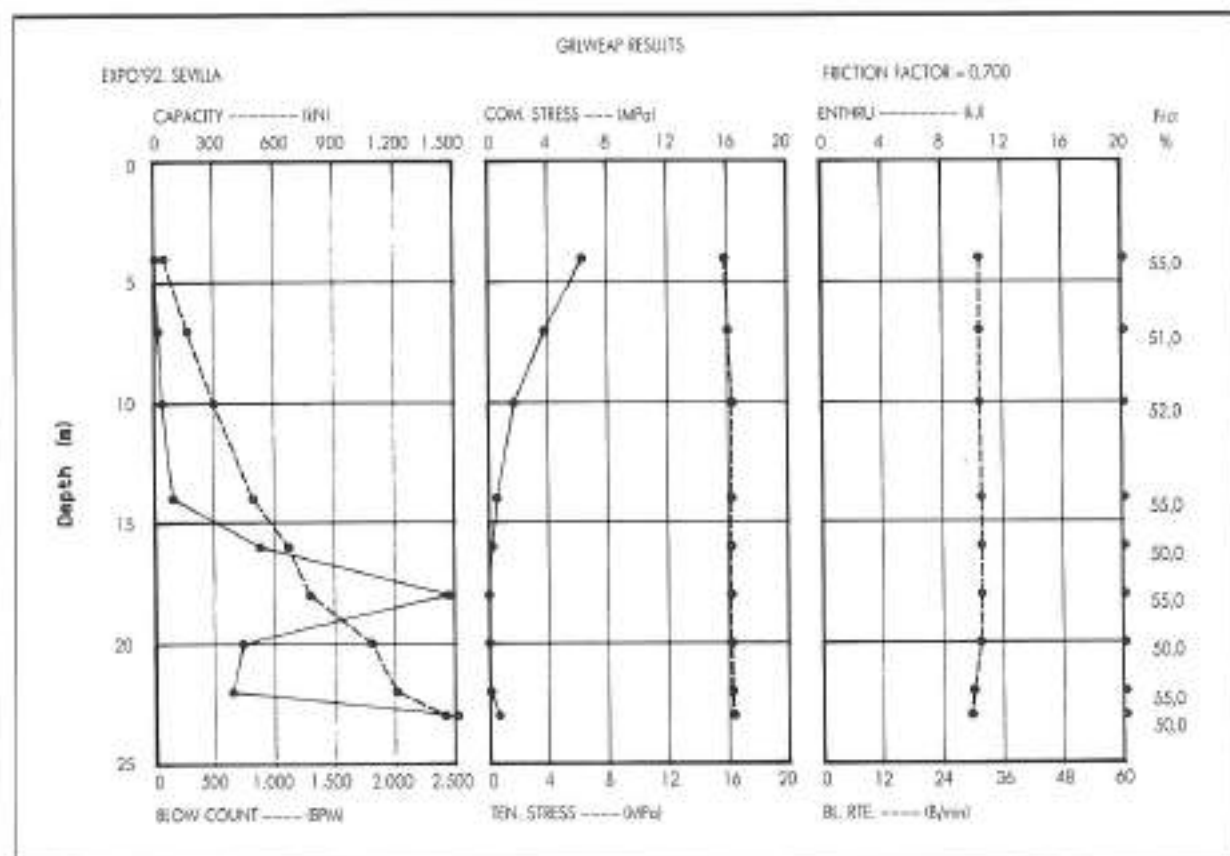


FIGURA 18. Análisis WEAP. Isla de la Cartuja (Expo'92). Pileta tipo T-270 (270 x 270 mm), factor de fricción = 0.7.

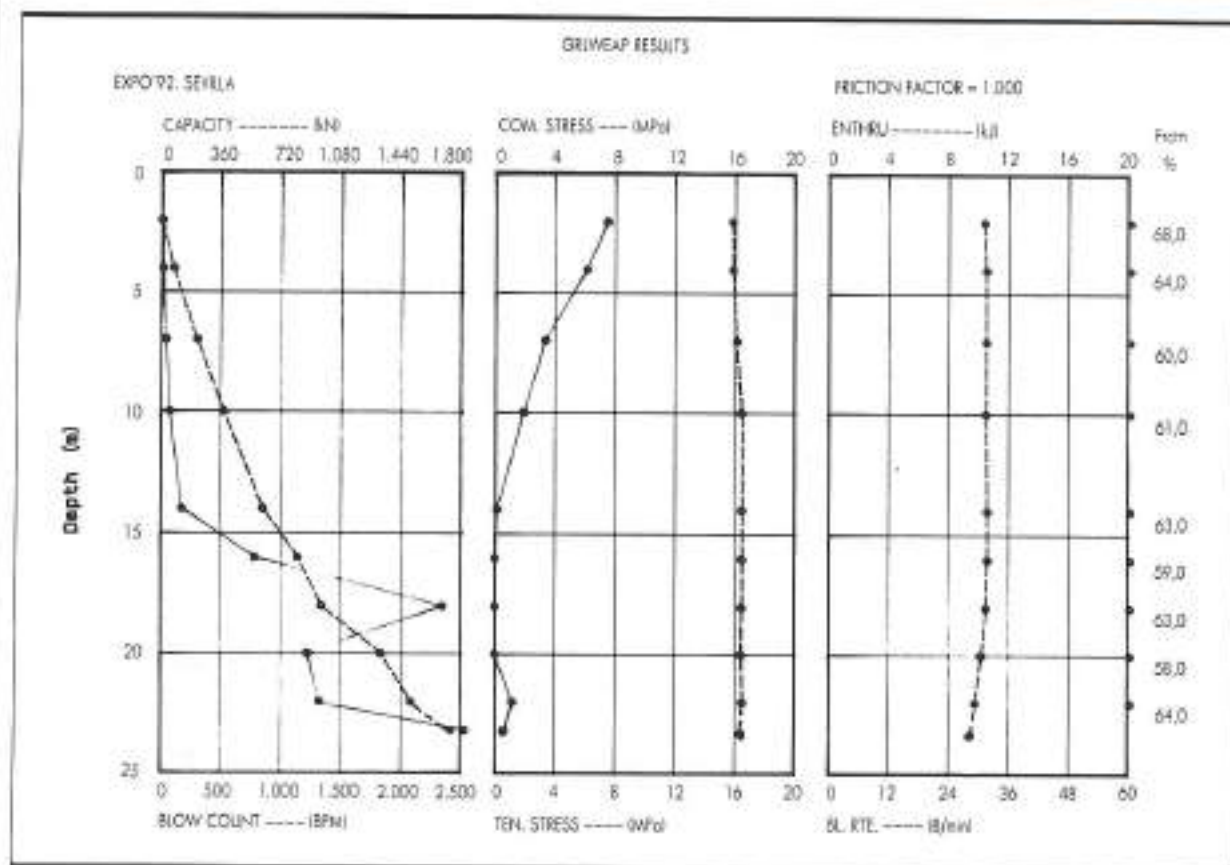


FIGURA 19. Análisis WEAP, Isla de la Cartuja Expo'92. Pilote tipo T-270 (270 x 270 mm), factor de fricción = 1,0.



RILEM TC-119 TCE

Avoidance of Thermal Cracking in Concrete at Early Ages

MÜNICH - OCTUBRE 1994

DISTRIBUTION LIST

Rilem Secretariat General.

All members of RILEM TC-119 TCE.

Rilem delegates (please take care for publishing):

Mr. Julio C. Caballero / Argentina.

Mr. D. C. Gibson / Australia.

Dr.-Ing. H. Sommer / Austria.

M. J. M. Rigo / Belgium.

Prof. Hern. S. Sobral / Brazil.

Dr. F. R. Clark / Canada.

Prof. Dr.-Ing. P. Schiessl / Germany.

Dr. Karoly Kovacs / Hungary.

Mr. A. V. Lagoda / Russia.

Dr. R. E. Oberholster / South Africa.

M. J. M. Gallego Estévez / Spain.

Dr. F. H. Wittmann / Switzerland.

Dr. I. Dunstan / United Kingdom.

Dr. R. N. Wright / USA.

Chapman & Hall Ltd.

Journals (direct by the chairman).

ACI-Journal.

Beton

Beton- und Stahlbetonbau.

Betonwerk + Fertigteiltechnik.

Cement and Concrete Research.

Materials and Structures.

Österr. Ingenieur und Architekten-Zeitschrift

ÖIAZ.

Zement und Beton.

Zement Kalp Gips.

CALL FOR PAPERS

In the past many problems in concrete constructions have arisen from thermal cracking due to the heat of hydration. Much research work is being carried out in various countries. Thus considerable progress is being made in the

measurement and estimation of thermal stresses in concrete.

An International Symposium on «Thermal Cracking in Concrete at Early Ages» sponsored by RILEM will be organized by the RILEM TC-119 «Avoidance of Thermal Cracking in Concrete at Early Ages» in Munich, Germany, October, 10-12th, 1994.

The topics to be covered at this conference are:

- Prediction and in situ measurement of temperature development.
- Concrete properties at early ages:
 - Methods of determination.
 - Modelling.
- Influence of concrete constituents, mix proportions and temperature on cracking tendency of concrete.
- Determination of thermal stresses at early ages:
 - Laboratory methods.
 - In situ measurement.
- Thermal stress generation at early ages (axial-, flexural-, inherent-stresses):
 - Restraint/Boundary conditions.
 - Calculation of stresses.
 - Estimation of cracking risk.
- Practical measures for avoidance of thermal cracking.
- Case records demonstrating new technologies.

Authors are invited to submit abstracts (maximum 300 words) for papers on these topics by July 31st, 1993. The authors will be notified of acceptance by November 1st, 1993, and the full text is due by February 1st, 1994. The language of the Symposium is English. Please submit abstracts to:

Prof. R. Springenschmid, Technical University Munich, Baumbachstraße 7, D 8000 Munich 60, Germany, Tel. (089) 8895 310, Fax (089) 8895 347.

ESTE MENSAJE LE VA A SER MUY FAMILIAR

Porque en España, al igual que los países más avanzados de la Comunidad Europea, se está aplicando ya la pintura en relieve en la señalización horizontal. Un hecho que está llamando la atención de muchos conductores, ya que al pisar las ruedas la banda del arcén pintado con este tipo especial de pintura, se produce un sonido característico acompañado de una ligera vibración, que sin

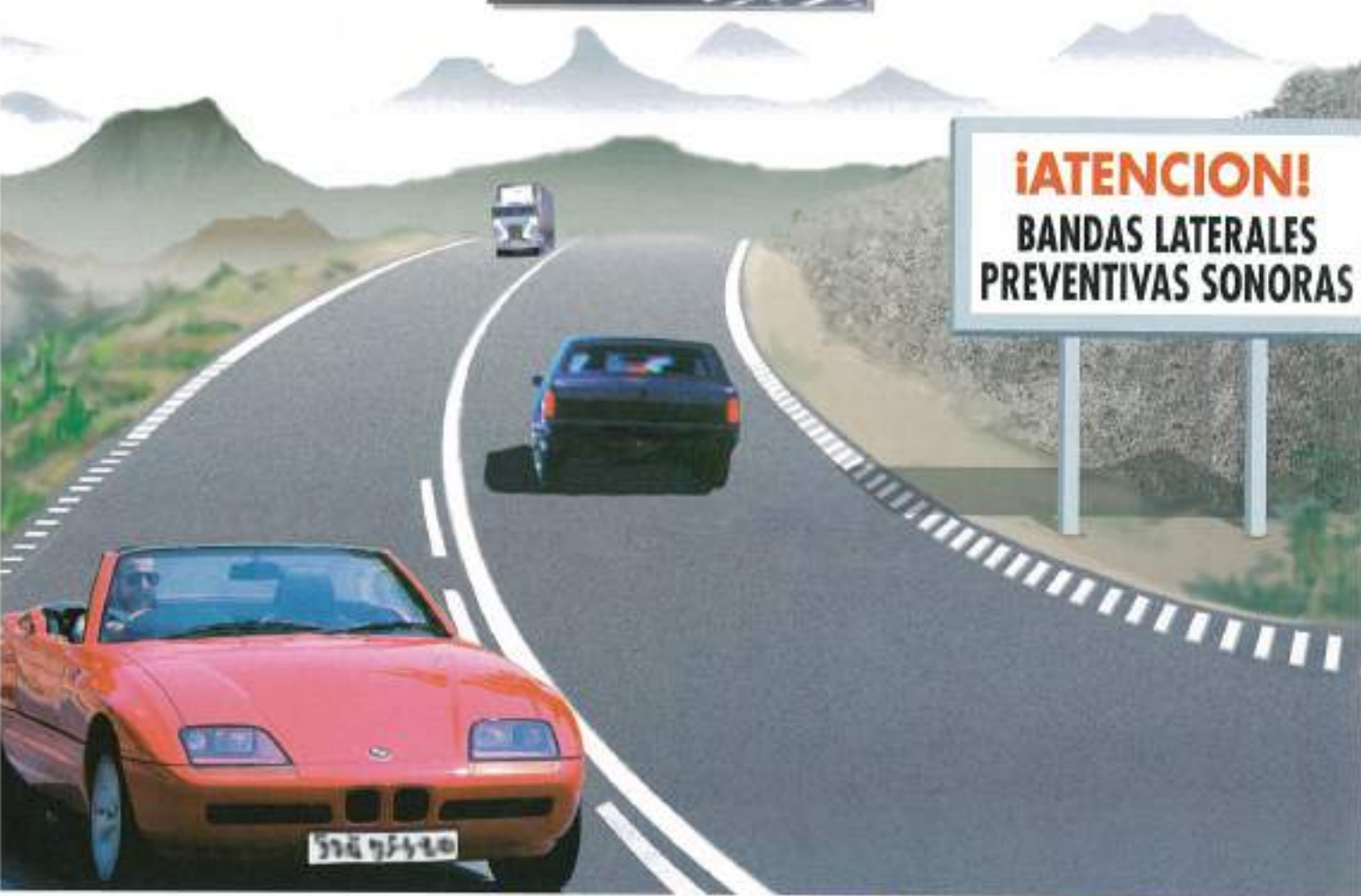
afectar al neumático ni a la dirección alertan al conductor de una posible salida de la calzada. Además, este mismo relieve favorece una mayor visibilidad de los límites de la carretera tanto de día como de



noche, y sobretodo en caso de lluvia.

Todo un avance en materia de seguridad vial que PINTURAS JAQUE como empresa vanguardista y pionera en la introducción de novedades en el mercado español, viene ya aplicando desde hace más de un año en muchas provincias españolas.

Por eso cuando lea este mensaje, piense en seguridad.



¡ATENCIÓN!
BANDAS LATERALES
PREVENTIVAS SONORAS



La seguridad en pintura

Pol. Industrial Oeste (Murcia). Tel: (968) 88 00 00 • Fax: (968) 88 17 82

Señalización horizontal en base a plástico en frío **Degaroute®** ¿Por qué es Degaroute® el líder?



Por su contrastada calidad, sobre asfalto y sobre hormigón.

Degussa 

Degussa Ibérica, S.A.
Sección Productos Químicos
Industriales y Química Fina

08009-Barcelona
Paseo San Juan, 75, 8.º
Teléfono: 93-459.35.35
Telefax: 93-459.30.26