



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**GENERALIDADES SOBRE EL ESTUDIO DEL DISEÑO DE
PILOTES, ENSAYOS DE INTEGRIDAD ESTRUCTURAL
Y AVANCES TECNOLÓGICOS**

Carlos Rafael Figueroa Caballeros
Asesorado por Ing. Jorge Lam Lan

Guatemala, agosto de 2003

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**GENERALIDADES SOBRE EL ESTUDIO DEL DISEÑO DE
PILOTES, ENSAYOS DE INTEGRIDAD ESTRUCTURAL Y
AVANCES TECNOLÓGICOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTACIÓN DE JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

CARLOS RAFAEL FIGUEROA CABALLEROS
ASESORADO POR ING. JORGE LAM LAN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, AGOSTO DE 2003

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA**



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL I	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Herbert René Miranda Barrios
EXAMINADOR	Ing. Carlos Alfredo Fernández Erazo
EXAMINADOR	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
EXAMINADOR	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
SECRETARIA	Inga. Gilda Marina Castellanos Baiza de Illescas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la Ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

GENERALIDADES SOBRE EL ESTUDIO DEL DISEÑO DE PILOTES, ENSAYOS DE INTEGRIDAD ESTRUCTURAL Y AVANCES TECNOLÓGICOS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 23 de abril de 2002.

Carlos Rafael Figueroa Caballeros

Guatemala, 2 de julio de 2003

Ingeniero
Carlos Salvador Gordillo García
Director Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería

Ing. Gordillo

Tengo el agrado de informarle que he tenido a la vista el trabajo de graduación del estudiante Carlos Rafael Figueroa Caballeros titulado GENERALIDADES SOBRE EL ESTUDIO DEL DISEÑO DE PILOTES, ENSAYOS DE INTEGRIDAD ESTRUCTURAL Y AVANCES TECNOLÓGICOS, quien contó con mi revisión.

El autor de este trabajo de graduación y el suscrito revisor de la misma, nos responsabilizamos por el contenido que en ella se exponen, por lo que recomiendo su aprobación.

Muy atentamente,

Ing. Jorge Lam Lan
Revisor
Coordinador Área de Estructuras

Guatemala, 2 de julio de 2003

Ingeniero
Carlos Salvador Gordillo García
Director Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería

Ing. Gordillo

Tengo el agrado de informarle que he tenido a la vista el trabajo de graduación del estudiante Carlos Rafael Figueroa Caballeros titulado GENERALIDADES SOBRE EL ESTUDIO DEL DISEÑO DE PILOTES, ENSAYOS DE INTEGRIDAD ESTRUCTURAL Y AVANCES TECNOLÓGICOS, quien contó con mi revisión.

El autor de este trabajo de graduación y el suscrito asesor de la misma, nos responsabilizamos por el contenido y conclusiones que en ella se exponen, ya que el trabajo contiene valiosa información la cual puede ser beneficio para nuestro país, por lo que recomiendo su aprobación.

Muy atentamente,

Ing. Jorge Lam Lan
Asesor
Coordinador Área de Estructuras

AGRADECIMIENTOS

A DIOS

Fuente de la sabiduría, que fue luz en mis estudios y me permitió alcanzar este triunfo.

A SANTÍSIMA VIRGEN

Por estar presente con su ternura y amor de madre, en todo momento de mi carrera.

A MIS PADRES

Por su cariño, amor y ayuda incondicional.

A MI FAMILIA

Por su ayuda, apoyo y tiempo brindado.

A MIS HERMANOS

Por sus consejos, dedicación, ánimo y por formarme valores.

Quiero dar gracias a todos los que de alguna forma me han ayudado en la realización del presente trabajo de graduación, especialmente al Ingeniero Jorge Lam Lan, por su asesoramiento de este estudio al Ingeniero Carlos Salvador Gordillo García, al Ingeniero Alfredo Enrique Beber Aceituno a la Ingeniera Monica Noemy Mazariegos, al Proyecto EDUMAYA y especial aprecio a Beatriz de Beber, por su valioso apoyo en toda mi carrera.

ACTO QUE DEDICO

A MIS PADRES

Trinidad Figueroa Cruz
Arcadia Caballeros de Figueroa

A MI ESPOSA E HIJOS

Myra Véliz
Karla Yasmín
Carlo Andrés

A MIS HERMANOS

José Manuel Figueroa Caballeros
Ana Lucia Figueroa de Llamas
Mario Rene Figueroa Caballeros
Aura Leticia Figueroa de García
Juan Francisco Figueroa Caballeros
Luis Fernando Figueroa Caballeros
y a sus acompañantes del hogar

A MIS SOBRINOS

Lesbia Magali, Jorge Mario, María Eugenia, Herber Estuardo, Silvia Marleny, Javier Eduardo, Jenifer Julissa, Diana Alejandra, José Manuel, Kevin Estuardo, Andrea Isabel, Luisa Fernanda, Brayan Josue, Juan Diego, Helen Isabel, Brandon, Mónica Gabriela, Jhosua,

A MIS AMIGOS

Carlos Burrión, Pablo López, Carlos Quim, Vinicio Tepet, Manuel Díaz, Ellios Rodríguez, Víctor Pivaral, Xavier, Vicky, Felix Nufio, Gerardo, Marco Tulio, Manuel Gámez.

A MIS COMPAÑEROS

Instituto de Lingüística y Educación de la Universidad Rafael Landívar

A LA FACULTAD DE INGENIERÍA

DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XV
OBJETIVOS	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX

1. INFORMACIÓN GENERAL

1.1 Tipos de ensayos	1
1.1.1 Ensayos sónicos mediante martillo de mano	1
1.1.2 Ensayos ultrasónicos "Cross-Hole" en tubos embebidos	2
1.1.3 Ensayos rápidos de carga	3
1.1.4 Métodos automáticos de control de ejecución	4
1.1.5 Ensayo semiestático Statnamic	5
1.2 Ventajas y desventajas de los diferentes métodos	6

2. MÉTODO SÓNICO

2.1 Descripción del método	7
2.2 Aparato utilizado	8

2.3	Preparación del pilote para el ensayo	9
2.4	Criterios de aceptación y rechazo	9
2.5	Acciones correctas	10
2.6	Informes de resultados	11

3. MÉTODO ULTRASÓNICO “CROSS-HOLE”

3.1	Descripción del método	13
3.2	Aparatos utilizados	14
3.3	Tubos embebidos	15
3.4	Realización del ensayo	16
3.5	Criterios de aceptación y rechazo	17
3.6	Acciones correctas	18
3.7	Informe de resultados	18

4. LOS ENSAYOS DE INTEGRIDAD ESTRUCTURAL DE PILOTES

4.1	Generalidades	21
4.2	Métodos de ensayo de integridad estructural	23
4.3	Métodos rápidos de ensayo de carga	29
4.4	Utilización del método sónico	34
4.5	Utilización del método ultrasónico “Cross-Hole”	35

5. MÉTODO DE ENSAYO DE CARGA DE PILOTES “STATNAMIC”

5.1	Fundamentos del ensayo de carga statnamic	40
5.2	Statnamic lo mejor de los ensayos estáticos y dinámicos	46
5.3	Desarrollos recientes de statnamic	49
5.4	Las ventajas de statnamic	52
5.4.1	Consideraciones técnicas	52
5.4.2	Consideraciones económicas	54
5.5	Desarrollo statnamic	55
	CONCLUSIONES	57
	RECOMENDACIONES	59
	BIBLIOGRAFÍA	61
	APÉNDICE	63

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Ensayo sónico	
2	Ensayo ultranónico	
3	Ensayo rápidos de carga	
4	Métodos automáticos	
5	Descripción del equipo Statnamic y etapas del ensayo	
6	Disposición del ensayo sónico con martillo instrumentado	24
7	Ondas sónicas viajando a lo largo del pilote	24
8	Gráficas resultados del ensayo sónico	25
9	Configuración típica de ensayo ultrasónico	26
10	Configuración con un solo tubo embebido en el pilote	26
11	Gráfica de Cross-Hole ultrasónico en hormigón homogéneo	27
12	Gráfica de Cross-Hole ultrasónico en hormigón no homogéneo	27
13	Esquema típico de ensayo dinámico	30
14	Registro de fuerza y velocidad en un ensayo dinámico	30
15	Esquema conceptual del ensayo Statnamic	32
16	Curva carga - desplazamiento	33
17	Pilote barrenado con corte a 5 m de profundidad	37
18	Defecto detectado mediante el método sónico con martillo de mano	38
19a	Descripción del equipo statnamic y etapas del ensayo	40
19b	Descripción del equipo statnamic y etapas del ensayo	41
19c	Descripción del equipo statnamic y etapas del ensayo	41
19d	Descripción del equipo statnamic y etapas del ensayo	41

20	Gráficos de fuerza - tiempo	44
21	Fuerza que actúan sobre el pilote durante el ensayo statnamic	45
22	Métodos de prueba de carga	47
23	Tensiones, desplazamientos y velocidades en función de la profundidad	48
24	Fuerza típica y rastros de la velocidad generados por el aparato para obtención de medidas dinámicas	69
25	Arreglo típico para las pruebas altas dinámicas de montones	70
26	Diagrama esquemático para aparato para supervisión dinámica de montones	71
27	Arreglo típico para atadura de transductores a montones de tubo	73
28	Arreglo típico para atadura de transductores para pavimentar con hormigón montones	73
29	Arreglo típico para atadura de transductores a montones de madera	74
30	Arreglo típico para atadura de transductores a H - montones	74

TABLAS

I	Ventajas y desventajas de los diferentes métodos	
II	Parámetros característicos de los diferentes tipos de ensayos descritos	28
III	Coeficiente de seguridad frente al hundimiento en el caso de pilotes hincados con control mediante ensayos dinámicos	65
IV	Control reforzado de pilote sondeado simple	66
V	Coeficientes de seguridad para pilotes hincados	66

LISTA DE SIMBOLOS

A_{tr}	Área total de la sección transversal del acero de refuerzo transversal dentro de un espaciamiento.
cm	Centímetro.
d	Distancia desde la fibra extrema a compresión al refuerzo a tensión.
F'_c	Resistencia a la compresión del concreto.
F_y	Resistencia a la fluencia del acero.
g	Gramos
Hz	Hertz
L_{ad}	Longitud de desarrollo.
m	metro.
mm	Milímetro.
R	Espaciamiento o dimensión del recubrimiento.
V_u	Fuerza cortante.
σ	Esfuerzo.

GLOSARIO

Admitancia	Magnitud inversa de la impedancia.
Coquera	Oquedad de corta extensión en la masa de una piedra.
Deformación	Cambios de forma que tiene como consecuencia, que puntos de un miembro se desplacen hacia nuevas posiciones.
Deformómetro	Aparato que mide las alteraciones físicas de un cuerpo.
Desplazamiento	Cambio de posición, generalmente puede ser traslación o rotación en algún punto de la estructura.
Empalme	Juntar dos maderas, sogas, tubos u otras cosas, acoplándolas o entrelazándolos.
Esfuerzo	Fuerza por unidad de área.
Facultativa	Poder, derecho para hacer alguna cosa.
Flexibilidad	Se define como el desplazamiento debido a la aplicación de un esfuerzo unitario.
Flexión	En cualquier sección transversal existe fuerzas internas que pueden descomponer en fuerzas normales y tangeciales a la sección. Las componentes normales a la sección son los esfuerzos de flexión (tensión en un lado del eje neutro y compresión en el otro).

Fuerza axial	Fuerza que es aplicada en el eje de la sección de un elemento.
Fuste	Madera, parte sólida de los árboles cubierta por los árboles cubierta por la corteza.
Ignición	Acción y efecto de estar un cuerpo encendido, si es combustible, o enrojecido por un fuerte calor, si es incombustible.
Impedancia	Resistencia aparente de un circuito al flujo de la corriente alterna, equivalente a la resistencia efectiva cuando la corriente es continua.
Instrumentación	Acción y efecto de instrumentar.
Longitud de desarrollo	Longitud del refuerzo empotrado que se requiere, a fin de desarrollar la resistencia de diseño del refuerzo en la sección crítica.
Módulo de elasticidad	Relación entre el refuerzo normal y la correspondiente deformación unitaria asociada a los esfuerzos de tensión o por compresión, menores al límite proporcional del material.
Normativa	Conjunto de normas aplicables a una determinada materia o actividad.
Pilote	Madero rollizo armado frecuentemente de una punta de hierro, que se hinca en tierra para consolidar los cimientos.
Oquedades	Espacio que en un cuerpo sólido queda vacío, natural o artificialmente.
Rebaba	Porción de materia sobrante que sobresale irregularmente en los bordes o en la superficie de

un objeto cualquiera; como la argamasa que forma resalto en los ladrillos al sentarlos en obra.

Refuerzo

Material que cumple con las especificaciones, incluyendo el acero estructural o cables.

Sónico

De la velocidad del sonido. Que tiene igual velocidad que éste.

Resistencia nominal a la compresión del concreto (F'_c)

Resistencia a la compresión del concreto empleada en el diseño y evaluación de acuerdo con las consideraciones del capítulo 5 del código ACI.

Ultrasónico

Perteneciente o relativo al ultrasonido.

Ultrasonido

Sonido cuya frecuencia de vibraciones es superior al límite perceptible por el oído humano. Tiene muchas aplicaciones industriales y se emplea en medicina.

RESUMEN

Son tres los métodos utilizados en nuestro país para comprobar la integridad estructural de pilotes mediante sistemas no destructivos:

- a) El método sónico mediante martillo de mano que genera una onda sónica que baja por el fuste del pilote, rebota en la punta y es captada por un acelerómetro. También se le conoce como "ensayo de impedancia mecánica".
- b) El método de cross-hole ultrasónico, que consiste en hacer descender un emisor y un receptor de ultrasonidos por dos conductos huecos paralelos en el interior del fuste del pilote, registrándose el tiempo que tarda la onda en recorrer la distancia entre ambos. También se le conoce como "sondeo sónico" o "ensayo por transparencia sónica".
- c) El tercer método es el ensayo dinámico mediante un impacto importante sobre la cabeza del pilote. Generalmente se realiza en pilotes prefabricados utilizando el mismo martillo de hincas, siendo al mismo tiempo un ensayo de integridad estructural del pilote y un ensayo rápido de carga. En todo el mundo se está ya utilizando también sobre pilotes hormigonados "in situ".

El incremento de la demanda de estos ensayos en nuestro país ha provocado que estos salgan del ámbito de unos pocos especialistas para entrar de lleno en el abanico de servicios de los laboratorios generalistas de ensayos de materiales de construcción. Sin embargo, con frecuencia no se obtienen los niveles de calidad esperados en la realización de los ensayos, debido a que no

siempre los equipos comprados tienen la tecnología óptima y a que las personas que los utilizan e interpretan no disponen muchas veces de la suficiente experiencia y preparación.

Statnamic es un método rápido de realizar ensayos de carga de pilotes, es una comparación con los sistemas tradicionales estáticos y dinámicos de prueba de carga de pilotes, para destacar las ventajas del método y sus limitaciones.

OBJETIVOS

- **General**

El conocimiento del uso adecuado de pilotes en áreas estructurales y el comportamiento de los pilotes en distintos suelos.

- **Específicos**

1. Planificar, organizar, operar, instalar, los sistemas adecuados para ensayos de pilotes.
2. Analizar y tener conocimiento de los distintos tipos de pilotes.
3. Determinar sus efectos.

INTRODUCCION

El presente trabajo de graduación pretende dar a conocer la elaboración e integridad de pilotes que suministran informaciones sobre las dimensiones físicas, la continuidad o la consistencia de los materiales empleados en los pilotes, y no suministran información directa sobre el comportamiento de los pilotes en condiciones de carga.

Estos ensayos no pretenden reemplazar a los ensayos estáticos de carga, sino que constituyen una fuente adicional de información sobre los pilotes ya construidos. Donde significarán una potente herramienta de trabajo para poder determinar experimentalmente la existencia de defectos en los pilotes con rapidez y economía, por lo que son utilizados básicamente como control de calidad generalizado de los pilotes.

El ensayo de carga Statnamic está revolucionando el ensayo de los pilotajes en un número cada vez mayor de países de todo el mundo. Este original método de ensayo combina la precisión y la fiabilidad de los ensayos estáticos de carga con la comodidad y rapidez de los ensayos dinámicos. Statnamic requiere solo un 5 % de la reacción necesaria en un ensayo estático.

El nombre del método es Statnamic, formado por la unión de las palabras eSTATico y diNAMICo.

Para desarrollar Statnamic. Como indica su nombre, se trata de un ensayo de carga que se sitúa entre el estático y el dinámico. La duración de la carga aplicada a la cabeza del pilote es mayor que en el ensayo dinámico pero inferior a la duración del ensayo estático.

1. INFORMACIÓN GENERAL

1.1 Tipos de ensayos

1.1.1 Ensayos sínicos mediante martillo de mano

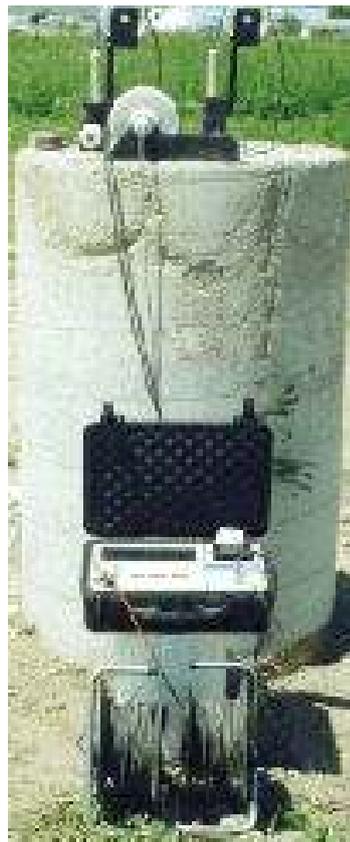
En el ensayo sínico se utiliza un martillo de mano para generar una onda sínica en la cabeza del pilote que se desplaza a través de su fuste hacia abajo y es reflejada por la punta del pilote o por discontinuidades o defectos existentes en el mismo.

Figura 1. Ensayo sínico

1.1.2 Ensayo ultrasónicos “Cross-Hole” en tubos embebidos

Consiste en hacer descender un emisor y un receptor de ultrasonidos por dos conductos huecos en el interior del fuste del pilote, registrándose el tiempo empleado en recorrer la distancia entre ambos. En el caso de existir defectos en el camino de las ondas, tales como inclusiones de tierra, oquedades, coqueas u otros que hagan alargar el tiempo de recorrido.

Figura 2. Ensayo ultrasónico



1.1.3 Ensayos rápidos de carga

Los ensayos estáticos de carga permiten conocer el comportamiento real de los pilotes en el terreno, sometidos a cargas generalmente superiores a las de servicios, pero con un costo muy elevado, por lo que cada vez se utilizan menos. Los modernos ensayos rápidos de carga permiten la realización de pruebas de carga a un costo razonable, permitiendo un diseño más ajustado del pilotaje y beneficiándose de los coeficientes de seguridad más bajos que permiten las normas cuando se realizan pruebas de carga.

Los más empleados son los ensayos dinámicos. En el ensayo dinámico se utiliza una masa que cae e impacta sobre el pilote para movilizar su resistencia por punta y por fuste, mediante instrumentación electrónica se capta su comportamiento y se obtiene después por cálculo numérico la capacidad portante del pilote.

Figura 3. Ensayo rápidos de carga

1.1.4 Métodos automáticos de control de ejecución

Se utilizan en pilotes hincados y en pilotes barrenados. En el caso de pilotes hincados se registran continuamente diferentes parámetros tales como energía de hinca, número de golpes y penetración por golpe, permitiendo también la realización de ensayos dinámicos de carga. En pilotes barrenados hormigonados por el eje de la barrena se registran continuamente los parámetros de profundidad, volumen de hormigón inyectado y presión de la bomba. En ambos casos se pueden detectar fallos en el mismo momento de la ejecución del pilotaje, y también posterior al revisar los registros de parámetros obtenidos. Las empresas de pilotaje disponen de dichos equipos, por lo que es posible especificar su empleo en las obras de cimentaciones.

Figura 4. Métodos automáticos

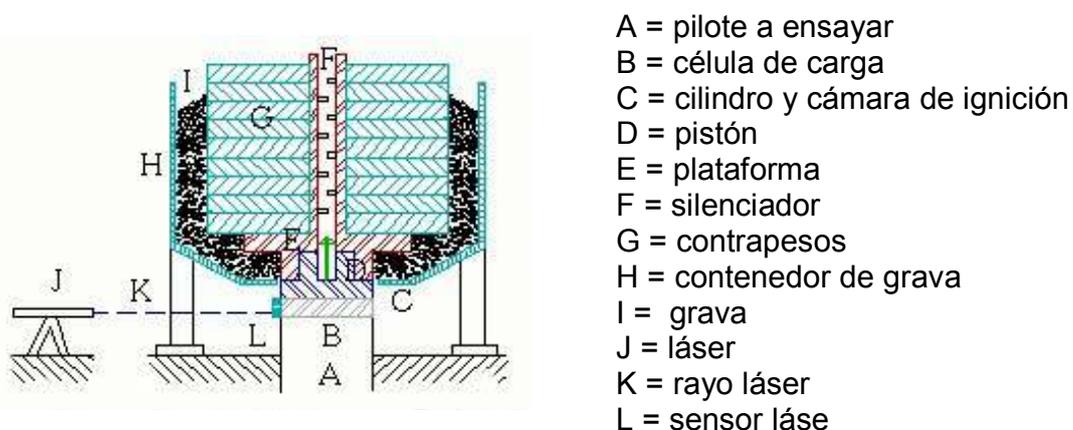


1.1.5 Ensayo semiestático Statnamic

El sistema Statnamic utiliza una cámara de combustión colocada en la cabeza del pilote, en la que se produce la ignición controlada de un combustible, levantándose unos contrapesos y por reacción una compresión suave sobre el pilote, obteniéndose directamente por instrumentación la carga aplicada y el desplazamiento producido.

Statnamic es un método rápido de realizar en ensayos de carga de pilotes. Este es desarrollado por el Instituto TNO Profound de Holanda y el constructor canadiense de maquinaria para pilotaje Berminghammer. El método es una comparación con los sistemas tradicionales estáticos y dinámicos de prueba de carga de pilotes, para destacar las ventajas del método y sus limitaciones. Se describen las primeras aplicaciones comerciales de Statnamic en Europa, iniciadas por TNO en 1999, así como el equipo Statnamic de 4 MN (400 t) con mecanismo de captura. Se concluye con algunas consideraciones económicas sobre el empleo de Statnamic en la práctica.

Figura 5. Descripción del equipo Statnamic y etapas del ensayo



1.2 Ventajas y desventajas de los diferentes métodos

Tabla I. Diferentes tipos de ensayos

Método	Ventajas	Inconvenientes
Sónico con martillo de mano.	<p>No se requiere preparación especial del pilote.</p> <p>Rapidez, sencillez y economía.</p> <p>Detecta los fallos importantes en la calidad</p>	<p>Requiere interpretación especializada.</p> <p>La punta del pilote no se detecta bien cuando la esbeltez es importante o hay varios cambios de sección.</p> <p>Se debe esperar a que el hormigón tenga una cierta resistencia.</p>
Ultrasónico "cross-hole".	<p>Se emplea en pilotes hormigonados "in situ" de cualquier diámetro o longitud.</p> <p>Los defectos se identifican claramente a cualquier profundidad.</p>	<p>Requiere que se dejen colocados tubos embebidos en el hormigón. En pilotes prefabricados esto no suele ser posible.</p> <p>Los tubos a veces se deterioran y quedan inservibles.</p> <p>Se debe esperar a que el hormigón tenga una cierta resistencia.</p>
Ensayos rápidos de carga.	<p>Permiten una evaluación del pilote no solo estructural sino también geotécnica, obteniéndose su capacidad de carga.</p>	<p>Requiere una masa importante de impacto (ensayo dinámico) o un equipo especial (Statnamic).</p>
Control automático de ejecución.	<p>Facilitan datos en tiempo real durante la ejecución del pilote, lo que permite optimizar el empleo de materiales y detectar fallos en edad temprana.</p>	<p>Solo están desarrollados para pilotes hincados y para pilotes barrenados.</p>
Consideraciones técnicas del método Statnamic.	<ul style="list-style-type: none"> * Masa de caída < 2% de la carga máxima * Selección aleatoria del pilote a ensayar * Varios pilotes al día * Ensayos fáciles de realizar * Alternativa económica 	<ul style="list-style-type: none"> * Ondas de tensión que pueden dañar el pilote * Impactos excéntricos pueden producir flexiones * Apoyos de punta en estrato duro pueden dañar al pilote por compresión * El cálculo de la capacidad importante del pilote depende de varios parámetros que hay que estimar.

2. MÉTODO SÓNICO

2.1 Descripción del método

Es el método más utilizado internacionalmente. Consiste en golpear la cabeza del pilote con un martillo de mano y obtener mediante instrumentación el movimiento de la cabeza del pilote como consecuencia de la onda de tensión generada. En un método dinámico que induce una baja deformación en el pilote, denominándose generalmente **método sónico**, aunque también se le nombra como **sísmico**, **ensayo de integridad de baja deformación** o **ensayo de impedancia mecánica**. Se aplica a cualquier tipo de pilote, no requiere ninguna especificación técnica para ensayos de integridad de pilotes preparación especial en el mismo, ni necesita equipo pesado, por lo que resulta económico y de gran rendimiento.

Dado que el porcentaje estadístico de fallos es reducido, se debe ensayar el 100% de los pilotes de la obra. En el caso de que la dirección de obra admitiese una reducción del muestreo, este debe ser del 30% como mínimo.

Los ensayos se realizarán, según la norma ASTM D 5882-96.

En el caso de realizarse ensayos en la totalidad de los pilotes, o en un muestreo significativo, las cargas admisibles por razón estructural de los pilotes se podrán incrementar en un 20%, de acuerdo con la norma francesa de pilotes DTU 13.2.

2.2 Aparato utilizado

El ensayo es de tipo de martillo de mano, cuyo golpe envía una onda de compresión a lo largo del fuste del pilote. Esta onda es reflejada por las discontinuidades del pilote, por su punta, o por cambios de sección o variaciones del terreno que lo rodea. Los movimientos consiguientes de la cabeza del pilote son captados por un acelerómetro. La señal del acelerómetro es amplificada y digitalizada por un sistema electrónico y convertida en medida de velocidad, que se presenta inmediatamente en la pantalla de un microcomputador portátil. La curva obtenida se debe archivar en el equipo, para su posterior tratamiento e impresión, mediante ploter o impresora. El gráfico de velocidad de un pilote continuo aparece en la pantalla como una línea relativamente recta con dos picos. El primero de ellos es el causado por el impacto del martillo, mientras que el segundo es causado por la reflexión en la punta del pilote. El programa informático debe incorporar diferentes técnicas para mejorar y explotar las señales obtenidas, tales como suavizar y promediar los golpes del martillo, la obtención de la curva media de varios pilotes, y la amplificación de la señal con la profundidad de manera lineal o exponencial para compensar los efectos de pérdida de señal con la profundidad.

En caso de curvas que presenten dudas en su interpretación, se dispondrá de otro martillo instrumentado con un acelerómetro en la cabeza, que permita obtener la fuerza del impacto en función del tiempo. El programa informático permitirá obtener de dichos datos un gráfico del ensayo en el dominio de frecuencia, calculando la admitancia mecánica en una gama de frecuencias que comprenda al menos de cero a mil Hz.

2.3 Preparación del pilote para el ensayo

Los pilotes deben estar descabezados o accesibles al menos en parte en el momento del ensayo, y sin presencia del agua.

El hormigón no tendrá, en general, menos de una semana en el momento del ensayo. Para la realización del ensayo se requiere que la cabeza del pilote sea de hormigón sano y compacto.

Es recomendable disponer de un plano con la identificación de los pilotes, su longitud aproximada, y posibles incidencias durante su construcción.

Se necesita conocer las características geotécnicas del suelo atravesado por el pilote, para facilitar la interpretación.

2.4 Criterios de aceptación y rechazo

Los pilotes que presenten reflexiones insignificantes de la onda sónica en puntos del fuste del pilote por encima de la punta, y una clara reflexión de la onda en la punta, pueden ser aceptados. Cuando no se aprecia una reflexión clara de la onda sónica en la punta, cosa que puede suceder en pilotes muy esbeltos, el ingeniero superior especialista establecerá hasta qué profundidad el ensayo puede considerarse significativo.

Si se aprecian reflexiones significativas de la onda por encima de la punta del pilote, el ingeniero especialista tratará de dar una interpretación evaluando los posibles defectos en el pilote. Para ello se podrá auxiliar de las curvas en el dominio de frecuencia, de modelos matemáticos u otros métodos, así como de

las informaciones facilitadas por el constructor, la dirección facultativa u otros agentes que intervengan en el proceso constructivo. Si la evaluación realizada concluye que el defecto reduce significativamente la capacidad estructural de pilotes, este será calificado como rechazable. En el caso de gráficas de ensayo complicadas, que no permitan llegar a una conclusión clara, el pilote será calificado como cuestionable.

2.5 Acciones correctas

Los pilotes calificados como rechazables o cuestionables, pueden ser sustituidos por otros, a criterio de la dirección facultativa.

Los pilotes calificados como cuestionables pueden ser sometidos a pruebas y ensayos complementarios, tales como pruebas de carga estáticas o dinámicas, o sondeos con recuperación de testigo continuo del hormigón, ensayos **cross-hole** o excavación perimetral si los defectos no están a gran profundidad.

Las acciones correctoras pueden consistir en inyecciones a presión a través de perforaciones en el hormigón del pilote, en micropilotes perforados dentro del pilote, u otras.

En el caso de defectos en la parte superior del pilote, se puede demoler dicha zona y volver a reconstruir. En todos los casos se puede volver a realizar el ensayo sónico de los pilotes reparados.

2.6 Informes de resultados

El ingeniero superior especialistas responsable del ensayo dispondrá de 48 horas después de finalizados los ensayos, para facilitar los resultados finales y la evaluación de la integridad de los pilotes, al menos en forma de avance del informe.

Para cada pilote ensayado se facilitará una gráfica con al menos tres curvas en el dominio de tiempo (velocidad en función del tiempo), correspondientes a diferentes golpes de martillo. A criterio del ingeniero especialista responsable del informe, se pueden incluir también otros cálculos, o curvas en el dominio de frecuencias, si sirven para interpretar mejor algún ensayo.

Otros datos generales a incluir en el informe definitivo son:

- Nombre de la obra y localización
- Resumen de la estratificación geotécnica
- Tipología de los pilotes ensayados. Diámetro, longitud, sistema constructivo, edad del hormigón, empalmes en su caso
- Incidencia durante la construcción
- Descripción del aparato utilizado en el ensayo
- Fecha de realización de los ensayos. Localización de los pilotes ensayados, adjuntando croquis o plano en caso necesario.

3. MÉTODO ULTRASÓNICO CROS-HOLE

3.1 Descripción del método

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

En el caso de existir defectos en el camino de las ondas tales como inclusiones de tierra, oqueades, coqueras u otros que hagan alargar el tiempo de recorrido, en la figura 2 del ensayo queda reflejada la variación y la profundidad a que se ha producido.

Los datos son almacenados de manera digital en el equipo, y las gráficas pueden ser impresas directamente en la obra o revisadas e impresas en gabinete.

Los ensayos se realizarán, según la norma NF P 94-160-1 o la norma ASTM D 6760-02.

En el caso de realizarse ensayos en la totalidad de los pilotes, o en un muestreo significativo, las cargas admisibles por razón estructural de los pilotes se podrán incrementar en un 20%, de acuerdo con la norma francesa de pilotes DTU 13.2.

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

3.2 Aparatos utilizados

El equipo está formado por:

- * Unidad central con funcionamiento a batería, pantalla, impresora y capacidad de almacenamiento digital de datos. Los datos se presentan en la pantalla en forma gráfica con eje de tiempo en horizontal y de profundidad en vertical. El intervalo estandar de medidas será como máximo de 5 cm en vertical.
- * Emisor y receptor de ultrasonidos, con longitud de cable suficiente para llegar al fondo de los tubos instalados. Tendrán capacidad de transmitir y recibir la señal al menos a través de 1,5 m de hormigón. Su diámetro máximo será de 25 mm. La frecuencia mínima de trabajo del emisor y del receptor será de 50.000 Hz.
- * Poleas para bajar las sondas por los tubos. Al menos una de ellas estar instrumentada para poder conocer la profundidad a la que se encuentra la sonda con un error máximo del 2%.
- * Programa informático en ordenador de oficina suficiente para imprimir en impresora láser los gráficos de los ensayos, junto con los datos identificativos del mismo.

3.3 Tubos embebidos

Para la realización del ensayo se precisa que en los pilotes el contratista deje instalados tubos para poder introducir las sondas hasta la profundidad que se quiera ensayar. Los requisitos para estos tubos son los siguientes:

- * Los tubos deben ser preferentemente de acero, con diámetro mínimo 40 mm y preferiblemente 50 mm. Se pueden emplear tubos de plástico en pilotes cortos, pero es muy fácil que se deterioren durante el hormigonado y queden inservibles, y que no ofrezcan buena adherencia al hormigón.
- * No es aconsejable utilizar tubos de mayor diámetro para aprovechar, por ejemplo, tubos destinados a perforaciones o inyecciones en la punta del pilote, ya que la señal ultrasónica debe atravesar mayor espesor de agua en el tubo y pierde energía, lo cual reduce el alcance de la misma y dificulta el ensayo en pilotes de gran diámetro.
- * Se unirán firmemente a la armadura del pilote, con sujeciones adecuadas al menos cada metro.
- * Los empalmes deben realizarse con manguitos roscados, ya que las uniones soldadas pueden producir rebabas que dificulten el paso de las sondas o deterioren los cables.

3. Los extremos inferiores deben cerrarse herméticamente por medio de tapones metálicos, para impedir la entrada de elementos extraños y para evitar la pérdida del agua que deben contener durante el ensayo.
- * Los extremos superiores deben cerrarse para evitar la caída accidental de material hasta el momento de realización del ensayo. Sobresaldrán al menos 40 cm y no más de 150 cm del hormigón del pilote, o del terreno, si están enterrados en el momento del ensayo.
 - * Los tubos deben llenarse de agua limpia previamente al ensayo, y deberá comprobarse que no tienen obstrucciones, ni se producen pérdidas de agua.
 - * El número de tubos por pilote, según la norma francesa DTU 13.2 es el siguiente:
 - 2 tubos para diámetros de pilote inferiores o iguales a 60 cm.
 - 3 tubos para diámetros de pilote hasta 120 cm.
 - 4 tubos para diámetros de pilote superiores a 120 cm.

3.4 Realización del ensayo

Los pilotes estarán accesibles y sin presencia de agua.

El hormigón no tendrá, en general, menos de una semana en el momento del ensayo.

Es recomendable disponer de un plano con la identificación de los pilotes, su longitud aproximada, e información sobre posibles incidencias durante su construcción.

Previamente al inicio del ensayo de cada pilote, se pasará una plomada por cada tubo, se medirá su longitud, y se comprobará la ausencia de obstrucciones.

Se comprobará que están llenos de agua.

En pilotes con cuatro tubos se realizarán seis ensayos, cuatro en las parejas de tubos adyacentes y dos en las parejas de tubos diagonalmente opuestos.

El ensayo se realizará después de bajar las sondas hasta el fondo de los tubos, levantando ambas simultáneamente después de asegurarse de que están en el mismo plano horizontal.

3.5 Criterios de aceptación y rechazo

Los pilotes que presenten una gráfica uniforme de tiempo de llegada de la onda ultrasónica en toda su altura y en todos los perfiles ensayados pueden ser aceptados.

En el caso de que uno o varios perfiles entre parejas de tubos presenten retrasos significativos o pérdidas de señal a una o varias profundidades, el ingeniero superior especialista tratará de dar una interpretación evaluando los

posibles defectos en el pilote. El número y posición de perfiles que tienen una determinada anomalía a una misma profundidad puede dar una indicación de la zona afectada en planta. Se podrá auxiliar de informaciones facilitadas por el constructor, la dirección facultativa u otros agentes que intervengan en el proceso constructivo. La interpretación concluirá con una estimación de la gravedad de la anomalía detectada.

3.6 Acciones correctoras

Los pilotes con anomalías pueden ser aceptados, reparados, rechazados o sustituidos por otros, a juicio de la dirección facultativa. Antes de adoptar una decisión, los pilotes pueden ser sometidos a pruebas y ensayos complementarios, tales como pruebas de carga estáticas, Statnamic o dinámicas, sondeos con recuperación de testigo continuo, o excavación perimetral si los defectos no están a gran profundidad.

3.7 Informe de resultados

El ingeniero superior especialista responsable del ensayo dispondrá de 48 horas después de finalizados los ensayos para facilitar los resultados finales y la evaluación de la integridad de los pilotes, al menos en forma de avance de informe.

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

Las gráficas definitivas se presentarán preferentemente en impresión por láser o ploter de los ficheros de datos obtenidos en obra. No son recomendables las gráficas obtenidas en tiras pequeñas de papel por la impresora del propio aparato en obra. En cada gráfica se imprimirán también datos identificativos como:

- * Fecha del ensayo

- * Nombre de la obra

- * Identificación del pilote ensayado

- * Identificación del perfil entre parejas de tubos

- * Otros datos que deben figurar en el informe definitivo son:

Localización detallada de los pilotes o módulos de pantalla ensayados, incluso croquis o copias de planos en caso necesario

Croquis de situación y numeración de los tubos

Longitud y diámetro de los pilotes, y tipología constructiva

Resumen de datos geotécnicos del terreno

Incidencias durante la construcción

Longitud de los tubos, medida con la plomada

Descripción del aparato utilizado.

Cota de origen de las gráficas, indicando si es el extremo superior de los tubos, o del hormigón, y la longitud exenta de los tubos fuera del hormigón.

4. ENSAYOS DE INTEGRIDAD ESTRUCTURAL DE PILOTES

4.1 Generalidades

Los ensayos de integridad de pilotes suministran informaciones sobre las dimensiones físicas, la continuidad o la consistencia de los materiales empleados en los pilotes, y no suministran información directa sobre el comportamiento de los pilotes en condiciones de carga.

Estos ensayos no pretenden reemplazar a los ensayos estáticos de carga, sino que constituyen una fuente adicional de información sobre los pilotes construidos. Significan una potente herramienta de trabajo para poder determinar experimentalmente la existencia de defectos en los pilotes con rapidez y economía, por lo que son utilizados básicamente como control de calidad generalizado de los pilotes.

En el caso de detectarse anomalías mediante los ensayos de integridad, la dirección de obra puede recurrir a otros métodos para intentar investigar las causas, la naturaleza y la extensión de la anomalía, y determinar si el pilote es apto para el uso que se pretende. Los métodos empleados tradicionalmente en estos casos son la excavación alrededor del pilote y los sondeos con extracción de testigo continuo del fuste del pilote. La realización de sondeos solo permite obtener datos del testigo extraído y de las paredes del sondeo, cuya posición

con respecto al eje del pilote es difícil de conocer exactamente cuando la profundidad es grande.

Los resultados de los ensayos de integridad necesitan ser interpretados por personal experimentado. Las modernas técnicas electrónicas e informáticas permiten un procesamiento y un tratamiento de las señales que facilitan la posterior presentación e interpretación de los resultados. No se puede esperar que los ensayos de integridad identifiquen todas las imperfecciones existentes en un pilote, pero son una potente herramienta principalmente como salvaguardia contra defectos importantes. Los ensayos de integridad pueden identificar defectos de menor importancia que no afecten gravemente al pilote, por lo que resulta fundamental la experiencia del técnico responsable de la interpretación.

Las pruebas de carga permiten conocer el comportamiento real de los pilotes en el terreno, sometidos a cargas generalmente superiores a las de servicio. Se realizan en la fase de proyecto de la cimentación, o en la fase de construcción, como comprobación del diseño realizado. Dadas las elevadas cargas a aplicar, usualmente del orden de cientos de toneladas, son ensayos muy costosos, por lo que la tendencia es a realizarlos cada vez menos y solo en obras de elevado presupuesto. Los modernos ensayos rápidos de carga, de coste muy inferior, permiten la realización de pruebas de carga en obras de presupuestos medios, que se benefician así también del diseño más ajustado que admiten las normas cuando se realizan ensayos de carga.

4.2 Métodos de ensayo de integridad estructural

Las nomenclaturas existentes son variadas y contradictorias en la literatura técnica y en la publicidad suministradoras de equipos y de las empresas que realizan ensayos, utilizándose palabras como "sónico", "sísmico" y "dinámico" con diferente significado, según los autores, por lo que los nombres utilizados a continuación pueden no coincidir con los que aparezcan en otros documentos, aunque trataremos de hacer referencia más al método en sí que al nombre.

Son tres los métodos de ensayo de integridad de pilotes más difundidos, que también se emplean en nuestro país:

- * El más utilizado internacionalmente consiste en golpear la cabeza del pilote con un martillo de mano y obtener mediante instrumentación el movimiento de la cabeza del pilote como consecuencia de la onda de tensión generada. Es un método dinámico que induce una baja deformación en el pilote, denominándose generalmente "método sónico", aunque también se le nombra como **sísmico**, **ensayo de integridad de baja deformación**, ***sonic echo*** (en inglés) o **ensayo de impedancia mecánica**.

- 4. Se aplica a cualquier tipo de pilote, no requiere ninguna preparación especial en el mismo, ni necesita equipo pesado, por lo que resulta económico y de gran rendimiento (Figura 6, Figura 7 y Figura 8).

Figura 6. Disposición del ensayo sónico con martillo instrumentado

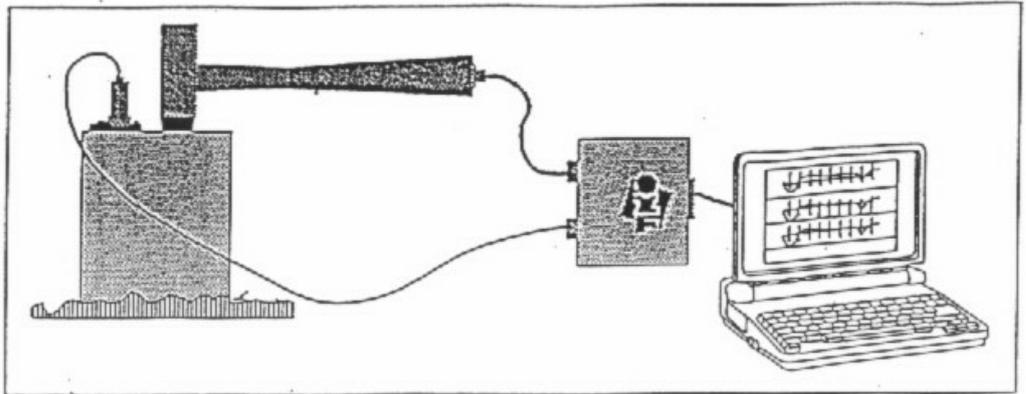


Figura 7. Ondas sónicas viajando a lo largo del pilote

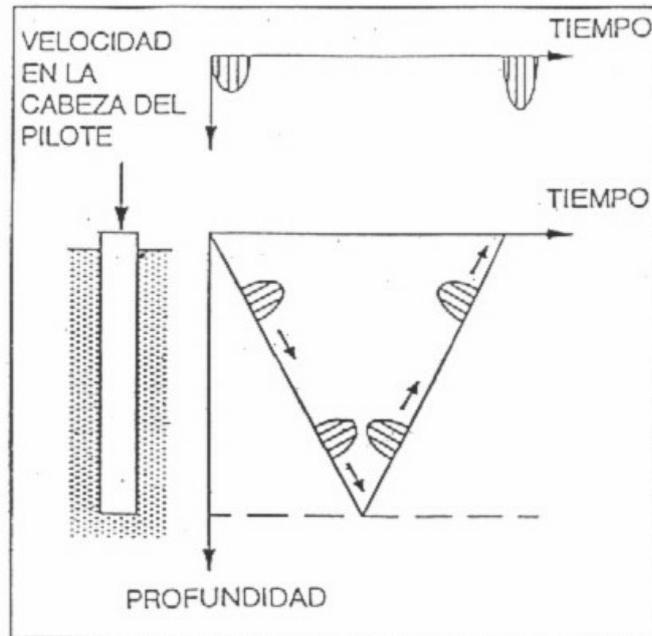
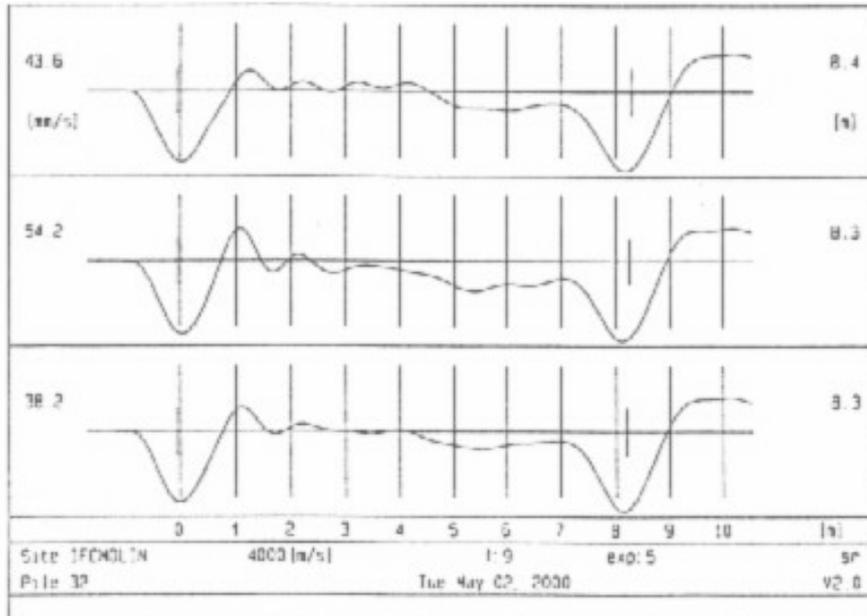


Figura 8. Gráficas resultado del ensayo sónico



- * Otro método muy conocido consiste en hacer descender un emisor y un receptor de ultrasonidos por dos conductos huecos paralelos en el interior del fuste del pilote, registrándose el tiempo empleado en recorrer la distancia entre ambos. Es también un método dinámico que induce una baja deformación en el pilote, denominándose generalmente **cross-hole ultrasónico**, aunque también se le denomina **sondeo sónico**, **sondeo sísmico**, **ensayo sísmico paralelo**, **cross hole sonic logging** (en inglés) o **ensayo por transparencia sónica**. Requiere que se dejen dos o más tubos embebidos en el hormigón, o que se realicen taladros en el hormigón endurecido. Una vez realizado esto, el ensayo es rápido y no precisa equipos pesados (Figura 9, Figura 10 y Figura 11a y 11b). Este método se utiliza también en muros pantalla de hormigón armado.

Figura 9. Configuración típica de ensayo ultrasónico "cross-hole"

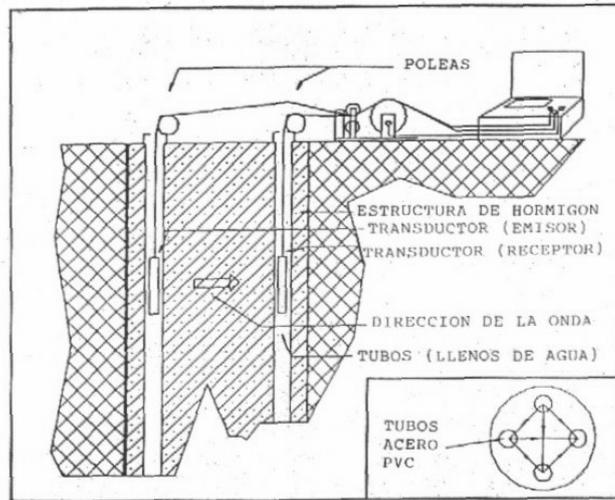


Figura 10. Configuración con un solo tubo embebido en el pilote

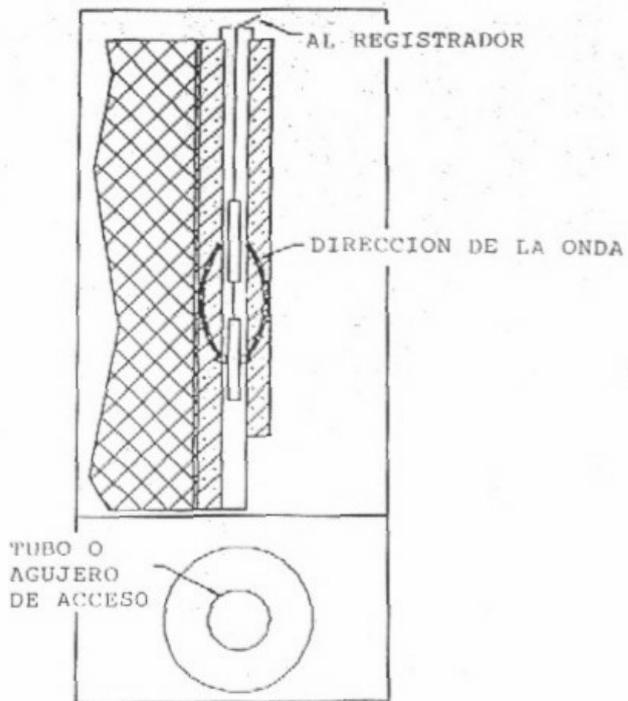


Figura 11 Gráfica de cross-hole ultrasónico en hormigón homogéneo

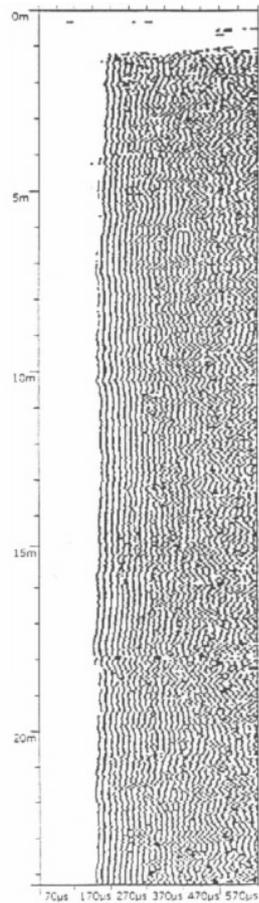
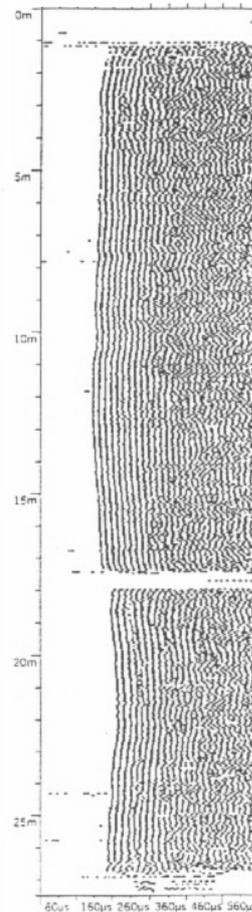


Figura 12 Gráfica de cross-hole ultrasónico en hormigón no homogéneo



5. El tercer método es el que dispone de más tradición, consistiendo en dejar caer una masa importante sobre la cabeza del pilote protegida por una sufridera, instrumentándose la cabeza del pilote para obtener la fuerza y la velocidad en función del tiempo. Es un método utilizado

preferentemente en pilotes hincados, ya que aprovecha la misma energía proporcionada por el martillo de hinca. Es un método dinámico que induce una fuerte deformación en el pilote, denominándose generalmente **ensayo de respuesta dinámica** o simplemente **ensayo dinámico**, aunque algunos autores no lo incluyen entre los ensayos de integridad. En pilotes hincados no requiere preparación especial, ya que se utiliza el mismo martillo de hinca y la instrumentación es sencilla, pero en otros tipos de pilotes si que requiere medios pesados, ajenos a los de ejecución del pilote, para disponer sobre el mismo una masa considerable con una cierta altura de caída. En la actualidad se han desarrollado sistemas más sencillos y transportables de dar la energía necesaria para el ensayo.

Tabla II. Parámetros característicos de los diferentes tipos de ensayos descritos

	Ensayos			
	Sónicos	Dinámicos	Semiestáticos	Estáticos
Masa martillo	0,5-5 kg	2000-10000 kg	2000-5000 kg	N/A
Deformación máxima en pilote	2-10*10 ⁻⁶	500-1000*10 ⁻⁶	1000*10 ⁻⁶	1000*10 ⁻⁶
Velocidad máxima en pilote	10-40 mm/s	2000-4000 mm/s	500 mm/s	10-3 mm/s
Fuerza máxima	2-20 kN	2000-10000 kN	2000-10000 kN	2000-10000 kN
Duración de la fuerza	0,5-2 ms	5-20 ms	50-200 ms	107 ms
Aceleración del pilote	50 g	500 g	0,5-1 g	10-14 g
Desplazamiento del pilote	0,01 mm	10-30 mm	50 mm	> 20 mm
Longitud onda relativa (*)	0,1	1	10	108

(*) Relación entre la longitud de onda de la fuerza aplicada y el doble de la longitud del pilote.

4.3 Métodos rápidos de ensayo de carga

El método más conocido es el mismo ensayo dinámico del capítulo anterior, tercer método para la comprobación de la integridad estructural de pilotes. Está descrito en la norma ASTM D 4945-89 y es utilizado en todo el mundo, tanto en pilotes hincados como en pilotes perforados.

En pilotes prefabricados la carga se aplica con el mismo martillo de hincado empleado. En pilotes perforados y hormigonados **in situ** hace falta buscar una carga cualquiera con un peso entre 1 y 1,5 % de la carga de prueba estática y una altura de caída entre 2 y 3 m. Es decir, para una carga de prueba de 500 t, se necesita una masa de 5-7 t suspendida con una grúa.

La cabeza del pilote se prepara usualmente realizando un recrecido de hormigón dentro de una camisa metálica, en el que se colocan los sensores de velocidad y deformación, con una superficie plana en el extremo superior protegida por una chapa metálica y una sufridera sobre la que se produce el impacto. La carga se eleva con una grúa y se deja caer sobre el pilote, registrándose en un ordenador portátil la fuerza y la velocidad en la cabeza del pilote en función del tiempo (Figura 12 y Figura 13). Es importante que la energía del impacto sea suficiente para movilizar la capacidad resistente del suelo. Por ello es usual aplicar 4 ó 5 golpes con altura de caída creciente, registrándose los parámetros de la respuesta del pilote.

Figura 13. Esquema t'pico de ensayo dinámico

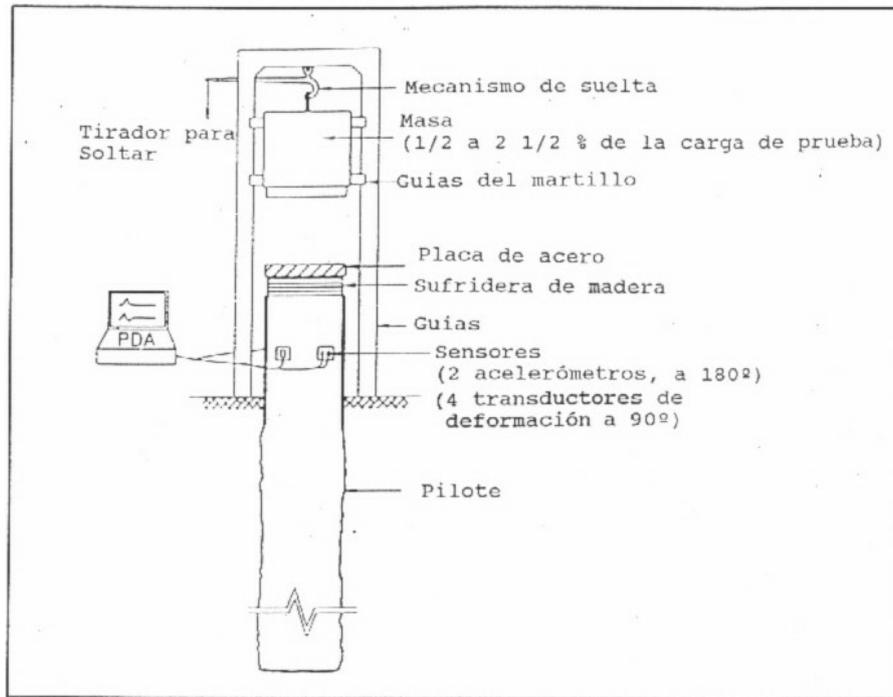
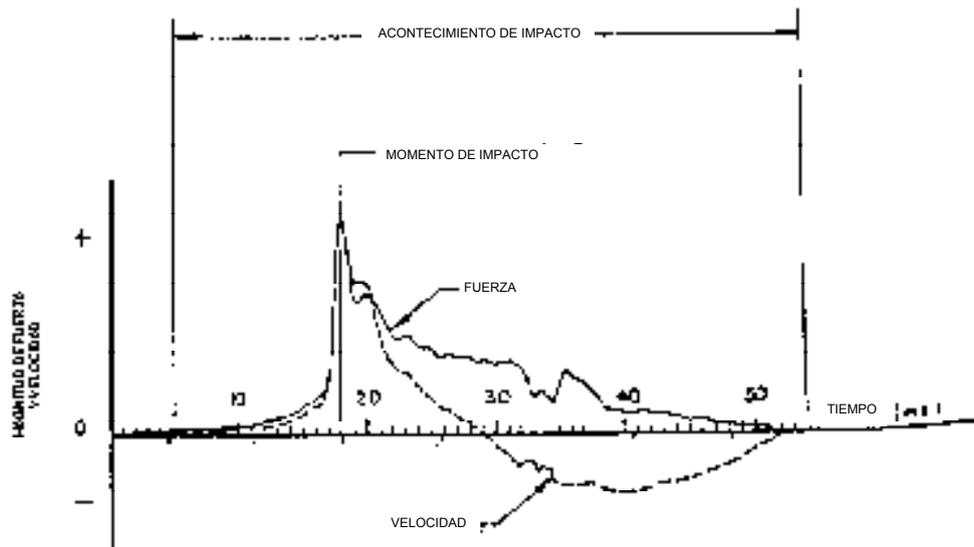


Figura 14. Registro de fuerza y velocidad en un ensayo dinámico

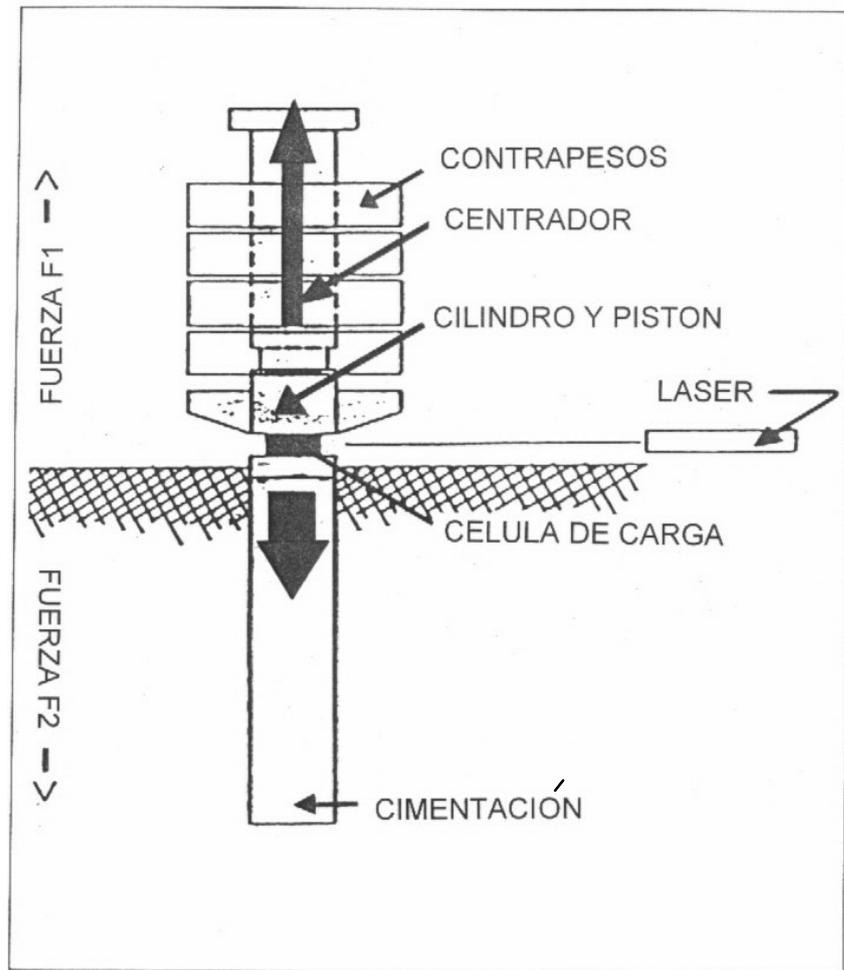


Los resultados obtenidos se tratan en el ordenador con programas informáticos que incorporan diferentes fórmulas o métodos numéricos para estimar la capacidad de carga y presentar los resultados obtenidos de manera rápida, incluso en la misma obra. Es práctica usual realizar al menos un ensayo estático de carga de tipo convencional en un pilote ensayado dinámicamente, con objeto de correlacionar la resistencia estática y dinámica del pilote. En el caso de que exista ya experiencia local en pilotes similares con parecidas condiciones del subsuelo, se puede obviar el ensayo estático de carga.

El otro método rápido de ensayo de carga es el denominado **Statnamic**. La carga se aplica de manera casi estática, con duración del orden de cien milisegundos, mientras que en el método dinámico era de pocos milisegundos, por lo que no se produce onda de choque ni efectos dinámicos, que en determinados casos pueden llegar a dañar al pilote. Se empuja el pilote de manera suave hasta la carga de prueba prevista, obteniéndose una curva carga-asiento directa e instantáneamente. La aceleración que sufre el pilote es de un g, mientras que en el ensayo dinámico es de cien a mil g.

Para conseguir aplicar una carga importante de esta manera suave, se utiliza un ingenioso sistema (ver figura 14) consistente básicamente en una cámara de combustión colocada en el centro de la cabeza del pilote, en la que se produce la ignición controlada de un combustible. La fuerza generada levanta un pistón sobre el que apoyan unos contrapesos importantes, del orden del 5 al 10% de la carga estática de prueba. Por el principio de acción y reacción, una fuerza centrada de igual magnitud comprime el pilote.

Figura 15. Esquema conceptual del ensayo Statnamic



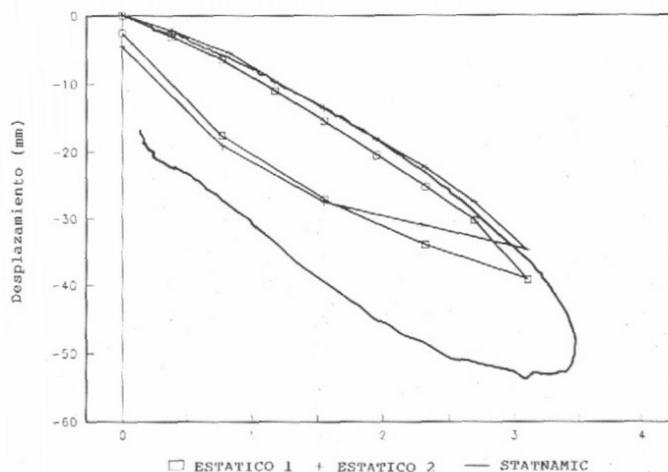
Los contrapesos pueden ser contruidos "in situ", con materiales locales (hormigón o acero), de tipo modular, de manera que se pueden apilar sobre el pistón en piezas manejables de no más de 3 t de forma circular, con un hueco en el centro para dejar pasar un eje centrador, que sirve también de vía de escape de los gases de la combustión. El conjunto queda dentro de un contenedor cilíndrico exterior de chapa relleno de grava, que, al producirse la ignición y levantarse los contrapesos, rellena los espacios creados y amortigua

la caída posterior de los contrapesos. Ultimamente se han desarrollado bastidores metálicos que simplifican la operación de frenado y sujección de los contrapesos.

La instrumentación consiste en una célula de carga que mide directamente la fuerza aplicada a la cabeza del pilote y en un sensor de desplazamientos por láser colocado en la cabeza del pilote, sobre el que incide un rayo láser de referencia desde 20 m de distancia. Se obtiene de este modo una curva carga-deformación de manera instantánea en la pantalla del ordenador portátil que recibe las señales.

En la Figura 15, se comparan los resultados obtenidos con dos pruebas estáticas de carga y una Statnamic en pilotes con carga de trabajo 1,55 MN (158 t) ensayados con carga de prueba 200 % de la de trabajo, 3,1 MN (316 t). Como se puede ver, los resultados son idénticos.

Figura 16. Curva carga - desplazamiento



Se puede ensayar un pilote al día, con un costo sensiblemente inferior al de una prueba estática convencional.

4.4 Utilización del método sónico

El ensayo es del tipo de martillo de mano, cuyo golpe envía una onda de compresión a lo largo del fuste del pilote. Esta onda es reflejada por las discontinuidades del pilote, por su punta, o por cambios de sección o variaciones del terreno que lo rodea. Los movimientos consiguientes de la cabeza del pilote son captados por un acelerómetro. La señal del acelerómetro es amplificada y digitalizada por un sistema electrónico y convertida en medida de velocidad, que se presenta inmediatamente en la pantalla de un microcomputador portátil. La curva obtenida se puede archivar en el disco duro del equipo para su posterior tratamiento e impresión mediante ploter o impresora.

El gráfico de velocidad de un pilote continuo aparece en la pantalla como una línea relativamente recta con dos picos. El primero de ellos es el causado por el impacto del martillo, mientras que el segundo es causado por la reflexión en la punta del pilote. El programa informático incorpora diferentes técnicas para mejorar y explotar las señales obtenidas, tales como suavizar y promediar los golpes de martillo, la obtención de la curva media de varios pilotes, y la amplificación de la señal con la profundidad de manera lineal o exponencial para compensar los efectos de pérdida de señal con la profundidad.

Los pilotes no requieren ninguna preparación especial, únicamente se necesita que se haya realizado ya el descabezado en el momento del ensayo, para que el golpe del martillo se realice sobre hormigón sano y la onda no refleje en discontinuidades o coqueas del hormigón poco compacto existente en la cabeza del pilote antes del descabezado. La edad mínima del hormigón en el momento del ensayo es de siete días, para garantizar un grado de endurecimiento y un módulo de elasticidad que permitan que la onda se propague. En ocasiones se han conseguido obtener buenas señales a edades incluso más tempranas. Los ensayos no producen ninguna interferencia en la marcha de la obra, ya que se pueden ensayar grupos de pilotes a medida que se van construyendo y descabezando, y suele bastar un día o dos de preaviso para la realización de los ensayos. El rendimiento es elevado, y en condiciones óptimas se pueden ensayar más de cien pilotes al día.

El ensayo sónico también se puede utilizar en pilotes de cimentaciones antiguas, realizando previamente una cata por el lateral del encepado y dando el golpe del martillo y captando la onda en un lateral del pilote.

El ensayo se realiza, según la norma ASTM D 5882-96.

4.5 Utilización del método ultrasónico “Cross-Hole”

El método se basa en registrar el tiempo que tarda una onda ultrasónica en propagarse desde un emisor a un receptor que se desplazan simultáneamente por dos tubos paralelos sujetos a la armadura del pilote. El tiempo medido es

función de la distancia entre el emisor y el receptor y de las características del medio atravesado.

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

Los datos son almacenados de manera digital en el equipo, y las gráficas pueden ser impresas directamente en la obra o revisadas e impresas en gabinete. En la figura 9, la figura 10 y la figura 11 y 12 se puede ver un esquema de funcionamiento y unas gráficas típicas.

Para la realización del ensayo se precisa que en los pilotes el constructor deje instalados tubos para poder introducir las sondas hasta la profundidad que se quiera ensayar. Los requisitos para estos tubos son los siguientes: Los tubos deben ser preferentemente de acero, con diámetro mínimo 40 mm y preferiblemente 50 mm. Se pueden emplear tubos de plástico en pilotes cortos, pero es muy fácil que se deterioren durante el hormigonado y queden inservibles. Los empalmes deben realizarse con manguitos roscados, ya que las uniones soldadas pueden producir rebabas que dificulten el paso de las sondas o deterioren los cables. Los extremos inferiores deben cerrarse herméticamente por medio de tapones metálicos, para impedir la entrada de elementos extraños y para evitar la pérdida del agua que deben contener durante el ensayo. Los extremos superiores deben también cerrarse para evitar la caída accidental de material hasta el momento de realización del ensayo.

Sobresaldrán al menos 40 cm del hormigón del pilote. Los tubos deben llenarse de agua dulce limpia previamente al ensayo, y deberá comprobarse que no tienen obstrucciones, ni se producen pérdidas de agua.

El número de tubos por pilote, según la norma francesa DTU 13.2, es el siguiente:

- * 2 tubos para diámetros de pilote inferiores o iguales a 60 cm.
- * 3 tubos para diámetros de pilote hasta 120 cm.
- * 4 tubos para diámetros de pilote superiores a 120 cm.

Los pilotes deben estar accesibles y sin presencia de agua. El hormigón no tiene, en general, menos de una semana en el momento del ensayo. Es recomendable disponer de un plano con la identificación de los pilotes, su longitud aproximada, e información sobre posibles incidencias durante su construcción. En condiciones óptimas, se pueden realizar más de 130 m de ensayo en una hora.

Figura 17. Pilote barrenado con corte a 5 m de profundidad



Figura 18. Defecto detectado mediante el método sónico con martillo de mano



5. MÉTODO DE ENSAYOS DE CARGA DE PILOTES “STATNAMIC”

El ensayo de carga Statnamic está revolucionando el ensayo de los pilotajes en un número cada vez mayor de países de todo el mundo. Este original método de ensayo combina la precisión y la fiabilidad de los ensayos estáticos de carga con la comodidad y rapidez de los ensayos dinámicos. Statnamic requiere solo un 5 % de la reacción necesaria en un ensayo estático.

El nombre del método es Statnamic, formado por la unión de las palabras eSTATico y diNAMICo. Como indica su nombre, se trata de un ensayo de carga que se sitúa entre el estático y el dinámico.

La duración de la carga aplicada a la cabeza del pilote es mayor que en el ensayo dinámico pero inferior a la duración del ensayo estático.

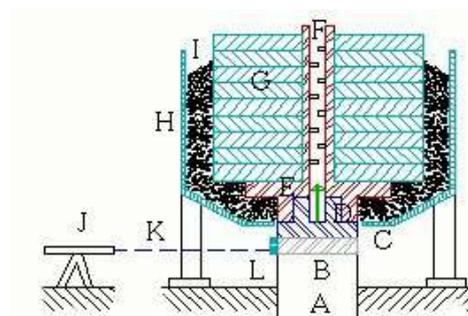
El desarrollo de Statnamic se inició al principio de los años noventa. En la actualidad ya se han realizado unos mil ensayos de carga Statnamic en Canadá, Estados Unidos, Japón y muchos otros países del mundo. Los equipos disponibles en la actualidad pueden realizar ensayos de carga Statnamic de hasta 30 MN (3000 t). Se espera que en los próximos años se puedan diseñar y construir equipos de mayor capacidad (60 MN o más).

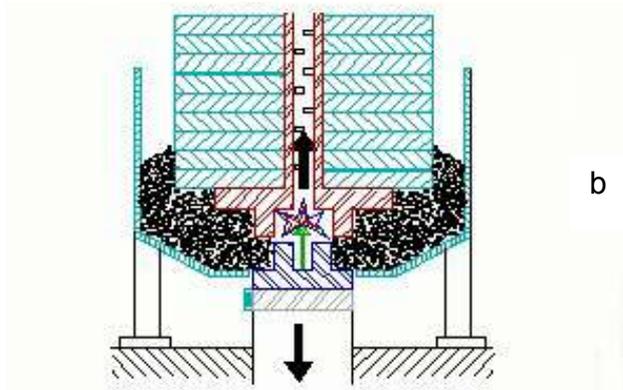
Estos equipos Statnamic de alta capacidad de carga no están limitados al ensayo de pilotes aislados, sino que permiten también el ensayo de grupos de pilotes y de elementos estructurales como pilas de

puente y grandes zapatas. Puesto que el fundamento de Statnamic reside en la aceleración de masas, los pilotes se pueden ensayar en cualquier dirección, incluso horizontal o inclinada.

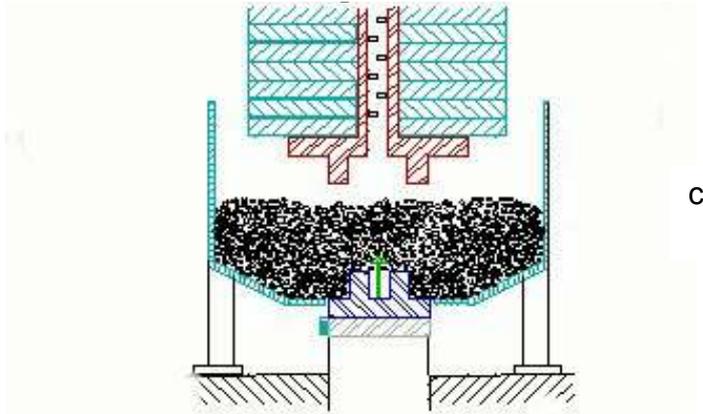
5.1 Fundamentos del ensayo de carga statnamic

El fundamento de Statnamic está basado en el lanzamiento hacia arriba de una masa de reacción desde la cabeza del pilote (Fig. 18). El lanzamiento se produce al generarse altas presiones en un cilindro, debido a la ignición de un combustible especial. Como reacción al lanzamiento el pilote es empujado suavemente hacia el interior del suelo. La carga ejercida sobre la cabeza del pilote se mide mediante una célula de carga. El desplazamiento de la cabeza del pilote se registra mediante un sensor láser especial. La célula de carga y el sensor láser forman parte del equipo de carga Statnamic. No hace falta instalar ningún tipo de instrumentación en el fuste del pilote. La masa de reacción requerida está comprendida entre 5 % y 10 % de la masa necesaria para un ensayo estático. Por ejemplo, para un pilote que se necesite ensayar hasta 2 MN (200 t) se requiere lanzar un contrapeso de reacción de 0,1 a 0,2 MN (10 a 20 t).

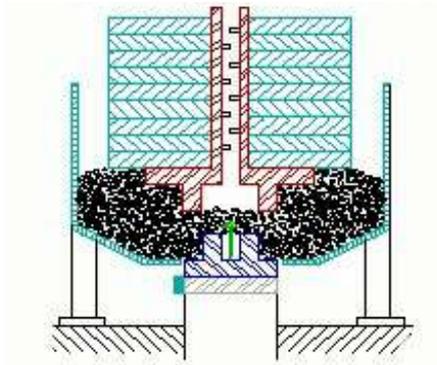




b



c



d

Los contrapesos tienen un diseño sencillo y pueden ser construidos en obra si es necesario, para reducir los costos de transporte. La construcción del equipo Statnamic de manera simple, modular y compacta permite el ensayo de pilotes en lugares de difícil acceso. La disposición del equipo Statnamic se presenta en la Figura 19a. Consiste en una célula de carga sobre la cabeza del pilote para medir la fuerza y en un sensor láser para medir el desplazamiento. Sobre la célula de carga se coloca un cilindro. El pistón forma parte de la plataforma sobre la que se colocan los contrapesos.

El cilindro y el pistón forman una cámara de ignición. Los contrapesos pueden tener la forma de cajones o de discos y estar hechos de acero, hormigón o plomo. En el centro de la plataforma se coloca un silenciador conectado a la cámara de ignición. Sobre el conjunto se coloca un contenedor de grava, rellenándose con grava el espacio entre el contenedor y los contrapesos.

La grava se utiliza como amortiguador de los contrapesos cuando vuelven a caer después del lanzamiento y como sistema de protección del cilindro y de la cabeza del pilote. Los equipos de hasta 4 MN utilizan un sistema de amortiguación hidráulico en vez del contenedor de grava.

La (figura 19 a-d) representa las etapas sucesivas de un ensayo de carga Statnamic. La figura 19a es la situación justo antes del lanzamiento. En la figura 19b el combustible ha entrado en ignición. La ignición del combustible genera altas presiones y los contrapesos son acelerados hacia arriba.

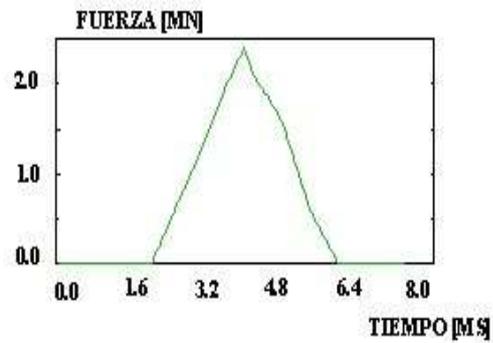
En este momento se produce la entrada en carga del pilote, ya que la fuerza de reacción empuja el pilote hacia dentro del terreno. Las señales de fuerza y desplazamiento son registradas automáticamente por el sistema electrónico FPDS (*Foundation Pile Diagnostic System*). El movimiento hacia arriba de los contrapesos deja un hueco que es rellenado por la grava debido a la simple acción de la gravedad (figura 19c), formando una capa protectora sobre la cabeza del pilote. Cuando los contrapesos vuelven a caer son detenidos por la grava, y las fuerzas de impacto son transmitidas directamente al suelo por el contenedor (figura. 19d).

El sistema de amortiguación con grava es muy fiable, ya que está basado en la gravedad siempre presente. Con esta configuración, basada en la amortiguación de los contrapesos con grava, se pueden ensayar uno o dos pilotes al día mediante ensayos Statnamic.

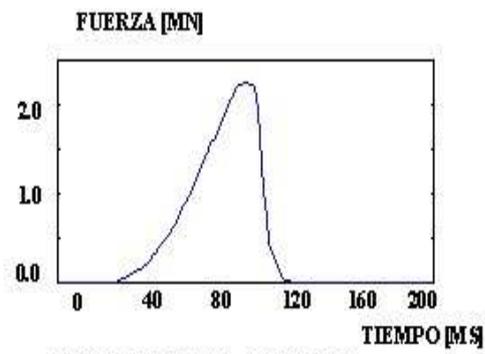
La duración de un ensayo Statnamic y su velocidad de incremento de carga pueden ser controladas ajustando el volumen de la cara de ignición, la forma del cilindro y del pistón, la cantidad y el tipo de combustible y la cantidad de masa de reacción levantada. Como consecuencia, la carga puede ser introducida de manera más gradual y con más duración que en el ensayo dinámico de carga.

En la figura 20 se ha representado un ejemplo de curvas fuerza - tiempo de un ensayo de carga dinámico, un ensayo de carga Statnamic y un ensayo de carga estático. La duración del proceso de carga Statnamic mantiene el pilote en compresión en todo momento, sin que se lleguen a producir tracciones. El centrado del equipo Statnamic en la cabeza del pilote garantiza que la carga se aplica en el eje del pilote.

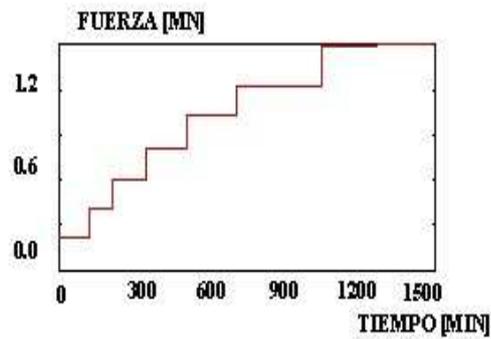
Figura 20. Gráficos fuerza tiempo



ENSAYO DE CARGA DINAMICO



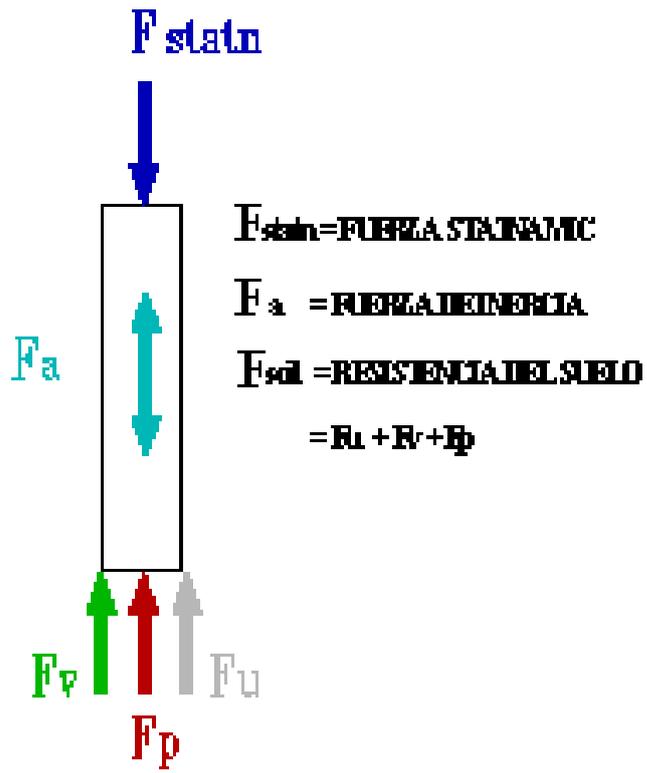
ENSAYO DE CARGA ESTÁTICO



ENSAYO DE CARGA ESTÁTICA

La larga duración de la aplicación de la carga por Statnamic produce que el comportamiento del pilote sea como en un ensayo estático, con desplazamientos similares. Esto justifica una modelización sencilla del conjunto suelo pilote, en la que no hay que tener en cuenta los fenómenos de ondas de tensión. El pilote se puede considerar como una masa sobre la que actúa la fuerza Statnamic, la inercia y la resistencia del suelo (figura 21).

Figura 21. Fuerzas que actúan sobre el pilote durante el ensayo Statnamic



5.2 Statnamic lo mejor de los ensayos estáticos y dinámicos

Combina lo mejor de las alternativas existentes

En la construcción de nuestros días existe una demanda cada vez mayor sobre poder verificar el cumplimiento de los requisitos de comportamiento especificados, también en las cimentaciones de las estructuras. Los requisitos de comportamiento que se deben verificar en una cimentación por pilotaje será la carga de hundimiento y el asiento bajo la carga de servicio. Un método fiable de verificación es el ensayo estático de carga. Sin embargo este método es demasiado costoso y lento para ser utilizado de manera rutinaria en las obras. Hasta hace poco la única alternativa económica era el ensayo dinámico de carga mediante la caída de una masa o mediante un martillo de hinca. Aunque el ensayo dinámico resulta económico y sencillo de realizar, presenta algunas desventajas con respecto al ensayo estático:

- * Las ondas de tensión pueden introducir tracciones que pueden fisurar o romper el pilote.
- * Si la carga no está centrada se pueden crear flexiones en el pilote para las que no esté preparado y resultar dañado.
- * El tratamiento posterior de las señales obtenidas se realizó un Análisis anterior que requiere experiencia e ingenieros muy preparados.
- * Se requiere una calibración con un ensayo estático en muchos casos. Por ejemplo, el Eurocódigo 7 prescribe: los resultados de los ensayos dinámicos de carga que se pueden utilizar para

proyectar, siempre que se haya realizado una investigación adecuada del emplazamiento y que el método haya sido calibrado en relación con ensayos estáticos de carga sobre el mismo tipo de pilotes, de similar longitud y sección transversal, y en unas condiciones de terreno equivalentes.

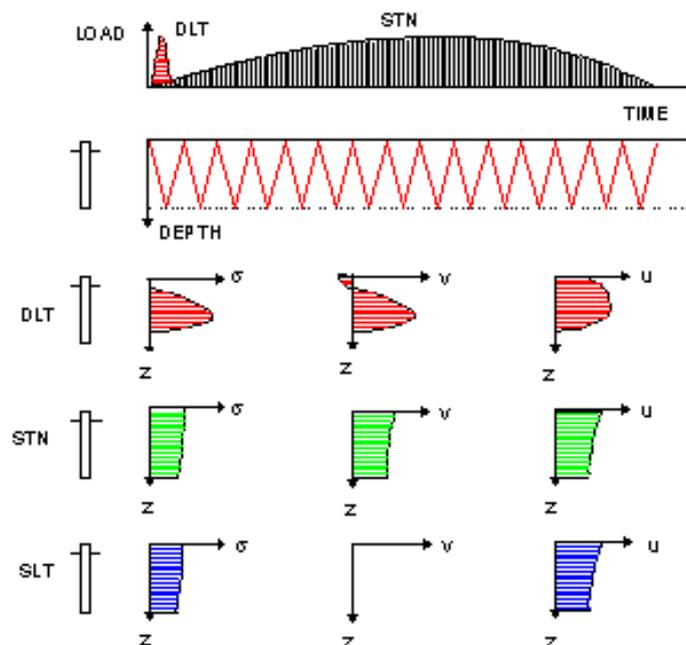
Figura 22. Métodos de prueba de carga

La duración de la carga con Statnamic es substancialmente más larga que el impulso producido por un ensayo dinámico y también que la frecuencia natural del pilote. Los contrapesos que se necesitan en un ensayo Statnamic son del orden del 10 % de la carga de un ensayo

estático, y son del orden de magnitud de la masa de impacto necesaria en un ensayo dinámico. Se han utilizado equipos con capacidad de carga desde 3 MN hasta 30 MN para realizar ensayos de carga de pilotes de hasta 3000 t, siendo el equipo más usado el de 4 MN (400 t) de capacidad de carga.

La figura 23 representa el estado de un pilote cuando se somete a ensayos de carga estáticos, dinámicos y Statnamic. Se puede observar que Statnamic se parece más al ensayo estático que al dinámico.

Figura 23. Tensiones, desplazamientos y velocidades en función de la profundidad



Con Statnamic la carga aplicada se mide directamente en una célula de carga y no se introducen otras tensiones en el pilote, ya que la duración de la carga es suficientemente larga (0,5 - 0,7 s) para garantizar que el pilote actúa como un sólido rígido. Durante el ensayo el pilote está siempre en compresión y el elemento transmisor de la carga está siempre centrado en el pilote. La conclusión es que con Statnamic se obtiene una medición precisa de la carga aplicada y un comportamiento del pilote muy parecido al de un ensayo estático.

Al llegar el ensayo al punto en que el desplazamiento alcanza su máximo valor, las fuerzas de amortiguación se anulan y la carga Statnamic menos la fuerza de inercia son igual a la resistencia estática en este momento (punto de descarga). Ya que el pilote actúa como un sólido rígido, el desplazamiento del suelo es igual al desplazamiento de la cabeza del pilote.

5.3 Desarrollos recientes de statnamic

Durante la última década se han realizado un millar de ensayos Statnamic. Las primeras aplicaciones comenzaron en Canadá, USA y Extremo Oriente, donde se introdujeron sistemas alternativos de ensayar pilotes para satisfacer la gran demanda de ensayos en países con un desarrollo económico muy fuerte. Había muchos factores a favor, especialmente en las grandes obras donde el ensayo de pilotes era un tema caro y engorroso.

Se hicieron numerosas comparaciones entre ensayos de carga estáticos y Statnamic en pilotes hincados y perforados para convencer a las administraciones de que Statnamic es una buena alternativa a los

ensayos estáticos de carga. Se obtuvo la aprobación cuando las administraciones comprobaron que los resultados obtenidos con Statnamic eran similares o incluso mejores que los obtenidos con ensayos estáticos.

En los primeros años creció rápidamente la demanda de empleo de Statnamic con cargas cada vez más altas. Se desarrollaron equipos Statnamic para medir hasta 30 MN (3000 t) que siguen estando en uso en grandes proyectos a poca distancia de la costa.

Desde el primer momento fue evidente el ahorro económico en estos grandes proyectos.

Al principio de los años noventa se realizaron varios ensayos comparativos en Holanda y en Alemania entre ensayos estáticos y Statnamic, obteniéndose resultados satisfactorios y buenas correlaciones entre ambos. Las conclusiones fueron:

- * Durante el ensayo de carga Statnamic el comportamiento del pilote puede ser asimilado al de una masa sobre la que actúan las fuerzas de inercia y de resistencia del terreno. De este modo los cálculos del comportamiento estático son simples.
- * El ensayo de carga Statnamic se puede realizar en pilotes situados en suelos con una fuerte respuesta dinámica.
- * El punto de descarga (máximo desplazamiento) en la curva carga - desplazamiento de Statnamic permite el cálculo directo de la resistencia estática del suelo durante el ensayo.

El motivo principal era la preferencia por el método estático tradicional, en los casos bien definidos y seguros. Además, en el caso de los pilotes hincados se había desarrollado un mercado de ensayos dinámicos.

Los incentivos para adoptar métodos de ensayo alternativos no han sido muchos, ya que las normativas existentes no mencionaban Statnamic como un método aceptable para ensayar pilotes, y en muchos casos todavía no lo hacen, y en el mercado existía la impresión de que Statnamic era muy caro. La decisión sobre si en una obra se realizan ensayos de carga de pilotes o no, depende en muchos casos, únicamente si se tiene presupuesto disponible y del criterio de los expertos que intervienen. El dinero parece dominar sobre el aseguramiento de la calidad y, como resultado, se construyen la mayoría de las obras de pilotes sin pruebas de carga. La razón es que los ensayos de carga estáticos son considerados muy caros y de larga preparación y ejecución, y por tanto engorrosos. Los ensayos dinámicos de carga no son siempre recomendables a causa de sus limitaciones.

Para que Statnamic resulte atractivo se debe buscar su utilización en el rango de ensayos de carga más bajo, hasta 250 - 350 t, en el que la competencia con los sistemas actuales más económicos de ensayos estáticos y dinámicos es más fuerte. Además, las normas de muchos países europeos todavía no contemplan el empleo de Statnamic como un método aceptable de realizar pruebas de carga de pilotes, en sustitución o como complemento de los ensayos estáticos.

En 1999, TNO *Profound* se ha implicado en varios proyectos de investigación en Centro América en los que se comparan los resultados de ensayos estáticos, dinámicos y Statnamic en los mismos y/o similares

pilotes, en los que se ha llegado a la conclusión de que Statnamic es técnicamente una buena alternativa para el ensayo de carga de pilotes. Se están preparando proyectos similares en Alemania, a pesar de que Alemania tiene una fuerte tradición en los ensayos dinámicos, y existe un interés en aplicar Statnamic también en Alemania, al mismo tiempo que Statnamic se hace económicamente más atractivo.

5.4 Las ventajas de Statcamic

5.4.1 Consideraciones técnicas

Los ensayos estáticos de carga están considerados como la mejor alternativa para determinar *in situ* la capacidad portante de los pilotes. El número y la frecuencia de los ensayos estáticos está disminuyendo. Las razones principales son que requieren mucho trabajo y mucho tiempo de preparación, son engorrosos de realizar sobre todo en los casos en que las cargas a aplicar son altas, y resultan muy caros en los países en que los costos laborales son relativamente altos. En la práctica lo que ocurre es que cuando el pliego de condiciones especifica un ensayo estático, el contratista selecciona y prepara cuidadosamente el pilote a ensayar, tratando de que su calidad sea la mejor y de que su ejecución sea cuidada. El resultado es que los ensayos estáticos se tratan de evitar al máximo para reducir costos.

La tendencia sobre la mejora de la calidad de las cimentaciones por pilotaje incentiva la aplicación de métodos de ensayo cada vez más baratos. Durante mucho tiempo la única alternativa a los ensayos estáticos de carga fueron los ensayos dinámicos de carga.

Los ensayos dinámicos tienen muchas ventajas, pero también desventajas, que se mencionan a continuación.

Los principales factores limitativos son el riesgo de dañar el pilote si se aplican cargas demasiado altas, y la incertidumbre en la estimación de varios parámetros del pilote necesarios en el cálculo. Mediante los ensayos dinámicos se determina la fuerza $F = A e E$ indirectamente por medio de acelerómetros y captadores de deformación. Uno de los parámetros en el que se pueden cometer errores de estimación es en el módulo de elasticidad E . Se le supone un factor constante al momento de calcular la capacidad portante del pilote, pero en realidad no es así usualmente. El módulo E depende de la calidad del hormigón y de su edad, de la velocidad de carga y de la temperatura. En un pilote homogéneo con una reflexión de la onda clara en la punta, se puede calcular E , a partir de la velocidad de la onda de tensión, pero la mayoría de los pilotes hormigonados **in situ** no son homogéneos en absoluto. La calidad del hormigón es mayor en el eje que en el perímetro, y también es mayor en el fondo que en la parte superior del pilote. La velocidad de la onda y el valor de E obtenido de ella representan un valor medio de todo el pilote, que puede ser diferente del módulo en el punto de medida de la instrumentación.

Dado que $E = \rho c^2$ (con ρ = densidad del pilote y c = velocidad de la onda), el cálculo de E depende fuertemente de la determinación de c . Al no obtenerse una reflexión clara de la onda o que no sea homogéneo el pilote, el valor de E solamente se puede estimar de manera aproximada. Este factor desconocido implica errores en la predicción de la capacidad portante, y estos errores pueden ser más importantes en el caso de pilotes hormigonados *in situ*.

Los parámetros de los pilotes prefabricados se determinan usualmente durante la fabricación y no varían en el proceso de puesta en obra.

5.4.2 Consideraciones económicas

Los ensayos estáticos requieren mucho trabajo preparatorio, y los pilotes a ensayar deben ser seleccionados y preparados previamente. Por esta razón los ensayos estáticos son engorrosos y relativamente caros. En Europa el precio de un ensayo estático varía considerablemente dependiendo de la carga a aplicar y del lugar donde se realiza el ensayo. Para cargas de prueba del orden de 200 - 300 t los precios por pilote son del orden de 10.000 Euro a 25.000 Euro (1,7 a 4,2 millones de pesetas). Si hay que ensayar más pilotes no se pueden aplicar economías de escala, ya que hay que preparar cada pilote individualmente.

Los ensayos dinámicos resultan interesantes debido a su facilidad de ejecución. Los contrapesos pueden ser muy pequeños (2% en el caso de Ensayos Dinámicos de Carga (DLT) y 5% en el caso de Statnamic) y los pilotes pueden ser seleccionados aleatoriamente. Se requiere un dispositivo de ensayo y una preparación sencilla de la cabeza del pilote. También hace falta una grúa para colocar el dispositivo de ensayo y los pesos que golpean el pilote. Los costes del ensayo dinámico dependen principalmente de los costes de la preparación y movilización del equipo de ensayo. Si solo se ensaya un pilote los costes siguen siendo relativamente altos. Comparando Statnamic con DLT, la preparación del pilote para Statnamic es más sencilla, pero se necesita más tiempo para instalar el dispositivo de ensayo. En el caso de ensayar de dos a cuatro pilotes al día mediante DLT, los precios medios en Europa por pilote

oscilan entre 3.000 y 4.000 Euro (500.000 y 700.000 pts), mientras que ensayando mediante Statnamic los precios son del orden de 3.500 - 5.000 Euro (600.000 - 900.000 pts). La diferencia de 15 - 20% proviene de los mayores costos de manejo del equipo Statnamic. En España estos costes son mayores, debido los mayores costes de transporte desde Europa central, mientras no exista un equipo disponible más próximo.

Las estimaciones anteriores están obtenidas de trabajos realizados por TNO *Profound* en América durante 1999. Resulta claro que Statnamic ofrece una alternativa económicamente atractiva para el ensayo de pilotes. Los costes son similares a los del ensayo dinámico y muy inferiores a los del ensayo estático, siendo el más recomendado sobre todo en pilotes hormigonados *in situ*.

5.5 Desarrollo Statnamic

El objetivo de los futuros desarrollos es reducir el tiempo necesario para realizar los ensayos. Está disponible un equipo Statnamic de hasta 4 MN de capacidad de carga con mecanismo de captura de los contrapesos lanzados incorporado, que utiliza un sistema hidráulico en vez de un contenedor de grava para sujetar los contrapesos en el punto más alto de su recorrido en que su velocidad es nula. Después de cada ensayo hay que volver a llenar el cilindro con el combustible especial, bajar los contrapesos a su posición inicial, y ya está disponible el equipo para un segundo ciclo de carga sobre el mismo pilote.

Los equipos Statnamic para cargas mayores, hasta 30 MN (3000 t), emplean contenedores de grava. Al finalizar cada ensayo el contenedor debe vaciarse para poder montar de nuevo el equipo y cargar el

combustible, volviéndose a colocar y llenar de grava después. En la actualidad se está desarrollando un equipo Statnamic con mecanismo hidráulico de captura de contrapesos con capacidad de hasta 16 MN, y se está pensando en realizar un equipo Statnamic de 100 MN (10.000 t).

También se están estudiando alternativas para los contrapesos. Estas masas son del orden del 5% de la carga a aplicar, lo que quiere decir que para un equipo de 16 MN son necesarias 80 t de contrapesos.

Normalmente se emplean discos de hormigón fuertemente armados de 7 - 9 t cada uno. El transporte de estos contrapesos a largas distancias o su fabricación a pie de obra pueden encarecer los costos. Se está empezando a experimentar con grandes depósitos llenos de agua, y esperamos que pronto puedan estar disponibles equipos Statnamic que empleen agua como contrapeso.

CONCLUSIONES

1. Los ensayos de integridad de pilotes constituyen una potente herramienta de trabajo para poder determinar experimentalmente la existencia de defectos en los pilotes. El método sónico con martillo de mano está siendo empleado en el control de pilotes, sin que sea preciso ninguna preparación especial del pilote ni interferir con la marcha de la obra, dada la sencillez y rapidez del ensayo y su economía. El método ultrasónico "cross-hole" está siendo empleado en el control de pilotes de gran diámetro, siendo la única preparación previa necesaria el dejar tubos embebidos en el hormigón del pilote.
2. Los modernos ensayos rápidos de carga permiten abaratar un método de diseño y comprobación de las cimentaciones mediante pilotes, que hasta ahora es reservado para obras de elevado presupuesto.
3. Tanto los ensayos de integridad estructural como los ensayos rápidos de carga disminuyen el margen de incertidumbre existente en la construcción de cimentaciones profundas.
4. Se puede afirmar que cada día se realiza un ensayo de carga Statnamic en alguna parte del mundo. Hay gran potencial de crecimiento. El método Statnamic puede reemplazar a los ensayos estáticos de carga en aquellas obras en que los pliegos de condiciones exigen ensayos de carga de pilotes.

RECOMENDACIONES

1. En los ensayos sónicos se tendrá que utilizar un martillo de mano para generar una onda sónica en la cabeza del pilote que se desplaza a través de su fuste hacia abajo y donde se reflejará por la punta del pilote o por discontinuidades o defectos existentes.
2. En el ensayo ultrasónicos "cross-hole" en tubos embebidos consiste en hacer descender un emisor y un receptor de ultrasonidos por dos conductos huecos en el interior del fuste del pilote, registrándose el tiempo empleado en recorrer la distancia entre ambos.
6. Los ensayos estáticos de carga permiten conocer el comportamiento real de los pilotes en el terreno, sometidos a cargas generalmente superiores a las de servicio, pero con un costo muy elevado, por lo que cada vez se utilizan menos.
7. Los más empleados son los ensayos dinámicos y el ensayo semiestático Statnamic. En el ensayo dinámico se utiliza una masa que cae e impacta sobre el pilote para movilizar su resistencia por punta y por fuste. El sistema Statnamic utiliza una cámara de combustión colocada en la cabeza del pilote, en la que se produce la ignición controlada de un combustible, levantándose unos contrapesos y por reacción una compresión suave sobre el pilote.

BIBLIOGRAFÍA

1. Arnau Rodríguez, J.M. y otros. **Ensayo de control de integridad en pilotes**. Cimbra. Enero 1993.
2. Fernández Tadeo, C. y Arnau Rodríguez, J.M. **Ensayo de integridad estructural de pilotes utilizando sistema portátil de gran rendimiento**. Sevilla, 1992.
3. Frederick S. Merritt, **Manual del Ingeniero Civil** (3a. Edición tomo II 1995)
4. Holeyman, A.E. **Keynote Lecture: Technology of pile dynamic testing**. Proceedings of the Fourth International Conference on the Application of Stress- Wave Theory to Piles. La Haya, 1992.
5. Institution of Civil Engineers. **Specification for piling**. Thomas Telford, Londres, 1988.
6. Rausche, F., Likins, G., Shen Ren Kung, **Pile integrity testing and analysis**. Proceedings of the Fourth International Conference on the Application of Stress-Wave Theory to Piles. La Haya, 1992.
7. American Society for Testing and Materials. **Test Method for High Strain Dynamic Testing of Piles**. ASTM D 4945-89.
8. Puertos del Estado. **Recomendaciones geotécnicas para el Proyecto de Obras Marítimas y Portuarias**. ROM 0.5-94.

9. Arroyo, M. y Sainz de Baranda, B. **Pruebas de carga dinámica y estática sobre un pilote de extracción (Ø650 mm): comparación de resultados.** Boletín Soc. Esp. Mecánica del Suelo (1997).

10. Poulos, H-G **Pile load test methods-applications and limitations.** Libro homenaje a J.A. Jimenez Salas. Ministerio de Fomento, CEDEX y Sociedad Española de Mecánica del Suelo e Ingeniería Geotécnica, enero 2000.

APÉNDICE

CASO REAL: ENSAYO STATNAMIC DE VARIOS PILOTES

Datos de la obra

Ensayos: 4 pilotes, 23 m longitud (nuevos)
2 pilotes, 24 m longitud (existentes)

Carga aplicada: 2 - 4 MN

Descripción del proyecto

Se proyectaba ampliar su campo de actuación a parte de un muelle contiguo. Se trataba de comprobar si los pilotes sobre los que se apoyaba el muelle eran capaces de soportar la carga adicional. La realización de pruebas de carga sobre los pilotes hasta un máximo de 3,5 MN (350 t).

Características del proyecto

Hay que ensayar los pilotes en el agua en condiciones difíciles, con capacidad de grúa limitada y una presión fuerte del cliente para finalizar, ya que había un barco esperando para descargar. Se movió el equipo Statnamic de 4 MN de un pilote a otro sin desmontar. Lo que llevó más tiempo fue el posicionamiento exacto del equipo Statnamic en cada pilote en el agua. Se ensayaron dos pilotes al día, con uno o dos ciclos de carga en cada uno.

Resultados

Las cargas aplicadas sobre los pilotes fueron las siguientes:

Carga máx. (estática) en kN

Desplazamiento (total) en mm

Desplazamiento (permanente) en mm

Pilote 1: 4190 20,8 3,5

Pilote 2: 3980 19,5 3,7

Pilote 3: 3960 18,8 5,0

Pilote 4 (1er escalón) 2750 12,1 2,0

Pilote 4 (2º escalón) 4340 17,6 1,5

Se pudo determinar que los pilotes existentes se comportaban mejor de lo esperado y podían ser aprovechados para la ampliación.

ANEXO

Tabla III. Coeficiente de seguridad frente al hundimiento en el caso de pilotes hincados con control mediante ensayos dinámicos

TABLA 3.6.1. COEFICIENTES DE SEGURIDAD MINIMOS RECOMENDADOS		
Procedimiento de análisis utilizado en la estimación de la carga de hundimiento	Coeficiente de seguridad frente al hundimiento	
	Situaciones persistentes, y transitorias (no accidentales) de largo plazo	Situaciones accidentales y transitorias de corto plazo
<i>Cualquier tipo de pilotaje*</i>		
Método del SPT en suelos granulares.	3	2.5
Método basado en el penetrómetro estático.	2.5	2
Métodos basados en otros ensayos penetrométricos continuos y otros ensayos de campo.	3.5	3
Método basado en la resistencia a compresión simple de la roca (sólo para pilotes empotrados en roca).	3	2.5
Método basado en fórmulas analíticas y ensayos de laboratorio para medir el ángulo de rozamiento (o de laboratorio o campo para medir la resistencia al corte sin drenaje de arcillas).	3	2.5
<i>Pilotes hincados</i>		
a) Con control del avance y aplicación de la fórmula de Hiley.	$(6 - s) \geq 3$	$(5 - s) \geq 2.5$
b) Con control de avance y aplicación de la ecuación de la onda.	$(5 - s) \geq 2.5$	$(4 - s) \geq 2$
c) Con control electrónico de la hinca.	2	1.6
d) Con control electrónico de la hinca y contraste con pruebas de carga.	1.7	1.4
<p>NOTA: * El contraste con pruebas de carga permite utilizar coeficientes de seguridad mínimos de 1.7 frente a situaciones persistentes y transitorias (no accidentales) de largo plazo, y de 1.4 frente a situaciones accidentales y transitorias de corto plazo, dependiendo de la intensidad y calidad del contraste (Ver 3.6.4.8).</p> <p>s = avance por golpe al final de la hinca, expresado en milímetros.</p>		

Tabla IV. Control reforzado de pilote sondeado simple

DTU 13.2										
<u>CONTROL REFORZADO</u>										
Pilote sondeado simple armado										
- ENSAYO DE TRANSPARENCIA SONICA										
1 de cada 8 pilotes (mínimo)										
$60 < \phi$	<table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td style="padding: 0 10px;">≤ 60 cm</td> <td style="padding: 0 10px;">..</td> <td>2 tubos</td> </tr> <tr> <td style="padding: 0 10px;">≤ 120 cm</td> <td style="padding: 0 10px;">..</td> <td>3 tubos</td> </tr> <tr> <td style="padding: 0 10px;">> 120 cm</td> <td style="padding: 0 10px;">..</td> <td>4 tubos</td> </tr> </table>	≤ 60 cm	..	2 tubos	≤ 120 cm	..	3 tubos	> 120 cm	..	4 tubos
≤ 60 cm	..	2 tubos								
≤ 120 cm	..	3 tubos								
> 120 cm	..	4 tubos								
- ALTERNATIVA										
1 de cada 10 por transparencia sónica										
1 de cada 8 por método sónico										
- LAS CARGAS ADMISIBLES POR RAZÓN ESTRUCTURAL SE PUEDEN AUMENTAR EN UN 20%										

Tabla V. Coeficientes de seguridad para pilotes hincados

Table 4-1. Factor of safety for pile capacity			
Method of Determining Capacity	loading Condition	Minimum Factor of Safety	
		Compression	Tension
Theoretical or empirical prediction to be verified by pile load test	Usual	2.0	2.0
	Unusual	1.5	1.5
	Extreme	1.15	1.15
Theoretical or empirical prediction to be verified by pile driving analyzer as described in Paragraph 5-4A	Usual	2.5	3.0
	Unusual	1.9	2.25
	Extreme	1.4	1.7
Theoretical or empirical prediction not verified by load test	Usual	3.0	3.0
	Unusual	2.25	2.25
	Extreme	1.7	1.7

Fuente: Fernández Tadeo, Carlos. CFT & Asociados, S.L Pág. 66-65.

MÉTODO ESTÁNDAR DE PRUEBA PARA TENSIÓN ALTO LAS PRUEBAS DINÁMICAS DE PILOTES

Este estándar es publicado(emitido) bajo la designación fija la D 4945; el número inmediatamente después la designación indica el año de adopción original o, en el caso de revisión, el año de revisión pasada. Un número en paréntesis indica el año de nueva aprobación pasada. Una epsilon de superguión indica un cambio editorial desde la revisión pasada o la nueva aprobación.

1. Alcance

1.1 Este método de prueba cubre el procedimiento para pruebas de vertical o aporrear pilas individualmente para determinar la fuerza y la respuesta de la velocidad del montón a una fuerza de impacto aplicada axialmente por un montón que conduce el martillo a la cima del montón. Este método de prueba es aplicable a la unidad de fundación profunda lo que funciona en una manera similar a montones de fundación, independientemente de su método de instalación con tal de que ellos sean receptivos a pruebas de impacto de tensión altas.

1.2 Este estándar puede implicar materiales peligrosos, operaciones, y el equipo. Este estándar no pretende dirigir todos los problemas de seguridad asociados con su empleo. Esto es la responsabilidad del empleo de este estándar para establecer la seguridad apropiada y prácticas de salud y determinar la aplicabilidad de limitaciones reguladoras antes del empleo. Para una declaración específica preventiva, visto la nota 5.

Nota 1. La tensión alto pruebas dinámicas requieren una tensión en impacto que es representativo de una fuerza en el montón que tiene(ha) la misma orden(pedido) de magnitud, o mayor, que la capacidad última del montón.

Nota 2. Este método estándar puede ser la tensión alto solicitada las pruebas dinámicas de montones con el empleo de sólo fuerza o estirar(filtrar) transductores y/o la aceleración, la velocidad o transductores de desplazamiento mientras los resultados de prueba claramente declaran como las pruebas se desvían del estándar.

Nota 3. Un seguidor conveniente puede ser requerido para pruebas de montones de hormigón. Este folower debería tener una impedancia dentro del 10 % de el del montón. Para mandril montones conducidos. El mandril puede ser *instrumeted* de un modo similar a un montón conducido.

2. Terminología

2.1 Excepto como definido en 2.2, la terminología usada en este método de prueba se ajusta a la D de Terminología 653.

2.2 Las descripciones de términos(condiciones) específicos a este estándar:

2.2.1 Capblock el material insertado entre el plato(placa) de huelguista de martillo y el gorro de paseo en coche sobre la cima del montón (también llamaron el cojín de martillo).

2.2.2 Amortiguan el material insertado entre el gorro de paseo en coche sobre la cima de el montón y el montón (también llamaron el cojín de montón).

2.2.3 El acontecimiento de impacto el período de tiempo durante el que el montón mueve en una dirección positiva y/o negativa de penetración debido al impacto obliga a la aplicación.

2.2.4 El momento de impacto el primer momento de tiempo después del principio del acontecimiento de impacto cuando la aceleración es cero.

2.2.5 Válvula de regulación de aire de montón el módulo de Young del material de montón multiplicado por el área enfadada-de grupo(-en sección) del montón y dividido por la velocidad de onda(ola) de tensión.

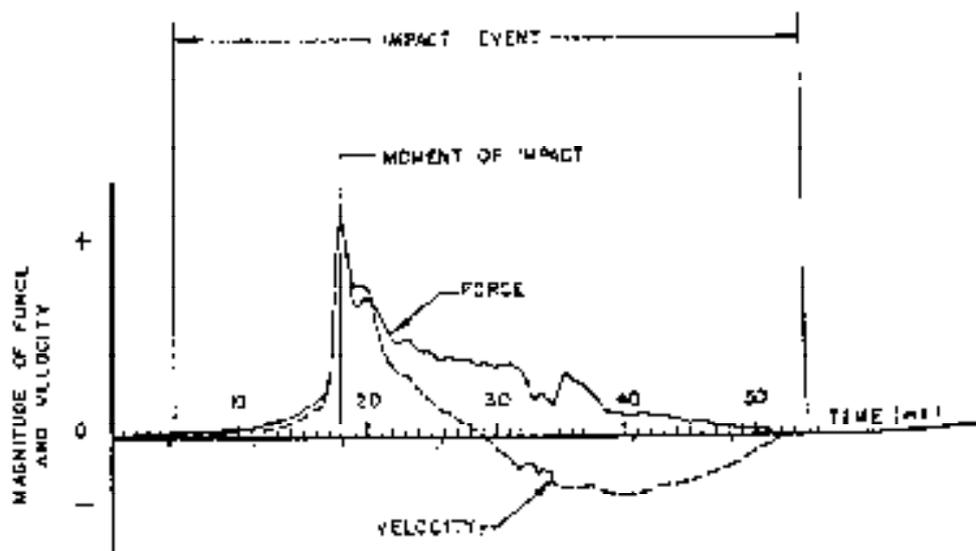
3. Importancia y empleo

3.1 Este método de prueba es usado para proporcionar datos sobre la tensión o la fuerza y la aceleración, la velocidad o el desplazamiento de un montón bajo la fuerza de impacto. Los datos pueden ser usados para estimar la capacidad de porte y la integridad del montón, así como el funcionamiento de martillo, acentos de montón, y características de dinámica de suelo, como el suelo que humedece valores de temblor y coeficientes. Este método de prueba no es querido para sustituir el método de prueba la D 1143.

4. Aparato

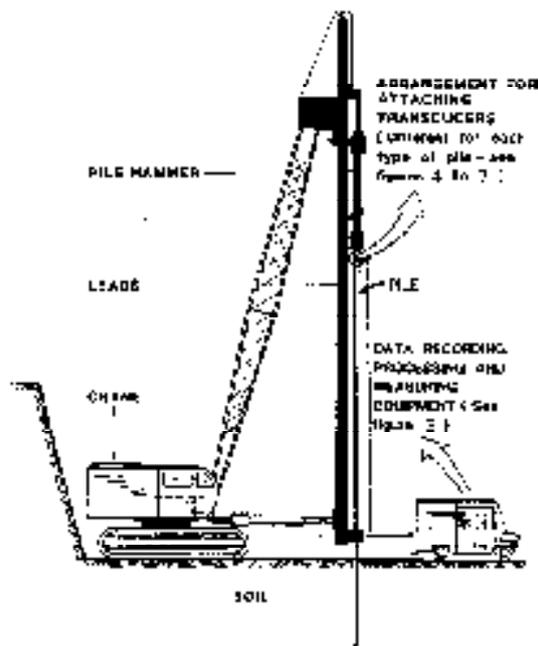
4.1 Aparato para aplicación de fuerza de impacto:

4.1.1 La fuerza de Impacto *Appication* Cualquier montón convencional que conduce el martillo o el dispositivo similar es aceptable para aplicarse la fuerza de impacto proveyó esto está capaz de generatióng una penetración de montón neto mensurable, o una resistencia estimada movilizada estática en los estratos de porte que, durante un período mínimo de 3 esclerosis múltiple, excede a un grado suficiente la carga que trabaja asignada al montón, como juzgado por el ingeniero responsable. El dispositivo será colocado para que el impacto sea applied axialmente al jefe del montón y concéntrico con el montón.



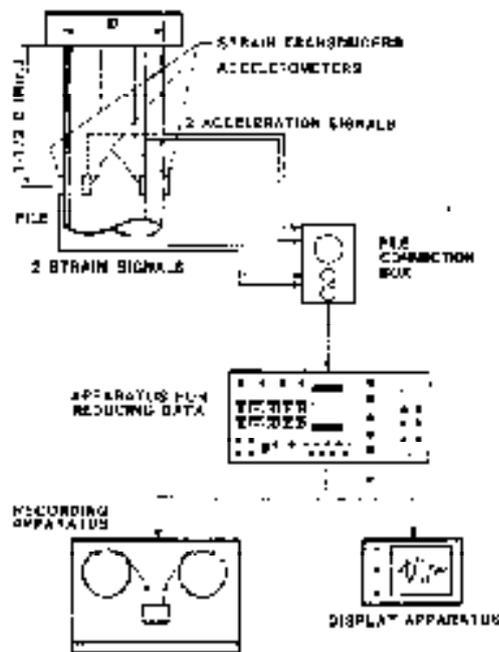
4.2 Aparato para obtención de Medidas dinámicas:

4.2.1 La fuerza o transductores de tensión el aparato incluirá transductores, que son capaces de por separado para medir la tensión y la aceleración contra el tiempo en una posición específica a lo largo del eje de montón durante el acontecimiento de impacto. Un mínimo de dos de cada uno de estos dispositivos bien será atado sobre los lados de enfrente del montón para que ellos no resbalen. El



cerrojo - sobre la cola - sobre, o solda - sobre transductores son aceptable. Los transductores de tensión tendrán una salida lineal sobre la gama entera de tensiones de montón posibles. Cuando atado, su frecuencia natural será superior a 7500 Hz. La tensión moderada será convertida para obligar a usar el área de sección enfadado de montón y el módulo dinámico de elasticidad en la posición de medición. El módulo dinámico de elasticidad puede ser asumido para ser 29 a 30 x 10 psi para el acero. El módulo dinámico de elasticidad para montones concretos y de madera puede ser estimado por la medida durante un prueba de compresión en acordacen con la prueba metrod la C 469 y la D de métodos 198. O bien, ellos pueden ser calculados de la velocidad de onda(ola) decidida como indicado en 5.2.

4.2.1.1 Las medidas de fuerza también pueden ser hechas por transductores de fuerza colocados entre el cabeza de montón y el martillo de diriving, aunque esto sea reconocido *that* tal transductor puede cambiar las características dinámicas del sistema conductor. Los transductores de fuerza tendrán una válvula de regulación de aire entre el 50 % y el 200 % de la válvula de regulación de aire de montón. La señal de salida debe ser directamente proporcional a la fuerza axial, hasta bajo accentric cargan el uso. El *connetion* entre la fuerza *tranducers* y el montón tendrá la masa posible más pequeña y el cojín posible menor necesario de prevenir el daño.



4.2.2 La aceleración, la velocidad o datos de velocidad de transductores de desplazamiento será obtenida con acelerómetros, a condición de que la señal pueda ser procesada por la integración en el aparato para datos que reducen. Un mínimo de dos acelerómetros con una frecuencia resonante más de 7500 Hz estará en distancias iguales radiales sobre los lados diametralmente de enfrente del montón, atado al montón bien para que ellos no resbalen. El cerrojo - Sobre, la cola - sobre, o solda - sobre transductores son aceptable. Los acelerómetros serán lineares a al menos 1000 g y 7500 Hz para results satisfactorio sobre montones concretos. Para montones de acero, es aconsejable usar los acelerómetros que son inear hasta 5000 g. O sea « una

c « o sea acelerómetros « la c de d « puede ser usado. Si los dispositivos « una c « son usados, el tiempo constante será al menos 0.2 s. O bien, la velocidad o transductores de desplazamiento pueden ser usados para obtener datos de la velocidad, a condición de que ellos estén equivalentes en performacen a los acelerómetros especificados.

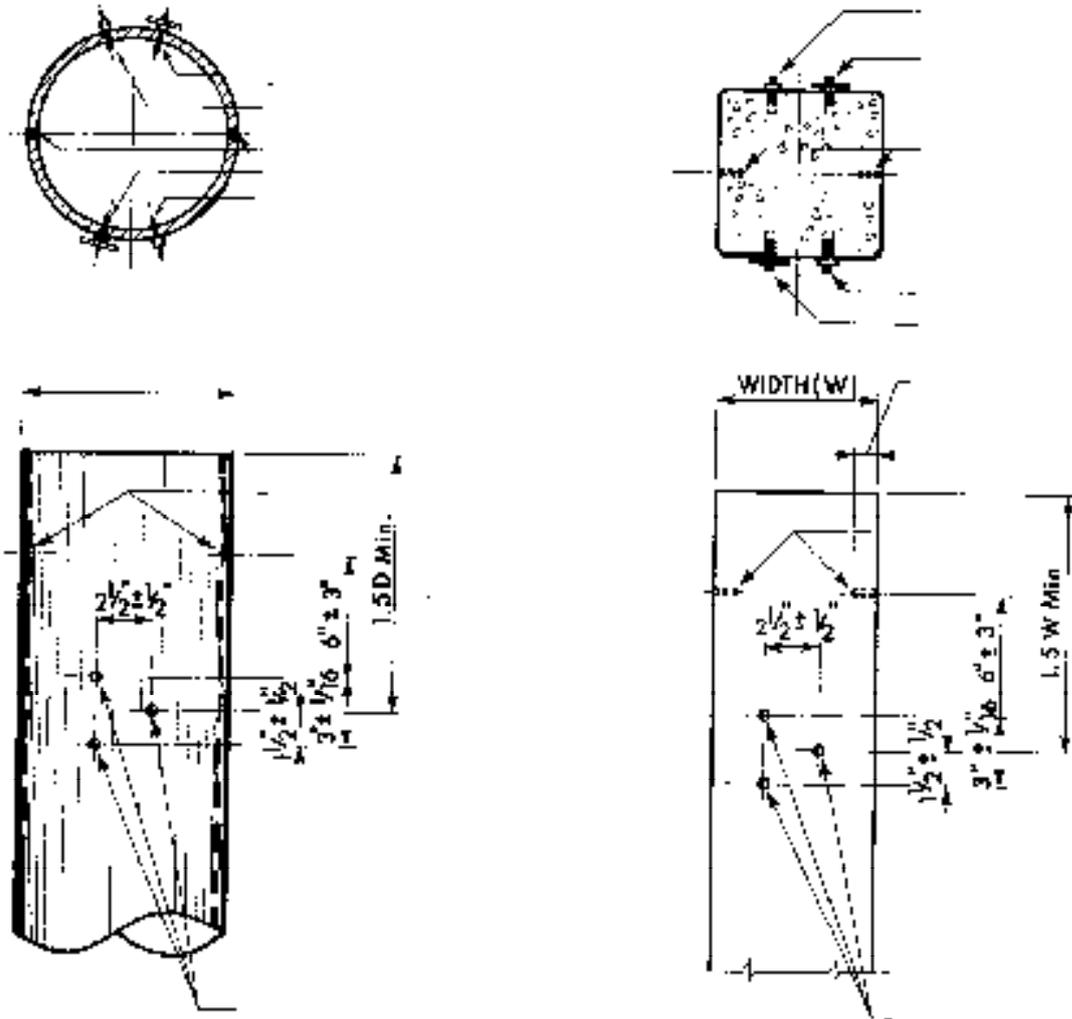
4.2.3 La colocación de transductores los transductores serán colocados, diametralmente opuesto y sobre distancias iguales radiales, en la misma distancia axial del profundizar del montón para que las medidas no sean afectadas por doblándose del montón. Cuando cerca del final superior, ellos serán atados al menos unos y medios diámetros de montón de la cabeza de montón. Esto es ilustrado en Higos 25 a 30. El cuidado será tomado para asegurar que el aparato bien es atado al montón para que la baja sea prevenida. Los transductores serán calibrados a una exactitud del 2 % en todas partes de la gama de medida aplicable. Si el daño es sospechado durante el empleo, los transductores serán re calibrados (o substituídos).

4.3 La transmisión de Señal las señales de los transductores serán transmitidas al aparatus para la grabación, reducir, y la demostración de los datos (ver 4.4) mediante un cable o el equivalente. Este cable limitará interferencias electrónicas u otras con menos del 2 % de la señal máxima esperada. Las señales que llegan al aparato serán directamente proporcionales a las medidas en el montón sobre la gama de frecuencia del equipo.

4.4 Aparato para grabación, reduciendo y mostrando datos:

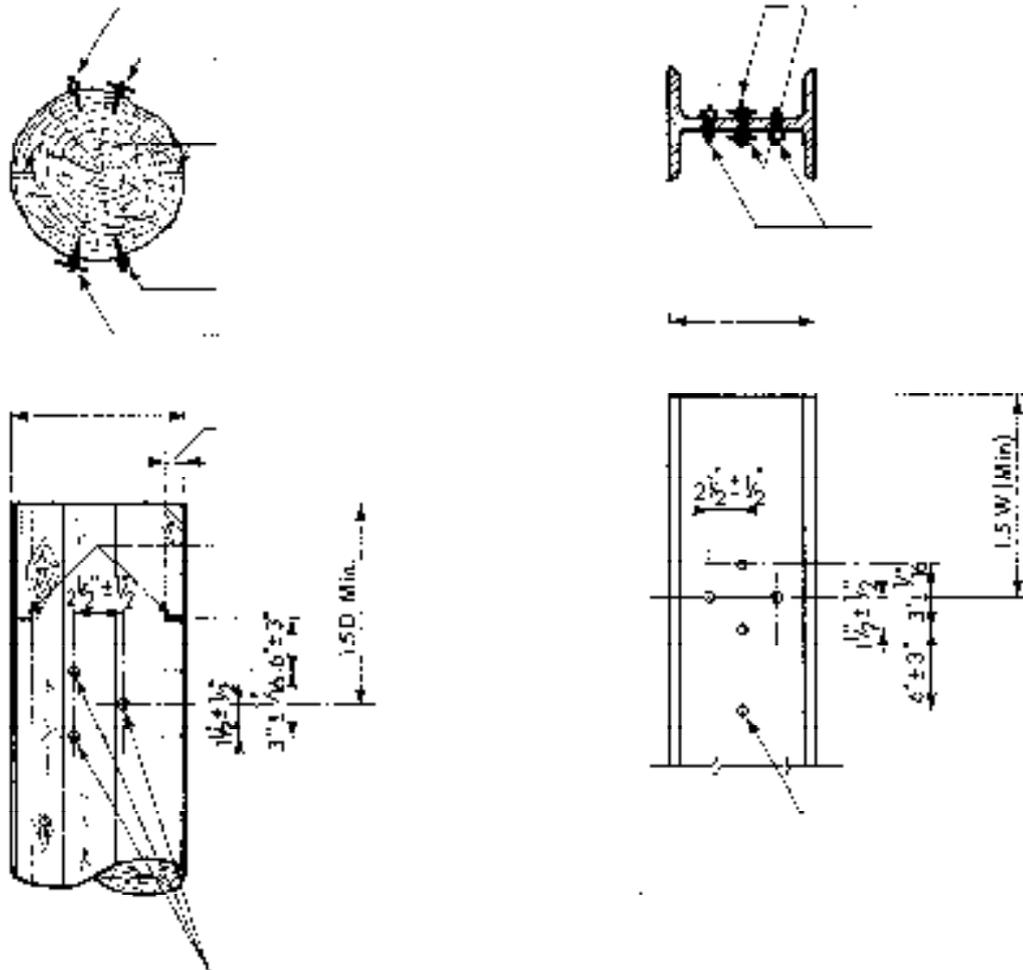
4.4.1 El general las señales de los transductores (visto 4.2) durante el acontecimiento de impacto serán transmitido a un aparato para la grabación, reducir, y datos de demostración para permitir a la determinación de la fuerza y la velocidad contra el tiempo. Esto puede ser deseable a también determine la aceleración y el desplazamiento de la cabeza de montón, y la energía transferida al montón. El aparato incluirá un osciloscopio o el oscilógrafo para mostrar la fuerza y el rastro de la velocidad, un magnetófono o el equivalente para obtener un registro para el análisis futuro, y el medio de reducir los datos. El aparato para la grabación, reducir, y datos de demostración tendrá la capacidad de hacer una comprobación de calibración interna de tensión, la aceleración, y la balanza(escalas) el tiempo. Ningún error excederá el 2 % o

la señal máxima esperada. Un arreglo típico esquemático para este aparato es ilustrado en la figura 26.



4.4.2 La grabación de señales de aparato de los transductores será registrada electrónicamente en la forma o sea análoga o sea digital para que los componentes de frecuencia tengan una frecuencia de atajo de pase baja o 1500 Hz (-3 dB). Digitalizando, la frecuencia de la muestra será al menos 5000 Hz para cada canal de datos.

4.4.3 El aparato para datos que reducen el aparato para señales que reducen de los transductores será un análogo o el calculador numérico capaz de al menos las funciones siguientes:



4.4.3.1 Las medidas de fuerza el aparato proporcionarán el acondicionamiento de señal, la amplificación y la calibración para el sistema de medidas de fuerza. Si los transductores de tensión son usados, el aparato será capaz de calcular la fuerza. La salida de fuerza continuamente será equilibrada al cero excepto durante el acontecimiento de impacto.

4.4.3.2 Datos de la velocidad si acelerometers es usado (ver 4.2.2), el aparato integrará la aceleración con el tiempo para obtener la velocidad. Si los transductores de desplazamiento son usados, el aparato diferenciará el desplazamiento con el tiempo para obtener la velocidad. Si requerido, el aparato pondrá a cero la velocidad between acontecimientos de impacto y ajustará el registro

de la velocidad para considerar para el flujo de cero de transductor durante el acontecimiento de impacto.

4.4.3.3 La señal que condiciona el acondicionamiento de señal para la fuerza y la velocidad tendrá curvas de respuesta de frecuencia iguales para evitar cambios(movimientos) de fase relativos y diferencias de amplitud relativas.

4.4.4 Muestre señales de aparato de los transductores especificados en 3.2.1 y 3.2.2 serán mostrados mediante un aparato, como un osciloscopio o el oscilógrafo, sobre el que la fuerza y la velocidad contra el tiempo pueden ser observadas para cada martillazo. Este aparato puede recibir las señales de los transductores directamente o después de que ellos han sido procesados por el aparato para reducir los datos. El aparato va al ajustable reproducir una señal que tiene(ha) una gama de o de duración entre 5 y 160 esclerosis múltiple, y fuerza y datos de la velocidad pueden ser reproducidos para cada golpe y el aparato estará capaz de propiedad y la demostración de la señal de cada golpe seleccionado durante un período mínimo de 30 s.

5. Procedimiento

5.1 Registro general información de proyecto aplicable (Sección 6). Adjunte los transductores al montón, realice la comprobación de calibración interna, y tome las medidas dinámicas para los impactos durante el intervalo para ser supervisado juntos con las observaciones rutinarias de resistencia de penetración. Detemrine propiedades de minimun de diez registros de impacto durante el salto de inicial y, cuando usado para el cálculo de resistencia de suelo, normalmente de una o dos representante sopla en el principio o el nuevo golpe. La fuerza y velocidad contra tiempo principio de nuevo golpe. La fuerza y velocidad, aceleración, desplazamiento, y energía sobre el acontecimiento de impacto.

5.2 La determinación de velocidad de onda(ola) de tensión el lugar (opcional) el montón sobre apoyos o el nivel muele libre(gratis) y claro de estar junto sobre montones y obstrucciones. Ate el acelerómetro a un final del montón y golpee otro final del montón con un martillo de trineo de peso conveniente. Tenga cuidado para no no

dañar o abollar el montón. El registro (visto 4.4.2) y la demostración (ver 4.4.4) la señal de acelerómetro. Mida el tiempo entre picos de aceleración para tanto como ciclos de reflexión que posible. Divídase esta vez por la longitud de viajes apropiada de las ondas(olas) de tensión durante este intervalo para determinar la velocidad de onda(ola).

5.3 Señal de preparación los montones claramente en intervalos apropiados. Ate los transductores bien a los montones por echando el cerrojo, pegando, o la soldadura. Para materiales de montón otros que el acero, determine la velocidad de onda(ola) (visto 5.2). Coloque el aparato para aplicar la fuerza de impacto para que la fuerza sea aplicada axialmente y concéntricamente con el montón Establecido el aparato para la grabación, reducir, y datos de demostración para que esto sea operacional y la fuerza y las señales de la velocidad son *zeroed*.

5.4 Toma de Registro de Medidas el número de impactos para una penetración específica. Ya que la gota martilla y el gasoil de interpretación(actuación) solo y el vapor martilla, el registro la gota o la longitud de viajes de carnero de carnero de carnero. Registre el número de sopla por el minuto(acta) entregado por el martillo. Ya que el gasoil de interpretación(actuación) doble martilla, la medida la presión de salto, y, para vapor de interpretación(actuación) doble o el aire comprimido martilla, la medida el vapor o la presión atmosférica en línea de presión al martillo. Tome, registra, y la demostración una serie de fuerza y medidas de la velocidad. Compare la fuerza y el producto de velocidad y la impedancia (visto 2.2.1) en este momento de impacto.

Nota 4. Si las medidas dinámicas deben ser usadas para el porte del cálculo de capacidad, tomar las medidas dinámicas durante el nuevo golpe del montón en períodos de tiempo suficientemente mucho después del final de inicial que se conduce para permitir a la presión del agua de poro y la fuerza de suelo se cambia para ocurrir. Más lejos condiciones geotécnicas, como subyacente comprimible se encaman, la necesidad siempre ser considerado, como ellos deberían estar en algún tipo de llevar el cálculo de capacidad.

Nota 5. Advirtiéndolo Antes del acercamiento a un montón ser(siendolo,estando) conducido, compruebe que ningún material u otros accesorios puedan liberarse y poner en peligro la seguridad de personas en la vecindad.

Nota 6. Si las medidas de rebote juego son requeridas, adjuntan una hoja desprendible al montón e instalan un rayo de referencia horizontal en la tierra(razón) adyacente al montón. Dibuje una línea de fondo sobre la hoja del rayo de referencia antes y cambie cada impacto.

5.5 El control de calidad de Datos Para la confirmación de calidad de datos, de vez en cuando compara la fuerza y el producto de la velocidad y la válvula de regulación de aire de montón en este momento de impacto para el acuerdo de proporcionalidad y la fuerza y la velocidad contra el tiempo sobre una serie de seleccionado y acontecimientos de impacto generalmente consecutivos para la consistencia. Señales constantes y proporcionales de la fuerza o transductores de tensión y la aceleración, la velocidad o transductores de desplazamiento son el resultado de los sistemas de transductores y el aparato para la grabación, reduciendo y mostrando datos ser(siendo,estando) correctamente calibrados. Si las señales no están en el acuerdo de proporcionalidad, investigan la causa anda corrigen la situación. Si la causa es determinada para ser un transductor, esto debe ser calibrado de nuevo antes más lejos el empleo. Realice comprobaciones de calibración internas en el principio y el final de cada juego de datos.

Nota 7. Generalmente recomiendan a ello que todos los componentes del aparato para la obtención de medidas dinámicas y el aparato para la grabación, el nuevo estiércol y datos de demostración sean calibrados al menos una vez al año.

5.6 Análisis de medidas:

5.6.1 Obtenga la fuerza y la velocidad de la lectura del aparato para datos que reducen (visto 4.4.3) o del aparato de demostración (visto 4.4.4). Registre la fuerza de impacto y la velocidad y el máximo y el mínimo y fuerzas de manimum para el representante seleccionado soplan. Obtenga la aceleración máxima directamente de la señal de acelerómetro o por la diferenciación de la velocidad contra el registro el tiempo. Obtenga el desplazamiento del montón que conduce el registro, la curva, y del

transductor de desplazamiento, si usado conforme a 4.2.2 la energía máxima transferida a la posición de los transductores.

5.6.2 Los datos registrados pueden ser sujetos al análisis en una computadora. Los resultados del análisis pueden incluir una evaluación de integridad del montón, el funcionamiento de sistema conductor, y los acentos máximos dinámicos conductores. Los resultados también pueden ser usados para la evaluación de resistencia de suelo estática y su distribución sobre el montón en el momento del descansar. Tan remoto empleo de los datos es una materia(asunto) de juicio apropiado de la ingeniería.

Nota 8. Normalmente, hay la mejor correlación entre resistencia movilizado y la capacidad de porte donde hay una penetración mensurable neto por el impacto.

Nota 9. La evaluación de resistencia de suelo estática y su distribución puede ser basada en variedad de métodos analíticos y es el sujeto de individuo el juicio de la ingeniería. La entrada en los métodos analíticos puede o no puede causar la evaluación dinámica que corresponder datos de prueba de carga estáticos. Esto es deseable y a menudo necesario de calibrar el resultado del análisis dinámico con los que una prueba de carga de montón estática realizada según la D de método 1143.

6. Informe

6.1 El informe de las pruebas dinámicas incluirá la información siguiente cuando aplicable:

6.1.1 General

6.1.1.1 Identificación de proyecto

6.1.1.2 Posición del proyecto

6.1.1.3 Posición de tipo de prueba

6.1.1.4 Dueño

6.1.1.5 Ingeniero estructural

6.1.1.6 Ingeniero Geotecnico

6.1.1.7 Contratista del montón

- 6.1.1.8 Prueba que aburre a contratista
- 6.1.1.9 La designación y la posición de la prueba cercana aburrada con la referencia a la posición del montón de prueba se amontonan y el dato de control vertical
- 6.1.1.10 Tronco del los cercanos de prueba aburrado
- 6.1.1.11 Dato de control horizontal, y
- 6.1.1.12 Control vertical dato (de elevación).
- 6.1.2 Equipo de Instalación de Montón:
 - 6.1.2.1 Haga, modele, escriba a máquina, ponga la talla, y la historia de servicio reciente de martillo,
 - 6.1.2.2 Peso de martillo y carnero
 - 6.1.2.3 Golpe nominal y real de carnero
 - 6.1.2.4 Energía nominal de martillo,
 - 6.1.2.5 Capacidad normal de caldera o compresor
 - 6.1.2.6 Tipo, dimensiones y los valores de rigidez de capblock y cojín de montón, eso y las dimensiones de gorro de paseo en coche,
 - 6.1.2.7 Descripción Detallada y los dibujos de seguidor,
 - 6.1.2.8 Tamaño de predrilling o equipo jetting,
 - 6.1.2.9 Tipo, tamaño, longitud, y peso, y tensión que transmite área de mandrel, y
 - 6.1.2.10 Los datos específicos detallados de cualquier arreglo especial para aplicación de fuerza de impacto
 - 6.1.2.11 Los montones De prueba,
- 6.1.3 Montones de prueba:
 - 6.1.3.1 Identificación y posición oftest montón (ones)
 - 6.1.3.2 Funcionamiento de carga de montón (ones)
 - 6.1.3.3 Tipo de montón (ones)
 - 6.1.3.4 Material de montón de prueba including datos específicos básicos, incluyendo fuerza
 - 6.1.3.5 Punta(consejo) y las dimensiones de extremo de montón (ones)

6.1.3.6 La calidad general de madera prueba piles que incluye el tipo de madera, la presencia de nudos, hendiduras, comprobaciones y sacudidas, y la franqueza de montón (ones).

6.1.3.7 El tratamiento preservativo y condicionando el proceso usado para la madera prueba piles que incluye certificados inspección,

6.1.3.8 El grosor de la pared de tubo prueba el montón,

6.1.3.9 El peso por unidad de longitud de H prueba el montón,

6.1.3.10 Descripción de refuerzos de punta(consejo) de montón de prueba o protección,

6.1.3.11 Descripción de atar montones de madera,

6.1.3.12 Descripción de empleos de capa especiales,

6.1.3.13 Montón de prueba (mandrel) peso como conducido,

6.1.3.14 Fecha montones prefabricados de prueba hechos

6.1.3.15 Fuerzas de cilindro concretas cuando montón probado (aproximado)

6.1.3.16 La descripción de refuerzo interno usado en el montón de prueba (el tamaño, la longitud, numera(cuenta) barras longitudinales, el arreglo, la espiral, o ata el acero)

6.1.3.17 La condición de piles prefabricado que incluye áreas spalled, grietas, encabeza sobre la superficie, y la franqueza de montones,

6.1.3.18 La condición de piles prefabricado que incluye áreas spalled, grietas, encabeza sobre la superficie, y la franqueza de montones

6.1.3.19 Prestress eficaz

6.1.3.20 Que se amontona la o vertical aporrea

6.1.3.21 El grado de aporrea, y

6.1.3.22 Elevación final de extremo (s) de montón de prueba referido para fijado dato

6.1.4 Instalación de Montón

6.1.4.1 Pase de moda conducido (instalado)

6.1.4.2 La fecha pavimentó con hormigón (el molde-en-lugar)

6.1.4.3 Volumen de hormigón o lechada colocada en montón

- 6.1.4.4 Presión de lechada usada,
- 6.1.4.5 Descripción de pre excavación o jetting (profundidad, tamaño, presión, duración),
- 6.1.4.6 Operación la presión para todo martillo,
- 6.1.4.7 El Regulador que pone el martillo diesel durante pruebas
- 6.1.4.8 Martillo de gasoil de tipo de combustible,
- 6.1.4.9 Descripción de procedimientos de instalación especiales usados, como montones encajonados de,
- 6.1.4.10 El tipo y la posición de montón empalman,
- 6.1.4.11 Registros de conducción
- 6.1.4.12 Resistencia de penetración final,
- 6.1.4.13 Las observaciones visuales de golpe de carnero durante final,
- 6.1.4.14 Las observaciones visuales de golpe de carnero durante la conducción de final y soplan por el minuto(acta) de martillo,
- 6.1.4.15 Resistencia de penetración durante nueva huelga,
- 6.1.4.16 Cuando capblock reemplazado (indique sobre el tronco),
- 6.1.4.17 Cuando el cojín de montón reemplazado (indique sobre el tronco).
- 6.1.4.18 Causa y duración de interrupciones en instalación de montón, y
- 6.1.4.19 Notación de cualesquiera presencias insólitas durante instalación.
- 6.1.5 Pruebas Dinámicas
 - 6.1.5.1 Descripción, datos de calibración y fecha de calibración de todos los componentes del aparato para obtención de medidas dinámicas y aparato para grabación, reduciendo y mostrando datos,
 - 6.1.5.2 Fecha probada,
 - 6.1.5.3 Identificación de montón de prueba,
 - 6.1.5.4 El módulo de elasticidad, densidad, y velocidad de onda(ola) de montón de prueba, y como decidido,
 - 6.1.5.5 Secuencia en examen de conducir de montón realizado, como final de conducción de inicial, principio de nueva huelga,

- 6.1.5.6 Longitud de montón, como ser(siendo,estando) conducido, integrado y debajo de aparato para obtención de medidas dinámicas,
- 6.1.5.7 Resistencia de penetración durante pruebas dinámicas,
- 6.1.5.8 La gama, promedio, y desviación estándar de las medidas de fuerza de compresión máxima y mínima,
- 6.1.5.9 La gama, promedio, y desviación estándar de los datos de velocidad de impacto,
- 6.1.5.10 La gama, desviación media y estándar de las medidas de aceleración máxima
- 6.1.5.11 La gama, promedio, y desviación estándar de las medidas de penetración final del montón,
- 6.1.5.12 La gama, promedio, y desviación estándar de los datos de energía máximos y finales,
- 6.1.5.13 Que la teoría ondulatoria unidimensional pálido usado para el análisis de la conducción de montón, dé la referencia,
- 6.1.5.14 Las variables firmaron(establecieron) la teoría de onda(ola), como la humectación, el temblor, y la resistencia,
- 6.1.5.15 Cuando aplicable, la resistencia de suelo calculada que actúa sobre el montón en el momento de pruebas y como calculado, y
- Commets sobre la integridad del montón.

Nota 10. Los datos sobre las fuerzas, la velocidad, la aceleración, la penetración y la energía pueden ser registrados en cualquier punto de interés durante la conducción de montón. La desviación estándar de estos valores debería ser calculada para un mínimo de 20 martillazos consecutivos.

7. Precisión y Tendencia

7.1 La precisión - la precisión del procedimiento en este método de prueba para las medidas directas de tensión y la aceleración es difícil de determinar debido a la variabilidad del montón que conduce el martillo anda los materiales en los que

el montón es localizado. La Información es juntada sobre el precisión del procedimiento.

7.2 La tendencia - ninguna declaración justificable de tendencia puede ser hecha sobre el procedimiento en este método de prueba porque no hay ningunos valores estándar a los que los valores moderados pueden ser referido.