



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA ARGENTINA

FACULTAD DE INGENIERÍA

TESIS DE GRADO

---

**Hincabilidad de pilotes en la  
Formación Pampeano  
Aplicación de teoría de ondas**

---

*Autor:*

Francisco PERETTI  
fperetti.s@gmail.com

*Tutores:*

Ing. Javier FAZIO  
jfazio@dc-fz.com  
Dr. Alejo O. SFRISO  
asfriso@fi.uba.ar

*Director de Carrera:*

Ing. José ANTE

Febrero de 2016

# Índice general

<b>1. Introducción</b>	<b>4</b>
1.1. Motivación . . . . .	4
1.2. Objetivo . . . . .	4
1.2.1. Pilotes hincados e ingeniería en fundaciones . . . . .	4
1.3. Agradecimientos . . . . .	5
<b>2. Pilotes hincados: características y metodología de diseño</b>	<b>6</b>
2.1. Introducción . . . . .	6
2.2. Tipos de pilote hincado . . . . .	7
2.2.1. Pilotes de madera . . . . .	7
2.2.2. Pilotes de acero . . . . .	7
2.2.3. Pilotes de hormigón . . . . .	7
2.3. Tipos de martillo . . . . .	7
2.3.1. Martillo diesel de extremo abierto (OED) . . . . .	8
2.3.2. Martillo diesel de extremo cerrado (CED) . . . . .	9
2.3.3. Martillos hidráulicos . . . . .	9
2.4. Eficiencia . . . . .	10
<b>3. Propagación de ondas en pilotes</b>	<b>11</b>
3.1. Introducción . . . . .	11
3.1.1. Funcionamiento de la hinca . . . . .	11
3.1.2. Ecuaciones dinámicas . . . . .	11
3.2. Principios básicos de propagación ondas . . . . .	12
3.2.1. Propagación de ondas en barras . . . . .	12
3.2.2. Propagación en pilotes . . . . .	13
3.3. Modelo de Smith . . . . .	14
3.3.1. Ecuaciones básicas . . . . .	15
3.3.2. Software: GRL-Weap . . . . .	15
3.4. Cálculo de capacidad de carga de pilotes . . . . .	16
3.4.1. Capacidad de carga por fuste . . . . .	16
3.4.2. Capacidad de carga por punta . . . . .	16
3.4.3. Factor de seguridad . . . . .	17
<b>4. Perfil geotécnico: Márgenes del Río Paraná y Río de la Plata</b>	<b>18</b>
4.1. Introducción . . . . .	18
4.2. Formación Pampeano . . . . .	18
4.2.1. Origen . . . . .	18
4.2.2. Procesos post-depósito . . . . .	19

4.3.	Post-Pampeano . . . . .	20
4.3.1.	Clasificación . . . . .	20
4.3.2.	Consolidación . . . . .	20
4.3.3.	Resistencia . . . . .	20
4.4.	Sitios representativos . . . . .	20
4.4.1.	La Plata . . . . .	20
4.4.2.	Zárate . . . . .	21
4.4.3.	Sauce viejo - Santa Fé . . . . .	22
<b>5.</b>	<b>Análisis de hincabilidad en la formación Pampeano</b>	<b>23</b>
5.1.	Introducción . . . . .	23
5.1.1.	Características de pilotes . . . . .	23
5.1.2.	Características de martillos . . . . .	23
5.1.3.	Características de accesorios . . . . .	24
5.1.4.	Metodología . . . . .	24
5.2.	Sitio 1 - La Plata . . . . .	24
5.2.1.	Capacidad de carga esperable . . . . .	24
5.2.2.	Pilote P30 . . . . .	24
5.2.3.	Pilote P35 . . . . .	26
5.2.4.	Pilote P40 . . . . .	27
5.2.5.	Pilote P45 . . . . .	28
5.2.6.	Pilote P50 . . . . .	28
5.2.7.	Resumen de resultados - La Plata . . . . .	30
5.2.8.	Conclusiones y recomendaciones - La Plata . . . . .	31
5.3.	Sitio 2 - Zárate . . . . .	31
5.3.1.	Capacidad de carga esperable . . . . .	31
5.3.2.	Pilote P30 . . . . .	31
5.3.3.	Pilote P35 . . . . .	33
5.3.4.	Pilote P40 . . . . .	34
5.3.5.	Pilote P45 . . . . .	34
5.3.6.	Pilote P50 . . . . .	36
5.3.7.	Resumen de resultados - Zárate . . . . .	36
5.3.8.	Conclusiones y recomendaciones - Zárate . . . . .	37
5.4.	Sitio 3 - Santa Fe . . . . .	38
5.4.1.	Capacidad de carga esperable . . . . .	38
5.4.2.	Pilote P30 . . . . .	38
5.4.3.	Pilote P35 . . . . .	39
5.4.4.	Pilote P40 . . . . .	40
5.4.5.	Pilote P45 . . . . .	41
5.4.6.	Pilote P50 . . . . .	42
5.4.7.	Resumen de resultados - Santa Fé . . . . .	43
5.4.8.	Conclusiones y recomendaciones - Santa Fé . . . . .	43
<b>6.</b>	<b>Resumen y conclusiones</b>	<b>45</b>
6.1.	Conceptos generales y fundamentos . . . . .	45
6.2.	Condiciones geotécnicas y sitios de estudio . . . . .	45
6.3.	Análisis de hincabilidad y resultados . . . . .	45

---

<b>A. Ensayos SPT de zonas estudiadas</b>	<b>48</b>
<b>B. Características de los martillos de hincado</b>	<b>51</b>
<b>C. Cálculos de capacidad de carga</b>	<b>58</b>
<b>D. Resultados GRL Weap</b>	<b>62</b>

# Capítulo 1

## Introducción

### 1.1. Motivación

Gran parte de las provincias de Buenos Aires y Santa Fe se encuentran sobre una formación geológica conocida como Pampeano, que se caracteriza por una gran resistencia derivada de una preconsolidación por desecación y la presencia de lentes cementados. En estas zonas resulta de particular interés el uso de pilotes hincados para diversas construcciones industriales por su facilidad de construcción y por la reducción del tiempo de instalación.

La formación Pampeano es muy conocida y ha sido sujeta de diversos estudios, pero existe poco en materia de hincabilidad de pilotes. En este trabajo se busca dar luz sobre algunos aspectos de la hincabilidad de pilotes en la formación Pampeano mediante métodos numéricos que utilizan conceptos de ecuaciones de ondas.

### 1.2. Objetivo

El objetivo de este trabajo es analizar la hincabilidad de pilotes de hormigón armado en la formación Pampeano. Se eligen pilotes prefabricados de diferentes secciones y algunos de los martillos disponibles en el mercado local, en conjunto con los elementos accesorios utilizados para el hincado: capacetes y cabezal.

#### 1.2.1. Pilotes hincados e ingeniería en fundaciones

La capacidad de carga de los pilotes depende directamente de su longitud embebida en el suelo. Para un mismo terreno y diámetro de pilote, una mayor longitud implica una mayor capacidad de carga y viceversa. Cuando un pilote se hinca en el terreno, la profundidad máxima que puede alcanzarse depende de la capacidad del martillo para entregar energía, de la capacidad del mismo pilote en transmitir esa energía y de la capacidad del suelo en recibir esa energía y disiparla. El análisis de hincabilidad es un procedimiento riguroso que permite estudiar esa transferencia de energía y por lo tanto permite:

1. Elegir el martillo más adecuado en función del pilote y del terreno;
2. Diseñar la calidad del hormigón del pilote y su armadura para resistir las tensiones derivadas del proceso de hincado; y
3. Calcular la máxima profundidad que puede alcanzarse con el sistema martillo-pilote-suelo, y por ende, la capacidad de carga máxima del pilote.

Se utilizarán aproximaciones de la ecuación de ondas mediante el modelo de masas discretas de Smith para realizar el análisis de hincabilidad de cada caso de estudio. Los cálculos se ejecutarán mediante el software GRL-Weap diseñado específicamente para ello.

### 1.3. Agradecimientos

El autor agradece a la Facultad de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica Argentina y a SRK Consulting S.A por brindar el espacio y las herramientas para el desarrollo de este trabajo. Al profesor de la Facultad de Ingeniería, Ing. Javier Fazio por su apoyo incondicional y desinteresado.

Al Ing. Alejo Sfriso por su ayuda en la elección del tema y el enfoque de este trabajo, así como su paciencia y su experiencia puesta al servicio de la educación y el desarrollo profesional del autor y de todos los que lo rodean. Al Ing. Alfredo López por brindar su vasta experiencia en el campo estudiado.

Al Ing. Osvaldo Ledesma por su apoyo incondicional, su paciencia, por todo el tiempo dedicado y por su incentivo constante no solo durante el desarrollo de este trabajo, sino también en el desarrollo profesional y personal del autor.

## Capítulo 2

# Pilotes hincados: características y metodología de diseño

### 2.1. Introducción

El pilote es un elemento de fundación que ha sido utilizado por cientos de años. Se trata de columnas que se instalan en el terreno para transferir al suelo las cargas verticales, aunque con leves inclinaciones también pueden tomarse cargas horizontales de manera efectiva. Uno de los testimonios documentados más conocidos sobre su uso es durante la guerra de las Galias, hacia el año 55 a.C. En ese contexto, el emperador Julio Caesar y sus legiones construyeron un puente de 300m sobre el río Rhin con el propósito de batallar y destruir las tribus galas. Este puente se construyó sobre pilotes de madera que fueron hincados con algunos grados de inclinación, tanto aguas arriba como aguas abajo, a fin de soportar las corrientes del río. Una maquinaria similar a la utilizada por los romanos se muestra en la 2.1.1. Otro ejemplo de su uso es en la ciudad de Venecia, fundada hacia el siglo V, donde se utilizaron para lograr los cimientos sobre el lecho pantanoso del río.

Actualmente la ciencia ha desarrollado no solo materiales si no también técnicas diversas para la construcción de pilotes. Los materiales más utilizados son la madera, el hormigón armado y el acero, y sus técnicas de construcción pueden dividirse a grandes rasgos en dos grupos: pilotes in situ o pilotes hincados. Los primeros son aquellos que se construyen en terreno: se excava el suelo en toda la longitud del pilote, se colocan las armaduras de acero necesarias y luego se procede con el colado del hormigón.

Los segundos generalmente se fabrican en una planta, son transportados al sitio de construcción. Una vez allí, se colocan en posición vertical o con alguna leve inclinación y con golpes sucesivos o vibración se hincan hasta alcanzar la capacidad de carga requerida. En sus inicios se construían de madera pues no se había desarrollado la tecnología del acero o del hormigón, y su instalación no difería demasiado de la actual. En reemplazo de las rocas y las poleas utilizadas para golpear el pilote como se

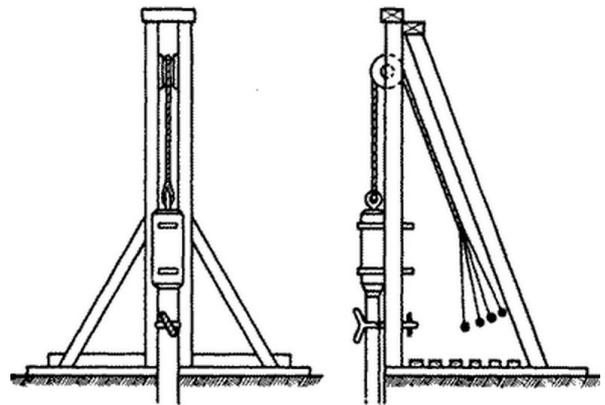


Figura 2.1.1: Maquinaria antigua de hincado de pilotes.

muestra en la Figura 2.1.1, hoy se utilizan martillos de diversos tipos. En la figura 2.1.2 se muestra un esquema con los elementos principales del sistema de hincado.

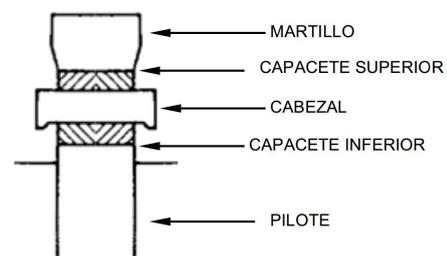


Figura 2.1.2: Elementos del sistema de hincado.

Los pilotes hincados son utilizados en obras donde se requieren capacidades de carga similares entre elementos de fundación, como en edificios industriales, y donde persisten los suelos blandos seguidos por algún estrato resistente a una cota uniforme. De esta forma, se pueden fabricar a gran escala y de igual longitud. En general no se utilizan en zonas urbanas por las incomodidades que genera el

proceso de hincado a la población vecina y porque las vibraciones pueden ocasionar daños en estructuras linderas. Por otra parte, no resultan eficientes para tomar grandes cargas verticales, pues se requieren pilotes de gran tamaño para los cuales se necesita demasiada energía durante la instalación. Tampoco es común su uso para tomar grandes cargas horizontales, puesto que no se pueden lograr grandes inclinaciones a fin de evitar las solicitaciones de flexión.

## 2.2. Tipos de pilote hincado

En la actualidad los pilotes se construyen de madera, acero u hormigón armado. Para cada uno existen diferentes variantes de secciones que se adaptan a diversos problemas [3].

### 2.2.1. Pilotes de madera

Los pilotes de madera son económicos, fáciles de transportar y resultan muy adecuados para lugares de difícil acceso. En general se utilizan en lugares donde el nivel freático es elevado, dado que la madera se deteriora con facilidad ante cambios continuos de humedad. Cuando el nivel freático es errático, se pueden utilizar revestimientos en la parte superior para asegurar su durabilidad. Con este tipo de pilotes se pueden alcanzar hasta 20m de profundidad aproximadamente y capacidades de carga de hasta 300kN.



Figura 2.2.1: Pilotes de madera - Venecia.

### 2.2.2. Pilotes de acero

En general se utilizan perfiles laminados de sección tubular de punta abierta o cerrada, o perfiles en H que se colocan por hinca o por vibrado. Para su uso se debe tener especial cuidado con los riesgos de corrosión del acero. En el mercado particular de

Argentina, no son de uso habitual por los elevados costos del acero comparativamente con los pilotes de hormigón, armado o pretensado.



Figura 2.2.2: Pilote spin fin.

Los pilotes de acero han ido evolucionando a diferentes tecnologías, por ejemplo el pilote spin-fin que se muestra en la Figura 2.2.2. Este tipo de pilote posee paletas en la punta que fuerzan su rotación durante el hincado, y por el ensanchamiento de la punta, su capacidad de carga por punta puede asimilarse al de pilotes de cabeza ensanchada.

### 2.2.3. Pilotes de hormigón

Los pilotes de hormigón son en general de sección cuadrada de hasta 900mm de lado aproximadamente, aunque pueden encontrarse secciones circulares y poligonales, llenas o huecas.

En la Figura 2.2.3 se muestran algunos pilotes de hormigón de uso habitual. Típicamente se utiliza hormigón de calidad H30 a H60, y pueden ser de hormigón armado, pretensados o postesados. Con este tipo de pilotes se pueden alcanzar longitudes de más de 50.0m.

## 2.3. Tipos de martillo

En la Figura 2.3.1 se muestra un esquema con los distintos tipos de martillos utilizados para la hinca de pilotes. A continuación se presentan algunas de sus características generales [3]:

- Caída libre: fue el primer martillo utilizado y consistía en rocas montadas sobre guías de madera, elevadas manualmente o por tracción de sangre. Hoy se utilizan en algunas ocasiones aunque con algunos avances tecnológicos como el uso de grúas, cables y pesas de acero.



(a) Sección cuadrado



(b) Sección circular

Figura 2.2.3: Pilotes de hormigón prefabricados.

- Martillo de vapor: fue el primer martillo mecánico inventado, capaz de elevar pesas de hasta 1250kN con una eficiencia del 67 % aproximadamente.
- Martillo de aire comprimido: con una eficiencia similar al de vapor, éste martillo puede elevar pesas de hasta 200kN. En sus inicios reemplazaron a los de vapor para tareas de menor envergadura.
- Martillo diésel de efecto simple o doble: su uso comenzó por la década de 1930 con la ventaja de no necesitar fuentes de energía externas. Pueden elevar pesos de hasta 800kN con una eficiencia de trabajo de 80 % aproximadamente. Su funcionamiento es como el de un motor de combustión interna de un tiempo.
- Martillo hidráulico de efecto simple o doble: pueden elevar pesas de hasta 1650kN con una eficiencia cercana al 100 %. Pueden ser de caída libre o con acelerados y tienen la ventaja de poder utilizarse debajo del agua.
- Martillo vibratorio: utilizan pesas que giran excéntricas alrededor de un eje para lograr vibraciones en distintas frecuencias. Con la frecuencia adecuada para el sistema pilote-suelo se pueden lograr eficiencias cercanas al 100 %.

### 2.3.1. Martillo diesel de extremo abierto (OED)

La principal característica de los martillos diesel es que no necesitan de una fuente de energía externa para su funcionamiento puesto que poseen su propio combustible.

En la Figura 2.3.2 se muestra un esquema de este tipo de martillo y en la Figura 2.3.3 se detalla las etapas del ciclo de funcionamiento. La energía necesaria para el inicio del ciclo la confiere un mecanismo de elevación de la maza. Una vez posicionada a la altura de caída necesaria, se libera el mecanismo y la maza cae por gravedad.

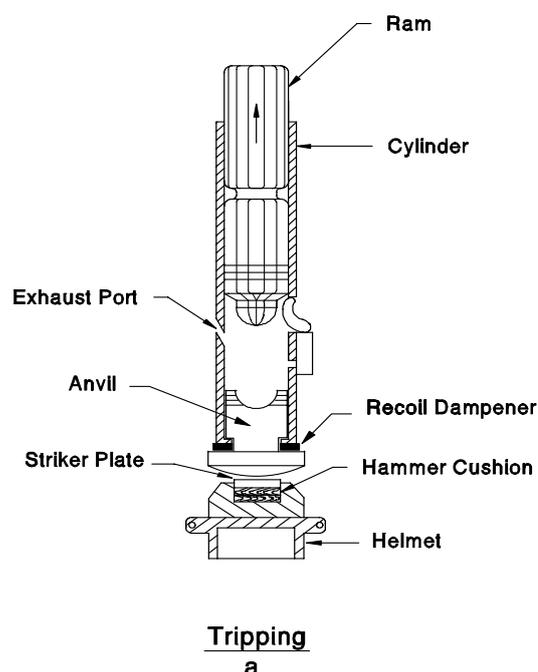


Figura 2.3.2: Esquema de martillo diesel OED [9].

A medida que esta cae, el combustible es inyectado dentro del cilindro (Figura 2.3.3, b). Cuando la maza cierra la válvula de aire-escape, el diesel junto con el aire del cilindro es comprimido y comienza a elevar su temperatura (Figura 2.3.3, c). Al momento en que la maza impacta con el cabezal, por la combinación de temperatura y presión generada en el cilindro, el combustible explota incrementando aún más la presión dentro de la cámara. Como consecuencia, el pilote es empujado hacia abajo penetrando el suelo, y la maza del martillo es empujada hacia arriba (Figura 2.3.3, d).

En el recorrido hacia arriba, la maza pasa por la válvula de aire-escape y los gases de la combustión comienzan a salir (Figura 2.3.3, e). La maza continúa su recorrido hacia arriba mientras las presiones dentro del cilindro se disipan y comienza a ingresar aire limpio desde el exterior (Figura 2.3.3, f). Una

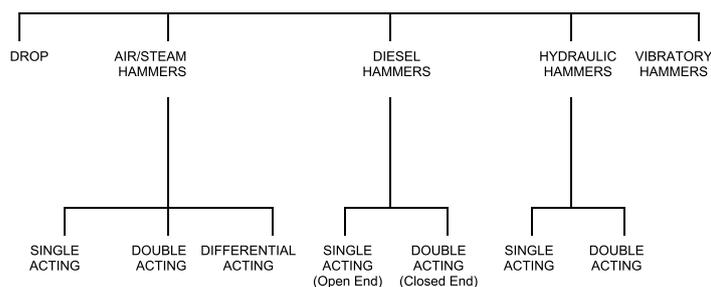


Figura 2.3.1: Tipos de martillos [9].

vez que alcanza la máxima altura el ciclo comienza nuevamente.

No hay consenso general de qué forma caracterizar a los martillos diesel de simple acción, y muchos simplemente lo hacen según la energía potencial de la maza para la máxima altura de caída. La realidad es que la altura de caída de la maza no puede ser completamente controlada por las numerosas variables implicadas y es, de hecho, diferente para cada ciclo, pero una forma de hacerlo es ajustando la carga de combustible inyectado en cada ciclo.

Una condición que surge comúnmente cuando el régimen de trabajo del martillo es continuo y prolongado es el de combustión prematura. Esto surge como consecuencia de las altas temperaturas que puede alcanzar el martillo provocando una ignición temprana del combustible, es decir, antes que la maza golpee el cabezal. Esta situación reduce la eficiencia del martillo y debe ser evitada controlando la temperatura del equipo.

Cuando el trabajo se realiza sobre suelos de poca resistencia a la penetración, el empuje sobre la maza no suele ser suficiente para forzar la entrada de aire limpio y el ciclo se interrumpe. Cuando ese sea el caso, se deberá elevar la maza de forma manual hasta que el proceso continúe sin intervención externa.

### 2.3.2. Martillo diesel de extremo cerrado (CED)

A diferencia del martillo diesel de simple acción, el martillo de doble acción posee una cámara de rebote en la parte superior que le permite almacenar parte de la energía cinética de elevación después de la combustión. Esta energía se almacena en forma de presión en el aire contenido en la cámara de rebote. De esta forma la eficiencia y la energía que entrega el martillo durante el hincado es superior a la de un martillo OED. En la Figura 2.3.4 se muestra un esquema de este tipo de martillo con su componentes principales.

### 2.3.3. Martillos hidráulicos

En la Figura 2.3.5 se muestran dos esquemas de martillos hidráulicos, de simple acción (a) o de doble acción (b); cada uno con sus principales componentes. Los de simple acción actúan bajo la acción de la gravedad, y el mecanismo hidráulico sólo sirve para elevar la maza en cada nuevo golpe.

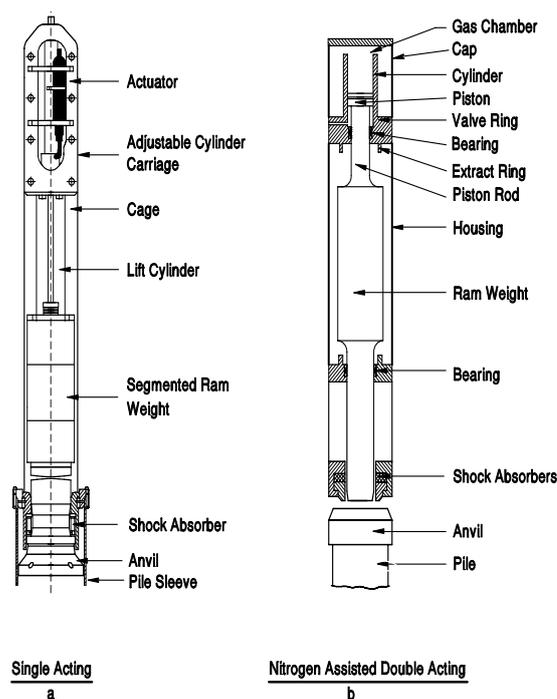


Figura 2.3.5: Esquema de martillo hidráulico típico [9].

Los martillos hidráulicos de doble acción, además de lo descrito para los de simple acción, almacenan parte de la energía de caída para acelerar el proceso de izado de la maza, de manera que la cadencia de golpes es aproximadamente dos veces más grande que el de un martillo de simple acción.

Todos los martillos hidráulicos permiten que la caída sea variable y controlable según las condiciones de hincabilidad. Para resistencias a la penetración

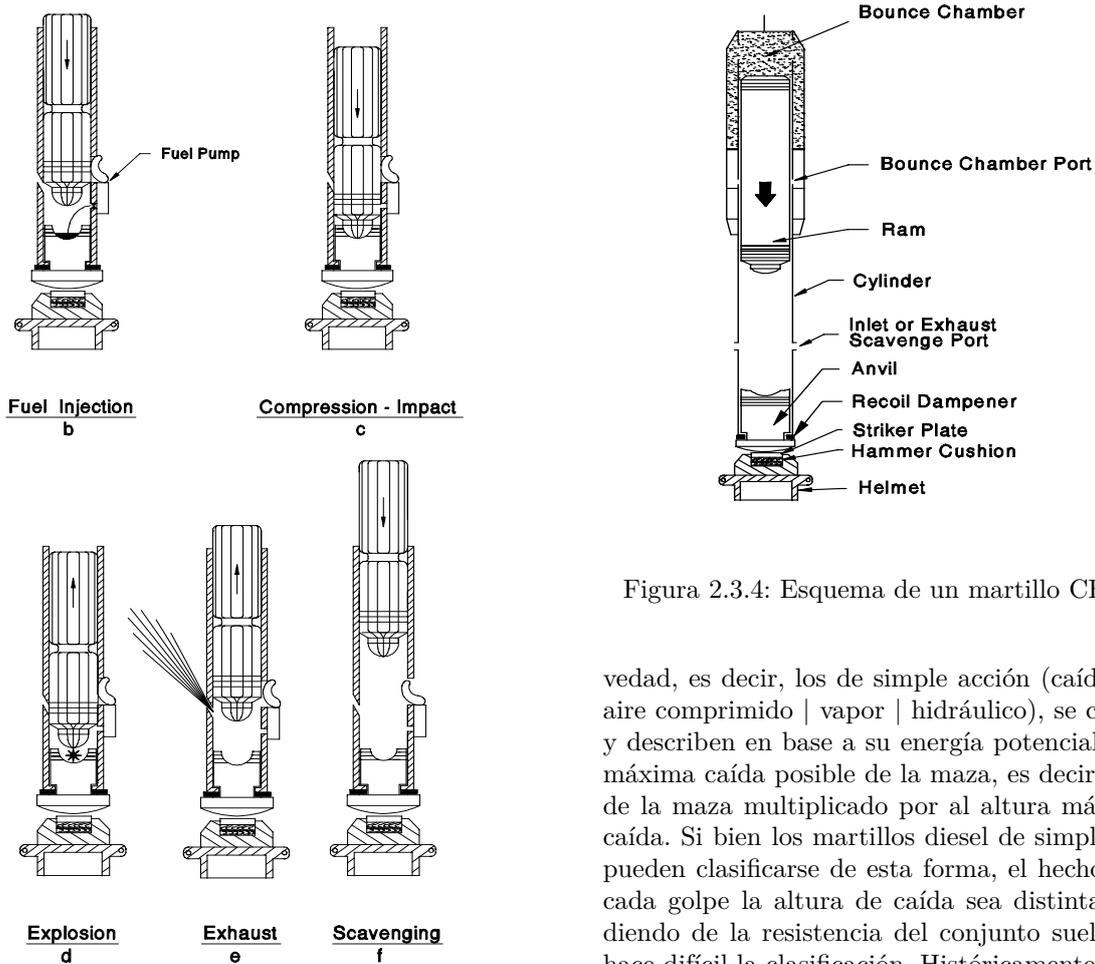


Figura 2.3.3: Funcionamiento de martillo diesel OED [9].

bajas, se recomienda utilizar alturas de caída bajas a fin de minimizar las tensiones de tracción en el pilote (condicionante para pilotes de hormigón).

Una de las principales ventajas del martillo hidráulico es que está completamente aislado del exterior por lo que su funcionamiento no se ve afectado por el entorno de funcionamiento. Esto lo convierte en el único capaz de trabajar bajo agua de manera que se puede hincar pilotes sin guías y evitando longitudes adicionales innecesarias.

## 2.4. Eficiencia

Los criterios de hincabilidad de un pilote son evaluados con conceptos de trabajo y energía. El martillo realiza un trabajo al forzar la penetración del pilote en el terreno una profundidad dada, y para relacionarlo con la energía de los martillos, los ingenieros de todo el mundo crearon diversas fórmulas dinámicas.

Los martillos que operan por la acción de la gra-

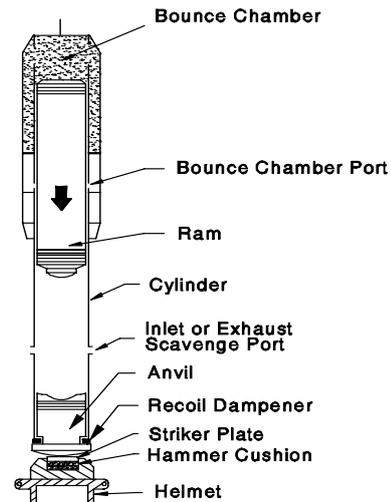


Figura 2.3.4: Esquema de un martillo CED [9].

vedad, es decir, los de simple acción (caída libre | aire comprimido | vapor | hidráulico), se clasifican y describen en base a su energía potencial para la máxima caída posible de la maza, es decir, el peso de la maza multiplicado por la altura máxima de caída. Si bien los martillos diesel de simple acción pueden clasificarse de esta forma, el hecho que en cada golpe la altura de caída sea distinta dependiendo de la resistencia del conjunto suelo-pilote, hace difícil la clasificación. Históricamente se utilizaba el criterio del fabricante para su clasificación, pero hoy en día resulta fácil medir la altura de caída de cada golpe.

Para el caso de los martillos de doble acción (aire comprimido | vapor | hidráulico | diesel) la velocidad de caída de la maza se incrementa con un mecanismo secundario de manera que la energía no depende sólo de la altura. Para estos efectos se calcula una altura de caída equivalente y la clasificación de estos martillos se realiza en base a su energía potencial equivalente [9].

Todos los martillos se clasifican entonces según su energía potencial o su energía potencial equivalente, pero debe tenerse en cuenta que del total de energía, solo un porcentaje está disponible para ser transferido al pilote en cada impacto. Esto sucede porque existe, entre otras, fricción entre los elementos del equipo o la explosión prematura del combustible en los martillos diesel. De esa forma, se define la eficiencia del martillo como el porcentaje de energía potencial o potencial equivalente ( $E_{pot}$ ) que puede ser entregado al pilote en cada impacto:

$$e = \frac{E_{entregada}}{E_{pot}}$$

# Capítulo 3

## Propagación de ondas en pilotes

### 3.1. Introducción

El uso de las ecuaciones de ondas en el análisis dinámico de pilotes comenzó con E.A.L Smith en la década de 1950. En los siguientes años el interés por esta solución fue creciendo y con la aparición de las computadoras se comenzaron a desarrollar programas de cálculo que facilitaron su uso. Hasta ese momento existían numerosas ecuaciones dinámicas para el diseño de pilotes hincados, pero todos basados en la experiencia recolectada durante años y con errores derivados de numerosas incertidumbres. [4, 9]

#### 3.1.1. Funcionamiento de la hinca

Si un peso  $W$  cae sobre un pilote desde una altura  $h$ , tal como se muestra en la Figura 3.1.1, la velocidad que alcanzará al momento del impacto será:

$$v_i = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad (3.1.1)$$

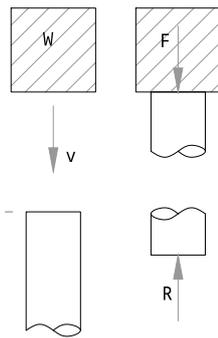


Figura 3.1.1: Esquema de sistema martillo-pilote

Considerando que  $W$  es mucho mayor que el peso del pilote y que en el instante en que se produce el impacto las partículas del pilote adoptan la misma velocidad que el martillo que lo golpea, se puede calcular la tensión de compresión generada por el impacto según:

$$\sigma_i = v_i \cdot \frac{E}{c} \quad (3.1.2)$$

Si la caída fuera desde  $1,0m$  de altura, para un pilote de hormigón,  $E \simeq 23500MPa$  y  $c \simeq 3500m/s$ , se obtiene una tensión de impacto de  $\sigma_i \simeq 30,0MPa$ .

Suponiendo un pilote de sección cuadrada  $45 \times 45cm$  de área  $A = 0,2025m^2$ , con la tensión de impacto calculada se obtiene una fuerza de hincado de

$$F = \sigma_i \cdot A = 6075kN \quad (3.1.3)$$

El impacto del martillo genera una onda de tensiones de compresión que viaja a través del pilote. Asumiendo que se encuentra empotrado extremo inferior, la onda sufrirá una reflexión que duplicará su magnitud, de manera tal que la máxima resistencia de suelo que se puede movilizar es  $R = 2 \cdot F$ . De esta forma, la fuerza de impacto ha generado una fuerza de mayor magnitud en el pilote que permite vencer la resistencia del suelo.

En la realidad, la fuerza de impacto es menor por diversos factores como la eficiencia del martillo, las pérdidas de energía en los capacetes y en el cabezal. Además, tampoco se tiene un apoyo completamente rígido al pie del pilote.

#### 3.1.2. Ecuaciones dinámicas

Las fórmulas de energía utilizadas ya por más de 100 años establecen una relación entre la energía cinética del martillo,  $E_k$ , y el trabajo del suelo por el asentamiento del pilote:

$$E_s = R_u \cdot s \quad (3.1.4)$$

siendo  $R_u$  la capacidad última del suelo al finalizar el hincado y  $s$  el asentamiento permanente. La relación entre ambas no es directa pues existen pérdidas de energía intermedias, pero en términos generales puede expresarse como:

$$E_s = E_k - E_{sh} - E_{pl} - E_{sl} \quad (3.1.5)$$

donde  $E_{sh}$ ,  $E_{pl}$  y  $E_{sl}$  son las pérdidas de energía en el sistema de hincado (cabezal y capacetes), el pilote y el suelo respectivamente. La energía cinética

puede expresarse como función de la energía entregada por el martillo,  $E_m$ , al igual que las pérdidas en el sistema de hincado de forma tal que:

$$E_k - E_{sh} = e_m \cdot e_{sh} \cdot E_m \quad (3.1.6)$$

siendo  $e_m$  y  $e_{sh}$  las eficiencias del martillo y del sistema de hincado respectivamente. De esta manera, la fórmula de energía puede expresarse como:

$$R_u \cdot s = e_m \cdot e_{sh} \cdot E_m - E_{pl} - E_{sl} \quad (3.1.7)$$

Haciendo estimaciones de  $e_{sh}$ ,  $e_m$ ,  $E_{pl}$  y  $E_{sl}$ , y asumiendo que se conoce  $E_m$ , con la ecuación dinámica 3.1.7 se puede obtener un gráfico de capacidad de carga última en función del asentamiento de forma simple. Lamentablemente, tantas estimaciones llevan a resultados poco confiables.

Las aproximaciones de la ecuación de ondas, tal como la de Smith, difieren de la ecuación dinámica 3.1.7 principalmente en la evaluación de  $e_{sh}$ ,  $E_{pl}$  y  $E_{sl}$ . Las pérdidas del sistema de hincado  $e_{sh}$  se establecen a partir de la rigidez de los capacetes, sus coeficientes de restitución así como también la altura del cabezal. Para el cálculo de  $E_{pl}$  se requiere el módulo de elasticidad del material del pilote, su longitud, peso específico y un coeficiente de restitución en su punta superior. Por último, para determinar  $E_{sl}$  se debe considerar la rigidez del suelo y su factor de amortiguamiento.

## 3.2. Principios básicos de propagación ondas

De manera general, existen tres tipos de ondas de esfuerzos generadas por una perturbación superficial en un sólido elástico infinito, tal como se muestra en la Figura 3.2.1:

- Ondas de compresión (P)
- Ondas de corte (S)
- Ondas superficiales (tipo Rayleigh, R)

Las primeras son las ondas longitudinales que penetran en el sólido generando oscilaciones de las partículas en el sentido de propagación de la onda. Las segundas, llamadas transversales, también penetran en el sólido propagándose en la misma dirección que las ondas  $P$ , pero generan oscilaciones de las partículas en sentido perpendicular al de propagación. Por último, las ondas tipo  $R$  solo se propagan de manera superficial y su amplitud decrece de manera exponencial con la distancia al punto de perturbación.

La ecuación que describe la propagación de ondas en el espacio es del tipo diferencial parcial:

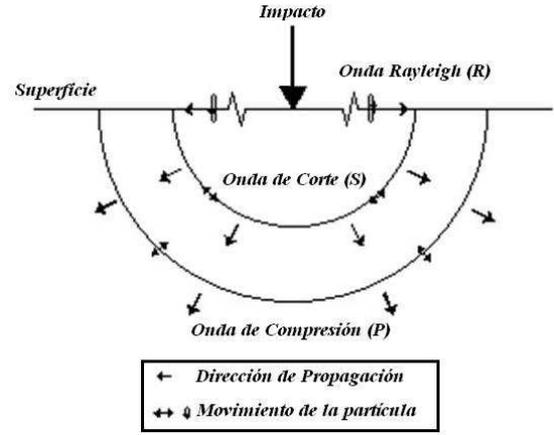


Figura 3.2.1: Tipos de ondas[4]

$$\nabla^2 \psi = \frac{1}{v^2} \cdot \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} \quad (3.2.1)$$

donde  $\nabla^2$  es el Laplaciano de la función de desplazamiento de las partículas inducido por el paso de la onda  $\psi(x, y)$ , respecto de sus coordenadas  $x$  y  $y$ . De la resolución de la ecuación diferencial se puede deducir la velocidad de propagación de los distintos tipos de ondas. La velocidad de propagación de ondas de compresión en un sólido elástico infinito depende de su módulo de elasticidad ( $E$ ), de su relación de Poisson ( $\nu$ ) y de su densidad ( $\rho$ ), y se calcula según:

$$c_p = \sqrt{\frac{E \cdot (1 - \nu)}{\rho \cdot (1 + \nu) \cdot (1 - 2\nu)}} \quad (3.2.2)$$

Por otra parte, la velocidad de propagación de las ondas de corte se calcula según:

$$c_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (3.2.3)$$

siendo  $G = E/(2 \cdot (1 + \nu))$  el módulo de corte del material.

### 3.2.1. Propagación de ondas en barras

Para el caso de barras, la ecuación de ondas es más simple. Si se toma un diferencial  $\Delta x$ , la sumatoria de fuerzas del elemento mostrado en la Figura 3.2.2 es:

$$\frac{\partial F}{\partial x} = \rho \cdot A \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \quad (3.2.4)$$

Sabiendo que  $F = \sigma \cdot A = E \cdot \varepsilon \cdot A$  y asumiendo  $\varepsilon = \partial u / \partial x$  para barras esbeltas, se obtiene la ecuación diferencial de propagación unidimensional de ondas

$$\frac{\delta^2 u}{\delta t^2} = \frac{E}{\rho} \cdot \frac{\delta^2 u}{\delta x^2} \quad (3.2.5)$$

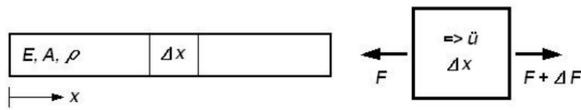


Figura 3.2.2: Análisis de fuerzas de una barra[4]

Para el caso de pilotes, también debe tenerse en cuenta la resistencia del suelo  $R$  que rodea al pilote durante el hincado de manera que la ecuación 3.2.5 se convierte en:

$$\frac{\delta^2 u}{\delta t^2} = \frac{E}{\rho} \cdot \frac{\delta^2 u}{\delta x^2} + R \quad (3.2.6)$$

De esta ecuación se define la velocidad de onda de compresión de una barra como

$$c_p = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (3.2.7)$$

que resulta independiente de la relación de Poisson del material. Esto tiene sentido dado que para una barra esbelta, la componente del esfuerzo en el sentido perpendicular a su eje es despreciable.

El análisis de la ecuación de propagación de ondas en pilotes puede realizarse de manera analítica o numérica. En algunas ocasiones las soluciones analíticas son muy complejas y se recurre a soluciones numéricas utilizando modelos elementos finitos o modelos de diferencias finitas, como la idealización de masas agrupadas propuesta por Smith.

### 3.2.2. Propagación en pilotes

Cuando un pilote de sección constante  $A$ , módulo de elasticidad  $E$  y velocidad de propagación de ondas  $c$ , es golpeado por una maza, una fuerza  $F$ , se genera en la superficie de contacto. La fuerza comprime la zona del pilote aledaña y por ende esas partículas experimentan una aceleración y una variación de su velocidad,  $v$ . Mientras no exista resistencia alrededor del pilote, la fuerza es igual a:

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

En la Figura 3.2.3 se muestra un pilote de sección transversal constante y de longitud  $L$ , sin efectos de resistencia externa, que es golpeado por una maza en uno de sus extremos. En ese instante se crean ondas de fuerza y velocidad que viajan a la velocidad de propagación  $c$ . Transcurrido el tiempo  $L/c$ , ambas ondas alcanzan el final del pilote pero la reflexión de ambas se da de formas distintas. Dado que no existen fuerzas externas de resistencia, la onda de compresión se refleja como una onda de tracción que sube por el pilote a la velocidad de

propagación y al final la fuerza neta sobre el pilote es cero. Por el contrario, la onda de velocidad se duplica y sube por el pilote pero con el mismo sentido (hacia abajo).

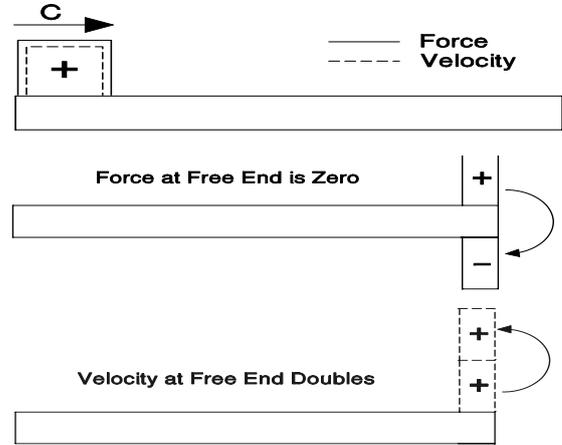


Figura 3.2.3: Propagación de ondas - Pilote libre [9].

En la Figura 3.2.4 se muestra un gráfico típico utilizado en el control de hincado y de integridad de pilotes, donde se observa la magnitud de las ondas de compresión y de velocidad en función del tiempo. La magnitud de la velocidad siempre se escala según la impedancia del pilote ( $E.A/c$ ).

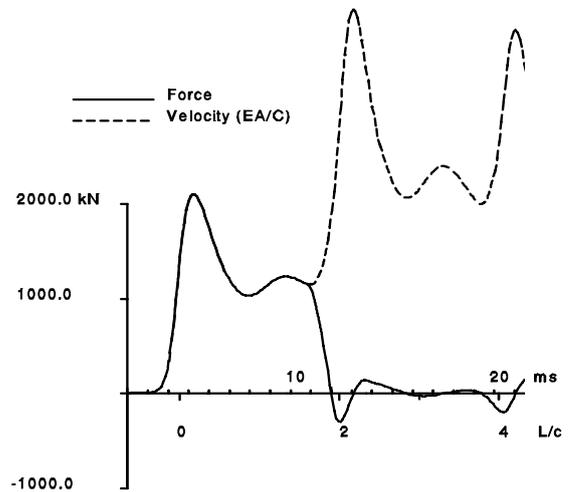


Figura 3.2.4: Fuerza y velocidad vs tiempo - Pilote libre [9].

El caso que se muestra en la Figura 3.2.4 es el descrito anteriormente, donde el pilote no tiene resistencia en la punta. Se observa que la magnitud de la fuerza y de la velocidad es la misma hasta el tiempo  $2L/c$ . Esto sucede porque en ese tiempo, ambas ondas de compresión | tracción y de velocidad han

ido hasta el final del pilote y han regresado al punto de control en el extremo superior. De esa forma, la magnitud de la velocidad se duplica y la fuerza se anula.

En la Figura 3.2.5 se muestra el caso de un pilote de iguales condiciones al presentado anteriormente pero con la punta fija. Las ondas de compresión y de velocidad viajan de manera análoga hasta el final del pilote, en tiempo  $L/c$ , pero por la condición de extremo fijo se reflejan de manera diferente. La onda de compresión se refleja como una onda de compresión con el doble de magnitud mientras que la onda de velocidad se refleja en sentido contrario con igual magnitud. De esta forma, la velocidad en la punta es cero.

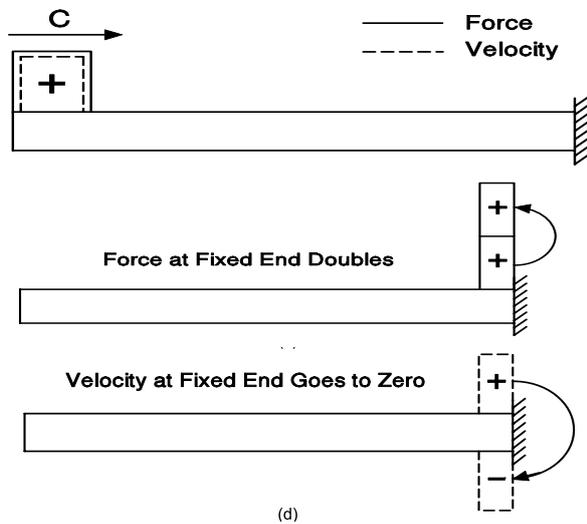


Figura 3.2.5: Propagación de ondas - Pilote de extremo fijo [9].

En la Figura 3.2.6 se muestra el gráfico de magnitud de fuerza y velocidad en el extremo superior del pilote en función del tiempo. Hasta poco antes de tiempo  $2L/c$  ambas curvas son iguales y cuando las ondas de compresión y de velocidad alcanzan el extremo superior la velocidad se anula y la fuerza se duplica.

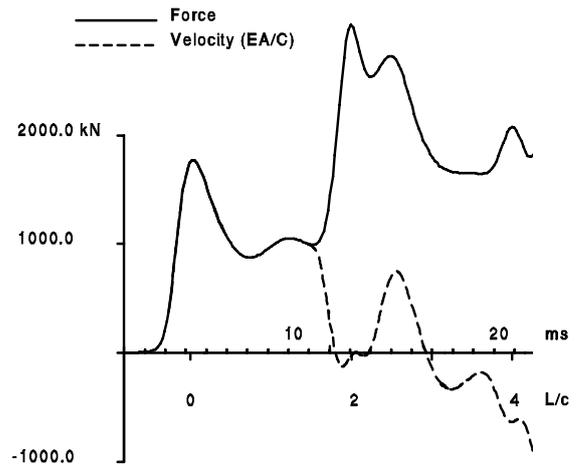


Figura 3.2.6: Fuerza y velocidad vs tiempo - Pilote de extremo fijo [9].

- Modelo del suelo-resortes externos: el suelo se representa con un sistema de resortes y amortiguadores en paralelo.

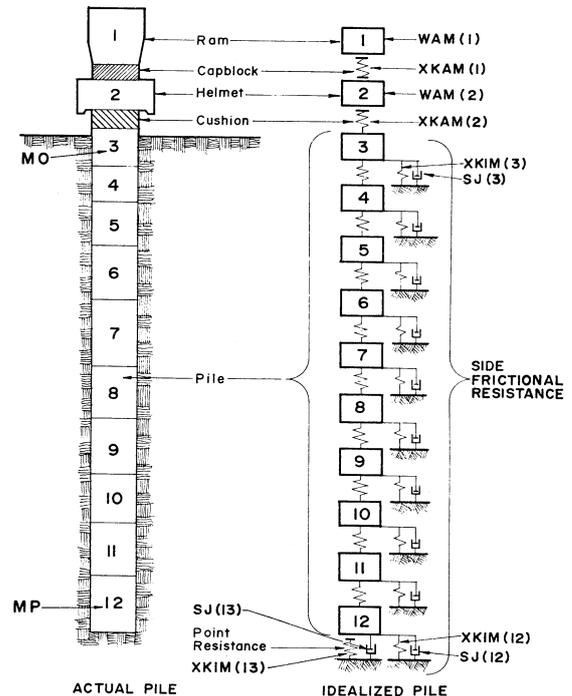


Figura 3.3.1: Idealización de pilote [2].

### 3.3. Modelo de Smith

El método desarrollado por Smith es un método de diferencias finitas en el que se utiliza la ecuación de ondas para determinar el asentamiento de un pilote para una capacidad de carga última dada [1]. En la Figura 3.3.1 se muestra un esquema de la idealización de Smith:

- Modelo del pilote-resortes internos: martillo, cabezal y pilote idealizados como masas discretas; capacetes y uniones entre masas discretas idealizados como resortes.

En la Figura 3.3.2 se muestra el modelo de carga-deformación de Smith sujeto a cargas estáticas y a cargas dinámicas. Se define:

- “Quake” -  $Q$ : máxima deformación del suelo en rango elástico
- “Damping” -  $J$ : amortiguación del suelo

- Capacidad de carga estática última -  $R_u$

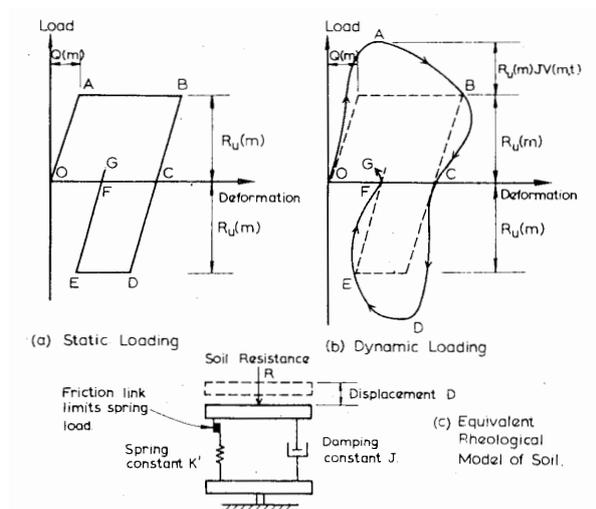


Figura 3.3.2: Modelo carga-deformación de Smith [2].

La rigidez de los resortes del suelo depende tanto de la resistencia última del suelo en condiciones estáticas como del quake:

$$K_i(m) = \frac{R_{u-i}}{Q}$$

### 3.3.1. Ecuaciones básicas

La ecuación de ondas para elementos lineales puede resolverse de manera numérica y expresarse para cada elemento del modelo de diferencias finitas con las siguientes ecuaciones:

$$D_{(m,t)} = D_{(m,t-1)} + \Delta t \cdot v_{(m,t-1)}$$

$$C_{(m,t)} = D_{(m,t)} - D_{(m,t-1)}$$

$$F_{(m,t)} = C_{(m,t)} \cdot K_{(m)}$$

$$R_{(m,t)} = [D_{(m,t)} - D'_{(m,t)}] \cdot K'_{(m)} \cdot [1 + J_{(m)} \cdot v_{(m,t-1)}]$$

$$v_{(m,t)} = v_{(m,t-1)} + [F_{(m-1,t)} + W_{(m)} + F_{(m,t)} - R_{(m,t)}] \cdot \frac{g \cdot \Delta t}{W_{(m)}}$$

siendo:

- $m$ : número de elemento,

- $t$ : tiempo,
- $\Delta t$ : intervalo de tiempo,
- $g$ : aceleración de la gravedad,
- $C_{(m,t)}$ : compresión del resorte interno  $m$  para el tiempo  $t$ ,
- $D_{(m,t)}$ : desplazamiento del elemento  $m$  en el tiempo  $t$ ,
- $D'_{(m,t)}$ : desplazamiento plástico del resorte externo  $m$  en el tiempo  $t$ ,
- $F_{(m,t)}$ : fuerza en el resorte interno  $m$  en el tiempo  $t$ ,
- $J_{(m)}$ : amortiguamiento del elemento de suelo  $m$ ,
- $K_{(m)}$ : rigidez del resorte interno  $m$ ,
- $K'_{(m)}$ : rigidez del resorte externo  $m$ ,
- $R_{(m,t)}$ : fuerza entregada por el resorte externo  $m$  en el tiempo  $t$ ,
- $v_{(m,t)}$ : velocidad del elemento  $m$  en el tiempo  $t$ , y
- $W_{(m)}$ : peso del elemento  $m$

### 3.3.2. Software: GRL-Weap

El programa GRL-Weap fue desarrollado inicialmente en 1976, desarrollado en conjunto por GRL, la FHWA y el departamento de transporte de Nueva York. A lo largo de los años a sufrido numerosas actualizaciones y mejoras, hasta la última versión disponible, GRL-Weap 2005 [5].

El programa funciona básicamente con el modelo de Smith. Para diferentes intervalos de tiempo, resuelve las ecuaciones básicas del modelo de Smith sobre cada masa discretizada.

Los valores de damping y de quake para el análisis de hincabilidad con el método de Smith son difíciles de estimar y de medir. El manual del software GRL-Weap recomienda algunos valores según el tipo de suelo y el tipo de pilote a hincar. En la Tablas 3.3.1 y 3.3.2 se resumen dichas recomendaciones.

	Suelo	Damping [s/m]
Fuste	Cohesivo	0.16
	No cohesivo	0.65
Punta	Todos	0.50

Tabla 3.3.2: Factores de damping para pilotes hincados [5].

	Suelo	Pilote	Quake [mm]
Fuste	Todo tipo	Todo tipo	2.5
Punta	Todos   Roca suave	Pilotes sin desplazamiento	2.5
	Suelos muy densos y duros	Pilotes de desplazamiento	D/120
	Suelos poco densos y duros	Pilotes de desplazamiento	D/60
	Roca dura	Todo tipo	1.0

Tabla 3.3.1: Factores de quake para pilotes hincados [5].

### 3.4. Cálculo de capacidad de carga de pilotes

La capacidad de carga del pilote es directamente proporcional a la resistencia a la penetración del suelo durante el proceso de hincado. En el modelo de masas discretas de Smith, la rigidez de los resortes depende de la capacidad geotécnica de los pilotes, del tipo de suelo en el que se hincan y de el tipo de pilote.

La capacidad geotécnica última de pilotes resulta de la suma de la capacidad de carga por fuste ( $Q_{uF}$ ) y por punta ( $Q_{uP}$ ) [10]:

$$Q_u = Q_{uP} + Q_{uF}$$

#### 3.4.1. Capacidad de carga por fuste

La resistencia unitaria última por fuste puede escribirse como:

- $f = K_c \cdot \sigma'_v \cdot \tan(\phi) \cdot \alpha$  para suelos granulares
- $f = c \cdot \alpha$  para suelos cohesivos

siendo  $K_c$  un coeficiente de presión lateral que depende del procedimiento constructivo del pilote,  $\alpha$  un coeficiente de minoración de la interfaz suelo-pilote que varía entre 0.5 y 1.0,  $\sigma'_v$  la presión vertical según la profundidad analizada, y por último,  $c$  y  $\phi$  son los parámetros de resistencia del suelo: cohesión y ángulo de fricción interna.

Los valores de  $K_c$  pueden estimarse según los coeficientes de presión lateral del suelo. Para el caso de pilotes hincados para los cuales el suelo es desplazado a medida que se instala el pilote, el coeficiente se asemeja al coeficiente de presión lateral pasivo del suelo  $K_c \simeq (1 + \tan(\phi))/(1 - \tan(\phi))$ .

Finalmente, la capacidad de carga por fuste se calcula según

$$Q_{uF} = \int_{\text{estrato}} (f_i \cdot P) \cdot dz$$

donde  $P$  es el perímetro del pilote.

#### 3.4.2. Capacidad de carga por punta

La tensión de contacto última en la punta del pilote se calcula según la fórmula de Brinch-Hansen [10].

$$q_p = \frac{1}{2} \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma + \sigma \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q + c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c$$

donde:

- $\gamma$  es el peso efectivo del estrato de fundación,
- $B$  es el ancho o diámetro del pilote,
- $N_\gamma$ ,  $N_q$ , y  $N_c$  son funciones de  $\phi$ ,
- $s_\gamma$ ,  $s_q$  y  $s_c$  son factores de forma que dependen de la longitud del pilote y su ancho/diámetro,
- $d_\gamma$ ,  $d_q$  y  $d_c$  son factores de profundidad,
- $i_\gamma$ ,  $i_q$  y  $i_c$  son factores de inclinación. Para pilotes con carga vertical centrada se adoptan igual a la unidad.
- $\sigma$  es la presión efectiva vertical en el plano de fundación.

A continuación se resumen las ecuaciones para determinar cada uno de estos factores.

$$N_\phi = \tan^2(45 + \frac{\phi}{2}) \quad (3.4.1)$$

$$N_\gamma = 1,5 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan(\phi) \quad (3.4.2)$$

$$N_q = N_\phi \cdot e^{\pi \cdot \tan(\phi)} \quad (3.4.3)$$

$$N_c = \cot(\phi) \cdot (N_q - 1) \quad (3.4.4)$$

$$s_c = s_q \quad (3.4.5)$$

$$s_q = 1 + (0,2 + \tan^6(\phi)) \cdot \frac{B}{L} \quad (3.4.6)$$

$$s_\gamma = \frac{3 - s_c}{2} \quad (3.4.7)$$

$$d_c = 1 + \frac{0,35}{\frac{B}{D} + \frac{0,6}{1+7 \cdot \tan^4(\phi)}} \quad (3.4.8)$$

$$d_\gamma = 1,0 \quad (3.4.9)$$

$$d_q = d_c - \frac{d_c - 1}{N_q} \quad (3.4.10)$$

Para suelos cohesivos, la capacidad de punta para solicitaciones de corta duración se calcula como  $q_u = 9 \cdot s_u$ , siendo  $s_u$  la resistencia al corte no drenada del suelo.

La capacidad de carga por punta se calcula como la tensión última en la punta multiplicada por la sección de apoyo ( $A_p$ ):

$$Q_{uP} = q_P \cdot A_p$$

### 3.4.3. Factor de seguridad

El factor de seguridad utilizado para el cálculo de capacidad de carga admisible de pilotes depende del tipo de carga al que este solicitado y el tipo de ensayo de carga al que se vaya a someter. En la Figura 3.4.1 se muestran los factores de seguridad recomendados por la USACE, tanto para tracción como para compresión.

Método	Carga	FS-Compresión	FS-Tracción
1	Usual	2.0	2.0
	Unusual	1.5	1.5
	Extreme	1.15	1.15
2	Usual	2.5	3.0
	Unusual	1.9	2.25
	Extreme	1.4	1.7
3	Usual	3.0	3.0
	Unusual	2.25	2.25
	Extreme	1.7	1.7

Tabla 3.4.1: Factores de seguridad para pilotes [10].

Los métodos de cálculo de capacidad de carga se refiere a:

1. Cálculo teórico o empírico que será verificado con ensayos de carga de pilote
2. Cálculo teórico o empírico que será verificado durante el hincado
3. Cálculo teórico o empírico que no será verificado mediante ensayos de carga

Las condiciones de carga establecidas son:

- Habituales - Usual: Incluye operaciones normales sobre el terreno

- No habitual - Unusual: Mantenimiento, inundaciones, impacto de barcos y construcción.
- Extremas - Extreme: Desastres naturales o accidentales que tienen probabilidades remotas de ocurrencia y que implican condiciones de mantenimiento después de la catástrofe.

## Capítulo 4

# Perfil geotécnico: Márgenes del Río Paraná y Río de la Plata

### 4.1. Introducción

Gran parte de las provincias de Buenos Aires, Santa Fe, La Pampa y Córdoba presentan un perfil geotécnico con un estrato superior perteneciente a la formación Pampeano, seguido de las arenas del Puelchense. En las zonas cercanas a la ribera del Río de la Plata, el río Paraná y el Riachuelo, el espesor del Pampeano disminuye y es reemplazado por un depósito de limos y arcillas de mediana a alta plasticidad conocido como Postpampeano, tal como se muestra en la Figura 4.1.1.

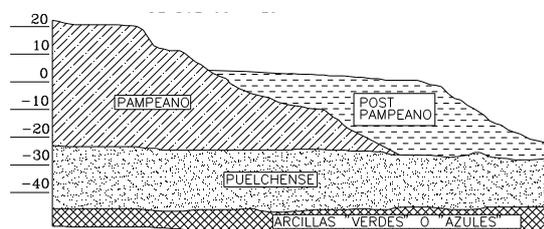


Figura 4.1.1: Esquema simplificado de la estratigrafía típica [8].

### 4.2. Formación Pampeano

El pampeano es un loess modificado preconsolidado por desecación y cementado con carbonatos de calcio y óxidos de magnesio. Un loess es un sedimento eólico uniforme y cohesivo, que debe su cohesión a la presencia de un cementante generalmente calcáreo o arcilloso [6]. En general se encuentra en los niveles superiores del perfil estratigráfico hasta 40m de profundidad en algunas zonas, conformado por capas paralelas de arcillas y limos.

#### 4.2.1. Origen

En estos suelos predominan las partículas de origen volcánico transportadas desde los Andes centrales

y la Patagonia por los vientos del Sur y Suroeste hacia el centro del país, como se muestra en la 4.2.1 [7].

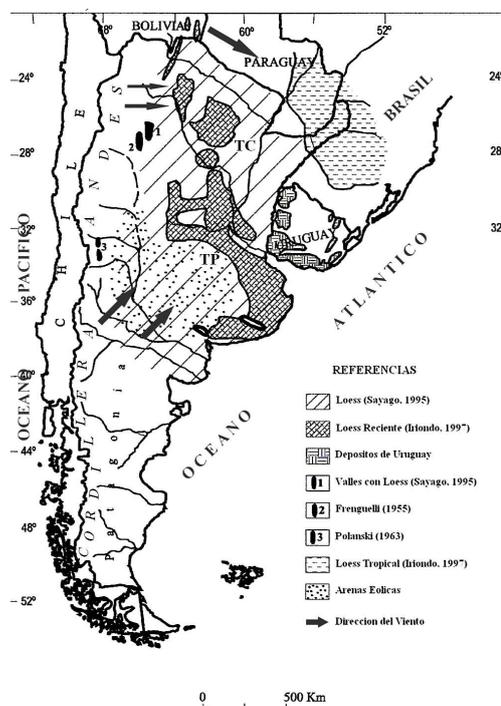


Figura 4.2.1: Distribución de loess en Argentina [7].

La explicación geológica más aceptada en cuanto al origen de esta formación está asociada a un proceso de subsidencia del fondo rocoso acompañado con el depósito de sedimentos fluviales y eólicos. Estos procesos se vieron interrumpidos de manera periódica por levantamientos temporales del nivel freático provocando una erosión y re-depósito de las partículas [13].

Como consecuencia de estos procesos geológicos, la formación quedó conformada por capas finas de materiales que van desde loess depositados de manera fluvial y eólica hasta arcillas activas. Según los

estudios realizados, el depósito del Pampeano ha ocurrido durante el Pleistoceno directamente sobre las Arenas Puelches del Plioceno. De esta forma, el tercio inferior está compuesto por sedimentos fluviales depositados bajo agua y los dos tercios superiores por sedimentos eólicos [13].

#### 4.2.2. Procesos post-depósito

##### Preconsolidación y desecación

El Pampeano presenta un alto grado de preconsolidación, y en general se acepta que ha sido producto de procesos geológicos ocurridos durante y luego del depósito, y no por la presencia de una sobrecarga. Las últimas glaciaciones y el consecuente descenso del nivel del mar produjeron la preconsolidación de los depósitos fluviales inferiores, mientras que los períodos de fuertes sequías y la variación estacional del nivel freático preconsolidaron los depósitos eólicos superiores por desecación y succión capilar. En la Figura 4.2.2 se observan las presiones efectivas máximas  $\sigma'_{zmax}$  comparadas con las presiones efectivas verticales por tapada  $\sigma'_{zt}$  [14].

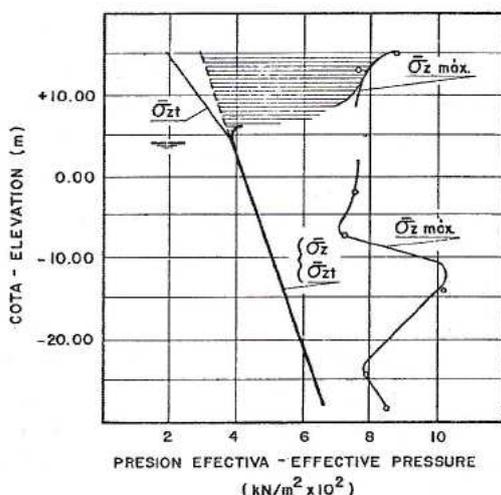


Figura 4.2.2: Presiones efectivas del terreno [14].

La desecación de los depósitos superiores produjo además agrietamientos y contracción del terreno favoreciendo la infiltración de agua de lluvia y el ingreso de sales.

##### Cementación

Durante la sedimentación del material, el carbonato de calcio presente en el agua y sales del suelo se precipitó en forma de nódulos impregnando las partículas entre sí y formando zonas cementadas de alta resistencia y forma irregular, conocida como tosca [8, 14].

Se reconocen tres grados de cementación:

1. Nódulos aislados en un matriz preconsolidada no cementada;
2. Matriz de cementación intermedia con algunos nódulos fuertemente cementados;
3. Matriz medianamente cementada con inclusiones grandes y muy resistentes producidas por la precipitación del carbonato de calcio (tosca).

En las toscas, las inclusiones se distinguen fácilmente de la matriz y presentan propiedades mecánicas muy diferentes a aquellas.

##### Clasificación

Según la clasificación de la carta de plasticidad de Casagrande, los loess se ubican muy cerca de la línea "A", de forma que se pueden clasificar como ML, MH, CL o CH. En la 4.2.3 se observa la clasificación realizada por Bolognesi y Moretto en 1957 donde se comparan los loess primarios y los re-depositados [13].

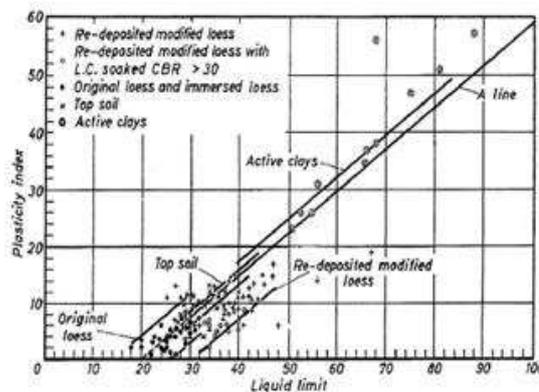


Figura 4.2.3: Clasificación de loess primario y re-depositado [13].

Como resultado se observa que el proceso de transporte y re-deposición modificó las propiedades índice del loess aumentando su índice de plasticidad y límite líquido sin modificarse el tamaño de las partículas.

##### Resistencia

La fuente principal de datos para la calibración de parámetros mecánicos y técnicas de modelación, es la medición, observación y análisis inverso del comportamiento del terreno durante la construcción de obras [12]. En la Tabla 4.2.1 se muestran los parámetros resistentes típicos del Pampeano, clasificándolo en relleno superficial, Pampeano superior,

Pampeano medio y Pampeano inferior. Se indica la cohesión efectiva  $c'$ , el ángulo de fricción interno  $\phi'$  y el rango de profundidades hasta los que se encuentra cada estrato característico  $P$ .

	P [m]		$c'$ [kPa]	$\phi'$ [°]
Relleno	1 a 3	min	0	28
		max	5	30
Superior	8 a 12	min	10	28
		max	25	31
Medio	25 a 30	min	25	30
		max	50	34
Inferior	36 a 40	min	15	28
		max	30	31

Tabla 4.2.1: Parámetros resistentes típicos del Pampeano [12].

### 4.3. Post-Pampeano

Esta formación está compuesta por limos y arcillas de mediana y alta plasticidad depositados bajo agua en ambientes marítimos y fluviales y se extiende sobre las riberas y márgenes del Río de la Plata, Río Paraná y el Riachuelo.

Al aproximarse a la ribera de estos cursos de agua, el Pampeano pierde espesor rápidamente, en uno o dos kilómetros, y es cubierto por el Post-Pampeano. El depósito de esta formación se dio en la época del Holoceno, última y actual época del período Cuaternario.

#### 4.3.1. Clasificación

Se reconocen dos tipos de procesos de depósito: marítimo y fluvial. Las del primer caso son arcillas de alta plasticidad ubicadas en la parte inferior de la formación con espesores de más de ocho metros. Poseen una granulometría muy fina y uniforme.

El depósito fluvial se corresponde con arcillas y limos arenosos superficiales de baja plasticidad. Del orden del 40 al 80% del material atraviesa el tamiz #200 y lo retenido es en general arena fina y uniforme. En la 4.3.1 pueden observarse numerosos ensayos de clasificación sobre la carta de Casagrande.

#### 4.3.2. Consolidación

Los limos y arcillas de esta formación están normalmente consolidados anisotropicamente bajo condiciones de reposo. Los suelos inferiores de origen marítimo presentan una leve preconsolidación, por

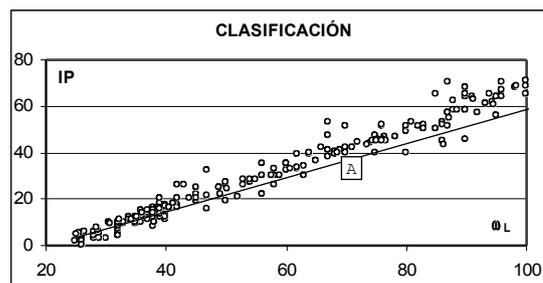


Figura 4.3.1: Clasificación del Post-Pampeano [11].

envejecimiento, con valores de OCR de 1.3 aproximadamente. Esta preconsolidación se da como consecuencia del proceso de consolidación secundaria, sin variación de presiones neutras [11].

#### 4.3.3. Resistencia

Presenta un comportamiento que se corresponde con el de un suelo desestructurado blando, no dilatante. El ángulo de fricción interno está entre 25° y 30° en función de la granulometría.

La resistencia al corte no drenada puede calcularse según relaciones empíricas para suelos cohesivos normalmente consolidados, en función de la presión vertical efectiva del suelo,  $\sigma'_v$ , o el número de golpes del ensayo de penetración estándar  $(N_1)_{60}$ , [15]:

$$s_u \simeq (0,23 \pm 0,04) \cdot \sigma'_v \simeq 7 \cdot (N_1)_{60} [\text{kPa}]$$

### 4.4. Sitios representativos

Para el desarrollo de este trabajo se analizan tres zonas de la Provincia de Buenos Aires y de Santa Fé que presentan perfiles estratigráficos típicos donde se aprecia la formación pampeano:

- La Plata, Buenos Aires
- Zárate, Buenos Aires
- Zauce Viejo, Santa Fé

En estas zonas es muy común la utilización de pilotes hincados en la construcción de estructuras industriales. Se recopila información de ensayos de penetración estándar (SPT) realizados con anterioridad para diversos trabajos y se identifican los perfiles estratigráficos característicos.

#### 4.4.1. La Plata

En la Figura 4.4.1 se muestran los resultados de un ensayo de penetración estándar en la zona de La Plata, que ha sido tomado como referencia para el

análisis. Se diferencian tres estratos cuyas características se detallan en la Tabla 4.4.1. En el Apéndice A se muestra el sondeo completo con ensayos de granulometría, límite líquido, plástico y humedad natural.

Estrato	Profundidad [m]	(N)90
Post-Pampeano	0.0   5.0	3
Pampeano superior	5.0   8.5	60
Pampeano medio	>8.5	25

Tabla 4.4.1: Perfil estratigráfico - La Plata.

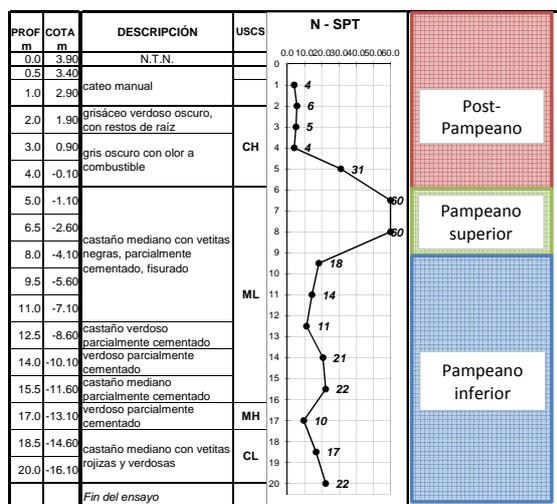


Figura 4.4.1: Ensayo SPT - La Plata.

En la Tabla 4.4.2 se resumen los parámetros esperables que se adoptan para el cálculo de capacidad de carga estático y el posterior análisis de hincabilidad.

Estrato	$\phi'$ °	$c'$ kPa	$s_u$ kPa	$\gamma$ $kN/m^3$
Post-Pampeano	28	0.0	20.0	17.5
Pampeano superior	34	30.0	-	18.5
Pampeano medio	32	15.0	-	18.5

Tabla 4.4.2: Parámetros geotécnicos esperables - La Plata.

Éstos han sido seleccionados según la bibliografía existente sobre caracterización mecánica del Post-Pampeano y del Pampeano. Para el análisis presente en este trabajo, el cálculo de capacidad de carga del Post-Pampeano se considera en condiciones no drenadas por la baja permeabilidad del suelo y su consecuente reducida capacidad de disipación de presiones neutras durante el hincado. Por el contrario, si se presentaran condiciones de carga per-

manentes o estáticas, el cálculo debe realizarse en condiciones drenadas.

Se considera el nivel freático a 1.70m de profundidad para el cálculo de capacidad de carga.

#### 4.4.2. Zárate

En la Figura 4.4.2 se muestran los resultados de un ensayo de penetración estándar en la zona de Zárate, que ha sido tomado como referencia para el análisis. Se diferencian cuatro estratos cuyas características se detalla en la Tabla 4.4.3. En el Apéndice A se muestra el sondeo completo con ensayos de granulometría, límite líquido, plástico y humedad natural.

Estrato	Profundidad [m]	(N)90
Pampeano superficial	0.0   3.0	10
Pampeano superior	3.0   7.0	20
Pampeano medio	7.0   14.0	25
Pampeano inferior	>14	60

Tabla 4.4.3: Perfil estratigráfico - Zárate.

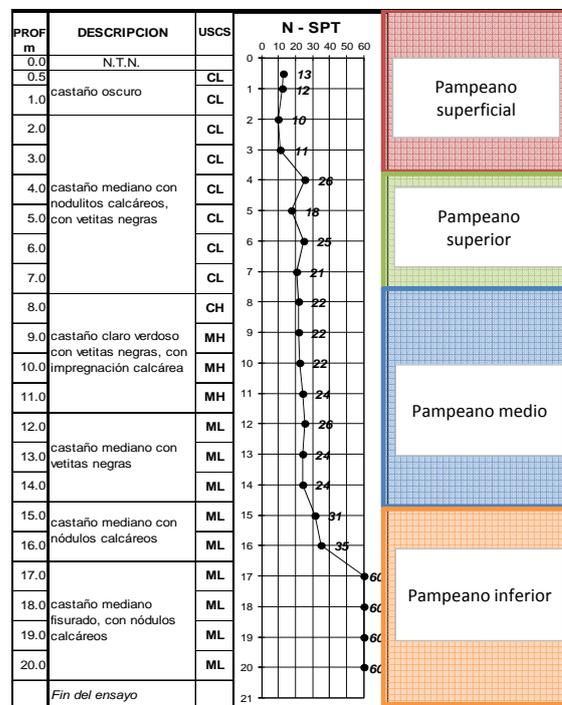


Figura 4.4.2: Ensayo SPT - Zárate.

En la Tabla 4.4.4 se resumen los parámetros esperables que se adoptan para el cálculo de capacidad de carga y el posterior análisis de hincabilidad.

Estrato	$\phi'$ °	$c'$ kPa	$\gamma$ $kN/m^3$
Pampeano superficial	30	10.0	18.5
Pampeano superior	32	10.0	18.5
Pampeano medio	32	15.0	18.5
Pampeano inferior	34	30.0	18.5

Tabla 4.4.4: Parámetros geotécnicos esperables - Zárate.

Éstos han sido seleccionados según la bibliografía existente sobre caracterización mecánica del Pampeano. Se consieran condiciones drenadas para el Pampeano por la alta permeabilidad que le confiere la matriz cementada fisurada y su consecuente alta capacidad de disipar presiones neutras generadas durante el hincado.

Se considera el nivel freático a 1.60m de profundidad para el cálculo de capacidad de carga.

#### 4.4.3. Sauce viejo - Santa Fé

En la Figura 4.4.3 se muestran los resultados de un ensayo de penetración estándar en la zona de Sauce viejo, Santa Fé, que ha sido tomado como referencia para el análisis. Se diferencian dos estratos cuyas características se detalla en la Tabla 4.4.5. En el Apéndice A se muestra el sondeo completo con ensayos de granulometría, límite líquido, plástico y humedad natural.

Estrato	Profundidad [m]	$(N)_{90}$
Pampeano	0.0   5.5	20
Puelchense	>5.5	50

Tabla 4.4.5: Perfil estratigráfico - Sauce Viejo.

En la Tabla 4.4.6 se resumen los parámetros esperables que se adoptan para el cálculo de capacidad de carga estático y el posterior análisis de hincabilidad.

Estrato	$\phi'$ °	$c'$ kPa	$\gamma$ $kN/m^3$
Pampeano	32	10.0	18.5
Puelchense	38	-	17.0

Tabla 4.4.6: Parámetros geotécnicos esperables - Sauce Viejo.

Éstos han sido seleccionados según la bibliografía existente sobre caracterización mecánica del Pampeano y de la formación Puelchense. Se consieran condiciones drenadas para el Pampeano por la alta

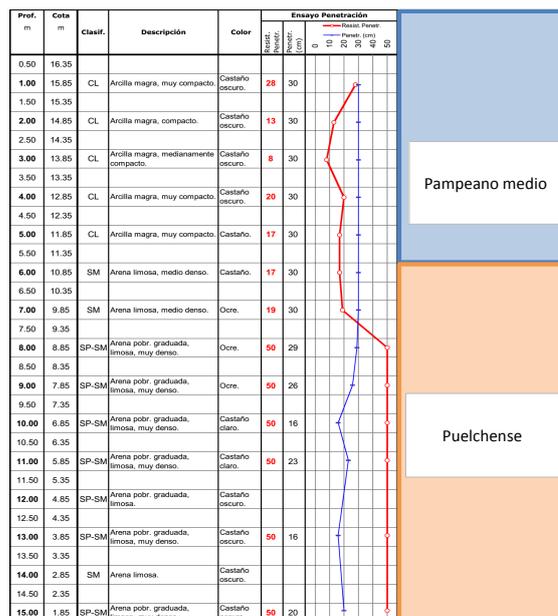


Figura 4.4.3: Ensayo SPT - Sauce Viejo.

permeabilidad que le confiere la matriz cementada fisurada y su consecuente alta capacidad de disipar presiones neutras generadas durante el hincado.

Se considera el nivel freático a 5.50m de profundidad para el cálculo de capacidad de carga.

## Capítulo 5

# Análisis de hincabilidad en la formación Pampeano

### 5.1. Introducción

En este capítulo se efectuó el análisis de hincabilidad de tres perfiles estratigráficos típicos de las provincias de Buenos Aires y Santa Fe. Para cada uno se evaluaron cinco pilotes de diferentes secciones transversales en función de cuatro martillos de hincado seleccionados.

#### 5.1.1. Características de pilotes

Se eligen pilotes de hormigón armado de sección cuadrada, de calidad H-35 y una cuantía de acero de 1.50%. En la Tabla 5.1.1 se indican las dimensiones de los pilotes estudiados:

Nomenclatura	Dimensiones [cm]	Sección [ $cm^2$ ]
P30	30x30	900.0
P35	35x35	1225.0
P40	40x40	1600.0
P45	45x45	2025.0
P50	50x50	2500.0

Tabla 5.1.1: Pilotes de H°A° estudiados.

#### Tensiones admisibles durante el hincado

Según las especificaciones del manual de FHWA [9], las tensiones de compresión durante el proceso de hincado deben ser menores a:

$$\sigma_c < 0,85 \cdot f'_c = 29,75MPa$$

donde  $f'_c = 35MPa$  es la resistencia característica del hormigón H-35.

Además, FHWA especifica las máximas tensiones de tracción admisibles:

$$\sigma_t < 0,70 \cdot f_y = 294,0MPa$$

donde  $f_y = 420MPa$  es la tensión de fluencia del acero dulce ADN tipo III, típicamente utilizado

en la industria de la construcción argentina. En el cálculo de hincabilidad de pilotes mediante ecuaciones de onda, las tensiones de tracción se indican en función de la sección de hormigón del pilote. De esta forma, las máximas tensiones de tracción admisibles dependen de la cuantía de acero en el pilote ( $\mu$ ):

$$\sigma_{t-H} < 0,70 \cdot f_y \cdot \mu$$

En la Tabla 5.1.2 se resumen dichas tensiones en función de la cuantía.

Cuantía ( $\mu$ ) [%]	$\sigma_{t-H,max}$ [MPa]
1.5	4.41
2.0	5.88
2.5	7.35
3.0	8.82
3.5	10.29
4.0	11.76

Tabla 5.1.2: Máximas tensiones de tracción según cuantía de acero

#### Módulo de elasticidad

Según lo especificado en la norma CIRSCOC 201 [16], el módulo de elasticidad del hormigón se calcula según:

$$E = 4700 \cdot \sqrt{f'_c}$$

Se adopta un módulo de elasticidad de  $E = 25GPa$ .

#### 5.1.2. Características de martillos

Los martillos adoptados para el análisis de hincabilidad se resumen en la Tabla 5.1.3. Se indica:

- $P$ : Peso
- $H_{max}$ : Altura de caída máxima
- $\nu$ : eficiencia

En el Apéndice B se muestran las especificaciones de cada uno.

	Tipo	$P$	$H_{max}$	$\nu$
Martillo	-	kN	m	-
D25-32	OED	24.52	3.67	0.80
D36-32	OED	35.29	3.48	0.80
D46-32	OED	45.12	3.67	0.80
DKH PH10	ECH	98.10	1.20	0.95

Tabla 5.1.3: Martillos adoptados.

### 5.1.3. Características de accesorios

Se adoptan capacetes tanto entre el pilote y el cabezal, como entre el cabezal y el martillo. Para todos los casos los capacetes tendrán las siguientes características.

- Material: enchapado de madera fenólica
- Espesor: 50.0mm
- Módulo de elasticidad: 210.0MPa
- Coeficiente de restitución: 0.50

Las sección de los capacetes y el peso de los cabezales adoptados se detallan en la Tabla 5.1.4.

Pilote	Capacete [ $cm^2$ ]		Cabezal [kN]
	Superior	Inferior	
P30	1464.51	900.0	9.786
P35	1464.51	1225.0	9.786
P40	2677.41	1600.0	13.789
P45	2677.41	2025.0	13.789
P50	2677.41	2500.0	16.013

Tabla 5.1.4: Características de accesorios.

### 5.1.4. Metodología

El proceso de análisis para cada pilote en cada uno de los sitios estudiados consta de los siguientes pasos:

1. Análisis de la información geotécnica disponible.
2. Determinación de parámetros geotécnicos apropiados para los diferentes estratos identificados.
3. Cálculo de capacidad de carga estática del pilote a diferentes profundidades de penetración.
4. Análisis de hincabilidad con el software GRL Weap.
5. Determinación de cuantía de acero necesaria.

Durante el análisis de hincabilidad debe tenerse en cuenta que:

- Para capacidades de carga estáticas calculadas con parámetros de suelo esperables (capacidad esperable), la resistencia a la penetración según la FHWA [9] debe ser menor a 800 golpes por metro (límite práctico).
- Para capacidades de carga máximas, aproximadamente 25 % mayores a las esperables, la resistencia a la penetración según la FHWA [9] debe ser menor a 1200 golpes por metro (límite máximo).
- Las tensiones de compresión no deben superar en ninguna etapa del proceso de hincado la máxima tensión de compresión admisible para el hormigón H-35 adoptado ( $\sigma_c < 29,75MPa$ ), aún con capacidades de carga máximas.

La longitud del pilote deberá modificarse hasta lograr cumplir todas las condiciones de diseño.

## 5.2. Sitio 1 - La Plata

### 5.2.1. Capacidad de carga esperable

El proceso dinámico de hincado genera incrementos de presiones neutras en la zona de suelo perturbada por el pilote, sobre todo cuando la permeabilidad del suelo es baja. El postpampeano se caracteriza por tener una permeabilidad baja mientras que el Pampeano, por la presencia de lentes cementados y fisurados, tiene una mayor permeabilidad. De esta forma, para el cálculo de capacidad de carga de los pilotes se considera el Postpampeano en condiciones no drenadas y el Pampeano en condiciones drenadas.

En la Figura 5.2.1 y en la Figura 5.2.2 se muestran las curvas de capacidad de carga del suelo para la zona de La Plata. En el Apéndice C se muestran ejemplos de los cálculos de capacidad de carga esperable realizados y en el Apéndice D se muestran las salidas del software GRL-Weap.

### 5.2.2. Pilote P30

En la Figura 5.2.3 se resumen las tensiones de compresión del pilote P30 en función de la resistencia a la penetración y en la Figura 5.2.4 la capacidad de carga en función de la resistencia a la penetración. Cada una de las curvas se corresponde con un tipo de martillo y está asociada a la máxima penetración calculada para el pilote P30 mediante análisis de hincabilidad. En la Tabla 5.2.1 se resumen:

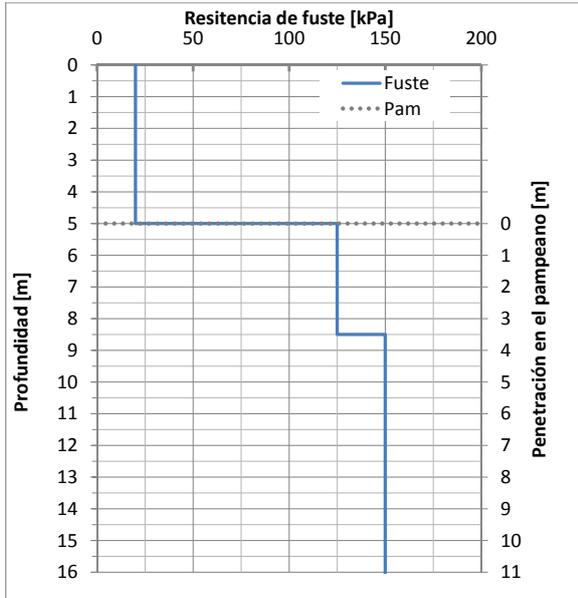


Figura 5.2.1: Resistencia del suelo por fuste

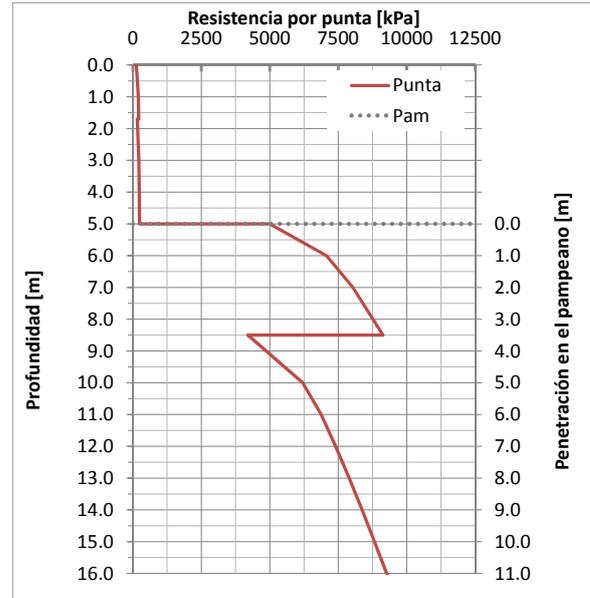


Figura 5.2.2: Resistencia del suelo por punta

- $P$ : Penetración en el Pampeano;
- $Q_{esp}$ : Capacidad de carga última con parámetros esperable;
- $Q_{max}$ : Capacidad de carga última máxima;
- $\sum G$ : Sumatoria de golpes hasta lograr la profundidad de rechazo; y
- $R$ : tipo de rechazo
  - LM: límite máximo en términos golpes por metro para capacidades de carga máximas
  - LP: límite práctico en términos de golpes por metro para capacidades de carga esperables
  - LT: límite de tensiones de compresión

	$P$	$Q_{esp}$	$Q_{max}$	$\sum G$	$R$
Martillo	[m]	[kN]	[kN]	-	-
D25-32	7.0	1941	2550	870	LM
D36-32	1.5	1025	1280	54	LT
D46-32	1.0	906	1133	23	LT
DKH 10	0.5	738	923	24	LT

Tabla 5.2.1: Resumen de hincado - P30.

En la Figura 5.2.3 se observa que el martillo D25-32 es el único que no genera tensiones de compresión excesivas, por lo que la penetración máxima es limitada por la resistencia a la penetración del suelo y no por la resistencia a la compresión del

hormigón. Para los demás martillos, las tensiones generadas durante la hinca resultan muy sensibles a la resistencia a la penetración de manera que una variación de dicha resistencia en 20gl/m provoca incrementos de tensiones de 28MPa a 35MPa aproximadamente. En la referencia se indica además la penetración alcanzada en el Pampeano.

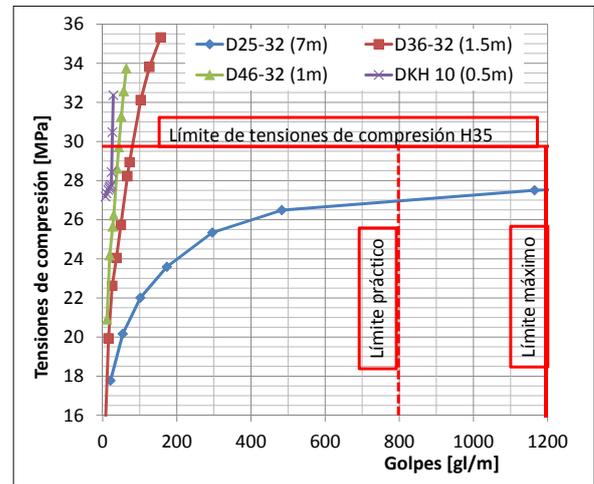


Figura 5.2.3: Tensiones de compresión - P30.

En la Figura 5.2.4 puede observarse que efectivamente, la penetración alcanzada por el D25-32 está limitada por la capacidad de carga. Para capacidades de carga esperables, la resistencia a la penetración es de 490gl/m aproximadamente, menor al límite práctico.

En la Figura 5.2.5 se muestran las tensiones de tracción según la profundidad durante el proceso de

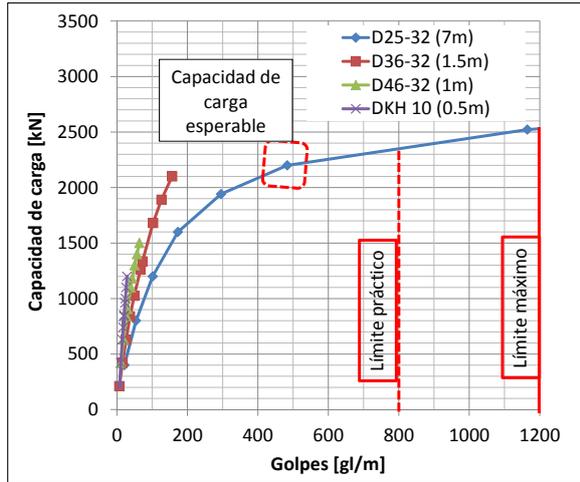


Figura 5.2.4: Capacidad de carga - P30.

hincado del pilote. Estas tensiones se generan principalmente por la acción de fuerzas de hincado en suelos de baja resistencia a la penetración. De esta manera, las máximas tensiones se alcanzan durante la penetración de los estratos menos resistentes correspondientes al Postpampeano.

El pico de tensiones generado por la acción del martillo DKH 10 puede ser controlado disminuyendo la altura de caída del martillo hasta alcanzar el estrato de Pampeano, pero aún así, no se recomienda el uso del martillo DKH 10 para este tipo de pilotes. Sólo se recomienda el uso del martillo D25-32 colocándose armadura de acero en cuantía mínima del 1.5 %.

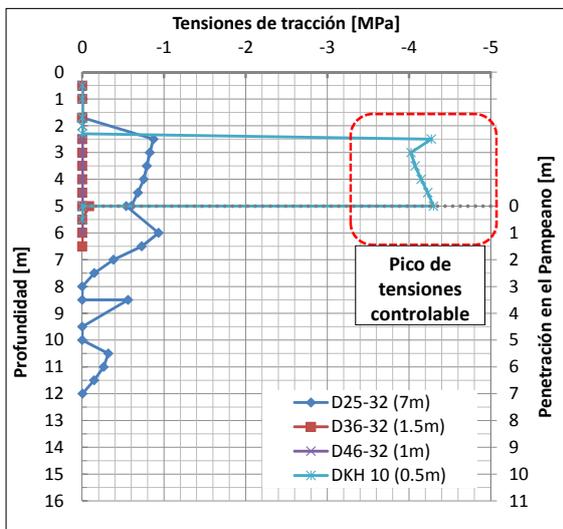


Figura 5.2.5: Tensiones de tracción - P30.

### 5.2.3. Pilote P35

En la Figura 5.2.6 se resumen las tensiones de compresión del pilote P35 en función de la resistencia a la penetración y en la Figura 5.2.7 la capacidad de carga en función de la resistencia a la penetración. Cada una de las curvas se corresponde con un tipo de martillo y está asociada a la máxima penetración calculada para el pilote P35 mediante análisis de hincabilidad. En la Tabla 5.2.2 se resumen los resultados.

	$P$	$Q_{esp}$	$Q_{max}$	$\sum G$	$R$
Martillo	[m]	[kN]	[kN]	-	-
D25-32	6.5	2257	2850	1157	LM
D36-32	8.0	2665	3500	935	LM
D46-32	9.5	3065	3850	982	LM
DKH 10	1.5	1327	1659	59	LT

Tabla 5.2.2: Resumen de hincado - P35.

En la Figura 5.2.6 se observa que los martillos diesel son capaces de hincar pilotes P35 en profundidades considerables y con tensiones de compresión admisibles, mientras que el martillo DKH 10 provoca tensiones de compresión excesivas que limitan la penetración en el Pampeano a uno o dos metros. Además, este último genera tensiones durante el hincado que resultan muy sensibles a la resistencia a la penetración de manera que una variación de dicha resistencia en 20g/m provoca incrementos de tensiones de 26MPa a 35MPa aproximadamente.

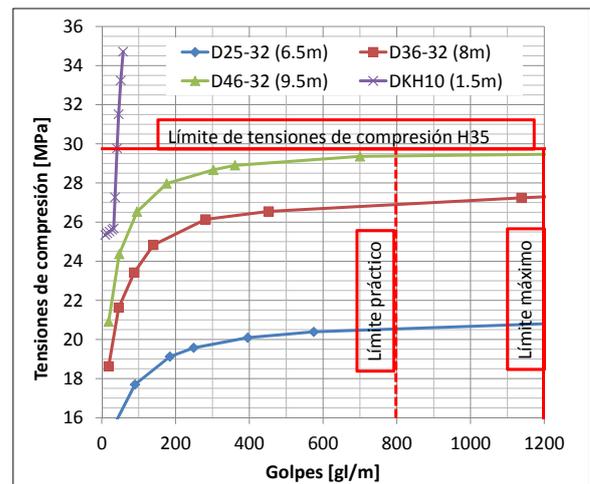


Figura 5.2.6: Tensiones de compresión - P35.

En la Figura 5.2.7 se muestran las curvas de capacidad de carga donde puede observarse que la penetración alcanzada por los martillos diesel está limitada por la resistencia a la penetración para capacidades de carga máximas. Para capacidades

de carga esperables, la resistencia a la penetración ronda los 350gl/m, menor al límite práctico.

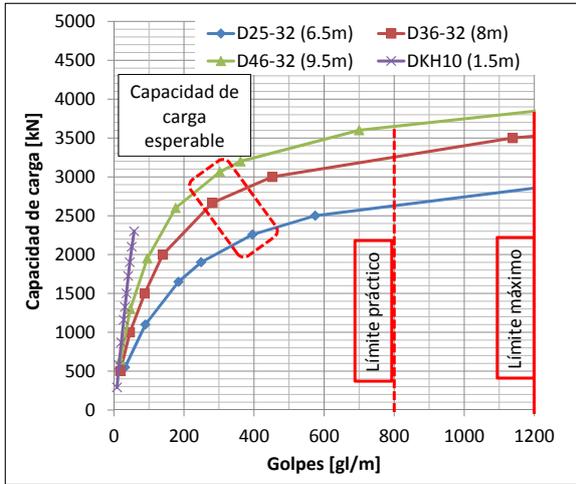


Figura 5.2.7: Capacidad de carga - P35.

En la Figura 5.2.8 se muestran las tensiones de tracción según la profundidad durante el proceso de hincado del pilote.

El pico de tensiones generado por la acción del martillo DKH 10 debe ser controlado disminuyendo la altura de caída del martillo hasta alcanzar el estrato de Pampeano, pero aún así, no se recomienda el uso del martillo DKH 10 para pilotes P35. Para los demás martillos deberá colocarse armadura de acero en cuantía mínima del 1.5 %.

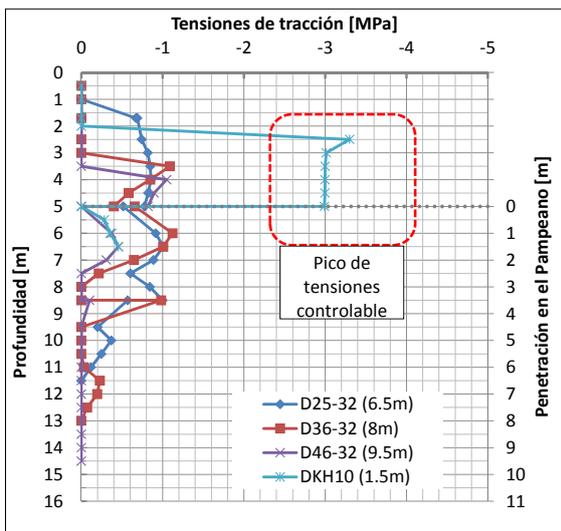


Figura 5.2.8: Tensiones de tracción - P35.

### 5.2.4. Pilote P40

En la Figura 5.2.9 se resumen las tensiones de compresión del pilote P40 en función de la resistencia a

la penetración y en la Figura 5.2.10 la capacidad de carga en función de la resistencia a la penetración. Cada una de las curvas se corresponde con un tipo de martillo y está asociada a la máxima penetración calculada para el pilote P40 mediante análisis de hincabilidad. En la Tabla 5.2.3 se resumen los resultados.

	$P$	$Q_{esp}$	$Q_{max}$	$\sum G$	$R$
Martillo	[m]	[kN]	[kN]	-	-
D25-32	6.5	2722	3500	1429	LM
D36-32	7.0	2884	3790	1053	LM
D46-32	9.0	3519	4620	1164	LM
DKH 10	10.5	3987	5100	909	LM-LT

Tabla 5.2.3: Resumen de hincado - P40.

En la Figura 5.2.9 se observa que todos los martillos estudiados son capaces de hincar el pilote P40 sin provocar tensiones de compresión excesivas en el hormigón, de manera que la profundidad de hincado está limitada principalmente por la resistencia a la penetración del suelo. Además, todos son capaces de superar completamente el estrato de Pampeano superior.

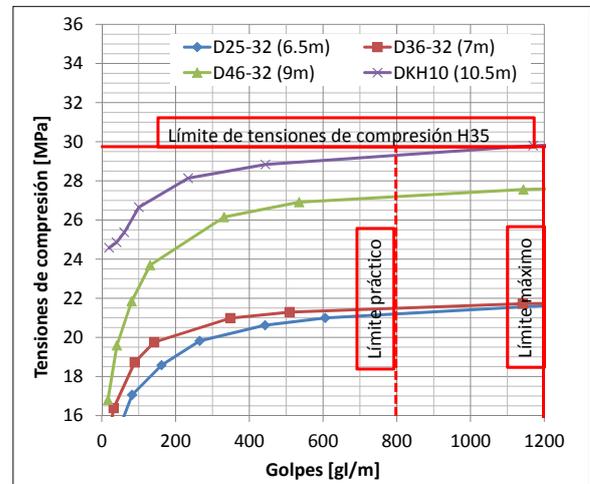


Figura 5.2.9: Tensiones de compresión - P40.

En la Figura 5.2.10 puede observarse que la profundidad alcanzada por los martillos está limitada por la resistencia a la penetración para capacidades de carga máximas. Para capacidades de carga esperables, la resistencia a la penetración está entre 250gl/ m y 450gl/m, menor al límite práctico.

En la Figura 5.2.11 se muestran las tensiones de tracción según la profundidad durante el proceso de hincado del pilote.

Las tensiones de tracción provocadas por la acción del martillo DKH-10 son elevadas respecto de aquellas provocadas por los martillos diesel y pueden ser controladas disminuyendo la altura de caída en los

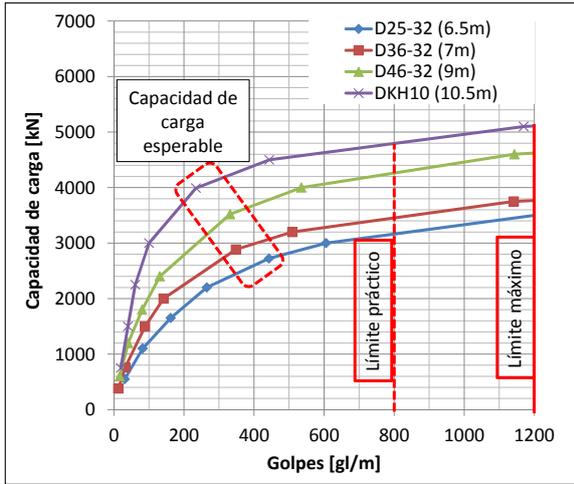


Figura 5.2.10: Capacidad de carga - P40.

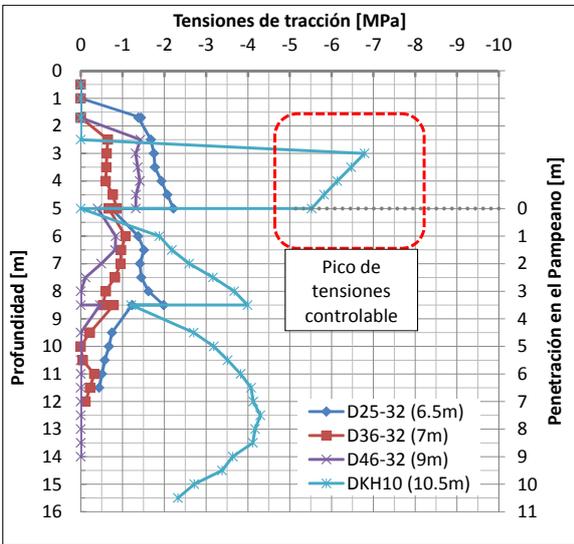


Figura 5.2.11: Tensiones de tracción - P40.

primeros metros de penetración. Aún así, las tensiones son admisibles para la cuantía mínima de acero requerida por la ACI.

### 5.2.5. Pilote P45

En la Figura 5.2.12 se resumen las tensiones de compresión del pilote P45 en función de la resistencia a la penetración y en la Figura 5.2.13 la capacidad de carga en función de la resistencia a la penetración. Cada una de las curvas se corresponde con un tipo de martillo y está asociada a la máxima penetración calculada para el pilote P45 mediante análisis de hincabilidad. En la Tabla 5.2.4 se resumen los resultados.

Martillo	$P$ [m]	$Q_{esp}$ [kN]	$Q_{max}$ [kN]	$\sum G$ -	$R$ -
D25-32	5.5	2831	3650	1590	LM
D36-32	6.0	3035	3900	1198	LM
D46-32	8.5	3965	5050	1461	LM
DKH 10	10.0	4509	5900	1001	LM

Tabla 5.2.4: Resumen de hincado - P45.

En la Figura 5.2.12 se observa que todos los martillos estudiados son capaces de hincar el pilote P45 sin provocar tensiones de compresión excesivas en el hormigón, de manera que la máxima profundidad de hincado está limitada principalmente por la resistencia a la penetración del suelo. Además, todos son capaces de penetrar completamente el estrato de Pampeano superior.

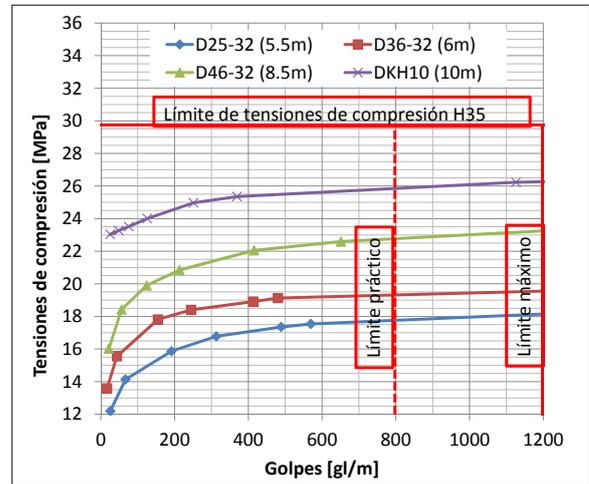


Figura 5.2.12: Tensiones de compresión - P45.

En la Figura 5.2.13 puede observarse que la penetración generada por los martillos está limitada por la resistencia a la penetración para capacidades de carga máximas. Para capacidades de carga esperables dicha resistencia está entre 250gl/m y 500gl/m, menor al límite práctico.

En la Figura 5.2.14 se muestran las tensiones de tracción según la profundidad durante el proceso de hincado del pilote. Las tensiones de tracción provocadas por la acción del martillo DKH-10 son elevadas respecto de aquellas provocadas por los martillos diesel y pueden ser controladas disminuyendo la altura de caída en los primeros metros de penetración. Aún así, las tensiones son admisibles para la cuantía mínima de acero requerida por la ACI.

### 5.2.6. Pilote P50

En la Figura 5.2.15 se resumen las tensiones de compresión del pilote P50 en función de la resistencia a la penetración y en la Figura 5.2.16 la ca-

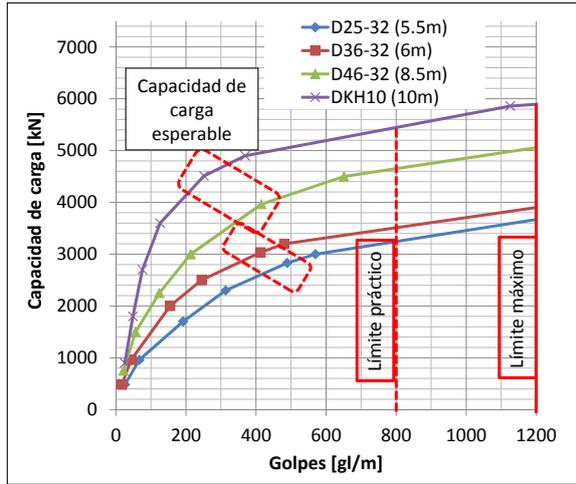


Figura 5.2.13: Capacidad de carga - P45.

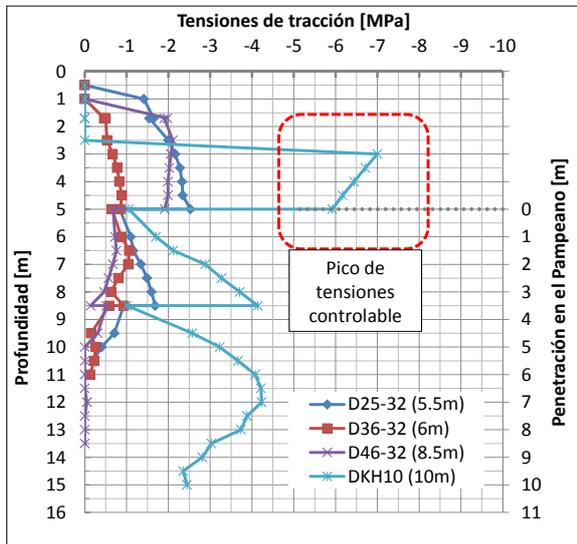


Figura 5.2.14: Tensiones de tracción - P45.

pacidad de carga en función de la resistencia a la penetración. Cada una de las curvas se corresponde con un tipo de martillo y está asociada a la máxima penetración calculada para el pilote P50 mediante análisis de hincabilidad. En la Tabla 5.2.5 se resumen los resultados.

	$P$	$Q_{esp}$	$Q_{max}$	$\sum G$	$R$
Martillo	[m]	[kN]	[kN]	-	-
D25-32	3.0	3141	3900	1053	LM
D36-32	5.0	3075	4000	1326	LM
D46-32	7.5	4187	5500	1511	LM
DKH 10	9.5	5024	6600	1129	LM

Tabla 5.2.5: Resumen de hincado - P50.

En la Figura 5.2.15 se observa que todos los martillos estudiados son capaces de hincar el pilote P50 sin provocar tensiones de compresión excesivas en

el hormigón, de manera que la profundidad de hincado está limitada principalmente por la resistencia a la penetración del suelo. El martillo D25-32 es el único martillo que no logra atravesar el estrato de Pampeano superior.

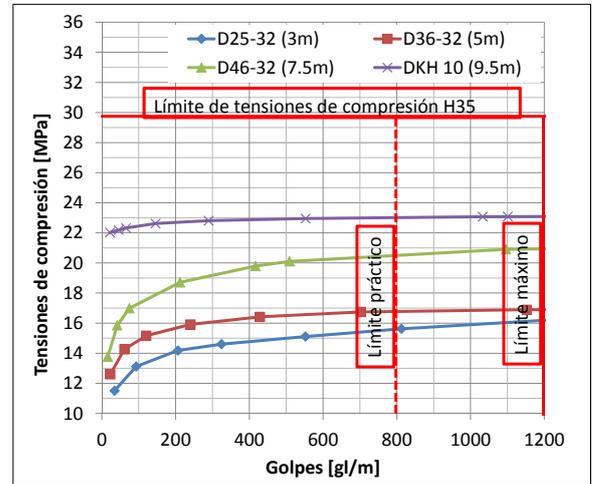


Figura 5.2.15: Tensiones de compresión - P50.

En la Figura 5.2.16 puede observarse que la penetración alcanzada por los martillos está limitada por la resistencia a la penetración para capacidades de carga máximas. Para capacidades de carga esperables la resistencia a la penetración está entre 300gl/m y 550gl/m, menor al límite práctico.

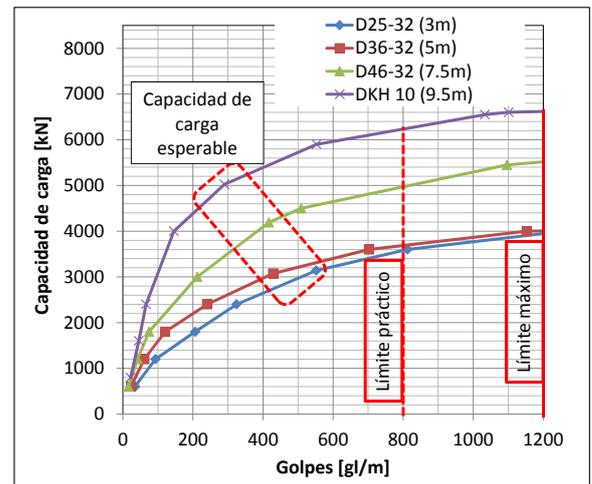


Figura 5.2.16: Capacidad de carga - P50.

En la Figura 5.2.17 se muestran las tensiones de tracción según la profundidad durante el proceso de hincado del pilote.

Las tensiones de tracción provocadas por la acción del martillo DKH-10 son elevadas respecto de aquellas provocadas por los martillos diesel y pueden ser controladas disminuyendo la altura de caída en los primeros metros de penetración. Aún así, las ten-

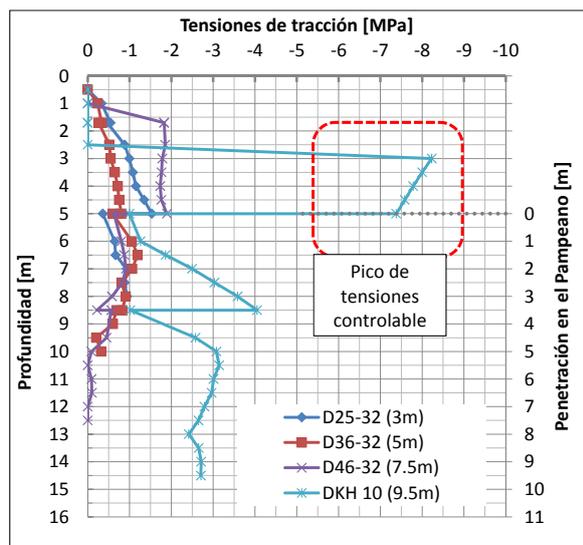


Figura 5.2.17: Tensiones de tracción - P50.

siones son admisibles para la cuantía mínima de acero requerida por la ACI.

### 5.2.7. Resumen de resultados - La Plata

En la Tabla 5.2.6 se resumen los valores de penetración en la formación Pampeano de los distintos tipos de pilotes, según el tipo de martillo utilizado. En la Figura 5.2.18 se grafican estos resultados.

Pilote	Martillo			
	D25-32	D36-32	D46-32	DKH 10
P30	7.0	1.5	1.0	0.5
P35	6.5	8.0	9.5	1.5
P40	6.5	7.0	9.0	10.5
P45	5.5	6.0	8.5	10.0
P50	3.0	5.0	7.5	9.5

Tabla 5.2.6: Penetración en el Pampeano [m].

A mayor peso de martillo se observa una mayor penetración, hasta que se alcanzan tensiones de compresión superiores a las admisibles para el tipo de hormigón seleccionado.

En la Tabla 5.2.7 se resumen las capacidades de carga de los pilotes para la profundidad de hincado alcanzada, calculada con parámetros esperables.

En la Figura 5.2.19 puede observarse además la sumatoria de golpes requeridos para lograr el hincado de cada tipo de pilote.

#### Solicitaciones

Las máximas solicitaciones de tracción y de compresión calculadas se muestran en la Tabla 5.2.8.

Pilote	Martillo			
	D25-32	D36-32	D46-32	DKH 10
P30	1941	1025	906	738
P35	2257	2665	3065	1327
P40	2722	2884	3519	3987
P45	2831	3035	3965	4509
P50	3141	3358	4187	5024

Tabla 5.2.7: Resumen de capacidad de carga esperable para profundidad máxima de hincado [kN].

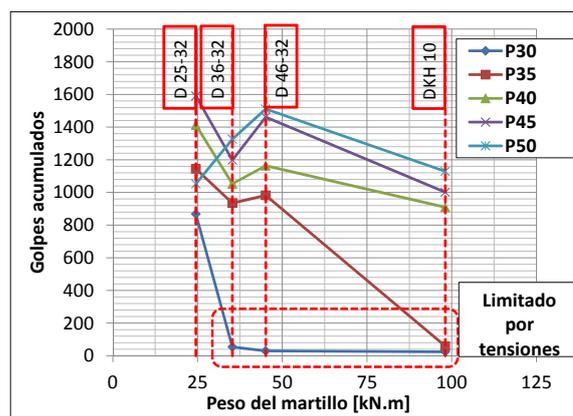


Figura 5.2.19: Sumatoria de golpes.

Estas solicitaciones fueron calculadas durante el proceso completo de hincado en intervalos de 0.50m de profundidad. Los picos de tensiones registrados para el martillo DKH 10 corresponden a los primeros metros correspondientes al Postpampeano con resistencias a la penetración muy bajas. Estos picos deben ser controlados disminuyendo la energía de hincado con una menor caída del martillo hasta alcanzar el estrato de Pampeano.

Pilote	Martillo			
	D25-32	D36-32	D46-32	DKH 10
P30	-25.60	-25.75	-26.25	-27.60
	+0.90	+0.10	+0.00	+4.30
P35	-20.25	-26.20	-28.75	-25.70
	+0.95	+1.10	+1.05	+3.30
P40	-20.90	-21.00	-26.15	-28.10
	+2.05	+1.10	+1.45	+6.80
P45	-17.35	-18.90	-22.00	-25.00
	+2.50	+1.00	+2.10	+7.00
P50	-15.10	-16.45	-19.80	-22.80
	+1.55	+1.20	+1.85	+8.25

Tabla 5.2.8: Máximas tensiones [MPa]: Compresión (-) y tracción (+).

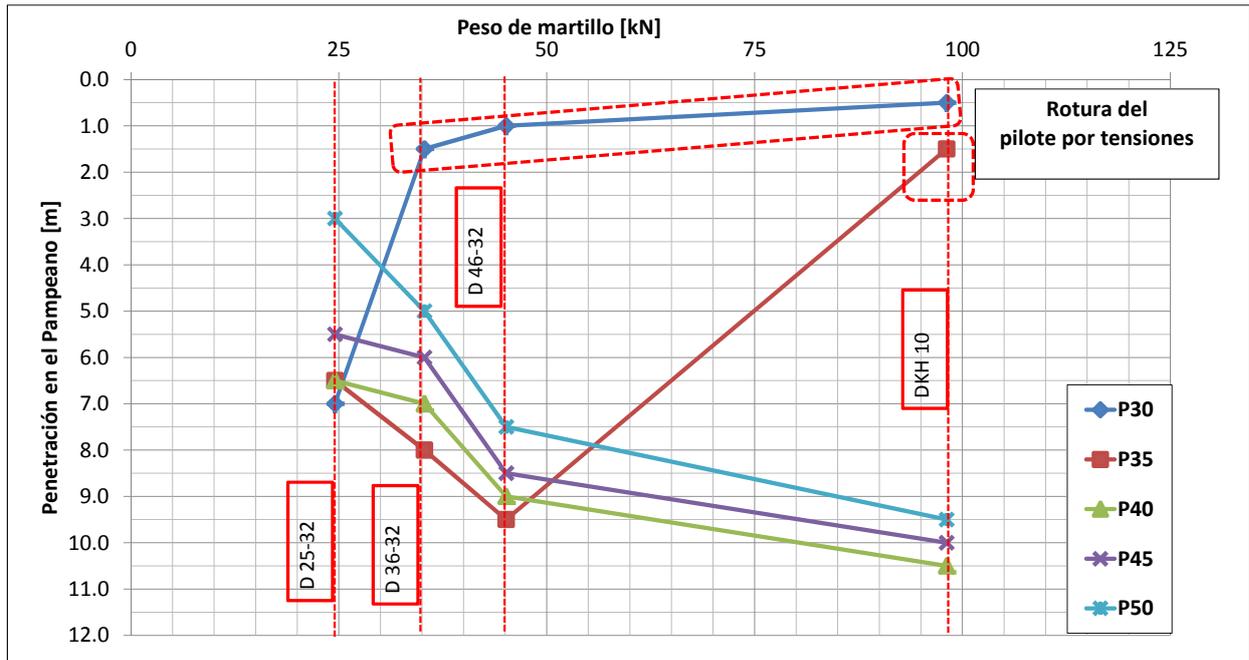


Figura 5.2.18: Penetración en el Pampeano [m].

### 5.2.8. Conclusiones y recomendaciones - La Plata

Todas las combinaciones de pilotes y martillos estudiados son posibles, aunque algunas de ellas no sean recomendables. En general es preferible que la capacidad de hincada de todo el sistema esté limitado por la resistencia a la penetración del suelo y no por resistencia a la compresión del hormigón. De esta forma, la combinación de pilote P30 con martillos D36-32, D46-32 y DKH-10 y la combinación de pilote P35 con martillo DKH-10 no debe utilizarse.

En esas condiciones con pilotes P30 se alcanzan capacidades de carga de 2000kN, con pilote P35 se alcanzan capacidades de carga entre 2200kN y 3000kN, con pilotes P40 se alcanzan capacidades de carga entre 2700kN y 4000kN, con pilotes P45 se alcanzan capacidades de carga entre 2800kN y 4500kN y con pilotes P50 se alcanzan capacidades de carga entre 3100kN y 5000kN aproximadamente.

## 5.3. Sitio 2 - Zárate

A continuación se presentan los resultados obtenidos para la zona de Zárate según la información geotécnica disponible. Los resultados del software GRL-Weap se muestran en el Apéndice C.

### 5.3.1. Capacidad de carga esperable

En el perfil estratigráfico analizado correspondiente a la zona de Zárate, la formación Pampeano co-

mienza a nivel de terreno natural y continúa a profundidades mayores a los 17.0m. El cálculo de capacidad de carga se realiza considerando el Pampeano en condiciones drenadas por su alta permeabilidad. En la Figura 5.3.1 y en la Figura 5.3.2 se muestran las curvas de capacidad de carga del suelo para la zona de Zárate.

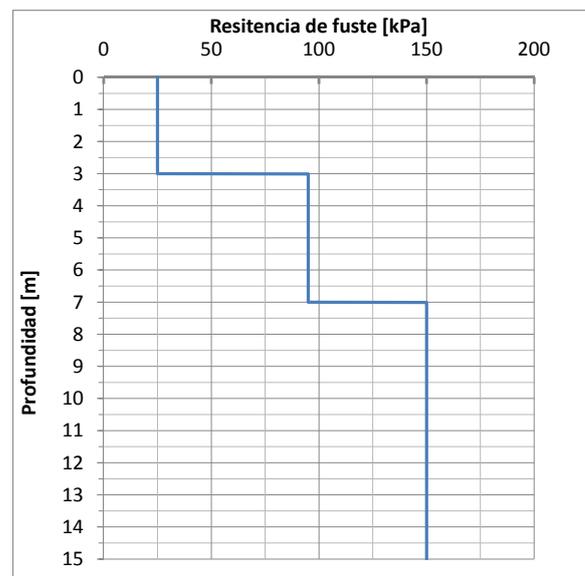


Figura 5.3.1: Resistencia del suelo por fuste.

### 5.3.2. Pilote P30

En la Figura 5.3.3 se resumen las tensiones de compresión del pilote P30 en función de la resistencia a

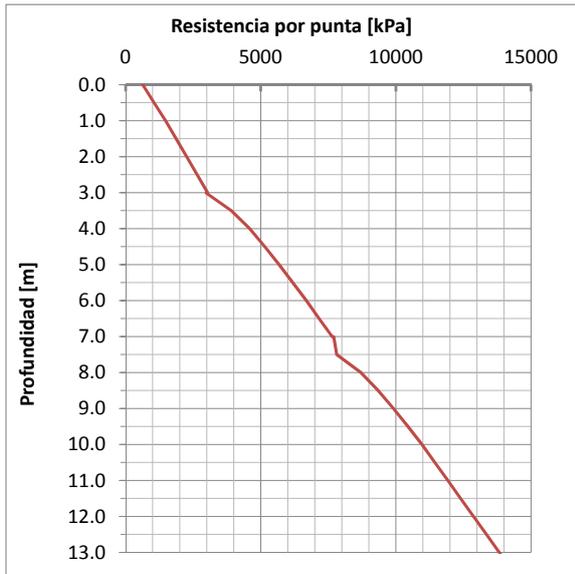


Figura 5.3.2: Resistencia del suelo por punta.

la penetración y en la Figura 5.3.4 la capacidad de carga en función de la resistencia a la penetración. Cada una de las curvas se corresponde con un tipo de martillo y está asociada a la máxima penetración calculada para el pilote P30 mediante análisis de hincabilidad. En la Tabla 5.3.1 se resumen los resultados.

	$P$	$Q_{esp}$	$Q_{max}$	$\sum G$	$R$
Martillo	[m]	[kN]	[kN]	-	-
D25-32	10.0	2073	2550	872	LM
D36-32	7.0	1234	1543	168	LT
D46-32	5.5	932	1165	62	LT
DKH 10	5.0	823	1036	52	LT

Tabla 5.3.1: Resumen de hincado - P30.

En la Figura 5.3.3 se observa que el martillo D25-32 es el único que no genera tensiones de compresión excesivas, por lo que la penetración máxima es limitada por la resistencia a la penetración del suelo y no por la resistencia a la compresión del hormigón. Para los demás martillos, las tensiones generadas durante la hinca resultan muy sensibles a la resistencia a la penetración de manera que una variación de dicha resistencia en 50gl/m provoca incrementos de tensiones de 28MPa a 35MPa aproximadamente.

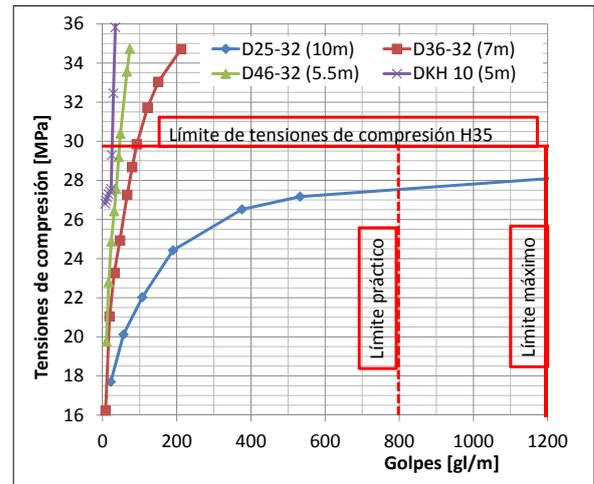


Figura 5.3.3: Tensiones de compresión - P30.

En la Figura 5.3.4 se muestra la curva de capacidad de carga donde puede observarse que la penetración generada por el D25-32 está limitada por la resistencia a la penetración para capacidades de carga máximas mientras que dicha resistencia para capacidades de carga esperables es de 400gl/m aproximadamente, menor al límite práctico.

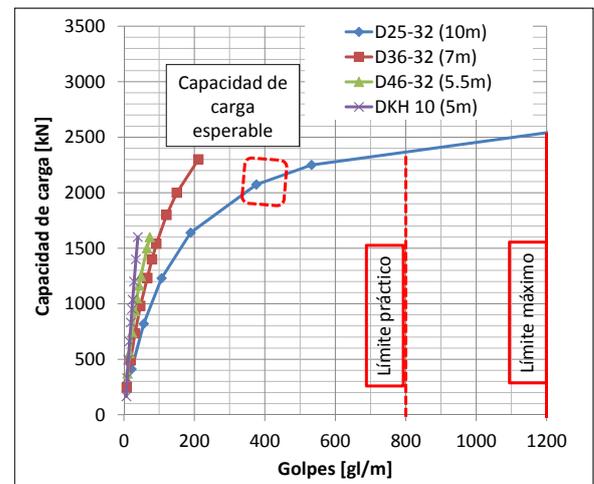


Figura 5.3.4: Capacidad de carga - P30.

En la Figura 5.3.5 se muestran las tensiones de tracción según la profundidad durante el proceso de hincado del pilote. Estas tensiones se generan principalmente por la acción de grandes fuerzas de hincado en suelos de baja resistencia a la penetración. De esta manera, las máximas tensiones de tracción son generadas por el martillo DKH-10 en los primeros 2.0m de penetración.

El pico de tensiones generado por la acción del martillo DKH-10 puede ser controlado disminuyendo la altura de caída del martillo hasta alcanzar los 2.0m de profundidad aproximadamente. De todas formas, las tensiones de compresión generadas por

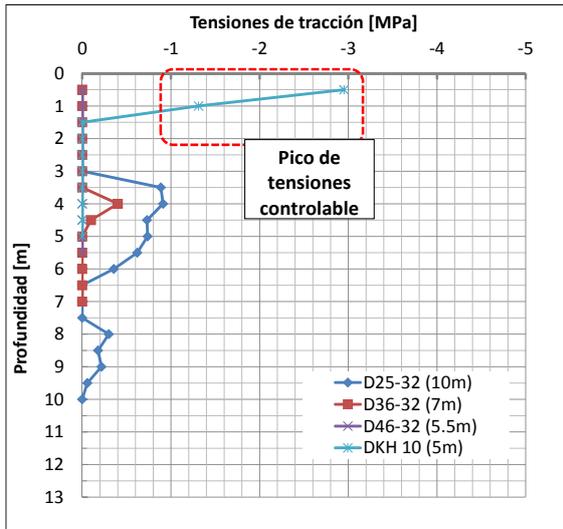


Figura 5.3.5: Tensiones de tracción - P30.

este martillo durante la hincada son excesivas y no se recomienda su uso para pilotes P30. En estas condiciones, se recomienda utilizar el martillo D25-32 asegurando el rechazo por resistencia a la penetración y no por rotura del pilote.

### 5.3.3. Pilote P35

En la Figura 5.3.6 se resumen las tensiones de compresión del pilote P35 en función de la resistencia a la penetración y en la Figura 5.3.7 la capacidad de carga en función de la resistencia a la penetración. Cada una de las curvas se corresponde con un tipo de martillo y está asociada a la máxima penetración calculada para el pilote P35 mediante análisis de hincabilidad. En la Tabla 5.3.2 se resumen los resultados.

	$P$	$Q_{esp}$	$Q_{max}$	$\sum G$	$R$
Martillo	[m]	[kN]	[kN]	-	-
D25-32	9.0	2270	2850	922	LM
D36-32	11.0	2936	3650	1018	LM
D46-32	12.0	3263	3900	996	LM
DKH 10	6.0	1322	1653	95	LT

Tabla 5.3.2: Resumen de hincado - P35.

En la Figura 5.3.6 se observa que los martillos diesel son capaces de hincar pilotes P35 en profundidades considerables y con tensiones de compresión admisibles, mientras que el martillo DKH 10 provoca tensiones de compresión excesivas que limitan la penetración en el Pampeano a 6.0m aproximadamente. Además, este último genera tensiones durante el hincado que resultan muy sensibles a la resistencia a la penetración de manera que una variación de dicha resistencia en 20gl/m provoca

incrementos de tensiones de 26MPa a 33MPa aproximadamente.

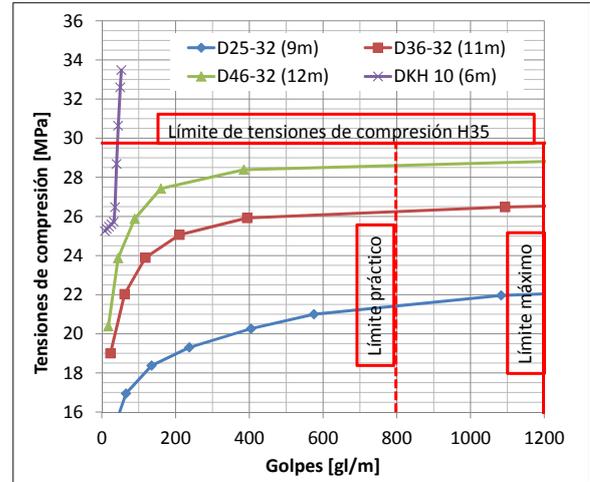


Figura 5.3.6: Tensiones de compresión - P35.

En la Figura 5.3.7 se muestran las curvas de capacidad de carga donde puede observarse que la penetración generada por los martillos diesel está limitada por la resistencia a la penetración para capacidades de carga máximas. La resistencia a la penetración para capacidades de carga esperables es de 400gl/m aproximadamente, menor al límite práctico de hincado.

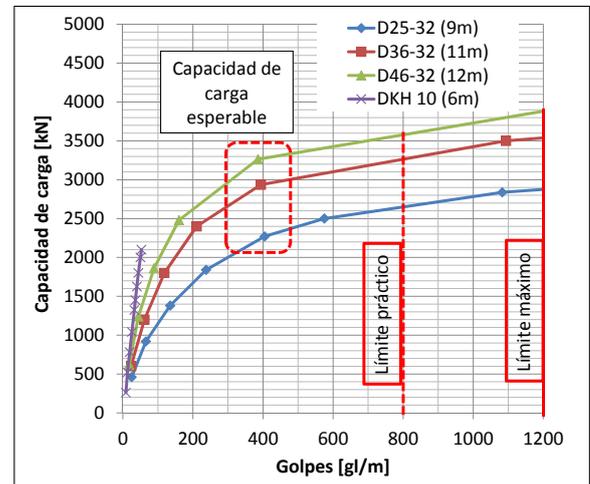


Figura 5.3.7: Capacidad de carga - P35.

En la Figura 5.3.8 se muestran las tensiones de tracción en función de la profundidad durante el proceso de hincado del pilote. El pico de tensiones generado por la acción del martillo DKH 10 debe ser controlado disminuyendo la altura de caída del martillo hasta penetrar 1.0m en el Pampeano. Aún así, no se recomienda el uso del martillo DKH-10 para el hincado de pilotes P35 ya que el rechazo está gobernado por tensiones de compresión en el hormigón y no por la resistencia a la penetración.

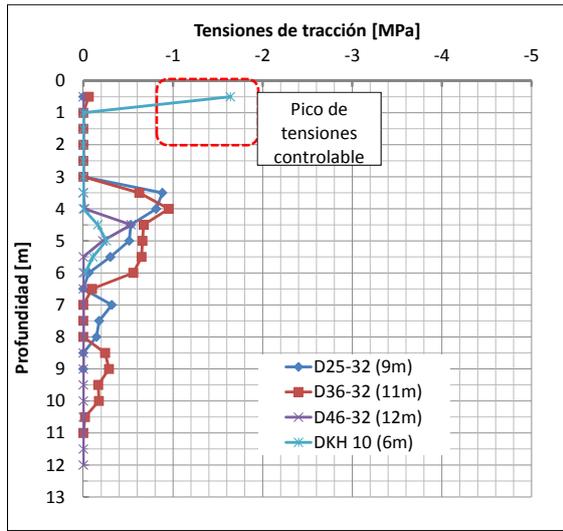


Figura 5.3.8: Tensiones de tracción - P35.

### 5.3.4. Pilote P40

En la Figura 5.3.9 se resumen las tensiones de compresión del pilote P40 en función de la resistencia a la penetración y en la Figura 5.3.10 la capacidad de carga en función de la resistencia a la penetración.

	$P$	$Q_{esp}$	$Q_{max}$	$\sum G$	$R$
Martillo	[m]	[kN]	[kN]	-	-
D25-32	9.0	2793	3450	1190	LM
D36-32	9.5	2998	3800	948	LM
D46-32	11.5	3790	4700	1169	LM
DKH 10	8.5	2582	3228	260	LT

Tabla 5.3.3: Resumen de hincado - P40.

Cada una de las curvas se corresponde con un tipo de martillo y está asociada a la máxima penetración calculada para el pilote P40 mediante análisis de hincabilidad. En la Tabla 5.3.3 se resumen los resultados.

En la Figura 5.3.9 se observa que los martillos diesel son capaces de hincar el pilote P40 sin provocar tensiones de compresión excesivas en el hormigón durante el hincado, de manera que la penetración está limitada principalmente por la resistencia a la penetración del suelo.

El martillo DKH 10 provoca tensiones de compresión excesivas que limitan la penetración en el Pampeano a 8.5m aproximadamente. Además, este último genera tensiones durante el hincado que resultan muy sensibles a la resistencia a la penetración de manera que una variación de dicha resistencia en 100gl/m provoca incrementos de tensiones de 25MPa a 31MPa aproximadamente.

En la Figura 5.3.10 puede observarse que la penetración alcanzada con los martillos diesel está

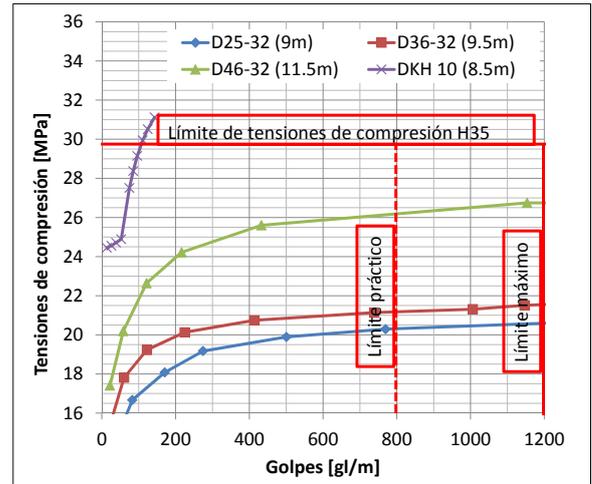


Figura 5.3.9: Tensiones de compresión - P40.

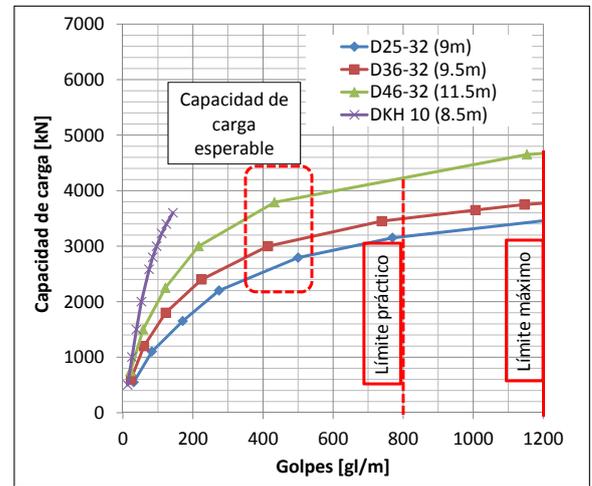


Figura 5.3.10: Capacidad de carga - P40.

limitada por la resistencia a la penetración para capacidades de carga máximas. La resistencia a la penetración para capacidades de carga esperables es de 450gl/m aproximadamente, menor al límite práctico de hincado.

En la Figura 5.3.11 se muestran las tensiones de tracción según la profundidad durante el proceso de hincado del pilote.

El pico de tensiones generado por la acción del martillo DKH 10 debe ser controlado disminuyendo la altura de caída del martillo hasta penetrar 3.0m en el Pampeano. Debe colocarse armadura de acero en cuantía mínima del 1.5% para todos los martillos estudiados.

### 5.3.5. Pilote P45

En la Figura 5.3.12 se resumen las tensiones de compresión del pilote P45 en función de la resistencia a la penetración y en la Figura 5.3.13 la ca-

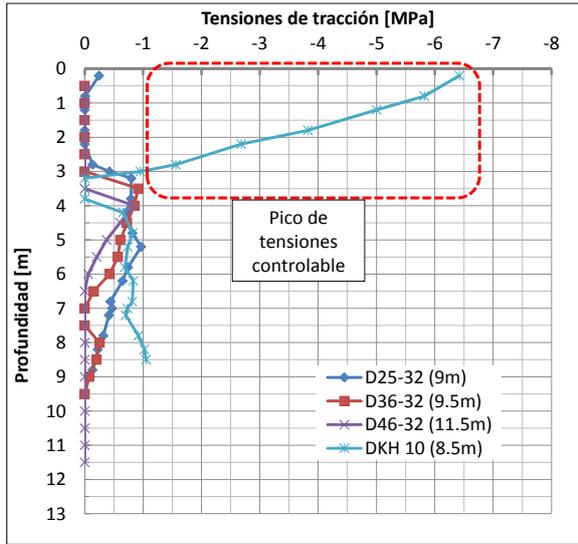


Figura 5.3.11: Tensiones de tracción - P40.

capacidad de carga en función de la resistencia a la penetración. Cada una de las curvas se corresponde con un tipo de martillo y está asociada a la máxima penetración calculada para el pilote P45 mediante análisis de hincabilidad. En la Tabla 5.3.4 se resumen los resultados.

	$P$	$Q_{esp}$	$Q_{max}$	$\sum G$	$R$
Martillo	[m]	[kN]	[kN]	-	-
D25-32	8.0	2849	3500	1262	LM
D36-32	8.5	3115	3850	976	LM
D46-32	10.5	4079	4950	1247	LM
DKH 10	12.0	4774	6050	989	LM

Tabla 5.3.4: Resumen de hincado - P45.

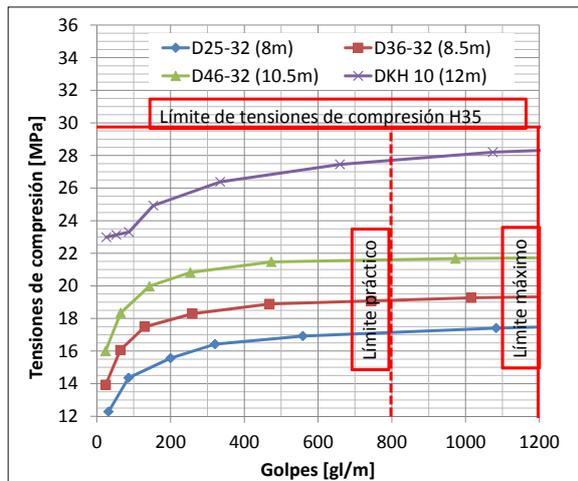


Figura 5.3.12: Tensiones de compresión - P45.

En la Figura 5.3.12 se observa que todos los martillos estudiados son capaces de hincar el pilote P45

sin provocar tensiones de compresión excesivas en el hormigón, de manera que la penetración está limitada principalmente por la resistencia a la penetración del suelo.

En la Figura 5.3.13 puede observarse que la penetración alcanzada por los martillos está limitada por la resistencia a la penetración para capacidades de carga máximas. La resistencia a la penetración para capacidades de carga esperables está entre 320gl/m y 550gl/m, menor al límite práctico de hincado.

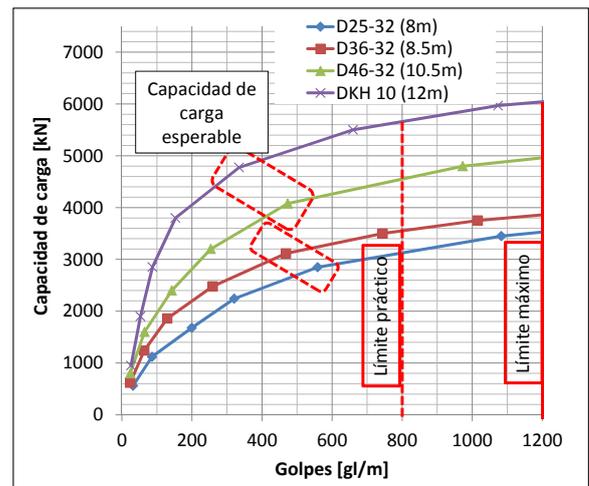


Figura 5.3.13: Capacidad de carga - P45.

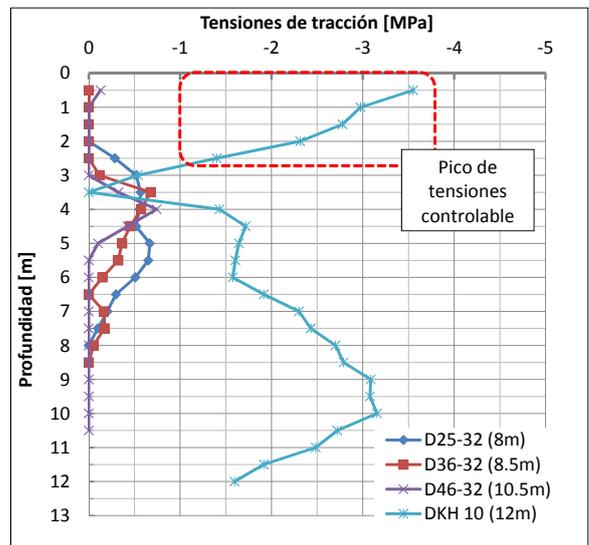


Figura 5.3.14: Tensiones de tracción - P45.

En la Figura 5.3.14 se muestran las tensiones de tracción según la profundidad durante el proceso de hincado del pilote. Las tensiones provocadas por la acción del martillo DKH-10 en general son elevadas respecto de aquellas provocadas por los martillos diesel. En los primeros metros pueden controlarse disminuyendo la altura de caída. Aún así, las ten-

siones son admisibles para la cuantía mínima de acero requerida por la ACI.

### 5.3.6. Pilote P50

En la Figura 5.3.15 se resumen las tensiones de compresión del pilote P50 en función de la resistencia a la penetración y en la Figura 5.3.16 la capacidad de carga en función de la resistencia a la penetración. Cada una de las curvas se corresponde con un tipo de martillo y está asociada a la máxima penetración calculada para el pilote P50 mediante análisis de hincabilidad. En la Tabla 5.3.5 se resumen los resultados.

	$P$	$Q_{esp}$	$Q_{max}$	$\sum G$	$R$
Martillo	[m]	[kN]	[kN]	-	-
D25-32	6.5	2604	3300	1043	LM
D36-32	7.5	3011	4000	936	LM
D46-32	9.5	4270	5300	1226	LM
DKH 10	11.5	5357	6800	1125	LM

Tabla 5.3.5: Resumen de hincado - P50.

En la Figura 5.3.15 se observa que todos los martillos estudiados son capaces de hincar el pilote P50 sin provocar tensiones de compresión excesivas en el hormigón.

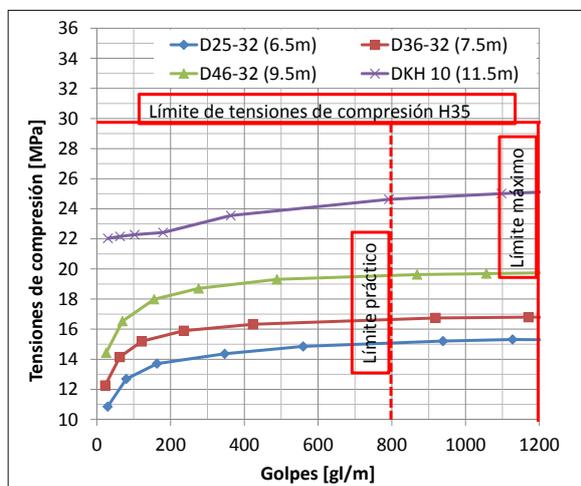


Figura 5.3.15: Tensiones de compresión - P50.

En la Figura 5.3.16 puede observarse que la penetración alcanzada por los martillos está limitada por la resistencia a la penetración para capacidades de carga máximas, mientras que para capacidades de carga esperables esta resistencia está entre 350gl/m y 550gl/m, menor al límite práctico.

En la Figura 5.3.17 se muestran las tensiones de tracción en función de la profundidad durante el proceso de hincado del pilote. Las tensiones provocadas por la acción del martillo DKH-10 en general son elevadas respecto de aquellas provocadas por

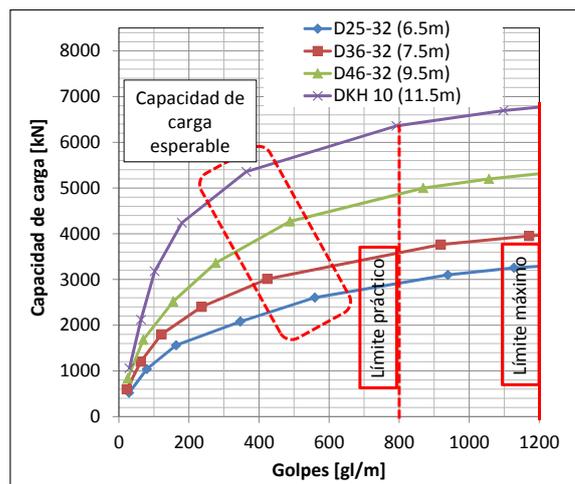


Figura 5.3.16: Capacidad de carga - P50.

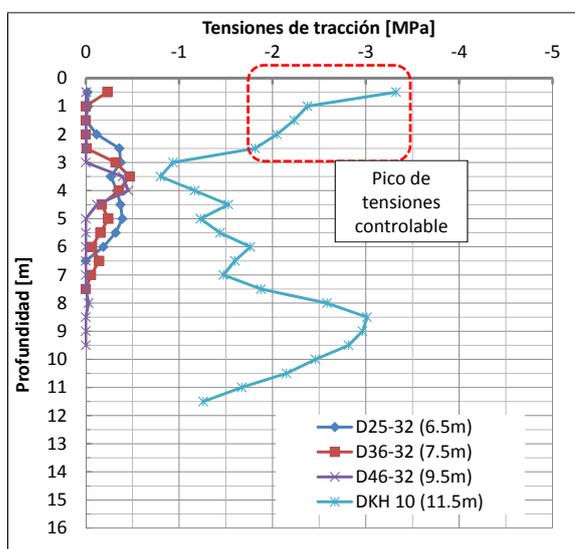


Figura 5.3.17: Tensiones de tracción - P50.

los martillos diesel. En los primeros metros pueden controlarse disminuyendo la altura de caída. Aún así, las tensiones son admisibles para la cuantía mínima de acero requerida por la ACI.

### 5.3.7. Resumen de resultados - Zárate

En la Tabla 5.3.6 se resumen los valores de penetración de los distintos tipos de pilotes en la formación Pampeano según el tipo de martillo utilizado y en la Figura 5.3.18 se grafican los resultados.

A mayor peso de martillo se observa una mayor penetración, hasta que se alcanzan tensiones de compresión superiores a las admisibles para el tipo de hormigón seleccionado.

En la Tabla 5.3.7 se resumen las capacidades de carga de los pilotes para la profundidad de hincado alcanzada, calculada con parámetros esperables.

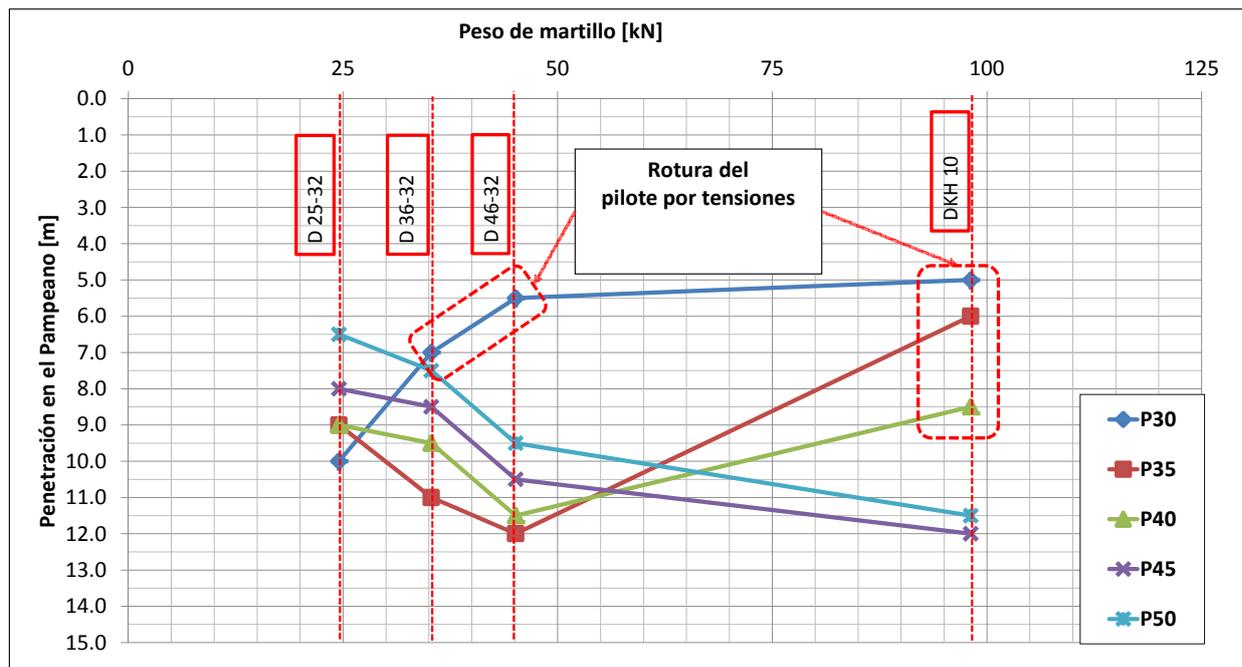


Figura 5.3.18: Penetración en el Pampeano [m].

Pilote	Martillo			
	D25-32	D36-32	D46-32	DKH 10
P30	10.0	7.0	5.5	5.0
P35	9.0	11.0	12.0	6.0
P40	9.0	9.5	11.5	8.5
P45	8.0	8.5	10.5	12.0
P50	6.5	7.5	9.5	11.5

Tabla 5.3.6: Penetración en el Pampeano [m].

Pilote	Martillo			
	D25-32	D36-32	D46-32	DKH 10
P30	2073	1234	932	829
P35	2270	2936	3263	1322
P40	2793	2998	3790	2582
P45	2849	3115	4079	4774
P50	2604	3011	4270	5357

Tabla 5.3.7: Resumen de capacidad de carga esperable para profundidad máxima de hincado [kN].

En la Figura 5.3.19 puede observarse además la sumatoria de golpes requeridos para lograr el hincado de cada tipo de pilote.

**Solicitaciones**

Las máximas solicitaciones de tracción y de compresión calculadas se muestran en la Tabla 5.3.8. Estas solicitaciones fueron calculadas durante el proceso completo de hincado en intervalos de 0.50m de profundidad. Los picos de tensiones registrados

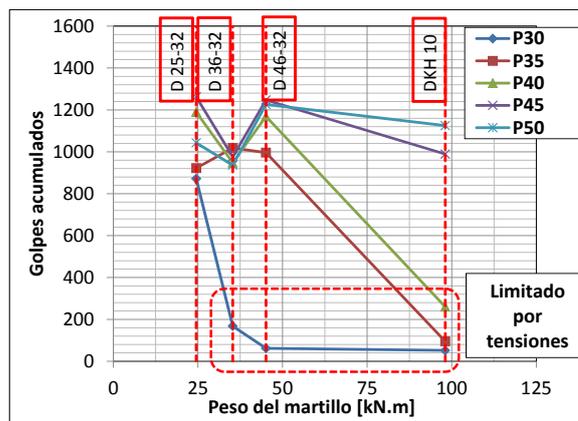


Figura 5.3.19: Sumatoria de golpes.

para el martillo DKH 10 deben ser controlados disminuyendo la energía de hincado con una menor caída el martillo hasta alcanzar mayores resistencia a la penetración en el Pampeano.

**5.3.8. Conclusiones y recomendaciones - Zárate**

En las condiciones estudiadas se puede utilizar cualquier combinación de pilotes y martillos. Aún así, no se recomienda utilizar aquellas combinaciones para las que la capacidad de hincado del sistema está limitada por la resistencia a compresión del hormigón, como es el caso del pilote P30 con los martillos D36-32, D46-32 y DKH-10, o de los pilotes P35 y P40 con el martillo DKH-10.

Pilote	Martillo			
	D25-32	D36-32	D46-32	DKH 10
P30	-26.51	-27.25	-26.42	-27.46
	+0.91	+0.40	+0.00	+2.95
P35	-20.25	-25.89	-28.44	-25.72
	+0.88	+0.95	+0.53	+1.64
P40	-19.89	-20.76	-25.64	-27.51
	+0.97	-0.92	+0.85	+6.42
P45	-16.94	-18.87	-21.48	-26.60
	+0.67	+0.68	+0.74	+3.55
P50	-14.85	-16.36	-19.30	-23.79
	+0.39	+0.47	+0.46	+3.32

Tabla 5.3.8: Máximas tensiones [MPa]: Compresión (-) y tracción (+).

En estas condiciones, con pilotes P30 se alcanzan capacidades de carga de 2000kN, con pilotes P35 capacidades de carga entre 2300kN y 3200kN, con pilotes P40 se alcanzan capacidades de carga entre 2800kN y 3800kN, con pilotes P45 entre 2800kN y 4800kN y con pilotes P50 entre 2600 y 5400kN.

### 5.4. Sitio 3 - Santa Fe

A continuación se presentan los resultados obtenidos para la zona de Santa Fe según la información geotécnica disponible. Los resultados del software GRL-Weap se muestran en el Apéndice C.

#### 5.4.1. Capacidad de carga esperable

En el perfil estratigráfico analizado, correspondiente a la zona de Santa Fe, se observa que la formación Pampeano comienza a nivel de terreno natural y continúa hasta una profundidad de 5.50m aproximadamente. Por debajo de ésta formación se encuentra una estrato perteneciente a la formación Puelchense, que persiste hasta profundidades mayores a los 14.0m. La capacidad de carga se calcula considerando ambos estratos en condiciones drenadas por la alta permeabilidad que permite la disipación de presiones neutras de manera instantánea a los efectos de este estudio.

En la Figura 5.4.1 y en la Figura 5.4.2 se muestran las curvas de capacidad de carga del suelo para la zona de Santa Fe.

#### 5.4.2. Pilote P30

En la Figura 5.4.3 se resumen las tensiones de compresión del pilote P30 en función de la resistencia a la penetración y en la Figura 5.4.4 la capacidad de carga en función de la resistencia a la penetración.

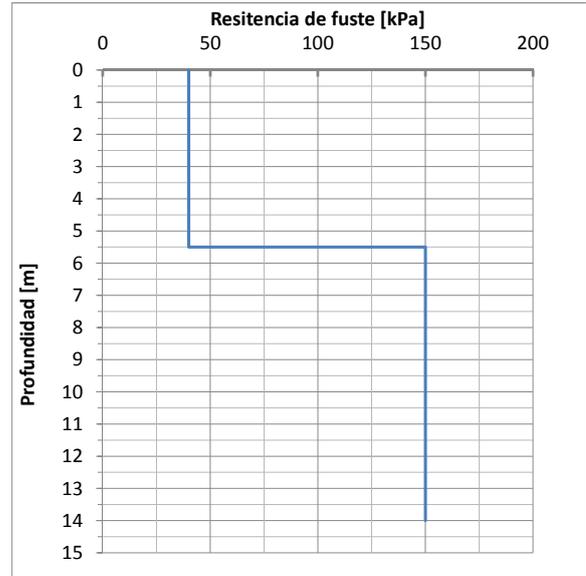


Figura 5.4.1: Resistencia del suelo por fuste.

Martillo	P [m]	Q <sub>esp</sub> [kN]	Q <sub>max</sub> [kN]	ΣG	R
D25-32	7.5	1833	2291	463	LT
D36-32	5.5	1117	1396	98	LT
D46-32	5.0	768	960	57	LT
DKH 10	4.5	700	875	47	LT

Tabla 5.4.1: Resumen de hincado - P30.

Cada una de las curvas se corresponde con un tipo de martillo y está asociada a la máxima penetración calculada para el pilote P30 mediante análisis de hincabilidad. En la Tabla 5.4.1 se resumen los resultados.

En la Figura 5.4.3 se observa que la penetración del pilote P30 está limitada por las tensiones de compresión para todos los martillos estudiados.

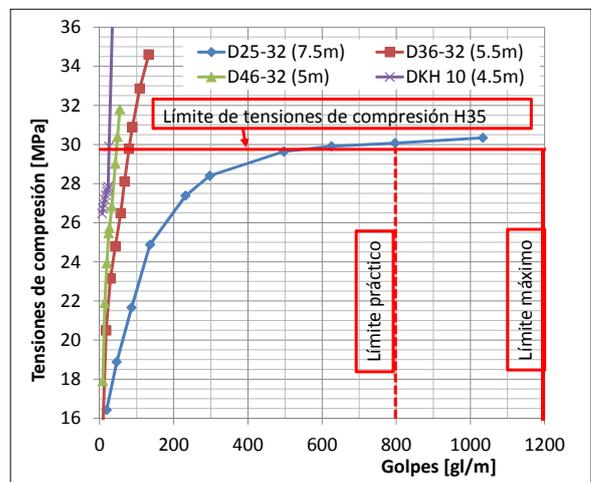


Figura 5.4.3: Tensiones de compresión - P30.

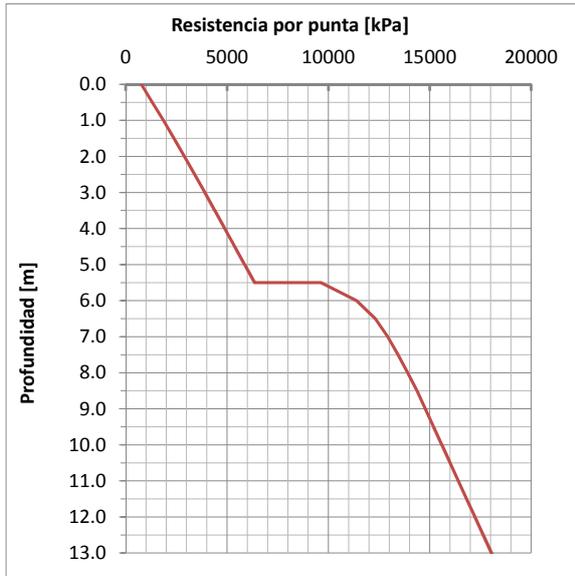


Figura 5.4.2: Resistencia del suelo por punta.

En la Figura 5.4.4 puede observarse que el martillo D25-32 puede utilizarse para hincar pilotes P30 hasta una profundidad de 7.5m alcanzando resistencias a la penetración entre 250gl/m y 500gl/m. Esto es aceptable teniendo en cuenta que en estas condiciones, la sensibilidad de las tensiones de compresión respecto de la resistencia a la penetración es relativamente baja (2.5MPa para una variación de 250gl/m). Los demás martillos no deben ser utilizados para este tipo de pilotes, principalmente por tener una amplia sensibilidad de las tensiones de compresión al cambio de resistencia a la penetración: variaciones del orden de los 50gl/m provocan incrementos de tensiones de más de 10MPa.

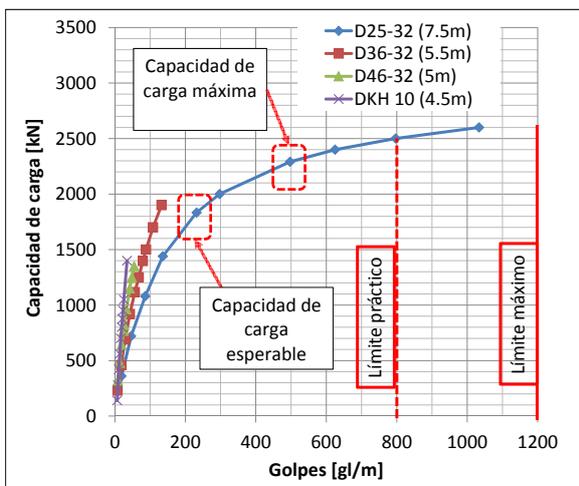


Figura 5.4.4: Capacidad de carga - P30.

En la Figura 5.4.5 se muestran las tensiones de tracción según la profundidad durante el proceso de hincado del pilote. Estas tensiones se generan prin-

cipalmente por la acción de grandes fuerzas de hincado en suelos de baja resistencia a la penetración. De esta manera, las máximas tensiones de tracción son generadas por el martillo DKH-10 en el primer metro de penetración y pueden controlarse disminuyendo la altura de caída del martillo hasta alcanzar mayores resistencia a la penetración.

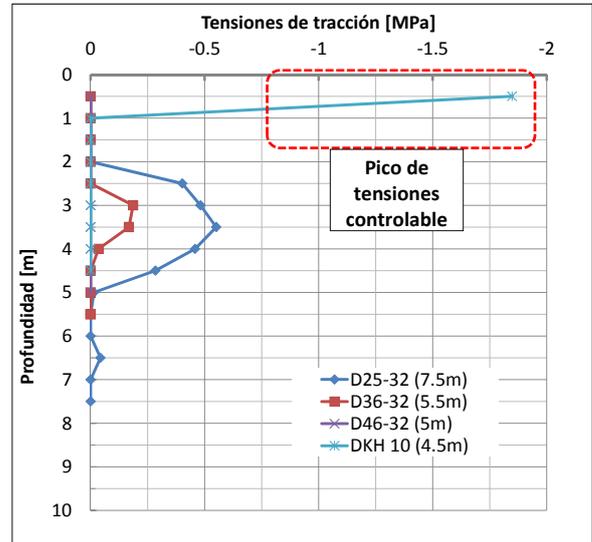


Figura 5.4.5: Tensiones de tracción - P30.

### 5.4.3. Pilote P35

En la Figura 5.4.6 se resumen las tensiones de compresión del pilote P35 en función de la resistencia a la penetración y en la Figura 5.4.7 la capacidad de carga en función de la resistencia a la penetración.

	$P$	$Q_{esp}$	$Q_{max}$	$\sum G$	$R$
Martillo	[m]	[kN]	[kN]	-	-
D25-32	8.0	2536	3000	953	LM
D36-32	9.5	3007	3650	928	LM
D46-32	6.0	1807	2259	134	LT
DKH 10	5.5	1469	1836	85	LT

Tabla 5.4.2: Resumen de hincado - P35.

Cada una de las curvas se corresponde con un tipo de martillo y está asociada a la máxima penetración calculada para el pilote P35 mediante análisis de hincabilidad. En la Tabla 5.4.2 se resumen los resultados.

En la Figura 5.4.6 se observa que los martillos diesel D25-32 y D36-32 son los únicos capaces de hincar pilotes P35 en profundidades considerables y con tensiones de compresión admisibles, en las condiciones estudiadas para la zona de Santa Fe. Los martillos D46-32 y DKH-10 generan tensiones de compresión durante el hincado que demasiado elevadas y muy sensibles a variaciones en la resistencia a la penetración.

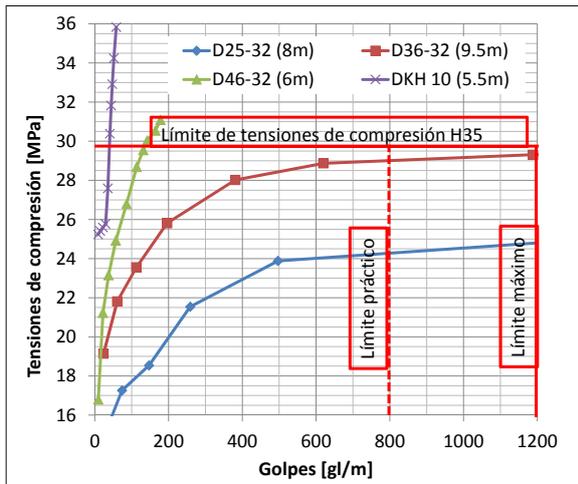


Figura 5.4.6: Tensiones de compresión - P35.

En la Figura 5.4.7 puede observarse que la penetración generada por los martillos D25-32 y D36-32 está limitada por la resistencia a la penetración para capacidades de carga máximas. La resistencia a la penetración para capacidades de carga esperables es de 400gl/m aproximadamente, menor al límite práctico de hincado.

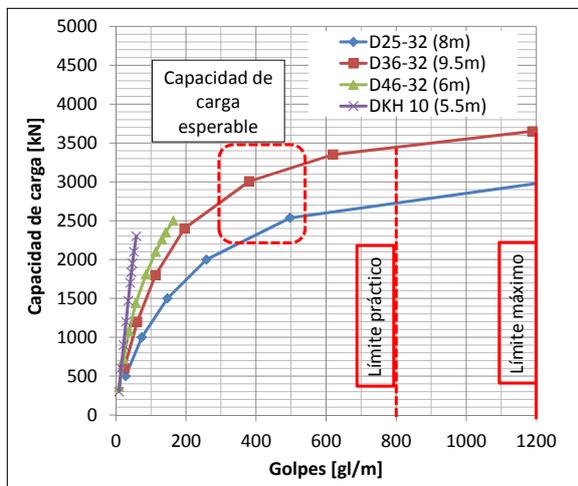


Figura 5.4.7: Capacidad de carga - P35.

En la Figura 5.4.8 se muestran las tensiones de tracción en función de la profundidad durante el proceso de hincado del pilote. Estas tensiones están dentro del rango admisible para la cuantía de acero mínima requerida según las especificaciones de la ACI.

### 5.4.4. Pilote P40

En la Figura 5.4.9 se resumen las tensiones de compresión del pilote P40 en función de la resistencia a la penetración y en la Figura 5.4.10 la capacidad de carga en función de la resistencia a la penetración.

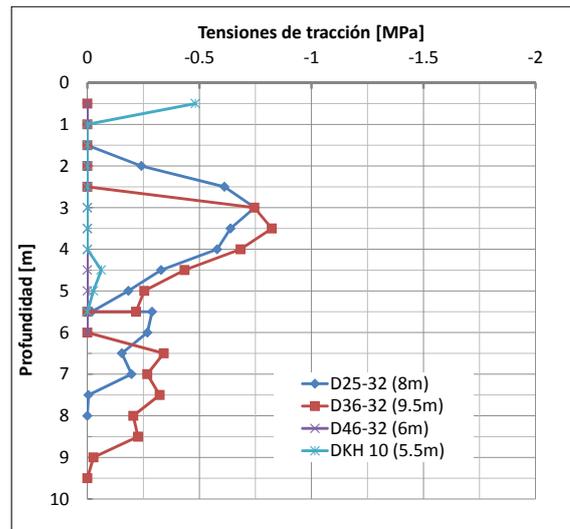


Figura 5.4.8: Tensiones de tracción - P35.

Cada una de las curvas se corresponde con un tipo de martillo y está asociada a la máxima penetración calculada para el pilote P40 mediante análisis de hincabilidad. En la Tabla 5.4.3 se resumen los resultados.

	$P$	$Q_{esp}$	$Q_{max}$	$\sum G$	$R$
Martillo	[m]	[kN]	[kN]	-	-
D25-32	7.5	2981	3600	974	LM
D36-32	8.0	3178	3800	825	LM
D46-32	7.0	2780	3474	323	LT
DKH 10	5.5	1901	2376	109	LT

Tabla 5.4.3: Resumen de hincado - P40.

En la Figura 5.4.9 se observa que los martillos D25-32 y D36-32 son capaces de hincar pilotes P40 sin generar tensiones de compresión excesivas en el proceso, mientras que los martillos D46-32 y DKH-10 generan variaciones de tensiones de compresión muy sensibles a cambios de resistencia a la penetración.

En la Figura 5.4.10 puede observarse que la penetración alcanzada con los martillos D25-32 y D36-32 está limitada por la resistencia a la penetración para capacidades de carga máximas. La resistencia a la penetración para capacidades de carga esperables está entre 400gl/m y 450gl/m, menor al límite práctico de hincado.

En la Figura 5.4.11 se muestran las tensiones de tracción según la profundidad durante el proceso de hincado del pilote.

El pico de tensiones generado por la acción del martillo DKH 10 debe ser controlado disminuyendo la altura de caída del martillo hasta penetrar 1.0m en el Pampeano. Debe colocarse armadura de acero en cuantía mínima del 1.5% para todos los martillos estudiados.

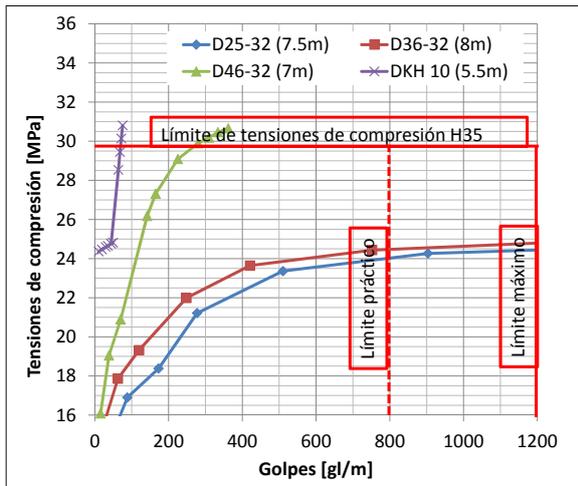


Figura 5.4.9: Tensiones de compresión - P40.

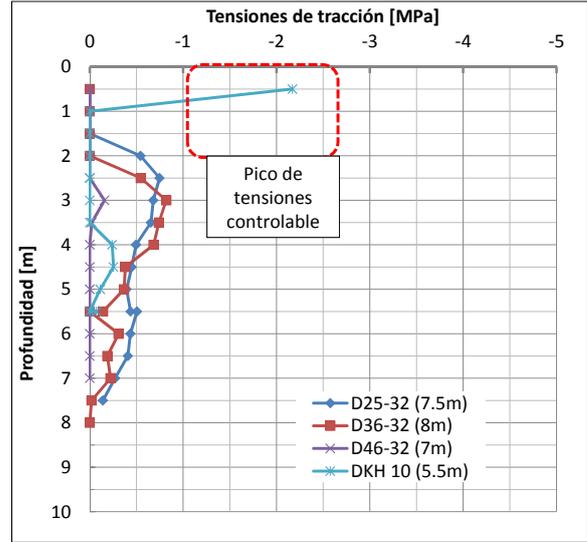


Figura 5.4.11: Tensiones de tracción - P40.

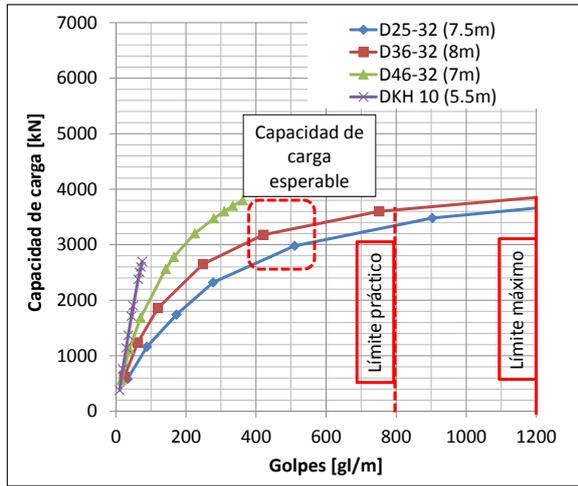


Figura 5.4.10: Capacidad de carga - P40.

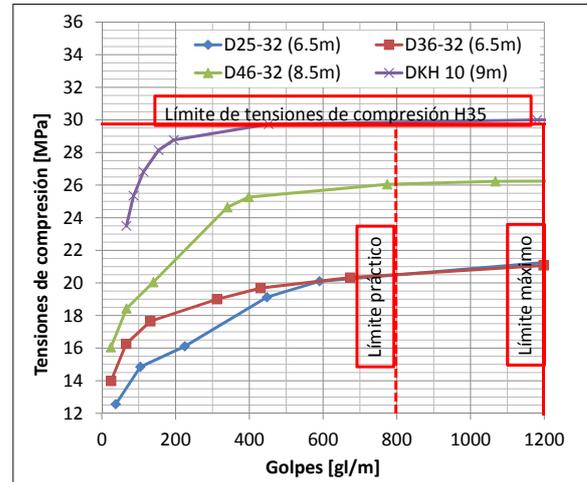


Figura 5.4.12: Tensiones de compresión - P45.

### 5.4.5. Pilote P45

En la Figura 5.4.12 se resumen las tensiones de compresión del pilote P45 en función de la resistencia a la penetración y en la Figura 5.4.13 la capacidad de carga en función de la resistencia a la penetración. Cada una de las curvas se corresponde con un tipo de martillo y está asociada a la máxima penetración calculada para el pilote P45 mediante análisis de hincabilidad. En la Tabla 5.4.4 se resumen los resultados.

	$P$	$Q_{esp}$	$Q_{max}$	$\sum G$	$R$
Martillo	[m]	[kN]	[kN]	-	-
D25-32	6.5	3160	3800	862	LM
D36-32	6.5	3160	3950	568	LM
D46-32	8.5	4116	5200	945	LM
DKH 10	9.0	4334	5850	558	LT-LM

Tabla 5.4.4: Resumen de hincado - P45.

En la Figura 5.4.12 se observa que todos los martillos diesel son capaces de hincar los pilotes P45 sin generar tensiones de compresión excesivas durante el proceso, mientras que la capacidad de hincado del martillo DKH-10 está limitada de manera conjunta por el límite de tensiones de compresión y por el límite máximo de golpes para capacidades de carga máxima.

En la Figura 5.4.13 puede observarse que la resistencia a la penetración para capacidades de carga esperables está entre 200gl/m y los 600gl/m.

En la Figura 5.4.14 se muestran las tensiones de tracción según la profundidad durante el proceso de hincado del pilote. El pico de tensiones inicial generado por el martillo DKH-10 puede ser controlado disminuyendo la altura de caída hasta alcanzar una profundidad de 2.5m aproximadamente. Aún así, estas tensiones son menores a la tensión admisible (4.44MPa) para la cuantía de acero mínima

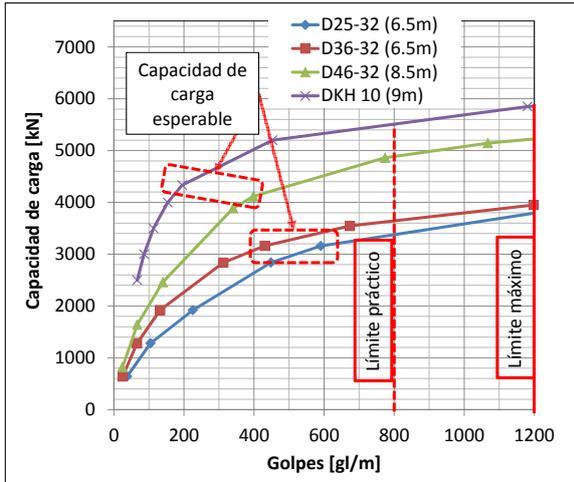


Figura 5.4.13: Capacidad de carga - P45.

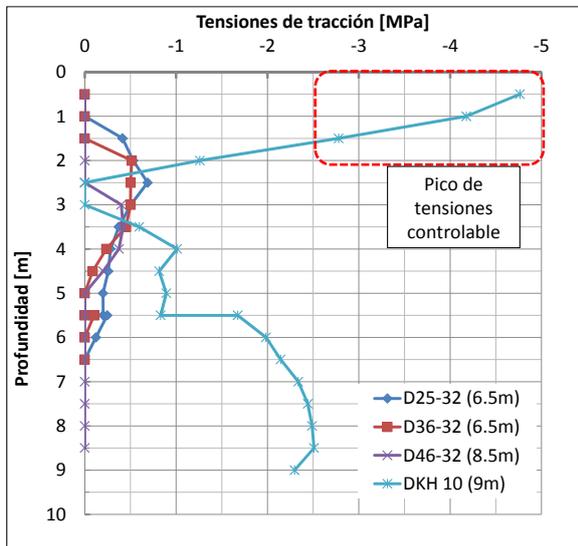


Figura 5.4.14: Tensiones de tracción - P45.

recomendada por la ACI (1.50 %).

### 5.4.6. Pilote P50

En la Figura 5.4.15 se resumen las tensiones de compresión del pilote P50 en función de la resistencia a la penetración y en la Figura 5.4.16 la capacidad de carga en función de la resistencia a la penetración. Cada una de las curvas se corresponde con un tipo de martillo y está asociada a la máxima penetración calculada para el pilote P50 mediante análisis de hincabilidad. En la Tabla 5.4.5 se resumen los resultados.

En la Figura 5.4.15 se observa que todos los martillos estudiados son capaces de hincar el pilote P50 sin provocar tensiones de compresión excesivas en el hormigón.

En la Figura 5.4.16 puede observarse que la penetración generada por los martillos está limitada por

Martillo	$P$ [m]	$Q_{esp}$ [kN]	$Q_{max}$ [kN]	$\sum G$	$R$
D25-32	5.5	2859	3800	616	LM
D36-32	6.0	3437	4100	567	LM
D46-32	8.0	4667	5700	1060	LM
DKH 10	9.5	5436	6700	964	LM

Tabla 5.4.5: Resumen de hincado - P50.

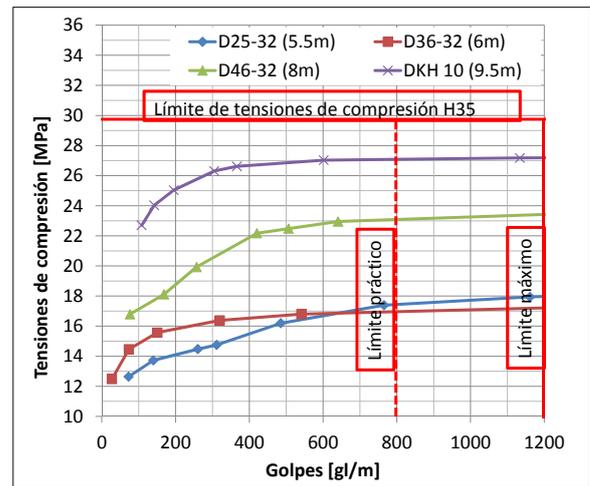


Figura 5.4.15: Tensiones de compresión - P50.

la resistencia a la penetración para capacidades de carga máximas, mientras que para capacidades de carga esperables esta resistencia está entre 400gl/m y 550gl/m, menor al límite práctico.

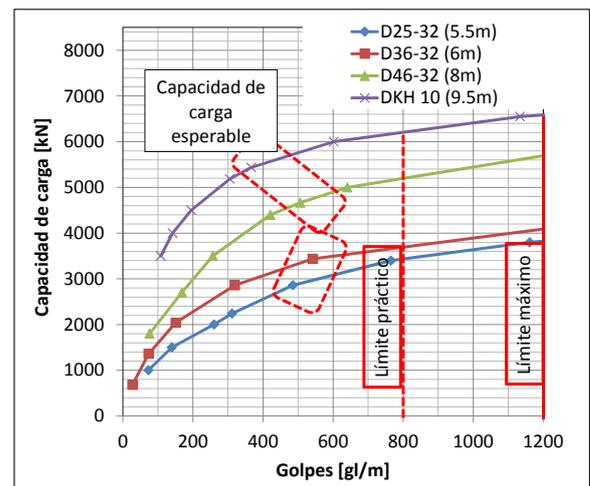


Figura 5.4.16: Capacidad de carga - P50.

En la Figura 5.4.17 se muestran las tensiones de tracción en función de la profundidad durante el proceso de hincado del pilote. El pico de tensiones inicial generado por el martillo DKH-10 puede ser controlado disminuyendo la altura de caída hasta alcanzar una profundidad de 2.5m aproximadamente. Aún así, estas tensiones son menores a la tensión

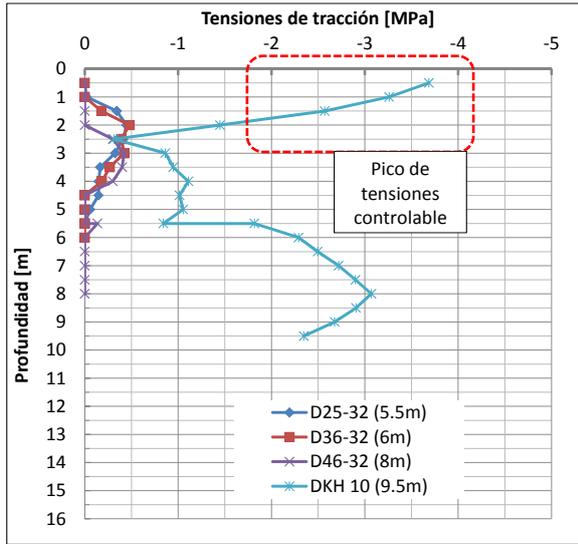


Figura 5.4.17: Tensiones de tracción - P50.

admisible (4.44MPa) para la cuantía de acero mínima recomendada por la ACI (1.50 %).

**5.4.7. Resumen de resultados - Santa Fé**

En la Tabla 5.4.6 se resumen los valores de penetración de los distintos tipos de pilotes en la formación Pampeano y la formación Puelchense según el tipo de martillo utilizado y en la Figura 5.4.18 se grafican los resultados.

Pilote	Martillo			
	D25-32	D36-32	D46-32	DKH 10
P30	7.5	5.5	5.0	4.5
P35	8.0	9.5	6.0	5.5
P40	7.5	8.0	7.0	5.5
P45	6.5	6.5	8.5	9.0
P50	5.5	6.0	8.0	9.5

Tabla 5.4.6: Penetración en el Pampeano [m].

A mayor peso de martillo se observa una mayor penetración, hasta que se alcanzan tensiones de compresión superiores a las admisibles para el tipo de hormigón seleccionado.

En la Tabla 5.4.7 se resumen las capacidades de carga de los pilotes para la profundidad de hincado alcanzada, calculada con parámetros esperables.

En la Figura 5.4.19 puede observarse además la sumatoria de golpes requeridos para lograr el hincado de cada tipo de pilote.

**Solicitaciones**

Las máximas sollicitaciones de tracción y de compresión calculadas se muestran en la Tabla 5.4.8.

Pilote	Martillo			
	D25-32	D36-32	D46-32	DKH 10
P30	1833	1117	768	700
P35	2536	3007	1807	1469
P40	2980	3177	2779	1901
P45	3160	3160	4116	4334
P50	2859	3437	4667	5436

Tabla 5.4.7: Resumen de capacidad de carga esperable para profundidad máxima de hincado [kN].

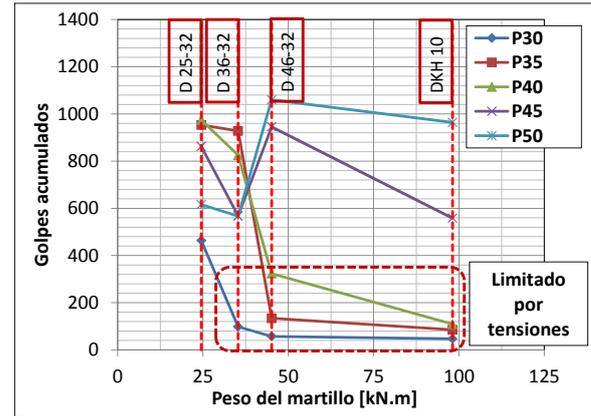


Figura 5.4.19: Sumatoria de golpes.

Estas sollicitaciones fueron calculadas durante el proceso completo de hincado en intervalos de 0.50m de profundidad. Los picos de tensiones registrados para el martillo DKH 10 deben ser controlados disminuyendo la energía de hincado con una menor caída el martillo hasta alcanzar mayores resistencia a la penetración en el Pampeano.

Pilote	Martillo			
	D25-32	D36-32	D46-32	DKH 10
P30	-27.40	-26.22	-25.32	-27.41
	+0.55	+0.19	+0.00	+1.85
P35	-23.90	-28.01	-26.83	-27.12
	+0.75	+0.82	+0.00	+0.48
P40	-23.38	-23.62	-27.34	-24.81
	+0.75	+0.82	+0.16	+2.17
P45	-20.08	-19.66	-25.20	-28.78
	+0.69	+0.51	+0.42	+4.76
P50	-16.08	-16.81	-22.87	-26.61
	+0.45	+0.48	+0.42	+3.69

Tabla 5.4.8: Máximas tensiones [MPa]: Compresión (-) y tracción (+).

**5.4.8. Conclusiones y recomendaciones - Santa Fé**

Para las condiciones de la zona estudiada, las combinaciones de pilotes P30, P35 y P40 con martillos

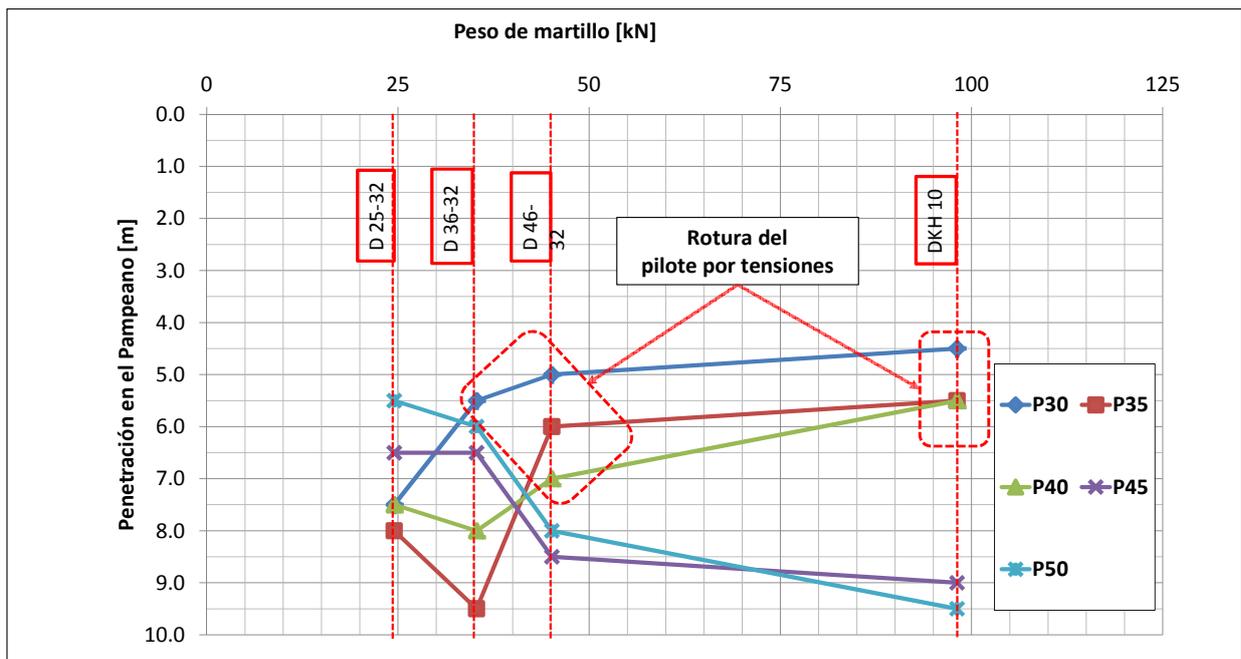


Figura 5.4.18: Penetración en el Pampeano [m].

D46-32 y DKH-10, y la combinación de pilote P30 con martillo D36-32, no deben ser utilizadas. Para estas combinaciones, el hincado está limitado por las tensiones de compresión del hormigón antes que por resistencia a la penetración del suelo, situación que no es recomendable.

De esta manera, para pilotes P30 se obtienen capacidades de carga de 1800kN, para pilotes P35 entre 2500kN y 3000kN, para pilotes P40 entre 3000kN y 3200kN, para pilotes P45 entre 3200kN y 4300kN y para pilotes P50 entre 2900kN y 5400kN.

## Capítulo 6

# Resumen y conclusiones

Se realizó un análisis de hincabilidad de pilotes de hormigón armado en suelos típicos presentes en las provincias de Buenos Aires y Santa Fe. Particularmente se tuvieron en cuenta zonas donde predomina la presencia de suelos de la Formación Pampeano. El estudio efectuado permitió establecer:

1. Máximas profundidades alcanzables con pilotes hincados en sitios típicos de la Formación Pampeano;
2. Tamaño mínimo de martillos de hinca requeridos para cada caso;
3. Tensiones inducidas en los pilotes en función del martillo y las características del suelo;
4. Requerimientos de calidad de hormigón y armadura para cada caso;
5. Capacidades de carga máximas y esperables.

### 6.1. Conceptos generales y fundamentos

Se realizó una descripción general e histórica del sistema de fundación profunda con pilotes, tanto hincados como perforados. Se detallaron diferentes tipos y metodologías constructivas, así como los elementos básicos necesarios para la instalación de pilotes hincados. Se explicó el funcionamiento básico de martillos de tipo diesel de extremo cerrado y abierto y de martillos hidráulicos de doble y simple acción.

Se explicaron los principios dinámicos básicos de transferencia de energía durante el proceso de hincado, de los cuales se dedujeron las ecuaciones dinámicas utilizadas durante muchos años para el diseño de pilotes hincados. Se describen conceptos de ondas (longitudinales, de corte y superficiales), y su comportamiento en elementos lineales relacionado con la propagación de las sollicitaciones de compresión y tracción en el pilote.

Se detalla también la configuración y las ecuaciones de resolución del modelo de masas discretas de Smith, que es utilizado para representar el sistema martillo-suelo-pilote. Para la resolución de este modelo se utilizan conceptos de propagación de ondas.

### 6.2. Condiciones geotécnicas y sitios de estudio

Se describe la estratigrafía típica de las provincias de Buenos Aires y Santa Fe, donde predomina la presencia de suelos de la formación Pampeano, aunque se encuentran también suelos de a la formación Post-Pampeano y de la formación Puelchense. Se detallan parámetros resistentes típicos para cada una de las formaciones según la bibliografía existente.

### 6.3. Análisis de hincabilidad y resultados

Se adoptaron tres sitios de estudio en las zonas industriales de La Plata, Zárate y Santa Fé. Para cada uno de ellos se analizaron cinco secciones cuadradas (30x30cm, 35x35cm, 40x40cm, 45x45cm y 50x50cm), en conjunto con cuatro martillos de hincado disponibles en el mercado local argentino (D25-32, D36-32, D46-32 y DKH 10). Para todos los casos se considera hormigón de calidad H35.

El estudio de hincabilidad se ejecutó con el software GRL-Weap, que utiliza teoría de ondas para la resolución del modelo de masas discretas de Smith.

Según los cálculos realizados, los pilotes P30 pueden alcanzar penetraciones en el pampeano entre 7m y 10m, en función del martillo utilizado: D25-32 o D36-32. El uso de martillos de mayor tamaño y energía de hincado no es recomendable por la alta concentración de tensiones de compresión que podría generar la rotura del pilote. Para este rango de profundidades pueden alcanzarse capacidades de carga esperables a corto plazo entre 1000kN y 2000kN.

Los pilotes P35 pueden alcanzar profundidades de penetración en el pampeano entre 7m y 10m, en función del martillo utilizado: D25-32 o D36-32. Al igual que los pilotes P30, no es recomendable el uso de estos pilotes con calidad de hormigón H35 o menor puesto que su hincabilidad está limitada por la concentración de tensiones de compresión generadas durante el proceso. Para el rango de penetraciones posibles se alcanzan capacidades de carga esperables a corto plazo entre 2300kN y 3000kN.

Los pilotes P40 pueden alcanzar profundidades de penetración de 7m a 12m, dependiendo del tipo de martillo seleccionado: D25-32, D36-32 o D46-32. El uso de martillos de tamaño y energía similar al del DKH 10 estudiado sólo debería utilizarse si se limita la altura de caída de la maza, a fin de limitar las tensiones de compresión generadas. Para el rango de penetraciones calculado se alcanzan capacidades de carga esperables a corto plazo entre 3000kN y 4000kN.

Los pilotes P45 pueden alcanzar penetraciones en el pampeano entre 6m y 12m según el tipo de martillo seleccionado. Para las penetraciones calculadas se obtienen capacidades de carga a corto plazo entre 3000kN y 4700kN. Los pilotes P50 pueden alcanzar penetraciones en el pampeano entre 3m y 10m, obteniendo capacidades de carga a corto plazo entre 3000kN y 5400kN.

Las tensiones de tracción no resultan determinantes durante el proceso de hincabilidad de los pilotes en las condiciones analizadas. La cuantía mínima del 1.50% establecida por la ACI resulta suficiente para asegurar su integridad durante todo el proceso, incluso utilizando martillos de gran tamaño como el DKH 10 en suelos de baja resistencia como los pertenecientes a la formación Postpampeano.

# Bibliografía

- [1] POULOS, HG y DAVIS, E.H. *Pile foundation analysis and design*. University of Sydney, 1980.
- [2] LOWERY, Lee L. *Pile driving analysis by the wave equation*. Texas A&M University, 1993.
- [3] RAUSCHE, Frank. *Pile Driving Análisis Webinar*. ISSMGE Webinar, 2014: <http://www.issmge.org/en/resources/recorded-webinars/557-pile-driving-analysis>
- [4] RESTREPO BOTERO, Victor Hugo. *Interpretación de una solución analítica para el fenómeno de propagación unidimensional de ondas en pilotes y su adaptación para la interpretación de resultados de la prueba de integridad de pilotes*. Pontificia Universidad Javeriana, 2005.
- [5] GRL-Weap Backround, 2010
- [6] TERZAGHI, Karl y PECK, Ralph. *Soil mechanics in engineering practice*. Wiley-Interscience, 1976.
- [7] ROCCA, Ricardo; REDOLFI, Emilio y TERZARIOL, Roberto. *Características geotécnicas de los loess de Argentina*. Universidad Nacional de Córdoba, 2006.
- [8] NUÑEZ, Eduardo. *Geotechnical conditions in Buenos Aires City*. Buenos Aires, 1986.
- [9] FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION, US Department of transportation. *Design and construction of driven pile foundations*. FHWA-NHI-05-042, Abril, 2006.
- [10] US ARMY CORPS OF ENGINEERS. *Design of pile foundations*. American society of civil engineers, 1993.
- [11] SFRISO, Alejo. *Caracterización de la formación Postpampeano*. Universidad de Buenos Aires, 1997.
- [12] SFRISO, Alejo. *Algunos procedimientos constructivos para la ejecución de túneles urbanos*. Universidad de Buenos Aires, 2006.
- [13] BOLOGNESI, A. y MORETTO, O. *Properties and behaviour of silty soils originated from loess formations*. IV International conference on soil mechanics and foundation engineering, England, 1957.
- [14] BOLOGNESI, A. *Compresibilidad de los suelos de la formación pampeano*. V Panamerican conference on soil mechanics and foundation engineering, Buenos Aires, 1975
- [15] ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE. *Manual on estimating soil properties for foundation design*. Cornell university, Nueva York, 1990.
- [16] CIRSOC 201 2005
- [17] Universidad de Navarra, <http://www.unav.edu/departamento/bcp/picturesCimInSitu01.html>
- [18] Wolfram Alpha, *Web equation*, <http://mathworld.wolfram.com/WaveEquation.html>

## Apéndice A

# Ensayos SPT de zonas estudiadas

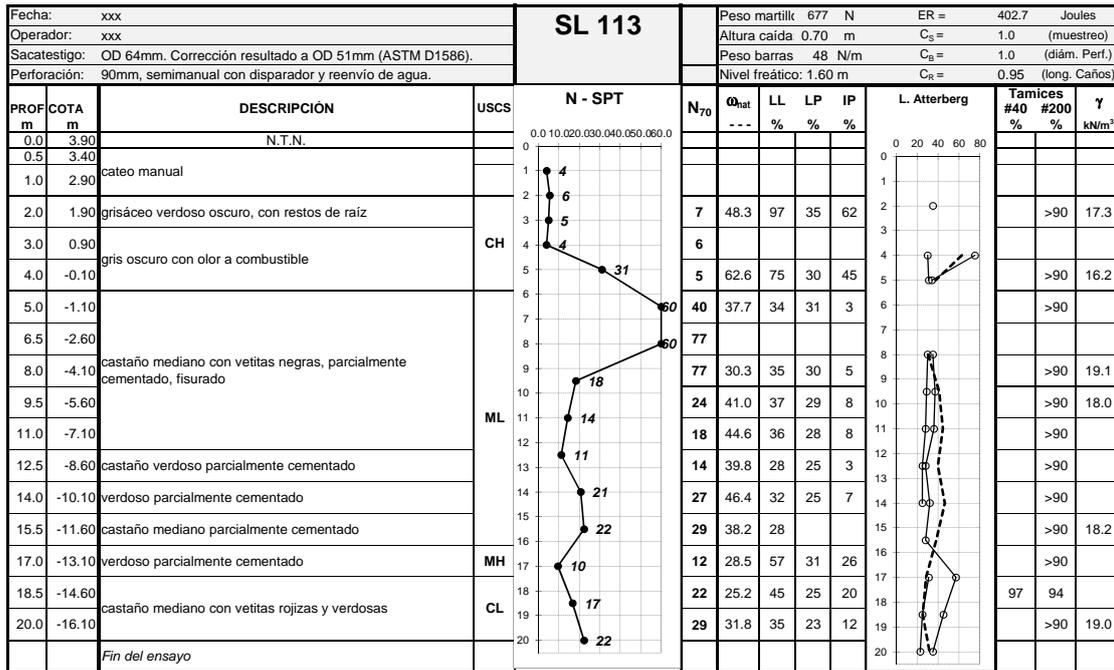


Figura A.0.1: Ensayo SPT - La Plata

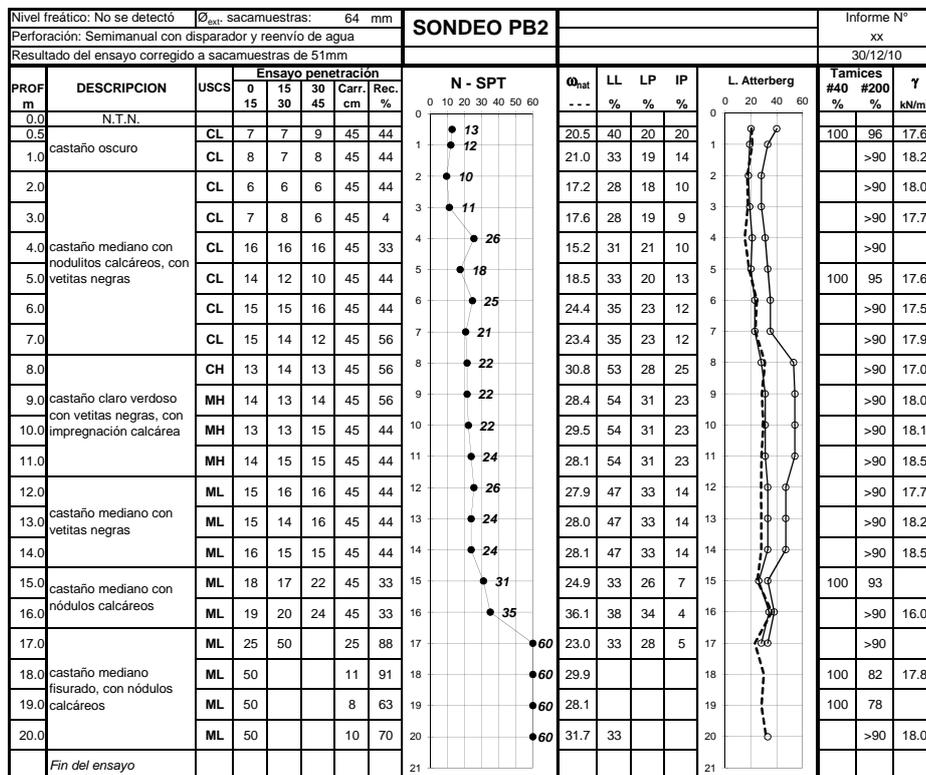
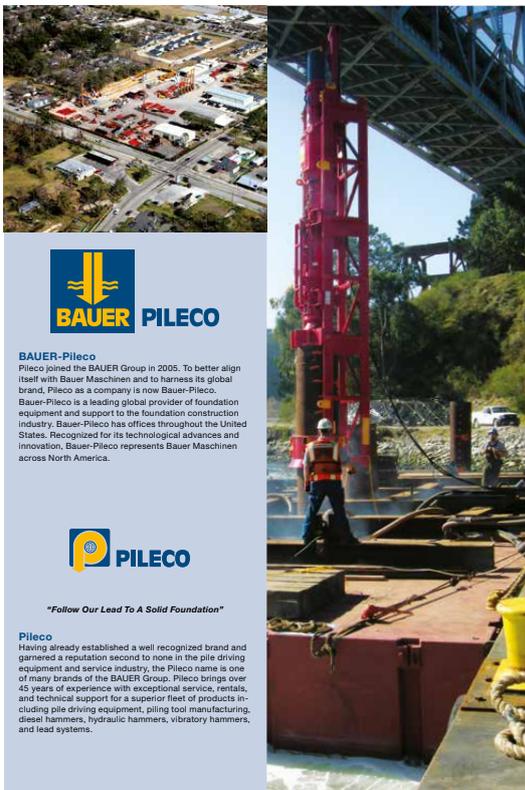


Figura A.0.2: Ensayo SPT - Zárate



## Apéndice B

# Características de los martillos de hincado





**BAUER-Pileco**  
Pileco joined the BAUER Group in 2005. To better align itself with Bauer Maschinen and to harness its global brand, Pileco as a company is now Bauer-Pileco. Bauer-Pileco is a leading global provider of foundation equipment and support to the foundation construction industry. Bauer-Pileco has offices throughout the United States. Recognized for its technological advances and innovation, Bauer-Pileco represents Bauer Maschinen across North America.



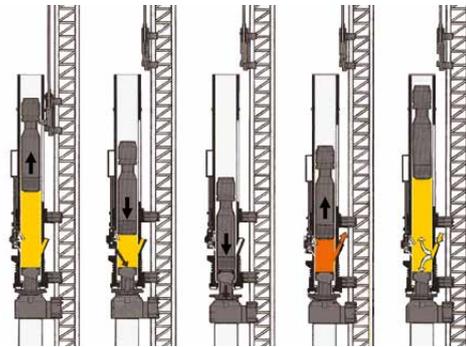
**"Follow Our Lead To A Solid Foundation"**

**Pileco**  
Having already established a well recognized brand and garnered a reputation second to none in the pile driving equipment and service industry, the Pileco name is one of many brands of the BAUER Group. Pileco brings over 45 years of experience with exceptional service, rentals, and technical support for a superior fleet of products including pile driving equipment, piling tool manufacturing, diesel hammers, hydraulic hammers, vibratory hammers, and lead systems.

© BAUER-Pileco Inc., 11/2013

Diesel Hammers and Leads

**Operating a Diesel Hammer**



- Raising the piston (starting)**  
For starting the diesel hammer, the piston (ram) is raised by means of a mechanical tripping device and is automatically released at a given height.
- Injection of diesel fuel and compression**  
As the piston falls through the cylinders, it activates a lever on the back of the fuel pump, which injects a measured amount of diesel fuel on to the top of the impact block. Shortly after this, the exhaust ports are closed.
- Impact and atomization**  
Compressing all the air/fuel between the exhaust ports and the top of the impact block, the piston continues falling until it strikes the top of the impact block. The heat generated by the compression of air, in the presence of atomized fuel, causes the explosion of the fuel, throwing the piston upwards and forcing the impact block downwards against the pile.
- Exhaust**  
While moving upwards, the piston will pass and open the exhaust ports. Exhaust gases will escape and the pressure in the cylinder will equalize.
- Scavenging**  
The piston continues its upward momentum, which draws in fresh air, cools the cylinders, and releases the pump lever. The pump lever returns to its starting position, so that the pump will again be charged with fuel. Gravity stops the upward motion and it starts falling through the cylinders once again.

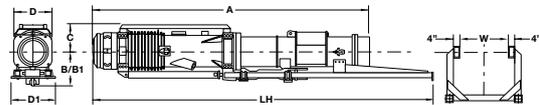
© BAUER-Pileco Inc., 11/2013

Diesel Hammers and Leads

**Diesel Hammer - Specifications**



**Standard Units**



1) Depends on fuel pump setting, soil type, and pile type.  
 2) Potential energy calculated by multiplying piston weight and stroke. The stroke of the ram is a result of the blow rate and does not consider any pile driving conditions, neither side by compression or friction.  
 3) Consumption and weights are approximate, weight of guiding depends on type and size of diesel hammer guiding.  
 All data are subject to change without notification.

Model	D6-32	D8-22	D12-42	D19-42	D25-32	D30-32	D36-32	D46-32	D62-22	D80-23	D100-13	D125-32	D138-32	D160-32	D180-32	D225-22	D250-22	D280-22	D800-12	Model
<b>Approx. Piston Weight (lbs.)</b> <b>Approx. Anvil Weight (lbs.)</b>	1,320 407	1,770 407	2,020 860	4,015 779	5,515 1,456	6,615 1,456	7,840 2,354	10,145 2,354	13,670 2,420	17,840 4,620	22,045 4,620	27,580 6,688	30,420 6,688	35,275 9,581	38,680 9,581	49,612 14,036	55,050 14,036	61,729 14,036	175,370	<b>Approx. Piston Weight (lbs.)</b> <b>Approx. Anvil Weight (lbs.)</b>
<b>Blows per minute<sup>1</sup></b> Minimum (1/min) Maximum (1/min)	39 52	37 52	37 52	37 52	37 52	37 52	37 52	37 52	35 50	36 45	36 45	36 45	36 45	36 46	36 46	36 50	36 50	36 50	36 45	<b>Blows per minute<sup>1</sup></b> Minimum (1/min) Maximum (1/min)
<b>Energy per blow<sup>2</sup> (adjustable)</b> Maximum (ft.lbs.) Minimum (ft.lbs.)	12,570 7,080	18,760 9,480	29,840 15,000	42,480 21,510	58,300 29,510	68,925 35,400	83,950 42,500	107,280 54,320	161,640 79,200	197,150 126,180	246,390 157,685	308,025 197,135	340,000 217,600	394,250 241,470	443,500 271,640	564,970 292,811	631,351 331,903	698,145 357,718	1,365,603 1,272,295	<b>Energy per blow<sup>2</sup> (adjustable)</b> Maximum (ft.lbs.) Minimum (ft.lbs.)
<b>Consumption<sup>3</sup></b> Diesel Fuel (gal./hr.) Lubrication Oil (gal./hr.)	0.96 0.06	1.00 0.13	1.20 0.13	2.00 0.16	2.11 0.26	2.64 0.26	3.04 0.39	4.23 0.39	5.28 0.53	6.60 0.68	7.93 0.68	9.50 0.95	10.20 0.95	11.90 1.32	13.10 1.32	16.90 1.53	19.00 1.53	21.13 1.53	56.8 2.25	<b>Consumption<sup>3</sup></b> Diesel Fuel (gal./hr.) Lubrication Oil (gal./hr.)
<b>Capacity</b> Diesel Fuel (gal.) Lubrication Oil (gal.)	4.9 1.3	5.3 1.6	6.3 1.7	20.0 5.0	17.7 5.0	17.7 5.0	23.5 4.5	23.5 4.5	25.8 8.3	40.9 8.4	40.9 8.4	50.0 15.8	50.0 15.8	63.0 21.1	63.0 21.1	121.0 26.4	12.0 26.0	121.5 26.4	462 18.1	<b>Capacity</b> Diesel Fuel (gal.) Lubrication Oil (gal.)
<b>Weight<sup>4</sup></b> Hammer (lbs.) Hammer, Standard Operating (lbs.)	3,570 4,920	4,000 5,350	5,730 7,100	8,365 9,700	12,370 14,800	13,472 15,900	17,375 19,900	19,580 22,100	27,077 29,300	37,275 41,200	44,894 48,800	53,616 60,250	57,360 64,000	68,785 74,500	75,700 82,600	100,328 103,195	108,467 110,431	113,538	113,538	<b>Weight<sup>4</sup></b> Hammer (lbs.) Hammer, Standard Operating (lbs.)
<b>Dimensions</b>																				
<b>A - Length (ft.)</b>	14.1	15.4	18.3	18.4	17.8	17.8	18.3	18.3	22.6	23.6	24.1	25.5	25.9	25.8	26.4	26.8	26.7	27.3	34.2	<b>A - Length (ft.)</b>
<b>LH - Length, standard (ft.)</b>	19.0	19.0	19.2	19.2	21.3	21.3	21.3	21.3	24.8	28.1	28.1	27.8	27.8	25.8	25.8	26.8	26.8	-	-	<b>LH - Length, standard (ft.)</b>
<b>LH - Length with hydr. start (ft.)</b>	-	-	19.2	19.2	22.5	22.5	22.5	22.5	25.8	28.1	28.1	27.8	27.8	25.8	25.8	26.8	26.8	-	-	<b>LH - Length with hydr. start (ft.)</b>
<b>B - Center to trip (inch)</b>	13.0	13.0	14.0	14.0	17.5	17.5	19.0	19.0	20.0	26.0	26.0	30.5	30.5	33.7	33.7	29.5	29.5	33.1	104.1	<b>B - Center to trip (inch)</b>
<b>B1 - Center to trip (inch)</b>	-	-	20.0	22.0	24.0	24.0	26.0	26.0	27.0	33.0	33.0	31.0	31.0	33.7	33.7	29.5	29.5	33.1	104.1	<b>B1 - Center to trip (inch)</b>
<b>C - Center to pump guard (inch)</b>	15.0	15.0	15.0	16.0	19.0	19.0	20.5	20.5	25.5	23.0	23.0	22.5	22.5	24.5	24.5	27.0	27.0	-	-	<b>C - Center to pump guard (inch)</b>
<b>D - Width of hammer (inch)</b>	18.3	16.5	19.0	19.5	25.0	25.0	28.5	28.5	32.5	35.0	35.0	41.0	41.0	45.5	45.5	52.0	52.0	43.3	90	<b>D - Width of hammer (inch)</b>
<b>D1 - Width of trip (inch)</b>	24.5	24.5	24.5	24.5	32.0	32.0	37.0	37.0	35.5	47.5	47.5	47.5	47.5	51.2	51.2	-	-	-	53.1	<b>D1 - Width of trip (inch)</b>
<b>W - Min. lead width (inch)</b>	21	21	21	21	26	26	32	32	32	42	42	42	42	48	48	-	-	-	-	<b>W - Min. lead width (inch)</b>

Diesel Hammers and Leads

© BAUER-Pileco Inc., 11/2013

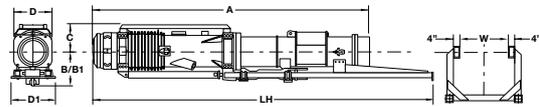
© BAUER-Pileco Inc., 11/2013

Diesel Hammers and Leads

**Diesel Hammer - Specifications**



**Metric Units**



- 1) Depends on fuel pump setting, soil type, and pile type.
- 2) Potential energy calculated by multiplying piston weight and stroke. The stroke of the ram is a result of the blow rate and does not consider any pile driving conditions, neither side by compression or friction.
- 3) Consumption and weights are approximate, weight of guiding depends on type and size of diesel hammer guiding.

All data are subject to change without notification.

Model	D6-32	D8-22	D12-42	D19-42	D25-32	D30-32	D36-32	D46-32	D62-22	D80-23	D100-13	D125-32	D138-32	D160-32	D180-32	D225-22	D250-22	D280-22	D800-12	Model	
<b>Approx. Piston Weight (kg)</b> <b>Approx. Anvil Weight (kg)</b>	600 195	800 300	1.280 354	1.620 354	2.500 662	3.000 662	3.800 1.070	4.800 1.070	6.200 1.100	8.000 2.100	10.000 2.100	12.500 3.040	13.800 3.040	16.000 4.355	18.000 4.355	22.500 6.380	24.970 6.380	28.000 6.380	80.000	<b>Approx. Piston Weight (kg)</b> <b>Approx. Anvil Weight (kg)</b>	
<b>Blows per minute*</b> Minimum (1/min) Maximum (1/min)	39 52	37 52	35 50	36 45	36 45	36 45	36 45	36 46	36 46	36 50	36 50	36 50	36 45	<b>Blows per minute*</b> Minimum (1/min) Maximum (1/min)							
<b>Energy per blow* (adjustable)</b> Maximum (kJ/m) Minimum (kJ/m)	17,0 9,6	25,4 12,8	40,4 20,3	57,6 29,1	79,0 40,0	94,9 48,0	113,9 57,6	145,5 73,6	218,1 107,4	267,3 171,1	334,0 213,6	417,6 267,3	460,9 275,0	534,5 327,4	601,3 368,3	766 397	856 450	933 485	2.865 1.725	<b>Energy per blow* (adjustable)</b> Maximum (kJ/m) Minimum (kJ/m)	
<b>Consumption<sup>3</sup></b> Diesel Fuel (l./hr.) Lubrication Oil (l./hr.)	3,70 0,25	3,80 0,5	4,5 0,5	7,6 0,6	8,0 1,0	10,0 1,0	11,5 1,5	16,0 1,5	20,0 2,0	25,0 2,6	30,0 2,6	36,0 3,6	38,6 3,6	45,0 5,0	49,6 5,0	64 6	72 6	80 5,8	80 5,8	215 8,5	<b>Consumption<sup>3</sup></b> Diesel Fuel (l./hr.) Lubrication Oil (l./hr.)
<b>Capacity</b> Diesel Fuel (l.) Lubrication Oil (l.)	19 5	20 6	24 6,5	75 19	67 19	67 19	89 17	89 17	98 31	155 32	155 32	189 32	189 32	238 80	238 80	458 98	458 98	460 100	460 100	1.750 88	<b>Capacity</b> Diesel Fuel (l.) Lubrication Oil (l.)
<b>Weight<sup>4</sup></b> Hammer (kg) Hammer, Standard Operating (kg)	1.620 2.340	1.815 2.426	2.600 3.220	3.795 4.400	5.610 6.710	6.110 7.210	7.880 9.026	8.888 10.025	12.282 13.290	16.907 18.690	20.364 22.135	24.320 27.330	26.020 29.030	31.200 33.800	34.340 37.470	45.508 48.808	48.292 55.104	51.500	160.118	160.118	<b>Weight<sup>4</sup></b> Hammer (kg) Hammer, Standard Operating (kg)
<b>Dimensions</b>																					<b>Dimensions</b>
<b>A - Length (mm)</b>	4.300	4.695	5.580	5.610	5.425	5.425	5.580	5.580	6.890	7.195	7.345	7.772	7.894	7.864	8.047	8.153	8.138	8.320	10.420	10.420	<b>A - Length (mm)</b>
<b>LH - Length, standard (mm)</b>	5.790	5.790	5.850	5.850	6.490	6.490	6.490	6.490	7.560	8.565	8.565	8.475	8.475	7.864	7.864	8.168	8.168	-	-	-	<b>LH - Length, standard (mm)</b>
<b>LH - Length with hydr. start (mm)</b>	-	-	-	-	6.860	6.860	6.860	6.860	7.864	8.565	8.565	8.475	8.475	7.864	7.864	8.168	8.168	-	-	-	<b>LH - Length with hydr. start (mm)</b>
<b>B - Center to trip (mm)</b>	330	330	356	356	445	445	482	482	508	600	600	775	775	856	856	749	749	840	2.645	2.645	<b>B - Center to trip (mm)</b>
<b>B1 - Center to trip (mm)</b>	-	-	-	559	610	610	660	660	666	838	838	788	788	856	856	749	749	840	2.645	2.645	<b>B1 - Center to trip (mm)</b>
<b>C - Center to pump guard (mm)</b>	381	381	381	406	482	482	521	521	648	584	584	572	572	622	622	685	685	-	-	-	<b>C - Center to pump guard (mm)</b>
<b>D - Width of hammer (mm)</b>	465	420	482	495	635	635	724	724	825	890	890	1.042	1.042	1.156	1.156	1.321	1.321	1.100	2.286	2.286	<b>D - Width of hammer (mm)</b>
<b>D1 - Width of trip (mm)</b>	622	622	622	622	812	812	940	940	902	1.206	1.206	1.206	1.206	1.300	1.300	-	-	-	1.350	2.536	<b>D1 - Width of trip (mm)</b>
<b>W - Min. lead width (mm)</b>	534	534	534	534	660	660	812	812	812	1.067	1.067	1.067	1.067	1.200	1.200	-	-	-	-	-	<b>W - Min. lead width (mm)</b>

Diesel Hammers and Leads

© BAUER-Pileco Inc., 11/2013

© BAUER-Pileco Inc., 11/2013

Diesel Hammers and Leads

**Lead Systems**

**Swinging Leads - U Shape**

- The lead is free-hanging at a 3-line crane boom. There are lines for the lead, hammer and pile
- Lead stabs in the ground swing in the upper end in every direction

**Swinging Lead with Spotter Support - U Shape**

- The lead is free-hanging at a 3-line crane boom. There are lines for the lead, hammer and pile
- The hydraulic spotter swings the lead more precisely and quicker to the ram point
- Lead stabs in the ground to swing the upper end in every direction

**Caisson Type Leads - Offshore and Onshore**

- Lead and hammer with helmet hanging from the crane or derrick
- Lead is supported by the crane
- Batter piling is possible
- Pile adaptors are used for large diameter piles

**Fixed Extended Leads with Spotter Support - U Shape**

- The lead is attached with a boom point connector to the crane boom top and the lower end is supported by a hydraulic adjustable spotter
- Exact positioning of the pile is possible while also adjusting to the exact batter
- 2-line head block for hammer and pile line
- Upgrade the system with additional pile line and auger drilling equipment

**Telescopic Leads**

- Adapter sleds are fixed to the base carrier's mast



Caisson Lead

Diesel Hammers and Leads

© BAUER-Pileco Inc., 11/2013

**Lead Systems**



Fixed Lead with Spotter Support



Caisson Type Lead



Swinging Lead

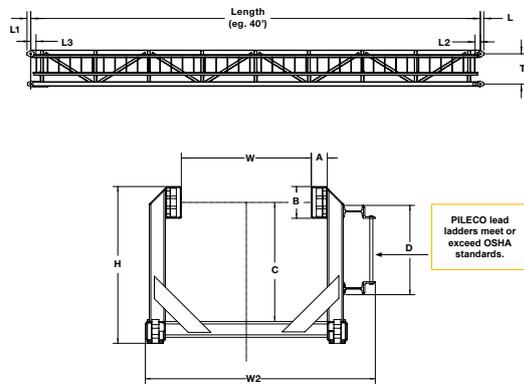


Telescopic Lead

© BAUER-Pileco Inc., 11/2013

Diesel Hammers and Leads

**US-Shape Leads**



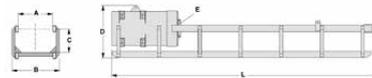
**Standard Units**

Bolt Style	L (inch)	L1 (inch)	L2 (inch)	L3 (inch)	W (inch)	W2 (inch)	T (inch)	C (inch)	H (inch)	D (inch)	A (inch)	B (inch)	Weight/ lbs. per ft.	Hammer
U-21	0.5	0.5	4.9	4.9	21.5	44.5	30.8	27	35	22.5	4	8	105	D19-42
U-26	3.6	4.0	5.6	5.6	26.5	54.5	32.5	30	39	22.5	4	8	140	D30-32
U-32	3.6	4.0	5.6	5.6	32.5	57.5	32.5	30	39	22.5	4	8	150	D62-32
U-42	3.6	4.0	5.6	5.6	42.5	70.0	45.5	34	52	22.5	4	8	200	D138-32
U-48	3.6	4.0	5.6	5.6	48.5	76.0	51.5	37	58	22.5	4	8	225	D180-32

**Metric Units**

Bolt Style	L (cm)	L1 (cm)	L2 (cm)	L3 (cm)	W (cm)	W2 (cm)	T (cm)	C (cm)	H (cm)	D (cm)	A (cm)	B (cm)	Weight/ kg per m	Hammer
U-21	1.3	1.3	12.4	12.4	54.6	113.0	78.4	68.6	88.9	57.2	10.2	20.3	156,257	D19-42
U-26	9.2	10.2	14.3	14.3	67.3	130.8	82.6	76.2	99.1	57.2	10.2	20.3	208,343	D30-32
U-32	9.2	10.2	14.3	14.3	82.6	146.1	82.6	76.2	99.1	57.2	10.2	20.3	223,225	D62-32
U-42	9.2	10.2	14.3	14.3	108.0	168.0	115.6	86.4	132.1	57.2	10.2	20.3	297,633	D138-32
U-48	9.2	10.2	14.3	14.3	123.2	193.0	130.8	94.0	147.3	57.2	10.2	20.3	334,636	D180-32

**Caisson Leads**

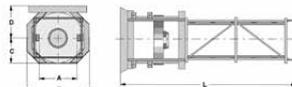


**Standard Units - in. (except L in ft.)**

Lead Type	A	B	C	D	E	L	Pile Ø (max.)	Diesel Hammer	Weight (lbs.)
OS 20-02	21.8	36	22	47	17	18.9	24	D19-42	4,920
OS 40-02	32.5	36	21	47	23	23.9	36	D30-32	8,400

**Metric Units - cm (except L in m)**

Lead Type	A	B	C	D	E	L	Pile Ø (max.)	Diesel Hammer	Weight (kg)
OS 20-02	55.4	91.4	55.9	119.4	43.2	5.6	61.0	D19-42	2,231.7
OS 40-02	82.6	91.4	53.3	119.4	58.4	7.3	91.4	D30-32	3,810.2

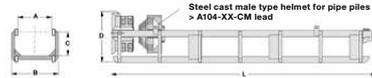


**Standard Units - in. (except L in ft.)**

Lead Type	A	B	C	D	L	Pile Ø (max.)	Diesel Hammer	Weight (lbs.)
OS 98	68.5	123	50.3	61.5	36.7	98	D280-22	73,500
OS 120	68.5	145	62.0	60.0	43.0	120	D280-22	99,500

**Metric Units - cm (except L in m)**

Lead Type	A	B	C	D	L	Pile Ø (max.)	Diesel Hammer	Weight (kg)
OS 98	174	312.4	127.8	156.2	11.2	249	D280-22	33,339
OS120	174	368.3	157.5	152.4	13.1	305	D280-22	45,132



**Standard Units - in. (except L in ft.)**

Lead Type	A	B	C	D	Cushion	L	Pile Ø (max.)	Diesel Hammer	Weight (lbs.)
A104-36-CM	42.5	58.5	29.0	62.5	23	27.2	36	D62-22	13,150
A104-42-CM	48.5	66.5	37.0	72.0	27	36.0	42	D138-32	22,200
A104-48-CM	54.5	72.5	37.0	75.0	27	36.0	48	D180-32	25,000
A104-66-CM	66.5	84.5	38.5	85.0	27	40.0	66	D180-32	42,200
OS 200-60	68.5	60.0	46.5	97.0	37	41.0	60	D200-42	65,000

**Metric Units - cm (except L in m)**

Lead Type	A	B	C	D	Cushion	L	Pile Ø (max.)	Diesel Hammer	Weight (kg)
A104-36-CM	108.0	148.6	73.7	158.8	58.4	8.3	91.4	D62-22	5,964.7
A104-42-CM	123.2	168.9	94.0	182.9	68.6	11.0	106.7	D138-32	10,069.8
A104-48-CM	138.4	184.2	94.0	190.5	68.6	11.0	121.9	D180-32	11,339.8
A104-66-CM	169.0	214.6	97.8	215.9	68.6	12.2	167.6	D180-32	19,141.6
OS 200-60	174.0	152.4	118.1	246.4	94.0	12.5	152.4	D200-42	29,483.0

# ICE® PILEMER MODELO IP10<sub>(DKH-10U)</sub> MARTINETE HIDRAULICO DE IMPACTO



Simple, comprobado y confiable diseño de actuación independiente. El trazo variable oscila entre 200-1200mm. Alta transferencia de energía para una producción máxima. El trazo variable evita dañar las velocidades de impacto en hormigón (ram pesado, trazo más corto)

Equipado con guías resbaladeras ICE utiliza unidades hidráulicas, pilotes y guías. Las resbaladeras disponibles pueden ser: fijas, que se balancean o se deslizan. Marcadores disponibles para la fabricación precisa de pilotes Operacion automática o manual.



Especificaciones de trabajo		
Peso de piston	22,000 lbs	10 tonne
Energía máxima	88,000 ft-lbs	117 700 Nm
Energía mínimo	14,450 ft-lbs	19 600 Nm
Alcance de carrera	0.7 - 4 ft	200 - 1200 mm
Golpe por minuto	40-100	

Peso		
Martinete con polea y cabezal	38,000 lbs	17 240 kg
Manguera hidráulica con aceite(60m)	1,700 lbs	770 kg
Inserto (utiliza cualquier ICE inserto)	DCC-20	
Peso de inserto	1590 lbs	720 kg
Peso de operacion con cabezal	41,290 lbs	18 730 kg

Dimensiones		
Longitud de martinete	21-6 ft-in	6 550 mm
Longitud con cabezal	22-11 in	6 985 mm
Anchura total	54 in	1 360 mm
El estándar resbaladeras / guías	42 in	1 066 mm
Profundidad total	50 in	1 270 mm
Línea central hasta la parte trasera	25 in	635 mm
Línea central al frente	25 in	635 mm

El estándar de unidad hidraulica ICE® 350G		
Motor CAT C9		
El estándar de EPA/EU	Nivel 3	Etapa IIIA
Potencia	350 HP	261 kW
Flujo (sin presión) para IP10	70 gpm	260 lpm
Presión máxima para IP10	4,500 psi	305 bar
Peso	11,350 lbs	4 765 kg
Longitud	130 in	3 300 mm
Altura	87 in	2 200 mm
Anchura	63 in	1 600 mm

Las mejoras constantes y los avances en ingeniería, hacen necesario que ICE, Inc. reserve el derecho a realizar cambios en las especificaciones sin previo aviso. Consulte con ICE® para la información más reciente.

**INTERNATIONAL CONSTRUCTION EQUIPMENT, INC.**

## Apéndice C

# Cálculos de capacidad de carga

**CAPACIDAD DE CARGA DE PILOTES**  
**Parámetros esperables - La Plata**

- Pilote cuadrado
- Sección: 30x30
- Longitud: 12.0m

Estructura	
NTN [m]	0.00
Tipo de pilote	Cuadrado
Lado Menor, [m]	0.30
Cota de punta [m]	-12.00
Perímetro [m]	1.20
Área punta [m <sup>2</sup> ]	0.09
Longitud [m]	12.0

Fuste									
Cota	$\gamma$	$K_c$	$c, s_u$	$\phi$	$\alpha$	$\delta/\phi$	$f_{im}$	$f_j$	$P_{fj}$
m	kN/m <sup>3</sup>	-	kPa	°	-	-	kPa	kPa	MN
0 a -1.7	17.5	2.0	20	0	1.00	0.90	150	20	0.04
-1.7 a -5	7.0	2.0	20	0	1.00	0.90	150	20	0.08
-5 a -8.5	9.0	2.3	30	34	1.00	0.90	150	122	0.51
-8.5 a -25	8.5	2.1	15	32	1.00	0.90	150	131	0.55

Suelo en la punta del pilote				
$\phi$	$c'$	$\gamma$	$\sigma_v'$	Cota sup
°	kPa	kPa/m	kPa	m
32.0	15.0	8.5	114.1	-8.5

Factores de capacidad de carga			
$N_\phi$	$N_q$	$N_\gamma$	$N_c$
-	-	-	-
3.3	23.2	20.8	35.5

Factores de corrección						
L/B	$\zeta_{\gamma s}$	$\zeta_{\gamma d}$	$\zeta_{qs}$	$\zeta_{qd}$	$\zeta_{cs}$	$\zeta_{cd}$
10.00	0.60	1.00	1.62	1.41	1.65	1.59

Tensión en la punta [kPa] = 7456

Capacidad del fuste [MN] = 1.18 (64%)  
 Capacidad de punta [MN] = 0.67 (36%)

Capacidad a compresión [MN] = 1.854  
 Capacidad a tracción [MN] = 1.21

**CAPACIDAD DE CARGA DE PILOTES**  
**Parámetros esperables - Zárate**

- Pilote cuadrado
- Sección: 30x30
- Longitud:

Estructura	
NTN [m]	0.00
Tipo de pilote	Cuadrado
Lado Menor, [m]	0.30
Cota de punta [m]	-10.00
Perímetro [m]	1.20
Área punta [m <sup>2</sup> ]	0.09
Longitud [m]	10.0

Fuste									
Cota	$\gamma$	$K_c$	$c, s_u$	$\phi$	$\alpha$	$\delta/\phi$	$f_{im}$	$f_j$	$P_{fj}$
m	kN/m <sup>3</sup>	-	kPa	°	-	-	kPa	kPa	MN
0 a -3	18.0	2.0	10	30	1.00	0.90	150	38	0.14
-3 a -7	18.0	2.1	10	32	1.00	0.90	150	115	0.55
-7 a -14	18.0	2.1	15	32	1.00	0.90	150	150	0.54
-14 a -20	18.0	2.3	30	34	1.00	0.90	150	0	0.00

Suelo en la punta del pilote				
$\phi$	$c'$	$\gamma$	$\sigma_v'$	Cota sup
°	kPa	kPa/m	kPa	m
32.0	15.0	18.0	180.0	-7.0

Factores de capacidad de carga			
$N_\phi$	$N_q$	$N_\gamma$	$N_c$
-	-	-	-
3.3	23.2	20.8	35.5

Factores de corrección						
L/B	$\zeta_{\gamma s}$	$\zeta_{\gamma d}$	$\zeta_{qs}$	$\zeta_{qd}$	$\zeta_{cs}$	$\zeta_{cd}$
10.00	0.60	1.00	1.62	1.41	1.65	1.59

Tensión en la punta [kPa] = 10964

Capacidad del fuste [MN] = 1228 (55%)  
 Capacidad de punta [MN] = 987 (45%)

Capacidad a compresión [MN] = 2215.04  
 Capacidad a tracción [MN] = 1228.29

**CAPACIDAD DE CARGA DE PILOTES**  
**Parámetros esperables - Sauce Viejo, Santa Fe**

- Pilote cuadrado
- Sección: 30x30
- Longitud: 7.5m

Estructura	
NTN [m]	0.00
Tipo de pilote	Cuadrado
Lado Menor, [m]	0.30
Cota de punta [m]	-7.50
Perímetro [m]	1.20
Área punta [m <sup>2</sup> ]	0.09
Longitud [m]	7.5

Fuste									
Cota	$\gamma$	$K_c$	$c, s_u$	$\phi$	$\alpha$	$\delta/\phi$	$f_{lim}$	$f_j$	$P_{fj}$
m	kN/m <sup>3</sup>	-	kPa	°	-	-	kPa	kPa	MN
0 a -5.5	18.5	2.1	10	32	1.00	0.90	150	69	0.46
-5.5 a -20	7.0	2.6	0	38	1.00	0.90	150	150	0.36

Suelo en la punta del pilote				
$\phi$	$c'$	$\gamma$	$\sigma_v'$	Cota sup
°	kPa	kPa/m	kPa	m
38.0	0.0	7.0	115.8	-5.5

Factores de capacidad de carga			
$N_\phi$	$N_q$	$N_\gamma$	$N_c$
-	-	-	-
4.2	48.9	56.2	61.4

Factores de corrección						
L/B	$\zeta_{\gamma s}$	$\zeta_{\gamma d}$	$\zeta_{qs}$	$\zeta_{qd}$	$\zeta_{cs}$	$\zeta_{cd}$
6.67	0.60	1.00	1.78	1.33	1.80	1.57

Tensión en la punta [kPa]	13436
---------------------------	-------

Capacidad del fuste [MN]	819 (40%)
Capacidad de punta [MN]	1209 (60%)

Capacidad a compresión [MN]	2027.92
Capacidad a tracción [MN]	818.70

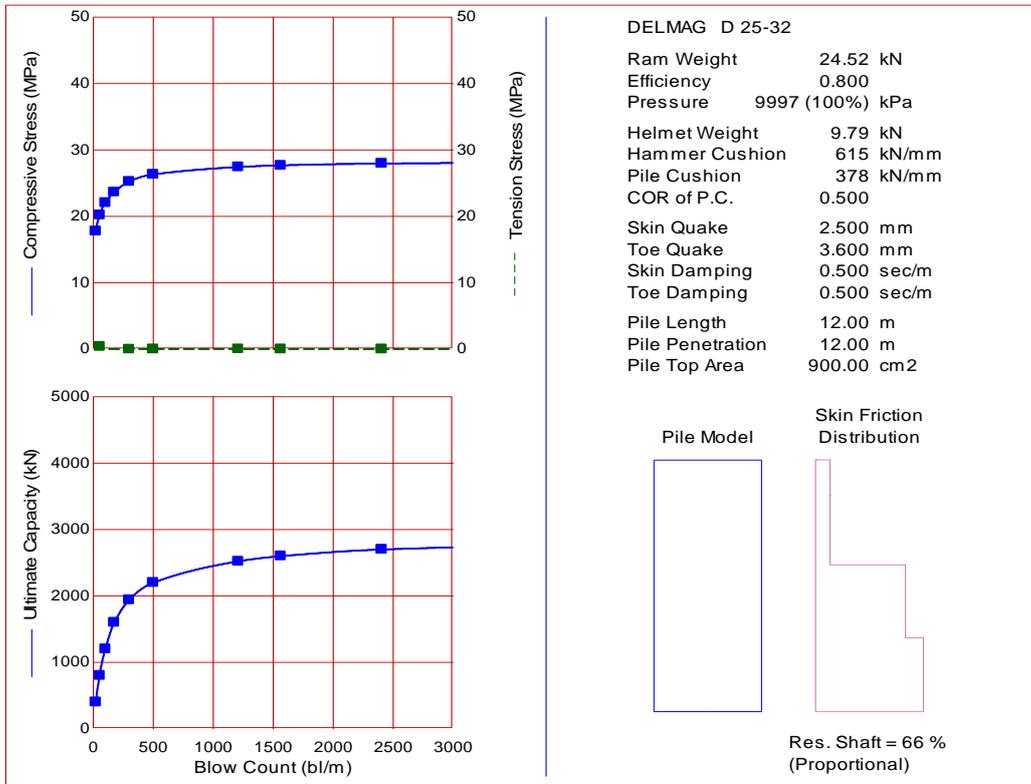
## Apéndice D

# Resultados GRL Weap

**Resultados GRL-Weap - Capacidad de Carga**

**Sección:** 30x30

**Martillo:** D 25-32

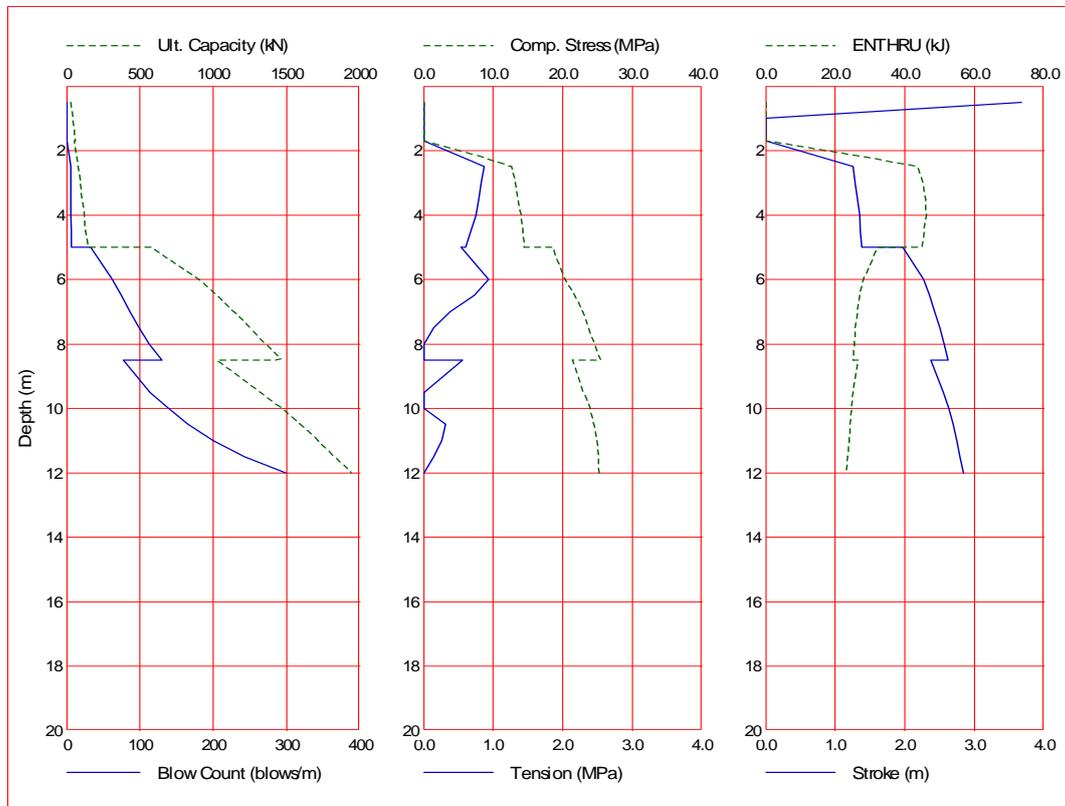


Ultimate Capacity kN	Maximum Compression Stress MPa	Maximum Tension Stress MPa	Blow Count bl/m	Stroke m	Energy kN-m
400.0	17.78	0.00	21.1	1.78	34.86
800.0	20.20	0.38	54.1	2.20	27.82
1200.0	22.05	0.00	102.3	2.49	24.26
1600.0	23.65	0.00	175.3	2.70	23.23
1941.0	25.25	0.00	299.0	2.84	23.04
2200.0	26.32	0.03	500.5	2.92	22.84
2522.0	27.44	0.04	1209.8	3.00	22.62
2600.0	27.68	0.03	1564.2	3.02	22.58
2700.0	27.95	0.03	2405.3	3.03	22.49
2800.0	28.20	0.02	4840.3	3.05	22.40

**Resultados GRL-Weap - Hincabilidad**

**Sección:** 30x30

**Martillo:** D 25-32



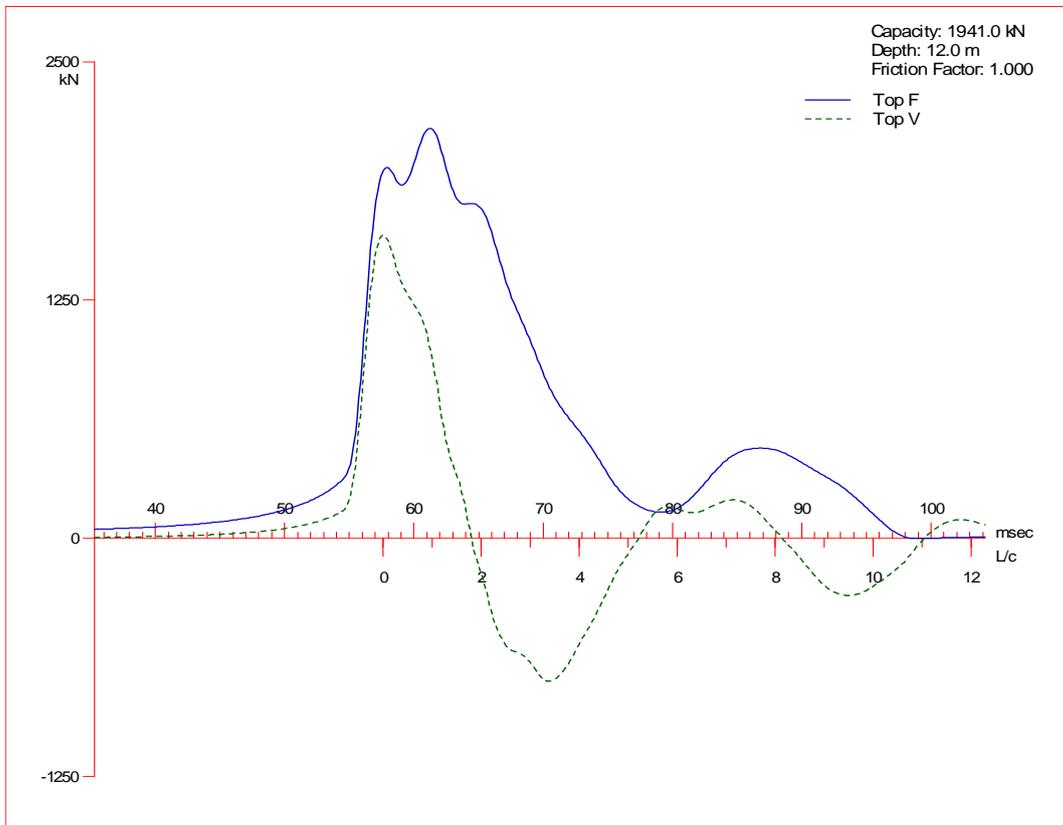
Depth m	Ultimate Capacity kN	Friction kN	End Bearing kN	Blow Count blows/m	Comp. Stress MPa	Tension Stress MPa	Stroke m	ENTHRU kJ
0.5	26.8	12.0	14.8	0.0	0.000	0.000	3.67	0.0
1.0	42.0	24.0	18.0	-1.0	0.000	0.000	0.00	0.0
1.7	60.1	40.8	19.4	-1.0	0.000	0.000	0.00	0.0
1.7	55.5	41.0	14.4	-1.0	0.000	0.000	0.00	0.0
2.5	77.7	60.0	17.7	5.1	12.692	-0.872	1.25	43.6
3.0	91.8	72.0	19.8	5.4	13.189	-0.826	1.29	45.1
3.5	104.5	84.0	20.5	5.7	13.610	-0.791	1.32	46.0
4.0	117.1	96.0	21.1	6.0	14.022	-0.752	1.35	46.1
4.5	129.6	108.0	21.6	6.3	14.262	-0.681	1.36	45.5
5.0	142.0	120.0	22.0	6.6	14.485	-0.600	1.38	45.0
5.0	573.4	121.5	451.9	33.2	18.564	-0.538	1.97	32.0
6.0	906.3	270.0	636.3	62.6	20.372	-0.934	2.27	28.0
6.5	1024.5	345.0	679.5	74.0	21.753	-0.728	2.35	27.0
7.0	1142.7	420.0	722.7	86.4	22.837	-0.382	2.43	26.3
7.5	1250.7	495.0	755.7	98.8	23.768	-0.148	2.50	25.8
8.0	1358.7	570.0	788.7	113.1	24.623	0.000	2.56	25.4
8.5	1466.7	645.0	821.7	130.1	25.413	0.000	2.62	25.1
8.5	1026.0	646.8	379.2	77.5	21.376	-0.560	2.37	26.5
9.5	1323.0	825.0	498.0	113.7	22.942	0.000	2.55	25.0
10.0	1473.0	915.0	558.0	139.2	23.917	0.000	2.63	24.6
10.5	1593.4	1005.0	588.4	166.0	24.484	-0.319	2.69	24.2
11.0	1713.8	1095.0	618.8	199.8	24.929	-0.262	2.75	23.9
11.5	1827.4	1185.0	642.4	242.3	25.156	-0.145	2.79	23.6
12.0	1941.0	1275.0	666.0	299.1	25.248	-0.003	2.84	23.1

Total Continuous Driving Time 21.00 minutes; Total Number of Blows 870

**Resultados GRL-Weap - Propagación de ondas**

**Sección:** 30x30

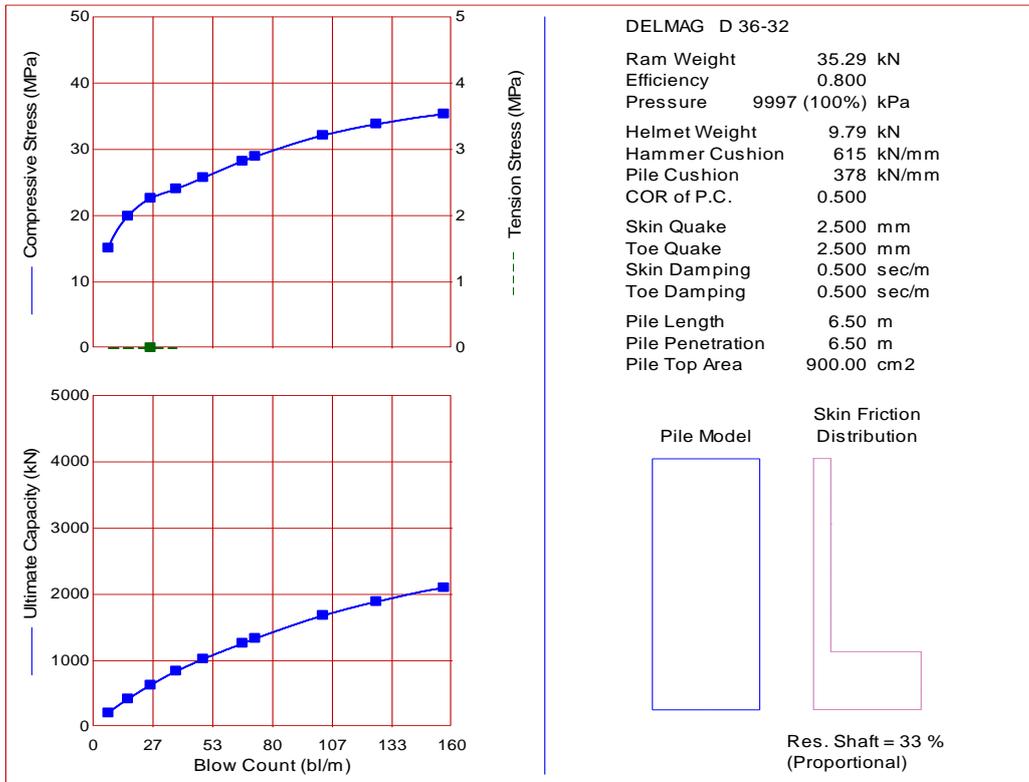
**Martillo:** D 25-32



**Resultados GRL-Weap - Capacidad de Carga**

**Sección:** 30x30

**Martillo:** D 36-32

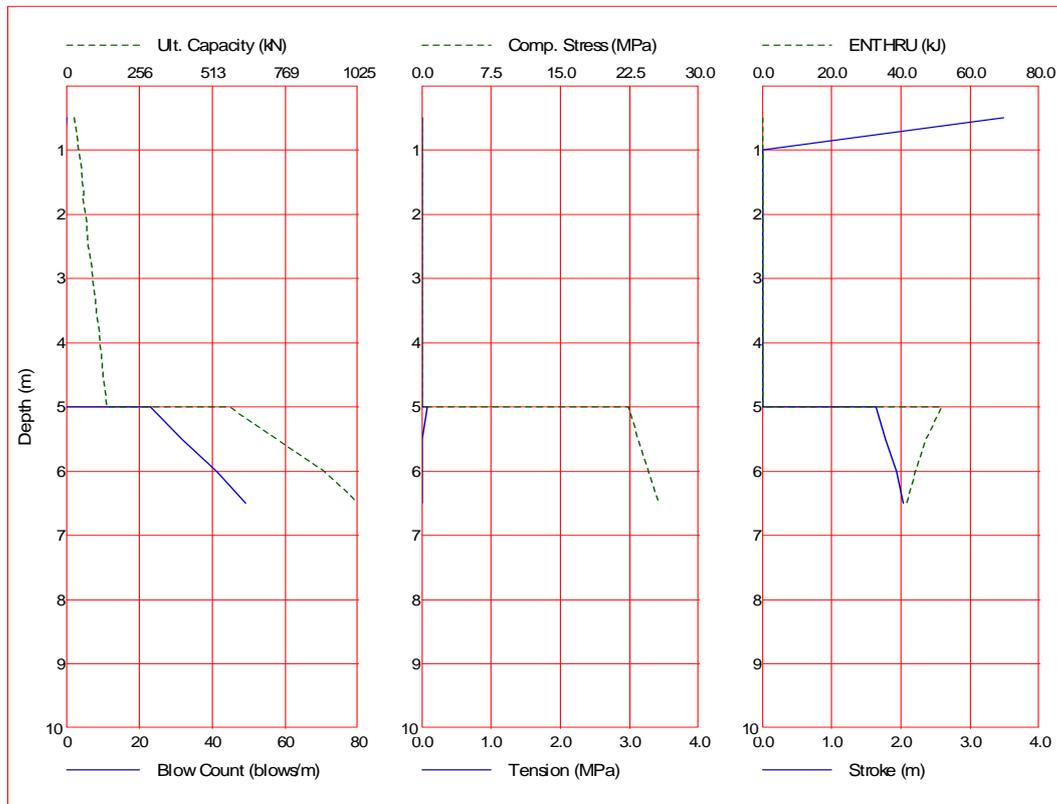


Ultimate Capacity kN	Maximum Compression Stress MPa	Maximum Tension Stress MPa	Blow Count bl/m	Stroke m	Energy kN-m
210.0	15.09	0.00	6.9	1.17	67.98
420.0	19.93	0.00	15.7	1.45	56.12
630.0	22.62	0.01	25.8	1.69	49.50
840.0	24.04	0.00	37.1	1.89	45.12
1025.0	25.72	0.00	49.2	2.03	41.58
1260.0	28.22	0.00	66.7	2.20	38.09
1335.0	28.94	0.00	72.4	2.23	37.03
1680.0	32.12	0.00	102.6	2.40	33.37
1890.0	33.81	0.00	126.4	2.49	31.65
2100.0	35.32	0.00	156.5	2.56	30.27

**Resultados GRL-Weap - Hincabilidad**

**Sección:** 30x30

**Martillo:** D 36-32



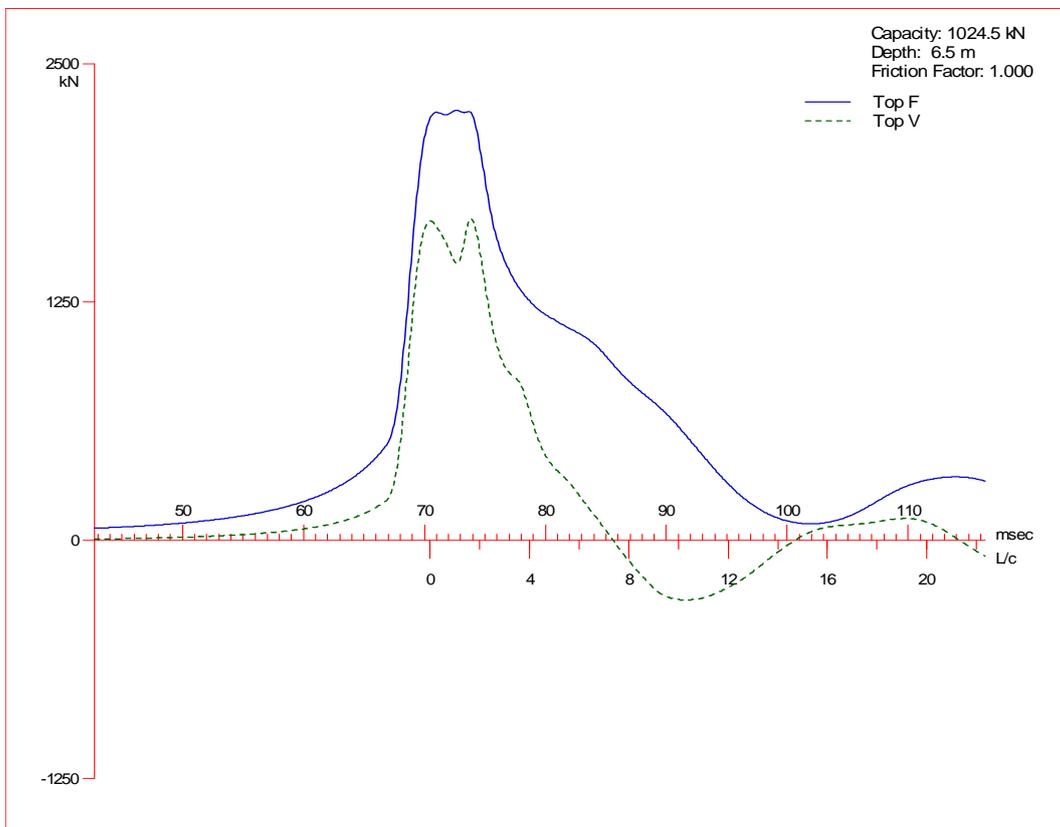
Depth m	Ultimate Capacity kN	Friction kN	End Bearing kN	Blow Count blows/m	Comp. Stress MPa	Tension Stress MPa	Stroke m	ENTHRU kJ
0.5	26.8	12.0	14.8	0.0	0.000	0.000	3.48	0.0
1.0	42.0	24.0	18.0	-1.0	0.000	0.000	0.00	0.0
1.7	60.1	40.8	19.3	-1.0	0.000	0.000	0.00	0.0
1.7	55.5	41.0	14.4	-1.0	0.000	0.000	0.00	0.0
2.5	77.7	60.0	17.7	-1.0	0.000	0.000	0.00	0.0
3.0	91.8	72.0	19.8	-1.0	0.000	0.000	0.00	0.0
3.5	104.5	84.0	20.5	-1.0	0.000	0.000	0.00	0.0
4.0	117.1	96.0	21.1	-1.0	0.000	0.000	0.00	0.0
4.5	129.6	108.0	21.6	-1.0	0.000	0.000	0.00	0.0
5.0	142.0	120.0	22.0	-1.0	0.000	0.000	0.00	0.0
5.0	573.4	121.5	451.9	22.9	22.385	-0.084	1.64	51.7
5.5	738.1	195.0	543.1	31.6	23.367	0.000	1.78	47.3
6.0	906.3	270.0	636.3	41.2	24.487	0.000	1.94	44.1
6.5	1024.5	345.0	679.5	49.2	25.740	0.000	2.03	41.6

Total Continuous Driving Time 1.00 minutes; Total Number of Blows 54

**Resultados GRL-Weap - Propagación de ondas**

**Sección:** 30x30

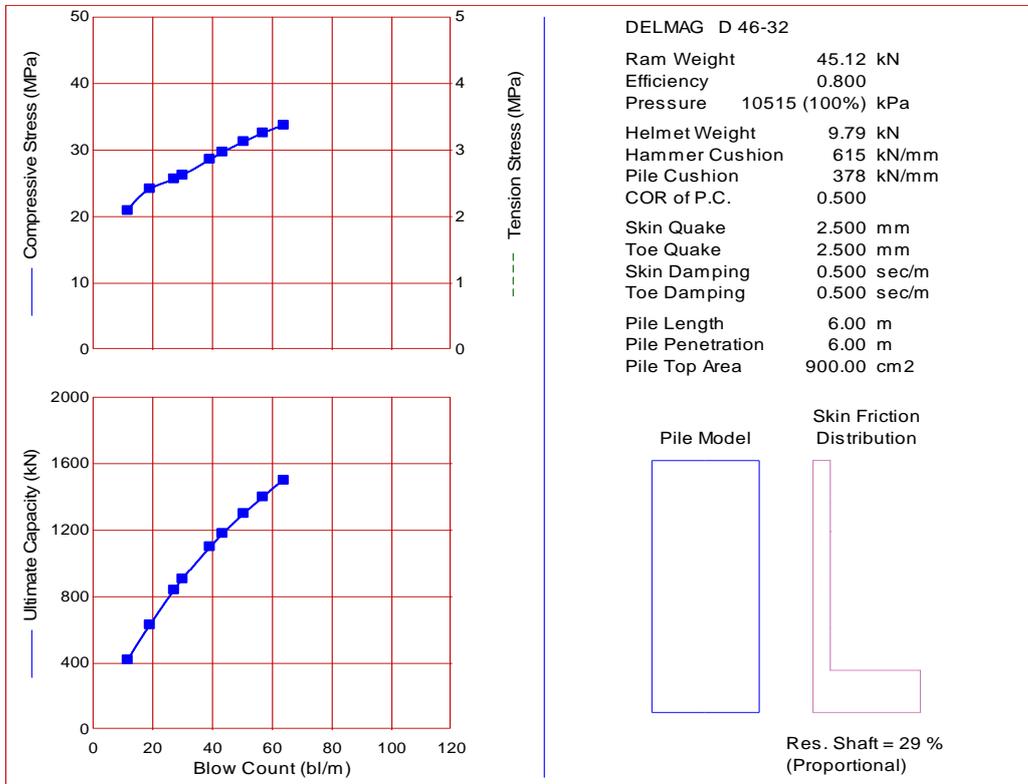
**Martillo:** D 36-32



**Resultados GRL-Weap - Capacidad de Carga**

**Sección:** 30x30

**Martillo:** D 46-32

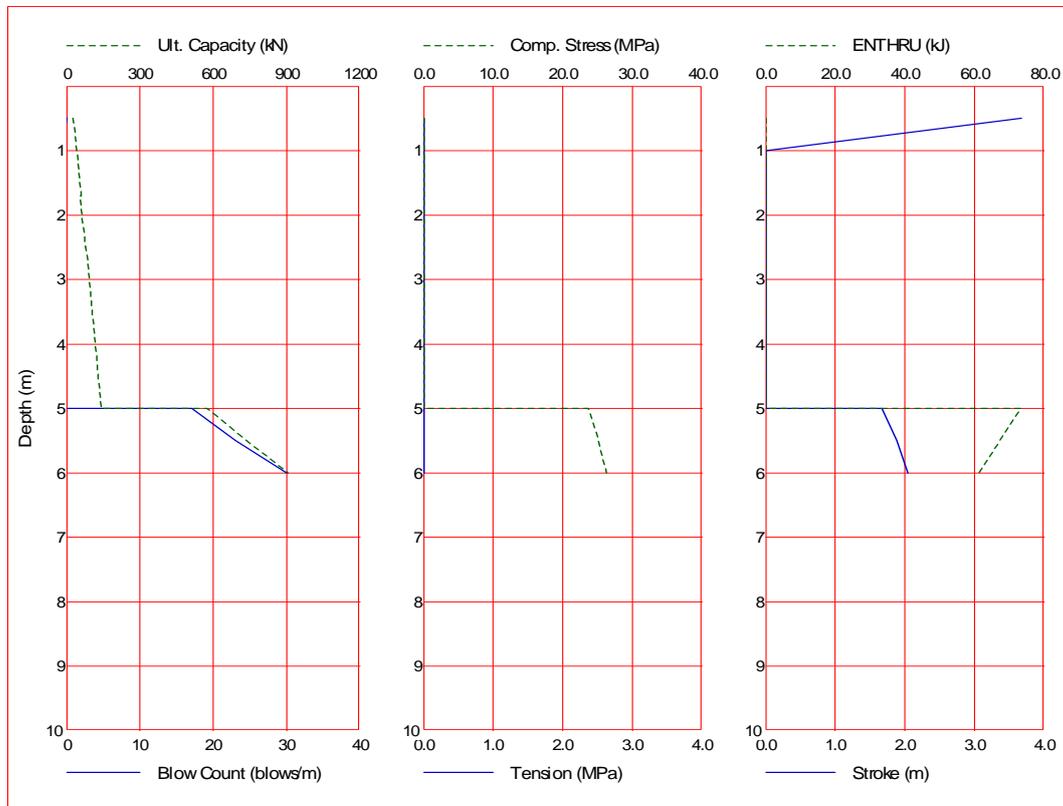


Ultimate Capacity kN	Maximum Compression Stress MPa	Maximum Tension Stress MPa	Blow Count bl/m	Stroke m	Energy kN-m
420.0	20.90	0.00	11.7	1.48	80.50
630.0	24.18	0.00	19.1	1.74	70.06
840.0	25.65	0.00	27.2	1.98	63.42
906.0	26.22	0.00	30.0	2.04	61.39
1100.0	28.61	0.00	39.2	2.23	55.96
1180.0	29.71	0.00	43.4	2.30	54.07
1300.0	31.28	0.00	50.4	2.42	51.30
1400.0	32.57	0.00	56.9	2.51	49.24
1500.0	33.73	0.00	63.9	2.59	47.08

**Resultados GRL-Weap - Hincabilidad**

**Sección:** 30x30

**Martillo:** D 46-32



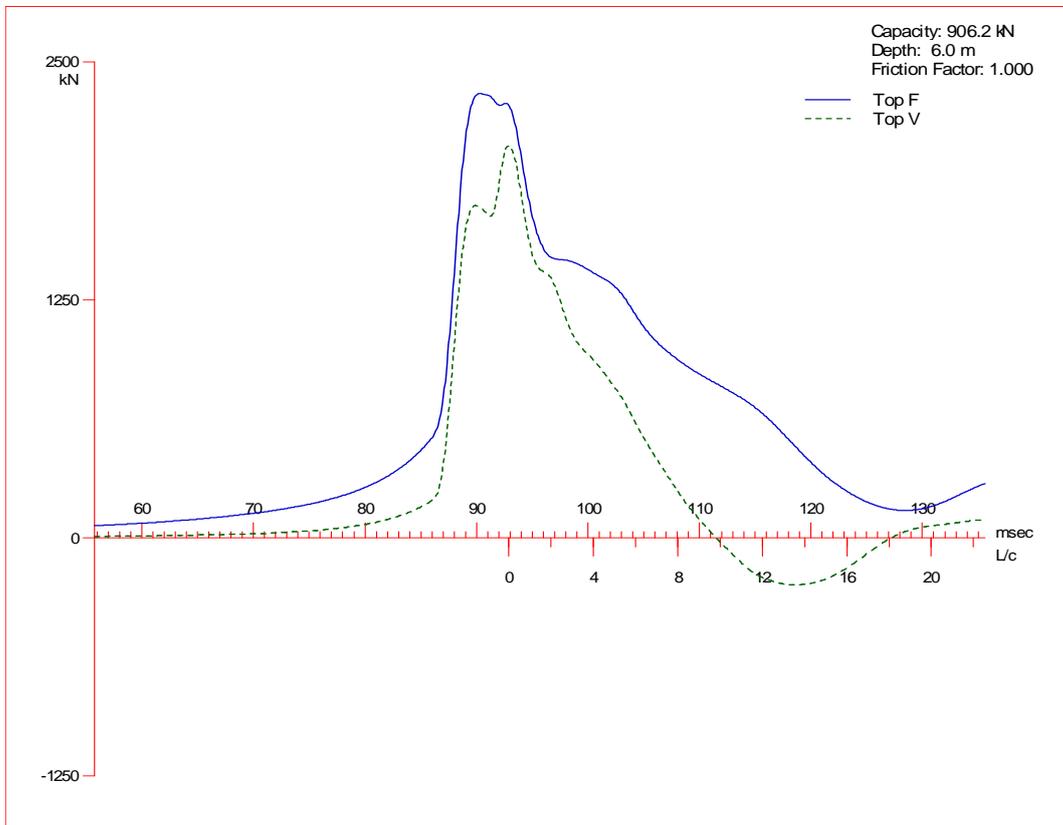
Depth m	Ultimate Capacity kN	Friction kN	End Bearing kN	Blow Count blows/m	Comp. Stress MPa	Tension Stress MPa	Stroke m	ENTHRU kJ
0.5	26.8	12.0	14.8	0.0	0.000	0.000	3.67	0.0
1.0	42.0	24.0	18.0	-1.0	0.000	0.000	0.00	0.0
1.7	60.1	40.8	19.4	-1.0	0.000	0.000	0.00	0.0
1.7	55.5	41.0	14.4	-1.0	0.000	0.000	0.00	0.0
2.0	63.6	48.0	15.6	-1.0	0.000	0.000	0.00	0.0
2.5	77.7	60.0	17.7	-1.0	0.000	0.000	0.00	0.0
3.0	91.8	72.0	19.8	-1.0	0.000	0.000	0.00	0.0
3.5	104.5	84.0	20.5	-1.0	0.000	0.000	0.00	0.0
4.0	117.1	96.0	21.1	-1.0	0.000	0.000	0.00	0.0
4.5	129.6	108.0	21.6	-1.0	0.000	0.000	0.00	0.0
5.0	142.0	120.0	22.0	-1.0	0.000	0.000	0.00	0.0
5.0	573.4	121.5	451.9	17.1	23.610	0.000	1.67	73.2
5.5	738.1	195.0	543.1	23.0	25.097	0.000	1.88	67.2
6.0	906.2	270.0	636.2	30.0	26.247	0.000	2.04	61.3

Total Continuous Driving Time 0.00 minutes; Total Number of Blows 23

**Resultados GRL-Weap - Propagación de ondas**

**Sección:** 30x30

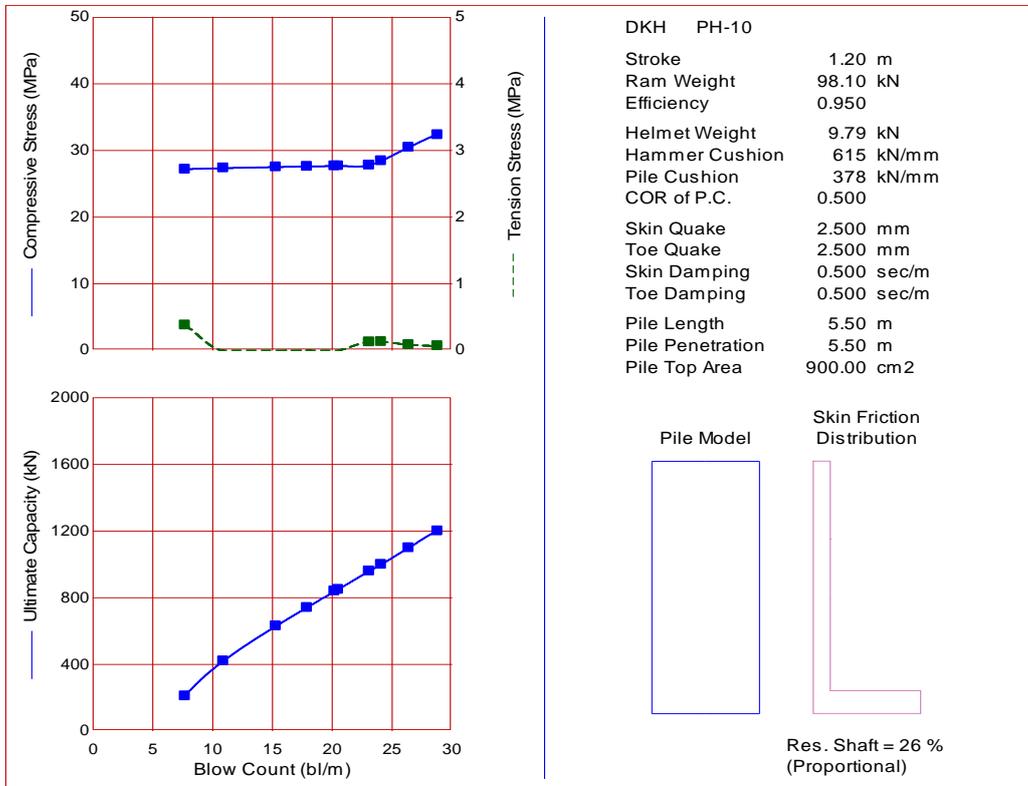
**Martillo:** D 46-32



**Resultados GRL-Weap - Capacidad de Carga**

**Sección:** 30x30

**Martillo:** DKH 10

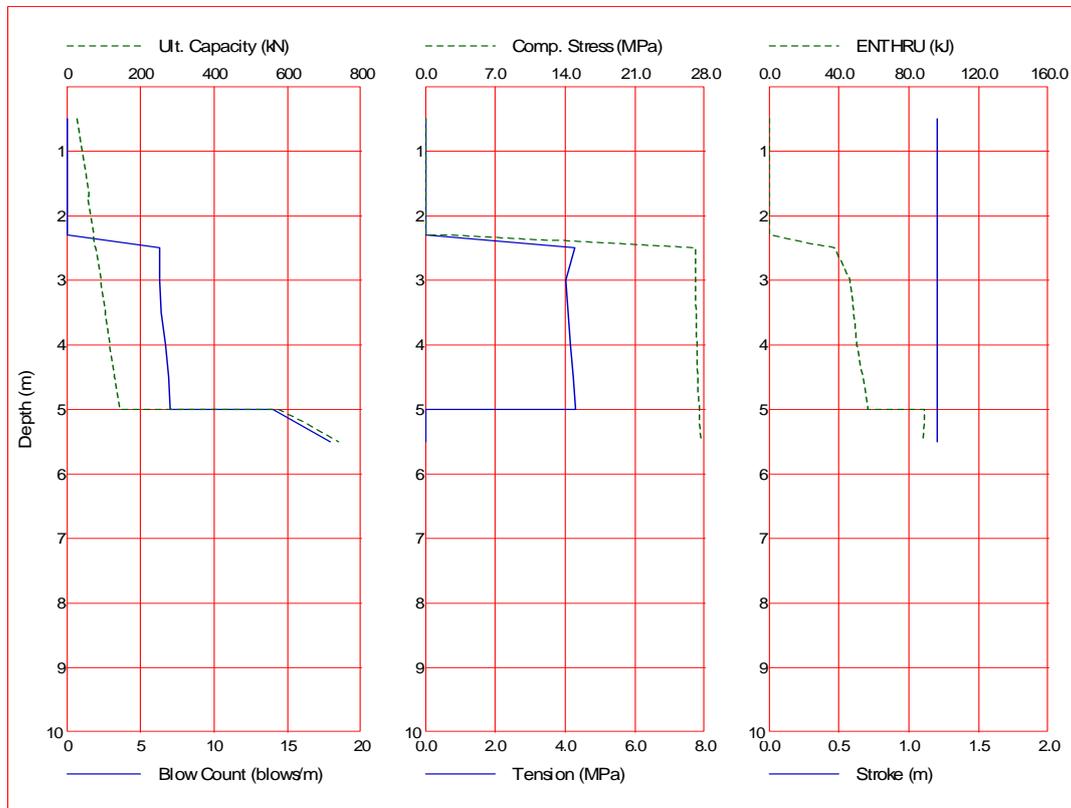


Ultimate Capacity kN	maximum Compression Stress MPa	maximum Tension Stress MPa	Blow Count bl/m	Stroke m	Energy kN-m
210.0	27.18	0.38	7.7	1.20	69.93
420.0	27.35	0.00	10.9	1.20	86.11
630.0	27.51	0.00	15.3	1.20	88.67
840.0	27.68	0.00	20.2	1.20	87.83
740.0	27.60	0.00	17.9	1.20	88.36
850.0	27.69	0.00	20.5	1.20	87.77
960.0	27.78	0.13	23.1	1.20	87.03
1000.0	28.43	0.13	24.1	1.20	86.74
1100.0	30.47	0.09	26.4	1.20	86.00
1200.0	32.36	0.07	28.8	1.20	85.15

**Resultados GRL-Weap - Hincabilidad**

**Sección:** 30x30

**Martillo:** DKH 10



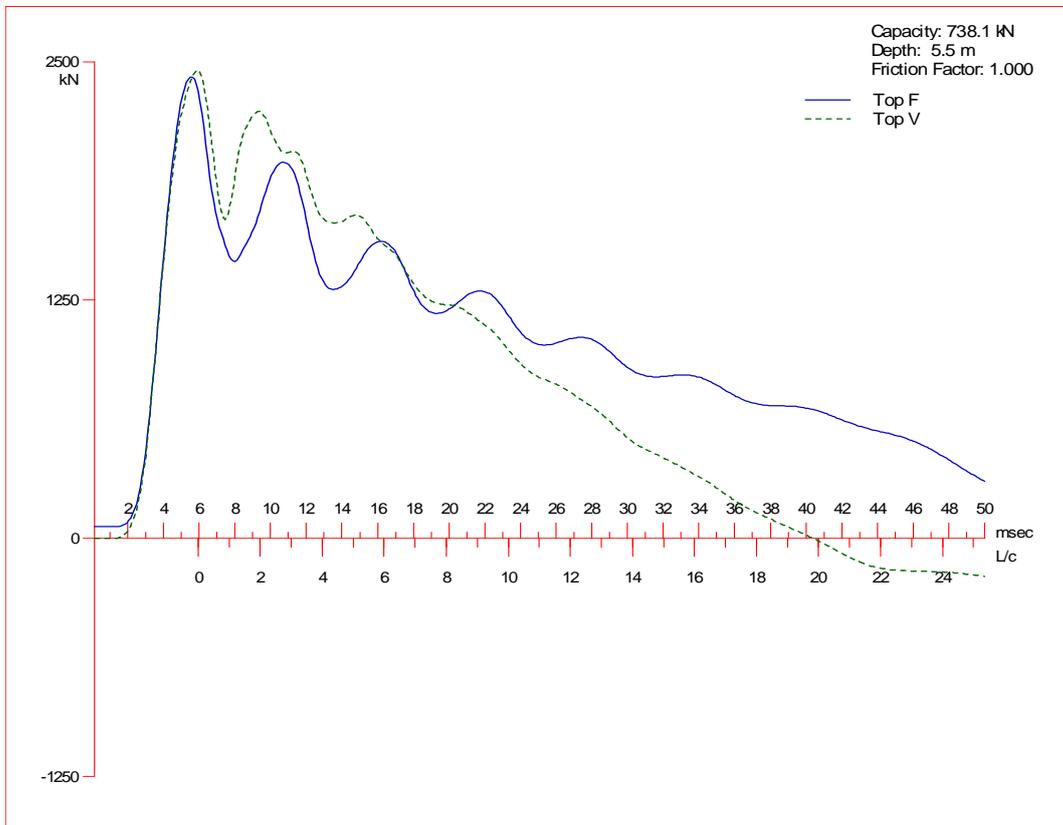
Depth m	Ultimate Capacity kN	Friction kN	End Bearing kN	Blow Count blows/m	Comp. Stress MPa	Tension Stress MPa	Stroke m	ENTHRU kJ
0.5	26.8	12.0	14.8	0.0	0.000	0.000	1.20	0.0
1.0	42.0	24.0	18.0	0.0	0.000	0.000	1.20	0.0
1.7	60.1	40.8	19.4	0.0	0.000	0.000	1.20	0.0
1.7	55.5	41.0	14.4	0.0	0.000	0.000	1.20	0.0
2.0	63.6	48.0	15.6	0.0	0.000	0.000	1.20	0.0
2.3	72.1	55.2	16.9	0.0	0.000	0.000	1.20	0.0
2.5	77.7	60.0	17.7	6.3	27.045	-4.273	1.20	37.4
3.0	91.8	72.0	19.8	6.3	27.090	-4.024	1.20	46.4
3.5	104.5	84.0	20.5	6.4	27.145	-4.075	1.20	48.5
4.0	117.1	96.0	21.1	6.7	27.219	-4.149	1.20	50.0
4.5	129.6	108.0	21.6	6.9	27.307	-4.229	1.20	53.9
5.0	142.0	120.0	22.0	7.0	27.423	-4.299	1.20	56.4
5.0	573.4	121.5	451.9	14.0	27.461	0.000	1.20	89.1
5.5	738.1	195.0	543.1	17.9	27.603	0.000	1.20	88.3

Total Number of Blows: 24  
 Driving Time (min): 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0  
 @Blow Rate (b/min): 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120  
 Driving Time for continuously running hammer; any wait times not included

**Resultados GRL-Weap - Propagación de ondas**

**Sección:** 30x30

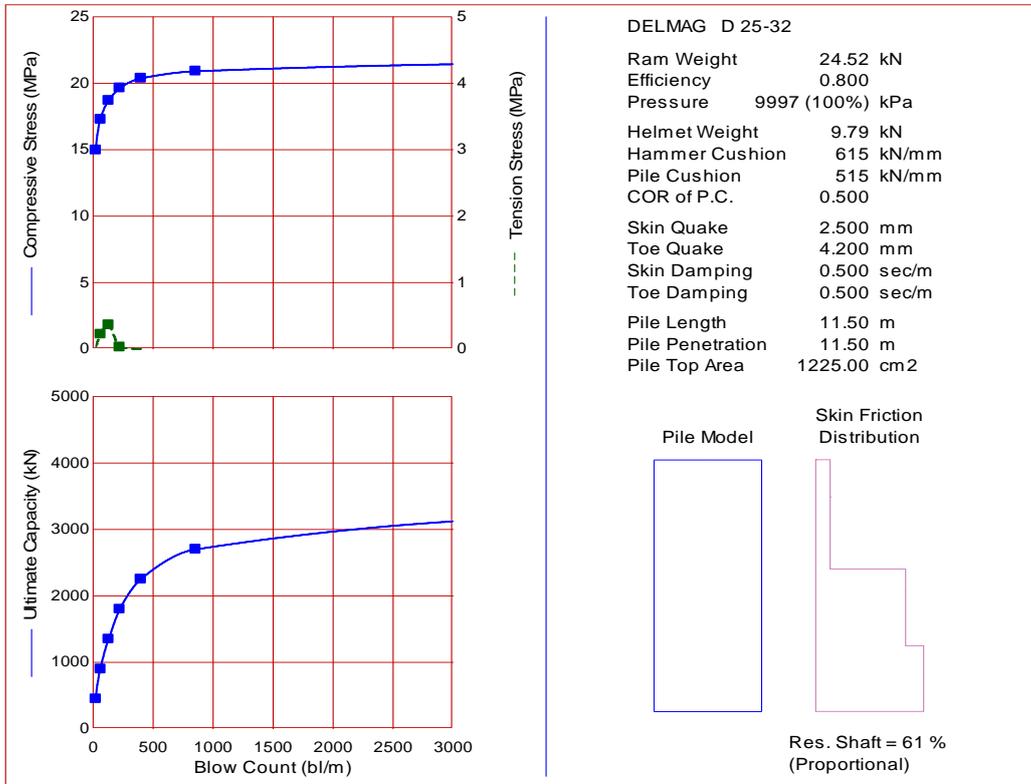
**Martillo:** DKH 10



**Resultados GRL-Weap - Capacidad de Carga**

**Sección:** 35X35

**Martillo:** D 25-32

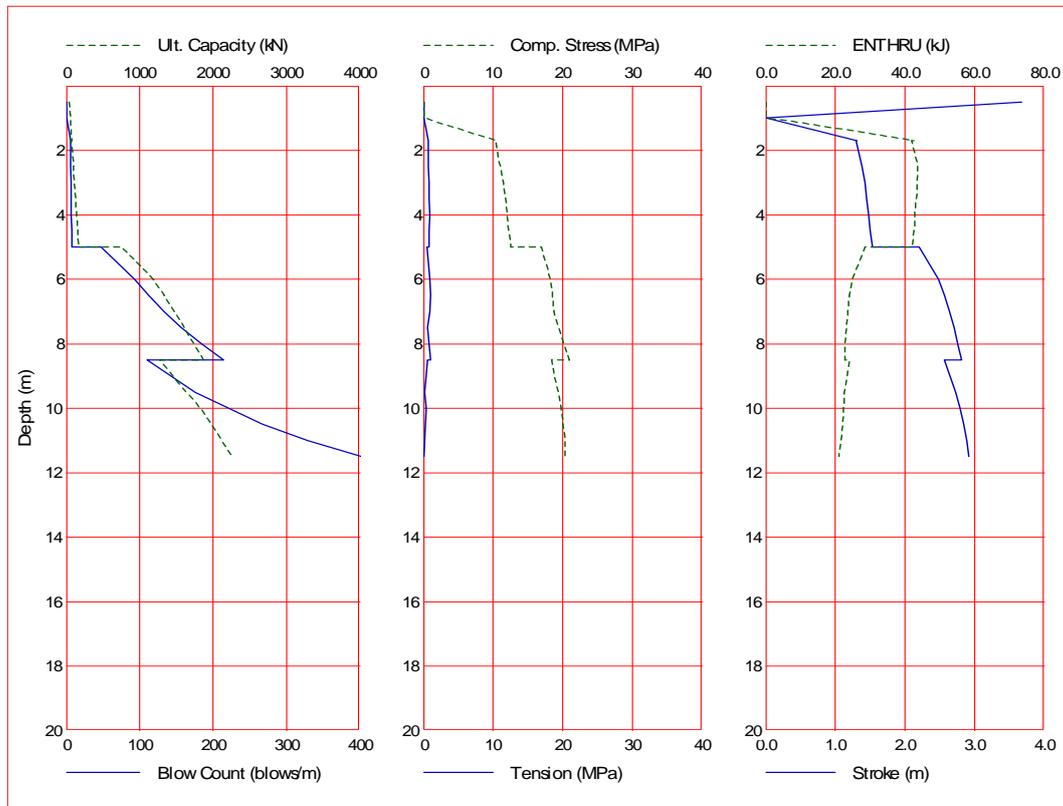


Ultimate Capacity kN	Maximum Compression Stress MPa	Maximum Tension Stress MPa	Blow Count bl/m	Stroke m	Energy kN-m
450.0	14.96	0.00	24.2	1.89	32.52
900.0	17.27	0.22	63.0	2.31	25.74
1350.0	18.69	0.36	130.0	2.60	22.64
1800.0	19.63	0.03	222.7	2.78	21.41
2250.0	20.36	0.00	399.7	2.92	21.10
2700.0	20.90	0.00	855.4	3.01	20.95
3150.0	21.47	0.00	3254.1	3.08	20.71
3600.0	22.27	0.00	9999.0	3.12	20.42

**Resultados GRL-Weap - Hincabilidad**

**Sección:** 35X35

**Martillo:** D 25-32



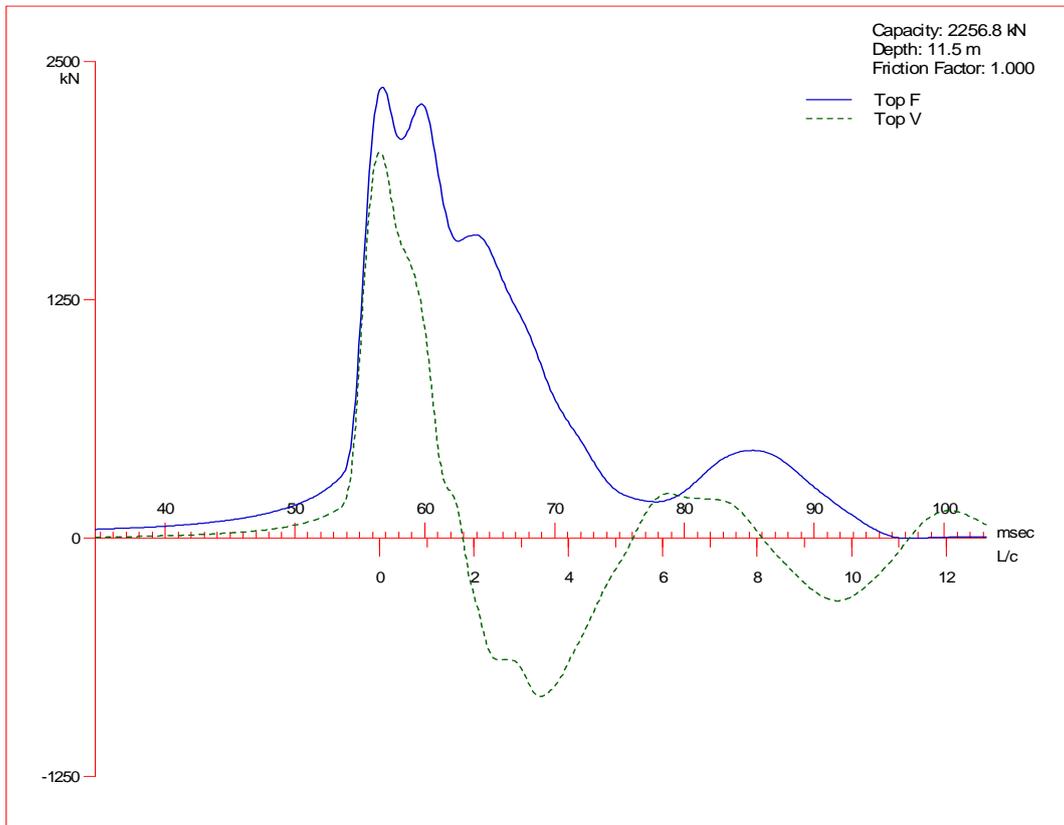
Depth m	Ultimate Capacity kN	Friction kN	End Bearing kN	Blow Count blows/m	Comp. Stress MPa	Tension Stress MPa	Stroke m	ENTHRU kJ
0.5	34.2	14.0	20.2	0.0	0.000	0.000	3.67	0.0
1.0	52.5	28.0	24.5	-1.0	0.000	0.000	0.00	0.0
1.7	73.9	47.6	26.3	5.3	10.442	-0.671	1.31	42.6
1.7	67.5	47.9	19.7	5.1	10.293	-0.689	1.30	41.9
2.5	94.1	70.0	24.1	5.7	11.006	-0.743	1.38	43.6
3.0	110.9	84.0	27.0	6.1	11.494	-0.818	1.42	43.5
3.5	125.9	98.0	27.9	6.4	11.760	-0.847	1.45	43.2
4.0	140.8	112.0	28.8	6.8	12.030	-0.857	1.48	42.8
4.5	155.4	126.0	29.4	7.2	12.266	-0.821	1.50	42.5
5.0	170.0	140.0	30.0	7.7	12.481	-0.778	1.53	42.1
5.0	756.8	141.8	615.0	47.3	16.918	-0.515	2.20	28.4
6.0	1181.1	315.0	866.1	92.4	18.187	-0.914	2.48	24.8
6.5	1327.4	402.5	924.9	111.6	18.522	-1.009	2.56	24.1
7.0	1473.7	490.0	983.7	133.1	18.762	-0.888	2.64	23.5
7.5	1606.1	577.5	1028.6	156.6	19.372	-0.603	2.70	23.1
8.0	1738.5	665.0	1073.5	184.4	20.198	-0.842	2.76	22.8
8.5	1870.9	752.5	1118.4	214.0	20.986	-1.000	2.81	22.7
8.5	1270.7	754.6	516.1	110.1	18.363	-0.571	2.56	24.0
9.5	1640.3	962.5	677.8	175.3	19.351	-0.201	2.72	22.5
10.0	1827.0	1067.5	759.5	221.3	19.805	-0.370	2.79	22.3
10.5	1973.3	1172.5	800.8	267.1	20.052	-0.247	2.84	22.0
11.0	2119.7	1277.5	842.2	328.3	20.270	-0.116	2.88	21.6
11.5	2256.8	1382.5	874.3	402.2	20.362	0.000	2.92	21.1

Total Continuous Driving Time 29.00 minutes; Total Number of Blows 1157

**Resultados GRL-Weap - Propagación de ondas**

**Sección:** 35X35

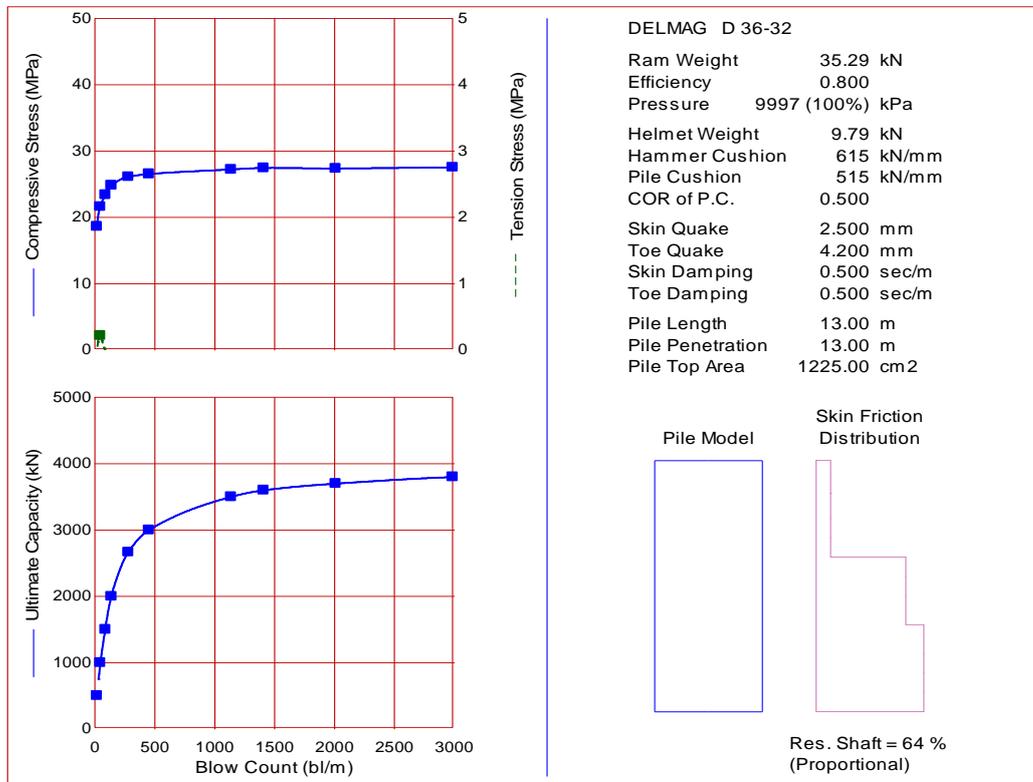
**Martillo:** D 25-32



**Resultados GRL-Weap - Capacidad de Carga**

**Sección:** 35X35

**Martillo:** D 36-32

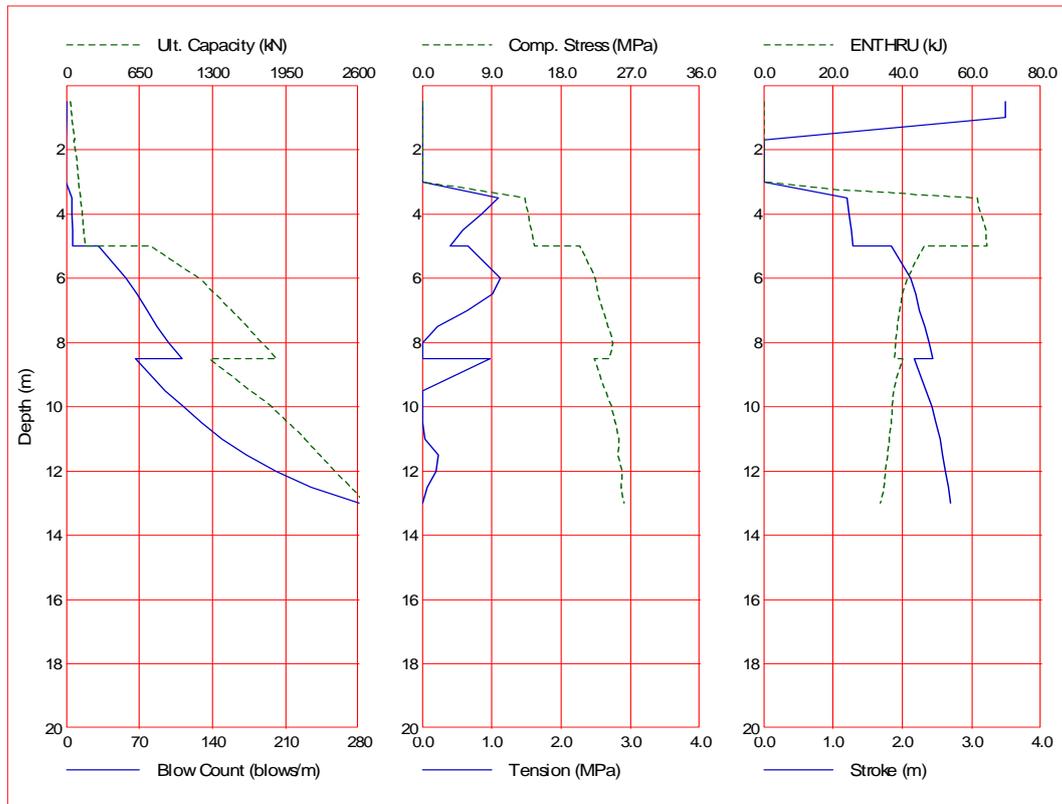


Ultimate Capacity kN	Maximum Compression Stress MPa	Maximum Tension Stress MPa	Blow Count bl/m	Stroke m	Energy kN-m
500.0	18.63	0.00	18.4	1.65	50.76
1000.0	21.63	0.22	45.8	2.03	41.31
1500.0	23.42	0.00	88.0	2.29	36.16
2000.0	24.83	0.00	139.7	2.50	34.43
2665.0	26.14	0.00	281.3	2.69	33.63
3000.0	26.55	0.00	452.3	2.76	33.12
3500.0	27.24	0.00	1138.2	2.85	32.74
3600.0	27.47	0.00	1409.6	2.86	32.82
3700.0	27.40	0.00	2010.0	2.87	32.40
3800.0	27.56	0.00	2988.6	2.89	32.40

**Resultados GRL-Weap - Hincabilidad**

**Sección:** 35X35

**Martillo:** D 36-32



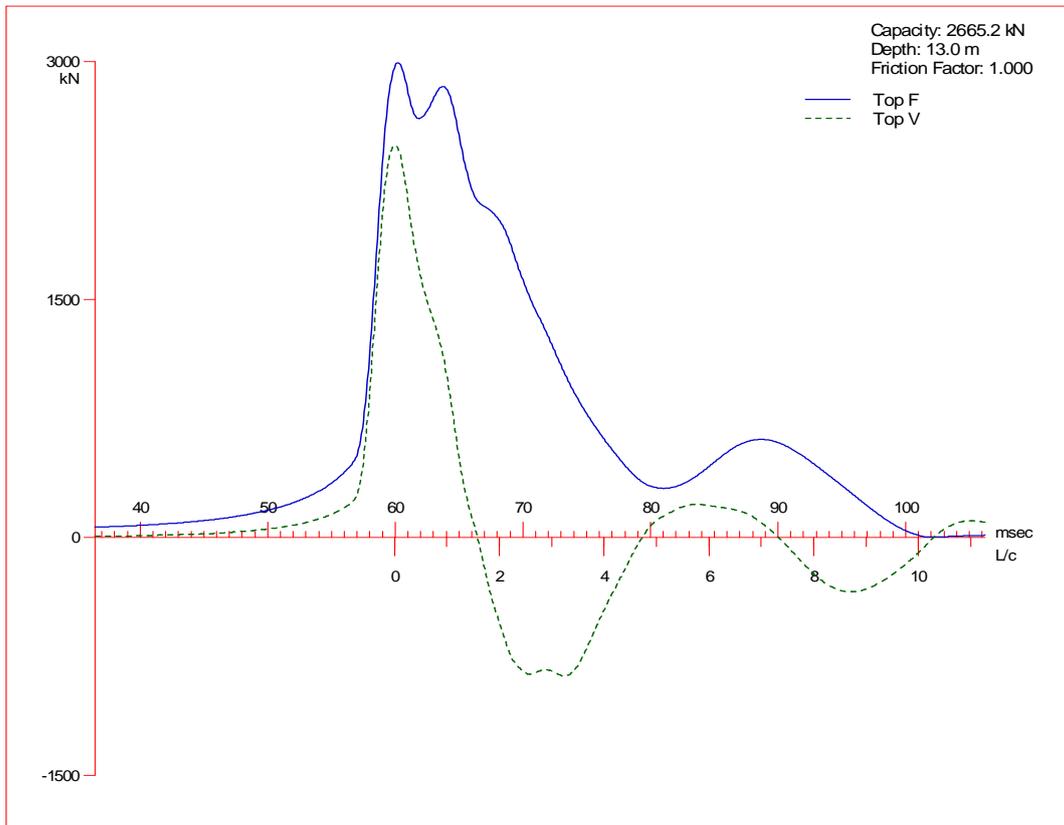
Depth m	Ultimate Capacity kN	Friction kN	End Bearing kN	Blow Count blows/m	Comp. Stress MPa	Tension Stress MPa	Stroke m	ENTHRU kJ
0.5	34.2	14.0	20.2	0.0	0.000	0.000	3.48	0.0
1.0	52.5	28.0	24.5	0.0	0.000	0.000	3.48	0.0
1.7	73.9	47.6	26.3	-1.0	0.000	0.000	0.00	0.0
1.7	67.5	47.9	19.7	-1.0	0.000	0.000	0.00	0.0
2.5	94.1	70.0	24.1	-1.0	0.000	0.000	0.00	0.0
3.0	110.9	84.0	27.0	-1.0	0.000	0.000	0.00	0.0
3.5	125.9	98.0	27.9	5.2	13.293	-1.089	1.20	61.5
4.0	140.8	112.0	28.8	5.5	13.779	-0.847	1.23	62.7
4.5	155.4	126.0	29.4	5.7	14.203	-0.581	1.26	64.0
5.0	170.0	140.0	30.0	6.0	14.553	-0.400	1.29	64.4
5.0	756.8	141.8	615.0	31.1	20.371	-0.656	1.84	46.1
6.0	1181.1	315.0	866.1	57.2	22.380	-1.122	2.12	41.4
6.5	1327.4	402.5	924.9	67.4	22.694	-1.006	2.19	40.1
7.0	1473.7	490.0	983.7	77.5	23.467	-0.646	2.25	39.2
7.5	1606.1	577.5	1028.6	87.1	24.025	-0.214	2.32	38.6
8.0	1738.5	665.0	1073.5	98.1	24.744	0.000	2.38	38.1
8.5	1870.9	752.5	1118.4	111.1	24.230	0.000	2.44	37.6
8.5	1270.7	754.6	516.1	66.3	22.346	-0.981	2.17	39.9
9.5	1640.3	962.5	677.8	94.5	23.748	0.000	2.34	37.5
10.0	1827.0	1067.5	759.5	112.2	24.527	0.000	2.43	37.1
10.5	1973.3	1172.5	800.8	129.1	24.973	0.000	2.48	36.7
11.0	2119.7	1277.5	842.2	149.3	25.455	-0.032	2.54	36.2
11.5	2256.8	1382.5	874.3	172.7	25.399	-0.227	2.58	35.7
12.0	2394.0	1487.5	906.5	200.9	25.843	-0.195	2.62	35.1
12.5	2529.6	1592.5	937.1	234.5	25.771	-0.072	2.66	34.6
13.0	2665.2	1697.5	967.7	280.2	26.183	0.000	2.69	33.7

Total Continuous Driving Time 22.00 minutes; Total Number of Blows 935

**Resultados GRL-Weap - Propagación de ondas**

**Sección:** 35X35

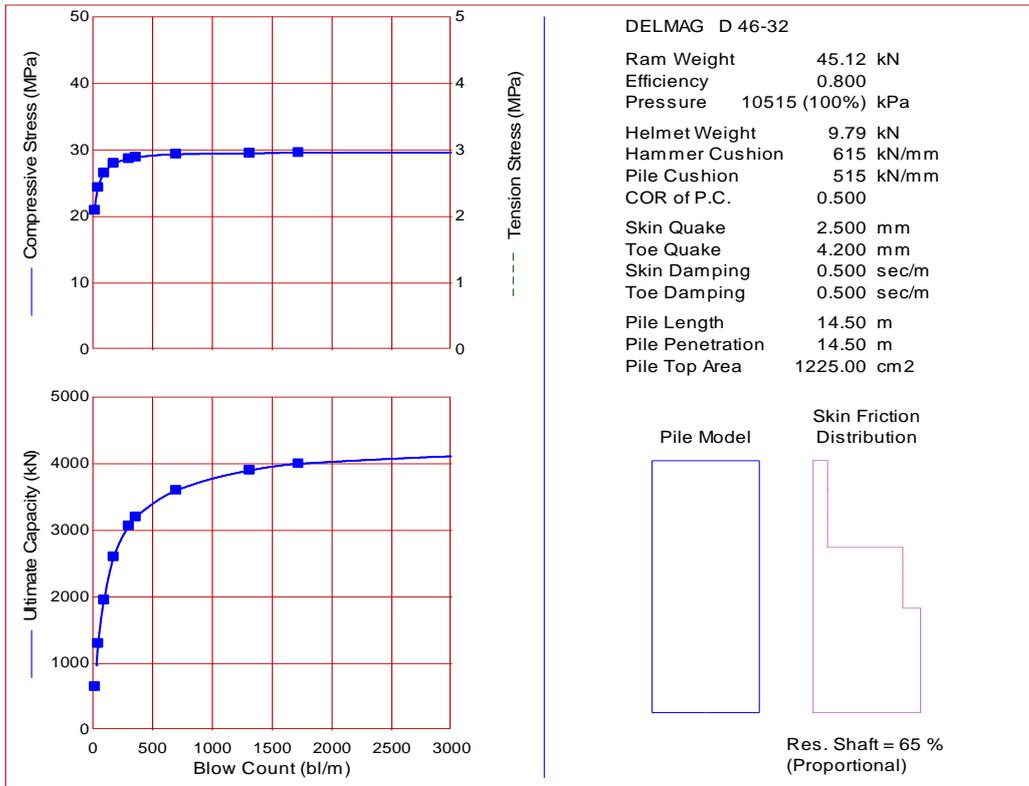
**Martillo:** D 36-32



**Resultados GRL-Weap - Capacidad de Carga**

**Sección:** 35X35

**Martillo:** D 46-32

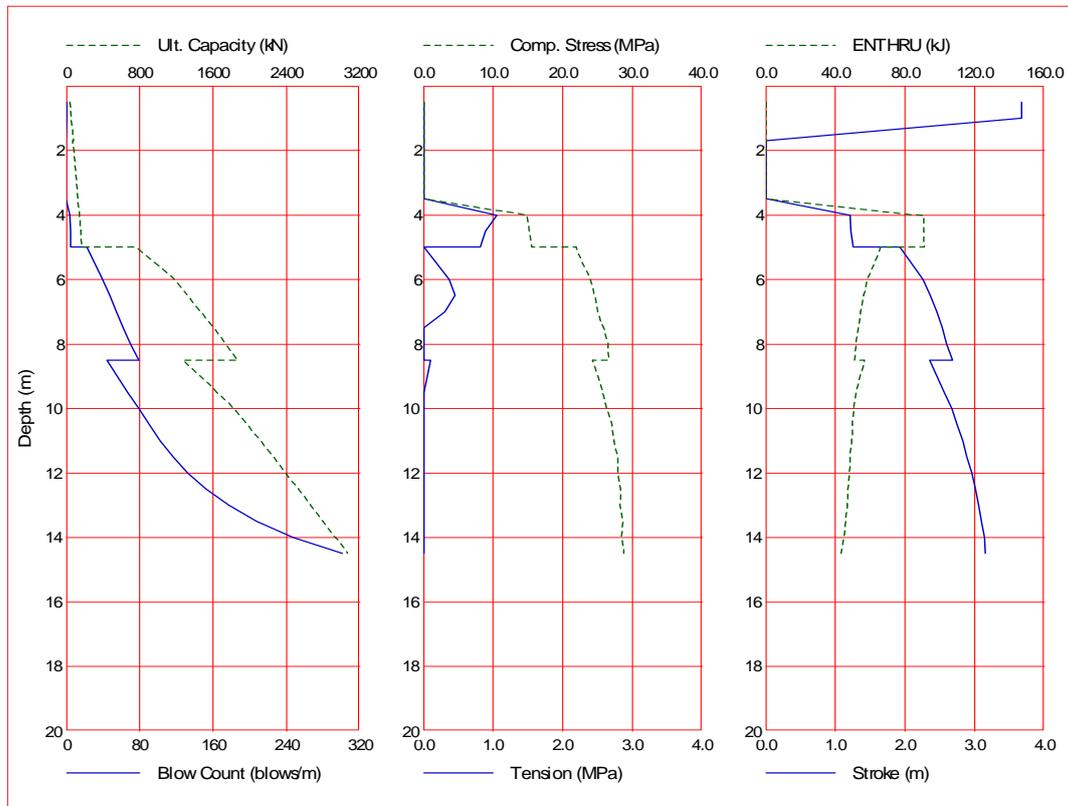


Ultimate Capacity kN	Maximum Compression Stress MPa	Maximum Tension Stress MPa	Blow Count bl/m	Stroke m	Energy kN-m
650.0	20.91	0.00	18.6	1.83	66.98
1300.0	24.36	0.00	47.1	2.37	53.75
1950.0	26.53	0.00	95.4	2.76	46.29
2600.0	27.97	0.00	176.1	3.03	44.51
3065.0	28.67	0.00	302.6	3.16	43.42
3200.0	28.90	0.00	361.3	3.18	43.21
3600.0	29.36	0.00	700.2	3.24	42.37
3900.0	29.49	0.00	1312.4	3.26	41.55
4000.0	29.59	0.00	1720.6	3.27	41.41
4200.0	29.68	0.00	4471.7	3.27	40.90

**Resultados GRL-Weap - Hincabilidad**

**Sección:** 35X35

**Martillo:** D 46-32



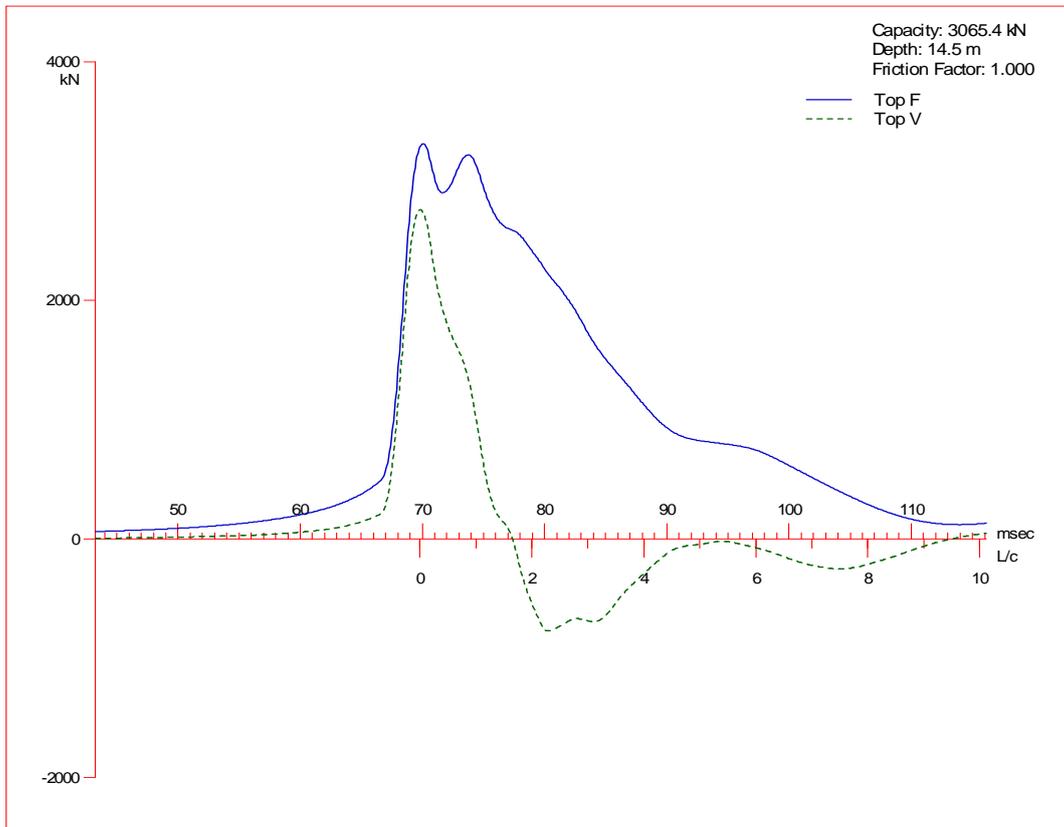
Depth m	Ultimate Capacity kN	Friction kN	End Bearing kN	Blow Count blows/m	Comp. Stress MPa	Tension Stress MPa	Stroke m	ENTHRU kJ
0.5	34.2	14.0	20.2	0.0	0.000	0.000	3.67	0.0
1.0	52.5	28.0	24.5	0.0	0.000	0.000	3.67	0.0
1.7	73.9	47.6	26.3	-1.0	0.000	0.000	0.00	0.0
1.7	67.5	47.9	19.7	-1.0	0.000	0.000	0.00	0.0
2.5	94.1	70.0	24.1	-1.0	0.000	0.000	0.00	0.0
3.0	110.9	84.0	26.9	-1.0	0.000	0.000	0.00	0.0
3.5	125.9	98.0	27.9	-1.0	0.000	0.000	0.00	0.0
4.0	140.8	112.0	28.8	3.9	14.913	-1.048	1.21	90.6
4.5	155.4	126.0	29.4	4.1	15.163	-0.895	1.22	90.5
5.0	170.0	140.0	30.0	4.3	15.518	-0.821	1.25	91.1
5.0	756.8	141.7	615.0	22.6	21.931	0.000	1.93	65.8
6.0	1181.1	315.0	866.1	39.5	23.979	-0.372	2.26	58.1
6.5	1327.4	402.5	924.9	47.0	24.569	-0.455	2.36	56.2
7.0	1473.7	490.0	983.7	55.0	25.007	-0.308	2.46	54.4
7.5	1606.1	577.5	1028.6	62.3	25.832	0.000	2.53	53.0
8.0	1738.5	665.0	1073.5	70.0	26.532	0.000	2.60	52.0
8.5	1870.9	752.5	1118.4	78.7	26.657	0.000	2.68	50.9
8.5	1270.7	754.6	516.1	44.5	24.221	-0.102	2.35	56.7
9.5	1640.3	962.5	677.8	66.9	25.756	0.000	2.56	52.0
10.0	1827.0	1067.5	759.5	79.2	26.336	0.000	2.67	50.4
10.5	1973.3	1172.5	800.8	90.0	27.012	0.000	2.75	49.5
11.0	2119.7	1277.5	842.2	102.1	27.311	0.000	2.83	49.1
11.5	2256.8	1382.5	874.3	116.0	27.897	0.000	2.89	48.5
12.0	2394.0	1487.5	906.5	132.4	27.841	0.000	2.96	48.0
12.5	2529.6	1592.5	937.1	152.4	28.277	0.000	3.01	47.3
13.0	2665.2	1697.5	967.7	177.0	28.185	0.000	3.06	46.7
13.5	2799.0	1802.5	996.5	208.0	28.692	0.000	3.10	45.9
14.0	2932.8	1907.5	1025.3	247.4	28.426	0.000	3.14	44.8
14.5	3065.4	2012.5	1052.9	301.3	28.754	0.000	3.15	43.4

Total Continuous Driving Time 25.00 minutes; Total Number of Blows 982

**Resultados GRL-Weap - Propagación de ondas**

**Sección:** 35X35

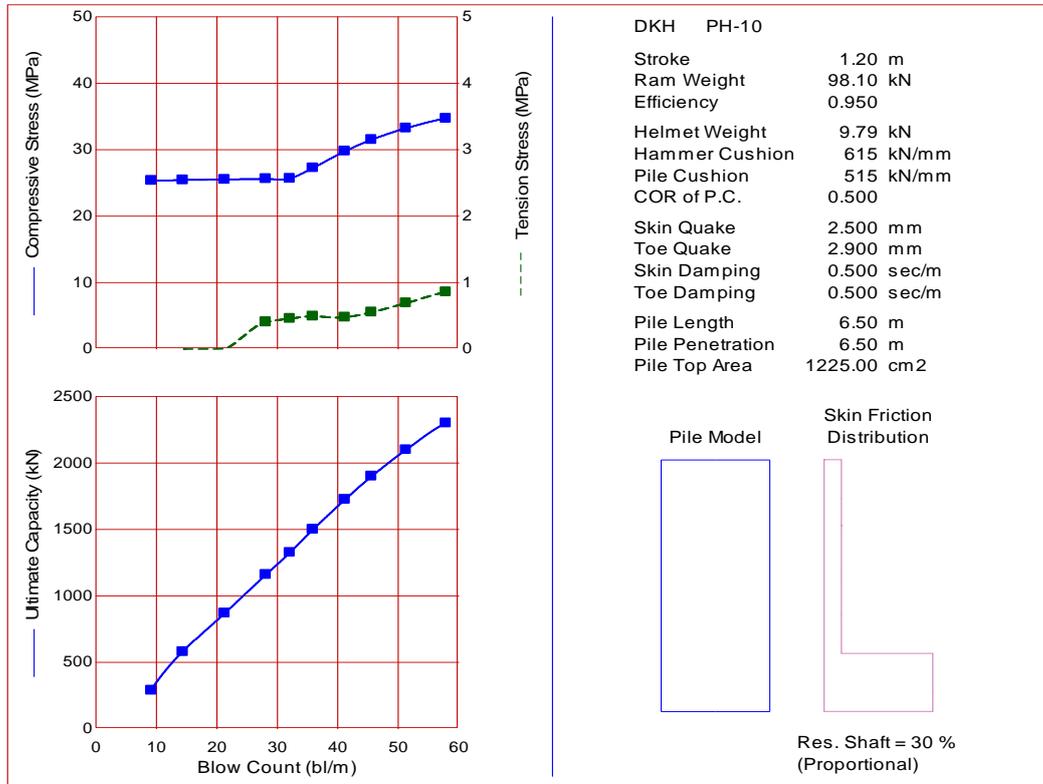
**Martillo:** D 46-32



**Resultados GRL-Weap - Capacidad de Carga**

**Sección:** 35X35

**Martillo:** DKH 10

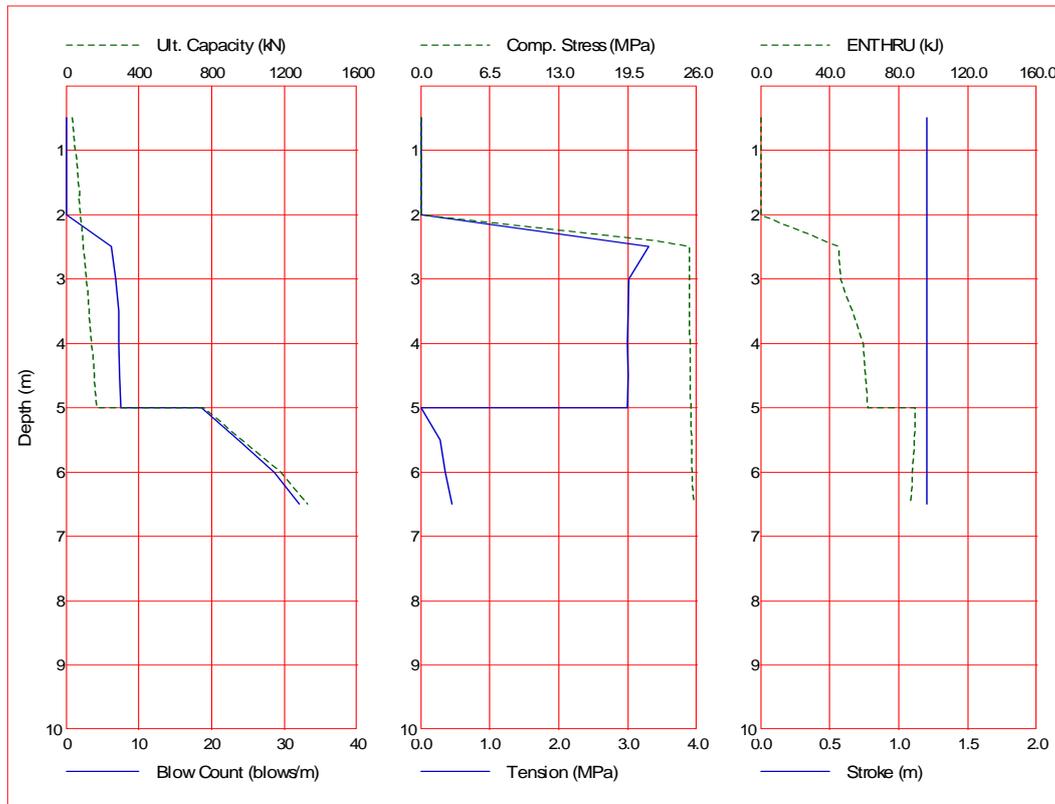


Ultimate Capacity kN	Maximum Compression Stress MPa	Maximum Tension Stress MPa	Blow Count bl/m	Stroke m	Energy kN-m
290.0	25.34	0.00	9.2	1.20	77.87
580.0	25.43	0.00	14.4	1.20	88.36
870.0	25.52	0.00	21.3	1.20	88.43
1160.0	25.61	0.41	28.1	1.20	87.49
1327.0	25.67	0.46	32.1	1.20	86.82
1500.0	27.26	0.50	35.9	1.20	85.98
1725.0	29.77	0.48	41.2	1.20	84.39
1900.0	31.51	0.56	45.6	1.20	82.57
2100.0	33.24	0.69	51.3	1.20	79.96
2300.0	34.71	0.86	57.9	1.20	76.92

**Resultados GRL-Weap - Hincabilidad**

**Sección:** 35X35

**Martillo:** DKH 10



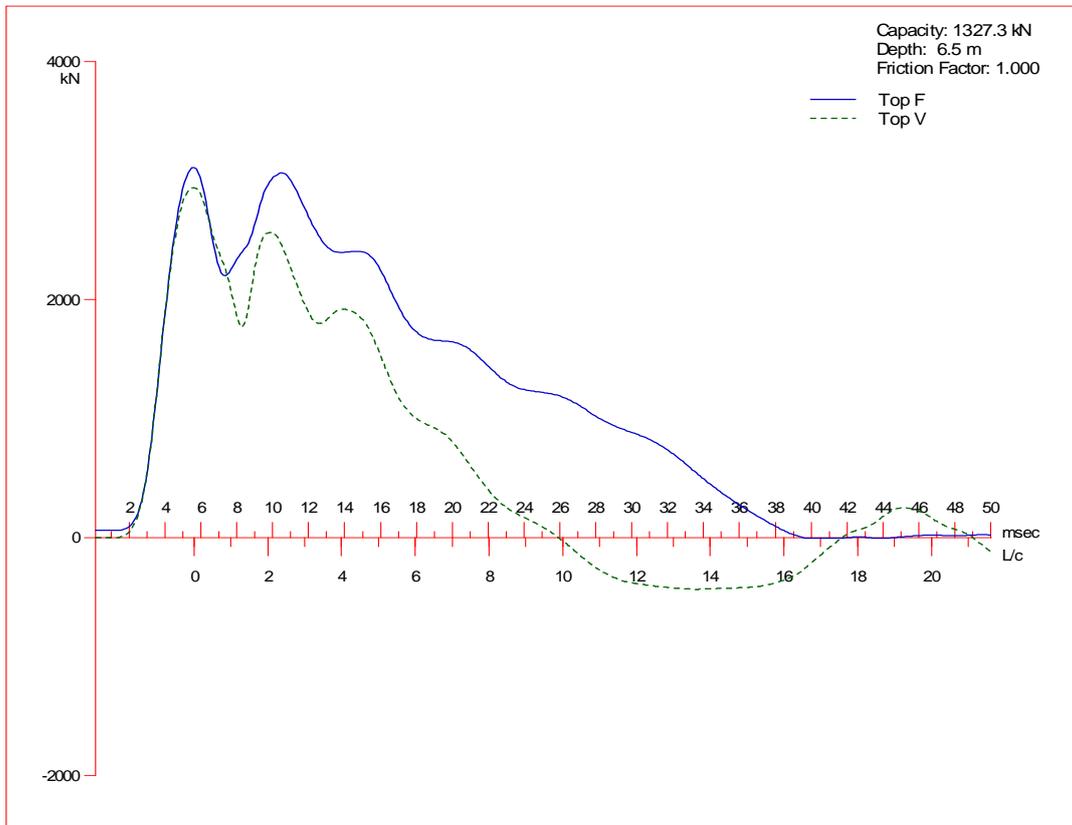
Depth m	Ultimate Capacity kN	Friction kN	End Bearing kN	Blow Count blows/m	Comp. Stress MPa	Tension Stress MPa	Stroke m	ENTHRU kJ
0.5	34.2	14.0	20.2	0.0	0.000	0.000	1.20	0.0
1.0	52.5	28.0	24.5	0.0	0.000	0.000	1.20	0.0
1.7	73.9	47.6	26.3	0.0	0.000	0.000	1.20	0.0
1.7	67.5	47.9	19.7	0.0	0.000	0.000	1.20	0.0
2.0	77.3	56.0	21.3	0.0	0.000	0.000	1.20	0.0
2.5	94.1	70.0	24.1	6.2	25.246	-3.301	1.20	45.5
3.0	110.9	84.0	26.9	6.8	25.260	-3.013	1.20	46.5
3.5	125.9	98.0	27.9	7.2	25.277	-2.999	1.20	53.3
4.0	140.8	112.0	28.8	7.2	25.307	-2.997	1.20	59.7
4.5	155.4	126.0	29.4	7.3	25.346	-2.998	1.20	60.7
5.0	170.0	140.0	30.0	7.5	25.407	-2.990	1.20	62.0
5.0	756.8	141.7	615.0	18.6	25.386	0.000	1.20	89.4
5.5	966.8	227.5	739.3	23.6	25.458	-0.283	1.20	89.1
6.0	1181.1	315.0	866.1	28.6	25.561	-0.353	1.20	87.8
6.5	1327.3	402.5	924.8	32.1	25.672	-0.456	1.20	86.8

Total Number of Blows: 59  
 Driving Time (min): 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0  
 @Blow Rate (b/min): 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120  
 Driving Time for continuously running hammer; any wait times not included

**Resultados GRL-Weap - Propagación de ondas**

**Sección:** 35X35

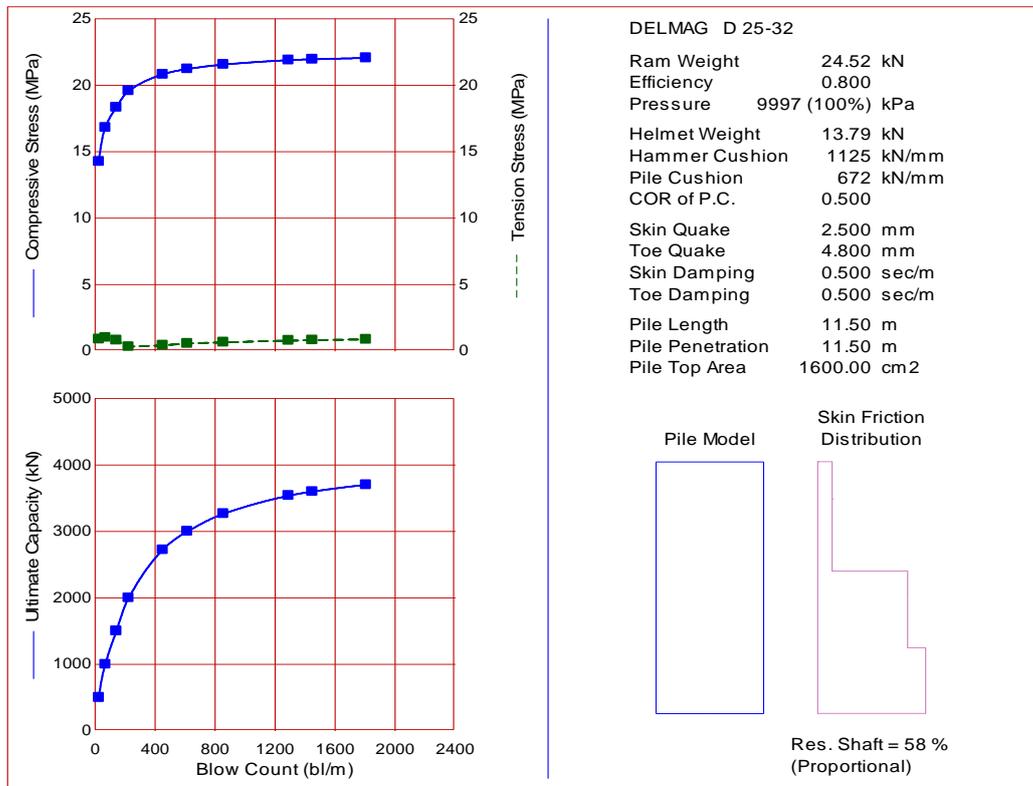
**Martillo:** DKH 10



**Resultados GRL-Weap - Capacidad de Carga**

**Sección:** 40X40

**Martillo:** D 25-32

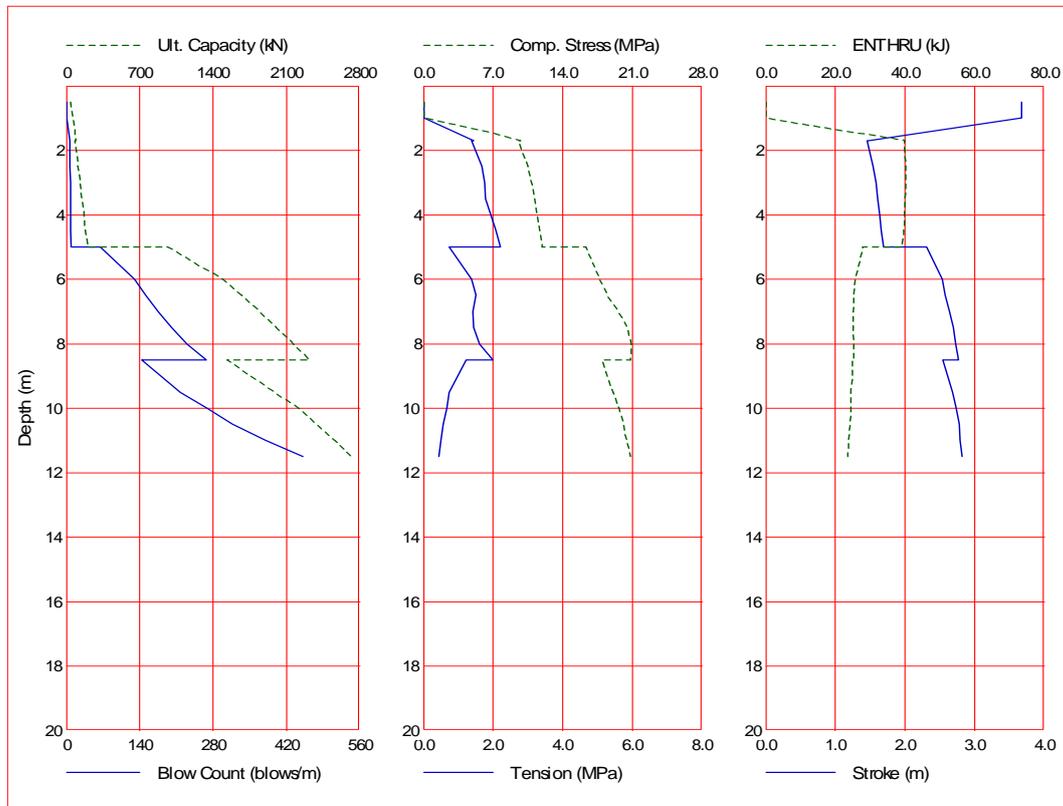


Ultimate Capacity kN	Maximum Compression Stress MPa	Maximum Tension Stress MPa	Blow Count bl/m	Stroke m	Energy kN-m
500.0	14.26	0.90	27.2	1.99	31.69
1000.0	16.81	1.02	69.6	2.34	26.76
1500.0	18.33	0.82	142.7	2.53	24.02
2000.0	19.58	0.33	224.5	2.69	23.66
2722.0	20.81	0.44	451.7	2.82	23.46
3000.0	21.22	0.56	616.3	2.86	23.40
3266.0	21.56	0.66	856.0	2.90	23.30
3538.0	21.89	0.79	1289.8	2.92	23.27
3600.0	21.95	0.83	1449.0	2.93	23.26
3700.0	22.04	0.87	1807.9	2.94	23.23

**Resultados GRL-Weap - Hincabilidad**

**Sección:** 40X40

**Martillo:** D 25-32



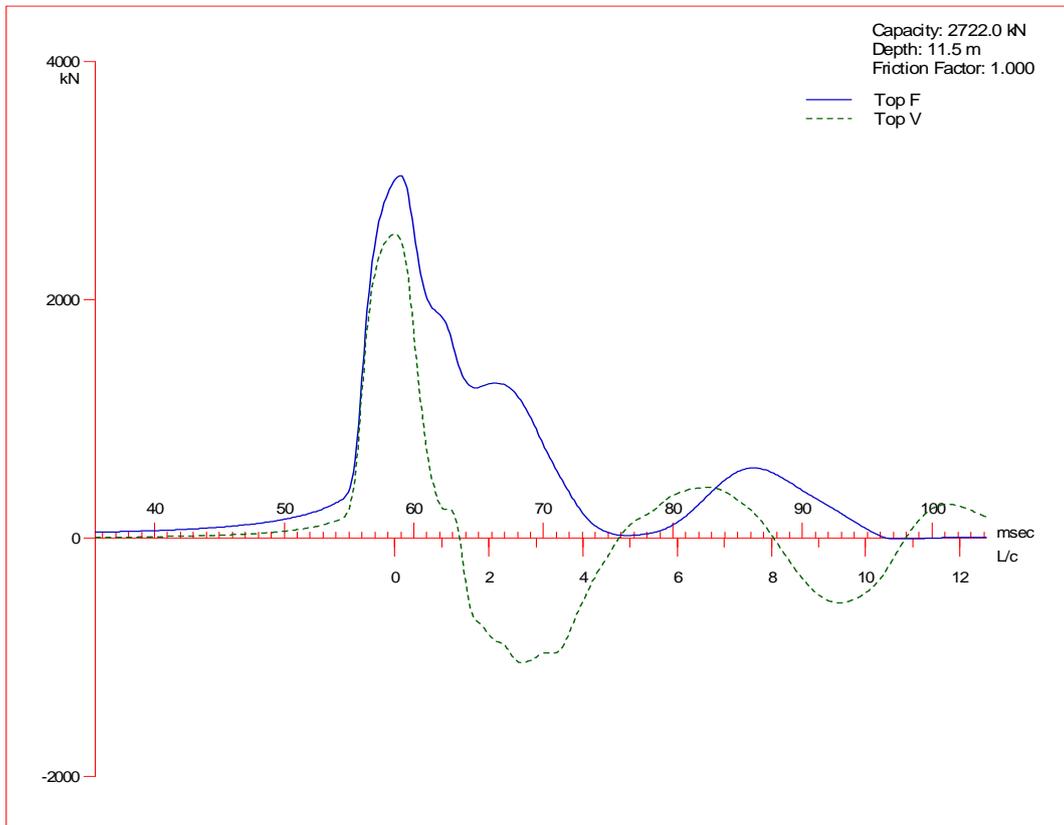
Depth m	Ultimate Capacity kN	Friction kN	End Bearing kN	Blow Count blows/m	Comp. Stress MPa	Tension Stress MPa	Stroke m	ENTHRU kJ
0.5	42.4	16.0	26.4	0.0	0.000	0.000	3.67	0.0
1.0	64.0	32.0	32.0	0.0	0.000	0.000	3.67	0.0
1.7	88.8	54.4	34.4	6.1	9.762	-1.440	1.48	40.0
1.7	80.4	54.7	25.7	5.9	9.554	-1.376	1.46	39.7
2.5	111.5	80.0	31.5	6.6	10.484	-1.678	1.54	40.3
3.0	131.2	96.0	35.2	7.1	10.901	-1.750	1.58	40.2
3.5	148.4	112.0	36.4	7.5	11.198	-1.772	1.61	40.0
4.0	165.6	128.0	37.6	8.0	11.452	-1.929	1.64	39.7
4.5	182.4	144.0	38.4	8.5	11.708	-2.072	1.66	39.5
5.0	199.2	160.0	39.2	9.0	11.926	-2.216	1.69	39.2
5.0	965.3	162.0	803.3	63.8	16.332	-0.729	2.31	27.9
6.0	1491.2	360.0	1131.2	129.2	17.770	-1.374	2.53	25.7
6.5	1668.0	460.0	1208.0	151.0	18.513	-1.512	2.58	25.3
7.0	1844.8	560.0	1284.8	174.6	19.627	-1.415	2.64	25.0
7.5	2003.5	660.0	1343.5	200.5	20.482	-1.448	2.69	25.0
8.0	2162.1	760.0	1402.1	231.0	20.852	-1.619	2.73	25.2
8.5	2320.8	860.0	1460.8	266.8	20.776	-1.984	2.77	25.2
8.5	1536.5	862.4	674.1	143.6	17.968	-1.227	2.54	24.9
9.5	1985.3	1100.0	885.3	217.0	19.111	-0.745	2.68	24.4
10.0	2212.0	1220.0	992.0	269.2	19.668	-0.674	2.74	24.4
10.5	2386.0	1340.0	1046.0	316.2	20.110	-0.575	2.78	24.3
11.0	2560.0	1460.0	1100.0	381.1	20.417	-0.509	2.79	23.8
11.5	2722.0	1580.0	1142.0	451.6	20.815	-0.438	2.82	23.5

Total Continuous Driving Time 36.00 minutes; Total Number of Blows 1429

**Resultados GRL-Weap - Propagación de ondas**

**Sección:** 40X40

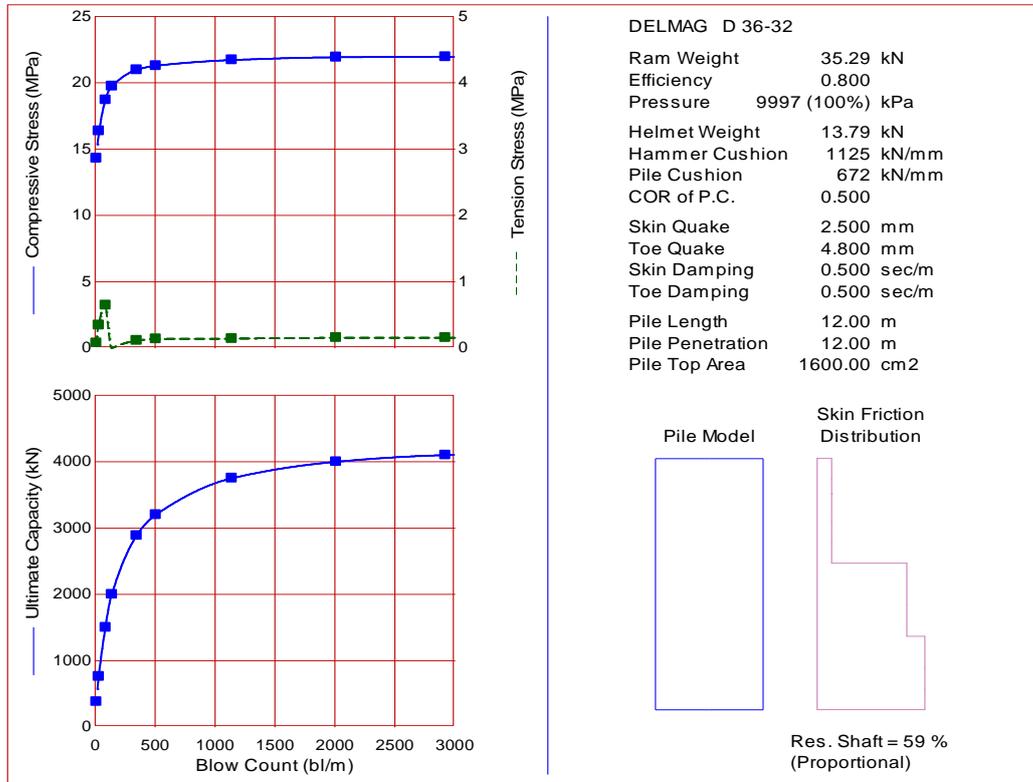
**Martillo:** D 25-32



**Resultados GRL-Weap - Capacidad de Carga**

**Sección:** 40X40

**Martillo:** D 36-32

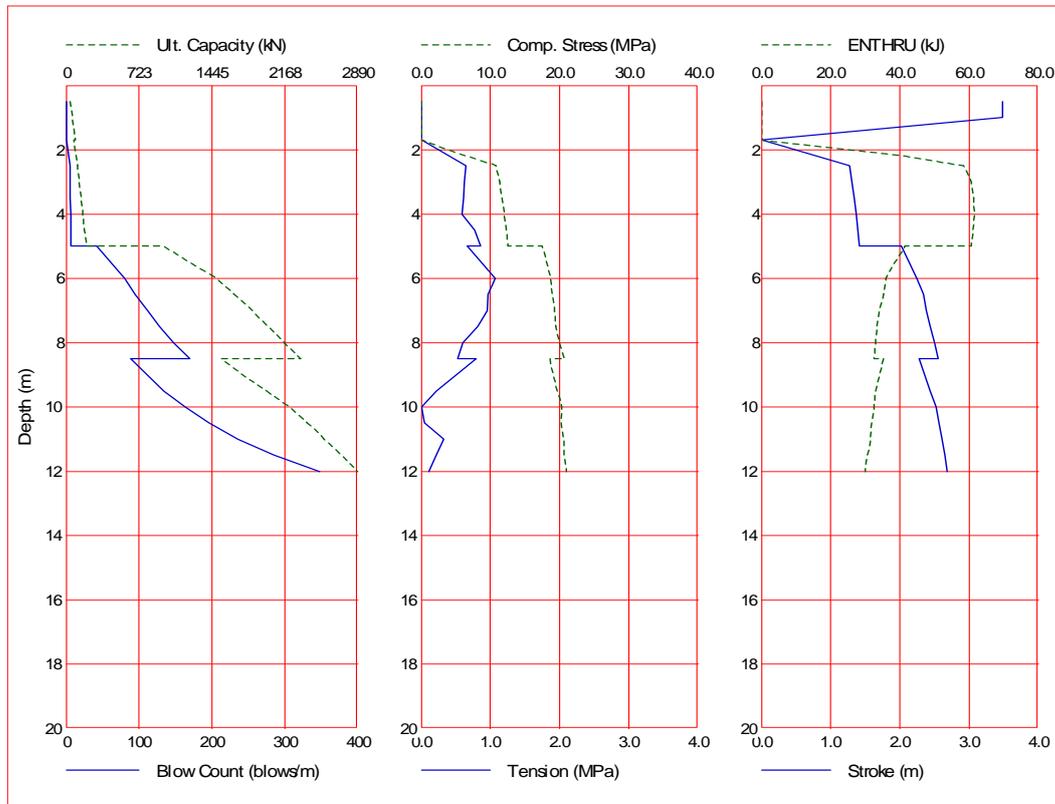


Ultimate Capacity kN	Maximum Compression Stress MPa	Maximum Tension Stress MPa	Blow Count bl/m	Stroke m	Energy kN-m
380.0	14.31	0.08	12.7	1.59	53.13
760.0	16.38	0.34	32.2	1.88	42.84
1500.0	18.72	0.65	89.2	2.26	33.96
2000.0	19.75	0.00	142.0	2.46	31.15
2885.0	20.98	0.11	348.4	2.68	29.87
3200.0	21.29	0.14	509.5	2.74	29.36
3750.0	21.72	0.14	1141.6	2.82	28.52
4000.0	21.93	0.16	2012.8	2.85	28.28
4100.0	21.97	0.16	2922.9	2.85	28.10
4200.0	21.91	0.16	6179.2	2.86	27.69

**Resultados GRL-Weap - Hincabilidad**

**Sección:** 40X40

**Martillo:** D 36-32



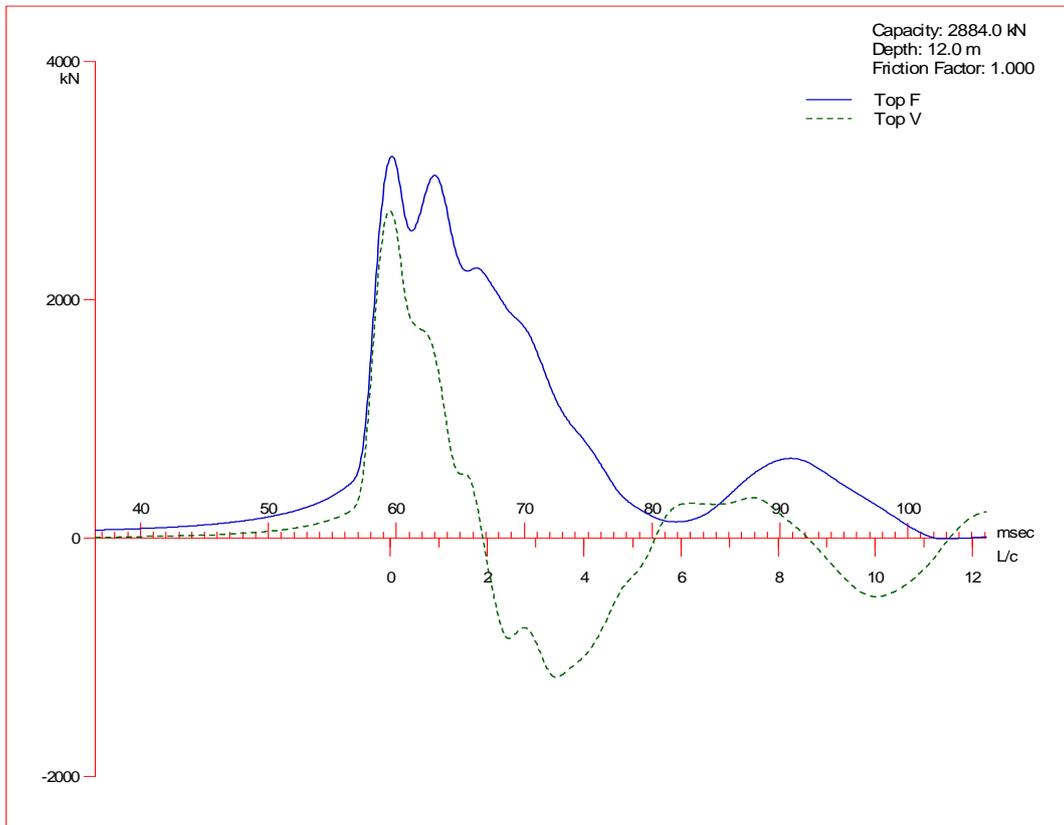
Depth m	Ultimate Capacity kN	Friction kN	End Bearing kN	Blow Count blows/m	Comp. Stress MPa	Tension Stress MPa	Stroke m	ENTHRU kJ
0.5	42.4	16.0	26.4	0.0	0.000	0.000	3.48	0.0
1.0	64.0	32.0	32.0	0.0	0.000	0.000	3.48	0.0
1.7	88.8	54.4	34.4	-1.0	0.000	0.000	0.00	0.0
1.7	80.4	54.7	25.7	-1.0	0.000	0.000	0.00	0.0
2.5	111.2	80.0	31.5	5.3	10.845	-0.649	1.27	58.4
3.0	131.2	96.0	35.2	5.6	11.406	-0.621	1.31	60.6
3.5	148.4	112.0	36.4	5.9	11.710	-0.613	1.34	61.3
4.0	165.6	128.0	37.6	6.2	12.046	-0.595	1.37	61.5
4.5	182.4	144.0	38.4	6.5	12.322	-0.769	1.39	61.2
5.0	199.2	160.0	39.2	6.8	12.505	-0.857	1.41	60.6
5.0	965.3	162.0	803.3	42.1	17.476	-0.664	2.02	41.5
6.0	1491.2	360.0	1131.2	80.5	18.720	-1.072	2.25	36.0
6.5	1668.0	460.0	1208.0	94.6	18.986	-0.964	2.34	35.2
7.0	1844.8	560.0	1284.8	111.2	19.287	-0.951	2.38	34.1
7.5	2003.5	660.0	1343.5	128.0	19.442	-0.817	2.44	33.3
8.0	2162.1	760.0	1402.1	147.2	20.003	-0.599	2.50	32.9
8.5	2320.8	860.0	1460.8	170.1	20.742	-0.531	2.55	32.6
8.5	1536.5	862.4	674.1	88.8	18.637	-0.790	2.28	35.2
9.5	1985.3	1100.0	885.3	133.9	19.704	-0.219	2.44	33.0
10.0	2212.0	1220.0	992.0	163.7	20.274	0.000	2.52	32.5
10.5	2386.0	1340.0	1046.0	195.7	20.238	-0.048	2.57	31.8
11.0	2560.0	1460.0	1100.0	235.7	20.680	-0.322	2.61	31.4
11.5	2722.0	1580.0	1142.0	284.7	20.622	-0.222	2.65	30.7
12.0	2884.0	1700.0	1184.0	348.1	20.978	-0.114	2.68	29.9

Total Continuous Driving Time 25.00 minutes; Total Number of Blows 1053

**Resultados GRL-Weap - Propagación de ondas**

**Sección:** 40X40

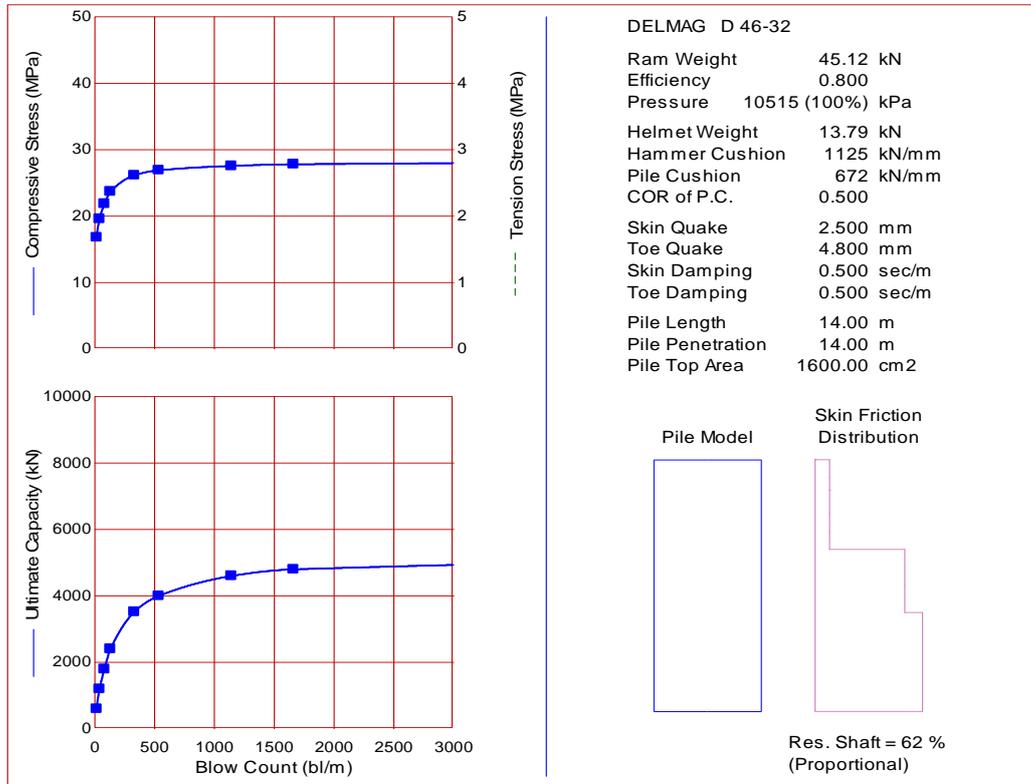
**Martillo:** D 36-32



**Resultados GRL-Weap - Capacidad de Carga**

**Sección:** 40X40

**Martillo:** D 46-32

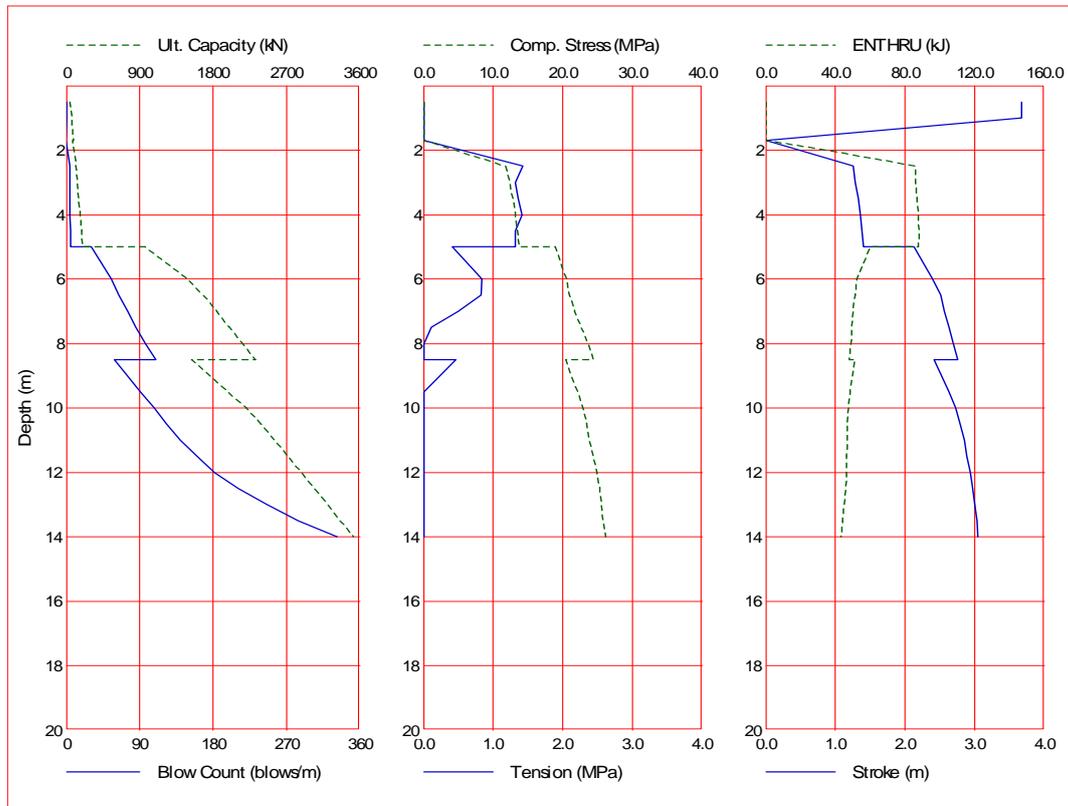


Ultimate Capacity kN	Maximum Compression Stress MPa	Maximum Tension Stress MPa	Blow Count bl/m	Stroke m	Energy kN-m
600.0	16.80	0.00	16.6	1.83	66.37
1200.0	19.59	0.00	40.9	2.27	53.81
1800.0	21.84	0.00	80.9	2.58	47.46
2400.0	23.69	0.00	131.1	2.80	43.94
3520.0	26.15	0.00	331.6	3.05	43.32
4000.0	26.91	0.00	535.2	3.12	42.84
4600.0	27.56	0.00	1143.3	3.17	42.23
4800.0	27.80	0.00	1661.9	3.18	42.12
5400.0	28.59	0.00	9999.0	3.24	42.20

**Resultados GRL-Weap - Hincabilidad**

**Sección:** 40X40

**Martillo:** D 46-32



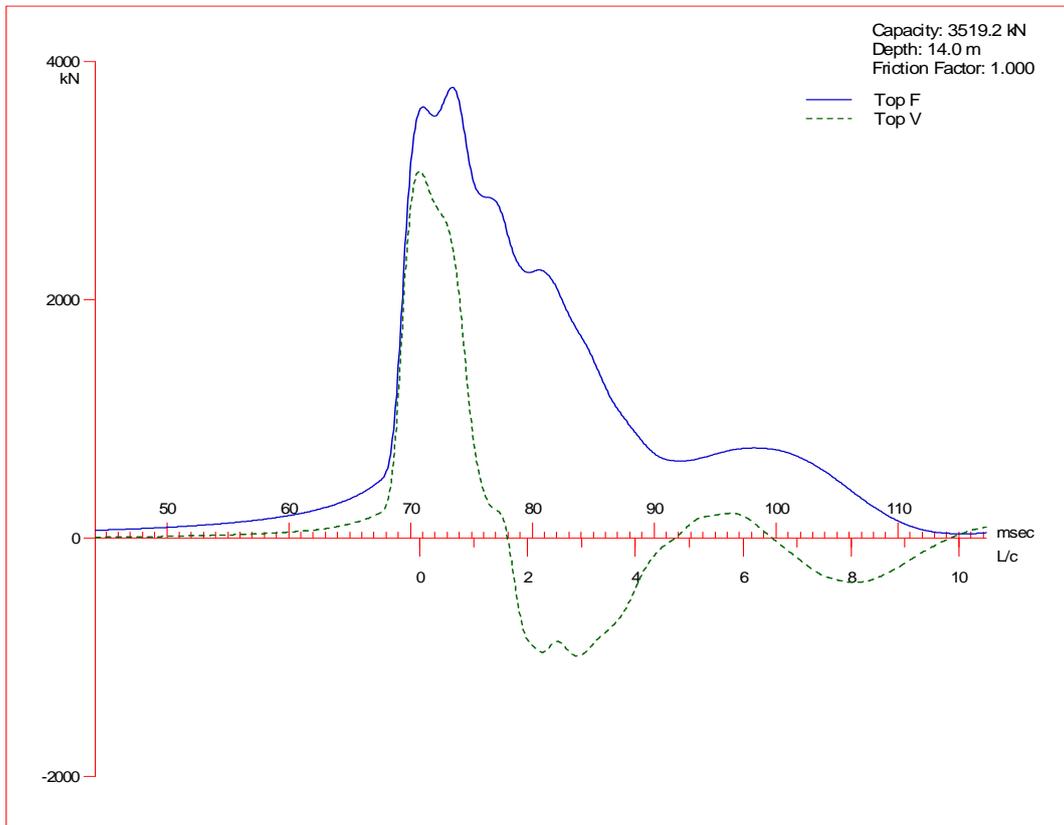
Depth m	Ultimate Capacity kN	Friction kN	End Bearing kN	Blow Count blows/m	Comp. Stress MPa	Tension Stress MPa	Stroke m	ENTHRU kJ
0.5	42.4	16.0	26.4	0.0	0.000	0.000	3.67	0.0
1.0	64.0	32.0	32.0	0.0	0.000	0.000	3.67	0.0
1.7	88.8	54.4	34.4	-1.0	0.000	0.000	0.00	0.0
1.7	80.4	54.7	25.7	-1.0	0.000	0.000	0.00	0.0
2.5	111.5	80.0	31.5	3.7	11.804	-1.427	1.25	85.8
3.0	131.2	96.0	35.2	4.0	12.403	-1.313	1.29	86.0
3.5	148.4	112.0	36.4	4.2	12.883	-1.361	1.33	87.0
4.0	165.6	128.0	37.6	4.4	13.210	-1.412	1.36	87.6
4.5	182.4	144.0	38.4	4.7	13.458	-1.320	1.38	87.9
5.0	199.2	160.0	39.2	4.9	13.718	-1.315	1.40	87.8
5.0	965.3	162.0	803.3	30.2	18.971	-0.406	2.13	59.9
6.0	1491.2	360.0	1131.2	54.8	20.516	-0.836	2.39	52.4
6.5	1668.0	460.0	1208.0	64.7	20.913	-0.823	2.51	51.5
7.0	1844.8	560.0	1284.8	75.3	21.683	-0.491	2.57	50.0
7.5	2003.5	660.0	1343.5	85.4	22.694	-0.113	2.63	49.3
8.0	2162.1	760.0	1402.1	96.7	23.630	0.000	2.69	48.7
8.5	2320.8	860.0	1460.8	110.0	24.406	0.000	2.76	47.9
8.5	1536.5	862.4	674.1	59.0	20.440	-0.464	2.42	51.3
9.5	1985.3	1100.0	885.3	90.3	22.108	0.000	2.63	48.3
10.0	2212.0	1220.0	992.0	108.4	22.854	0.000	2.72	47.5
10.5	2386.0	1340.0	1046.0	123.0	23.374	0.000	2.79	46.7
11.0	2560.0	1460.0	1100.0	140.2	23.857	0.000	2.85	46.6
11.5	2722.0	1580.0	1142.0	159.6	24.327	0.000	2.89	46.4
12.0	2884.0	1700.0	1184.0	182.1	24.893	0.000	2.94	46.2
12.5	3044.0	1820.0	1224.0	210.8	25.302	0.000	2.97	45.7
13.0	3204.0	1940.0	1264.0	245.8	25.579	0.000	3.00	45.1
13.5	3361.6	2060.0	1301.6	285.0	25.806	0.000	3.03	44.2
14.0	3519.2	2180.0	1339.2	331.8	26.134	0.000	3.05	43.3

Total Continuous Driving Time 30.00 minutes; Total Number of Blows 1164

**Resultados GRL-Weap - Propagación de ondas**

**Sección:** 40X40

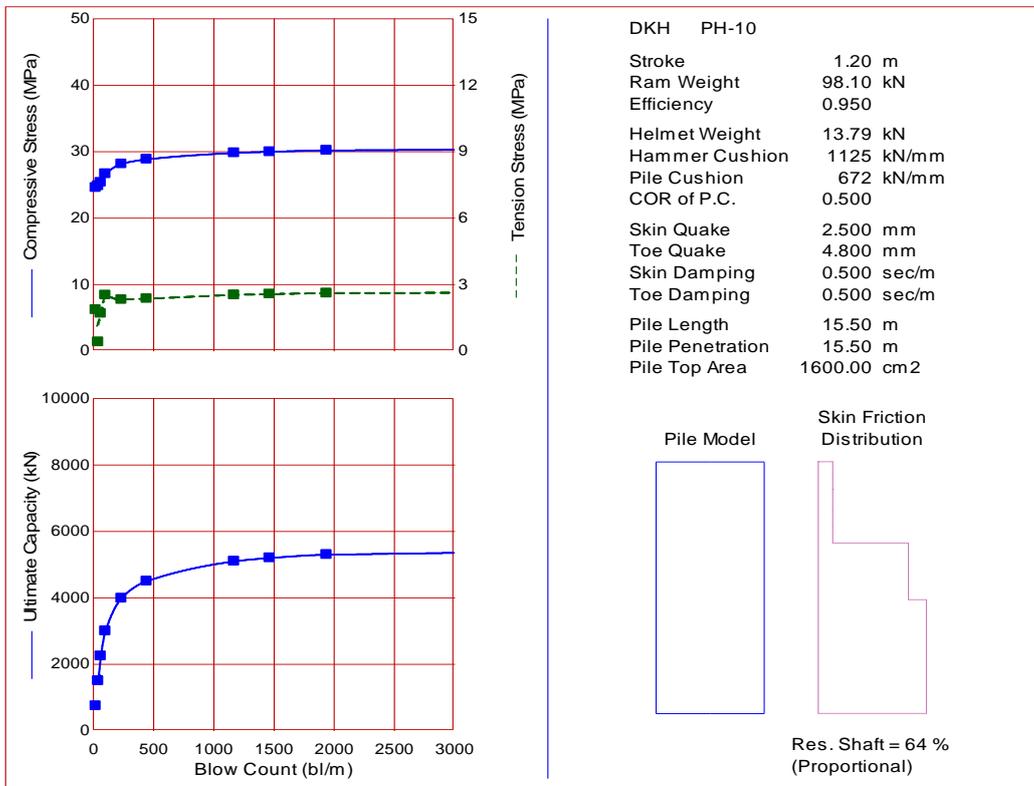
**Martillo:** D 46-32



**Resultados GRL-Weap - Capacidad de Carga**

**Sección:** 40X40

**Martillo:** DKH 10

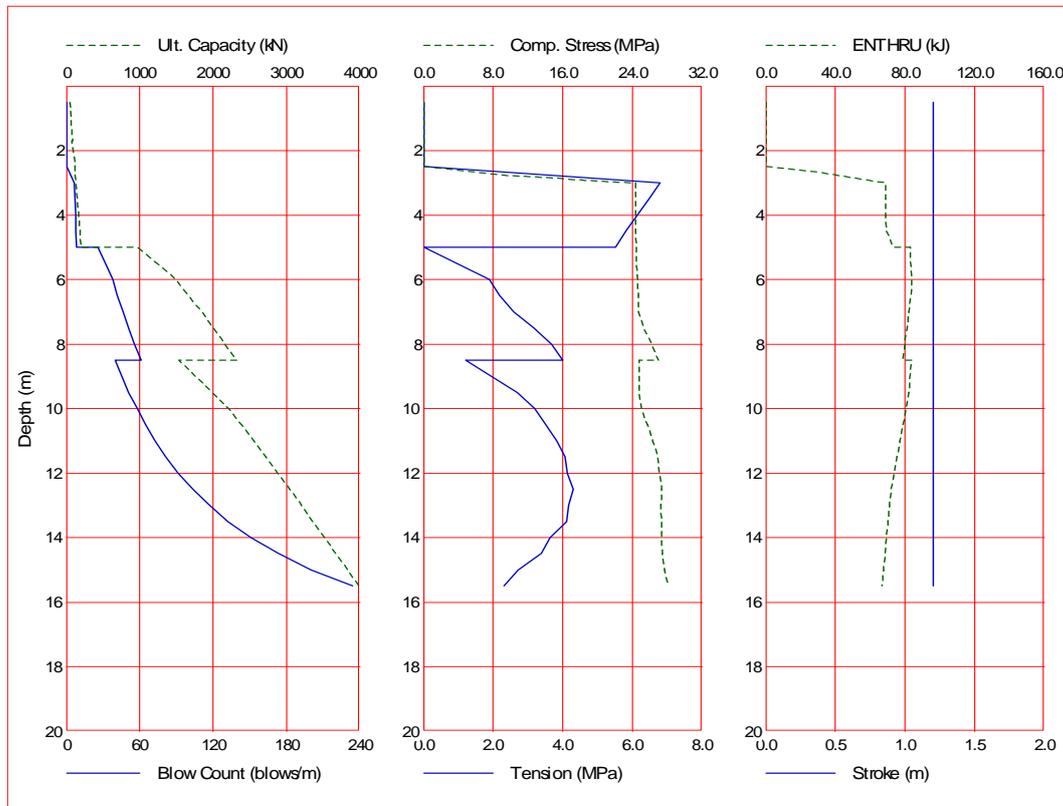


Ultimate Capacity kN	Maximum Compression Stress MPa	Maximum Tension Stress MPa	Blow Count bl/m	Stroke m	Energy kN-m
750.0	24.58	1.86	19.9	1.20	81.28
1500.0	24.86	0.41	40.1	1.20	82.12
2250.0	25.37	1.70	61.0	1.20	78.40
3000.0	26.65	2.53	100.4	1.20	71.68
3990.0	28.14	2.32	234.3	1.20	66.57
4500.0	28.84	2.36	443.8	1.20	64.27
5100.0	29.80	2.53	1170.0	1.20	61.73
5200.0	29.99	2.57	1464.9	1.20	61.33
5300.0	30.19	2.61	1938.1	1.20	60.94
5600.0	30.75	2.72	9999.0	1.20	59.81

**Resultados GRL-Weap - Hincabilidad**

**Sección:** 40X40

**Martillo:** DKH 10



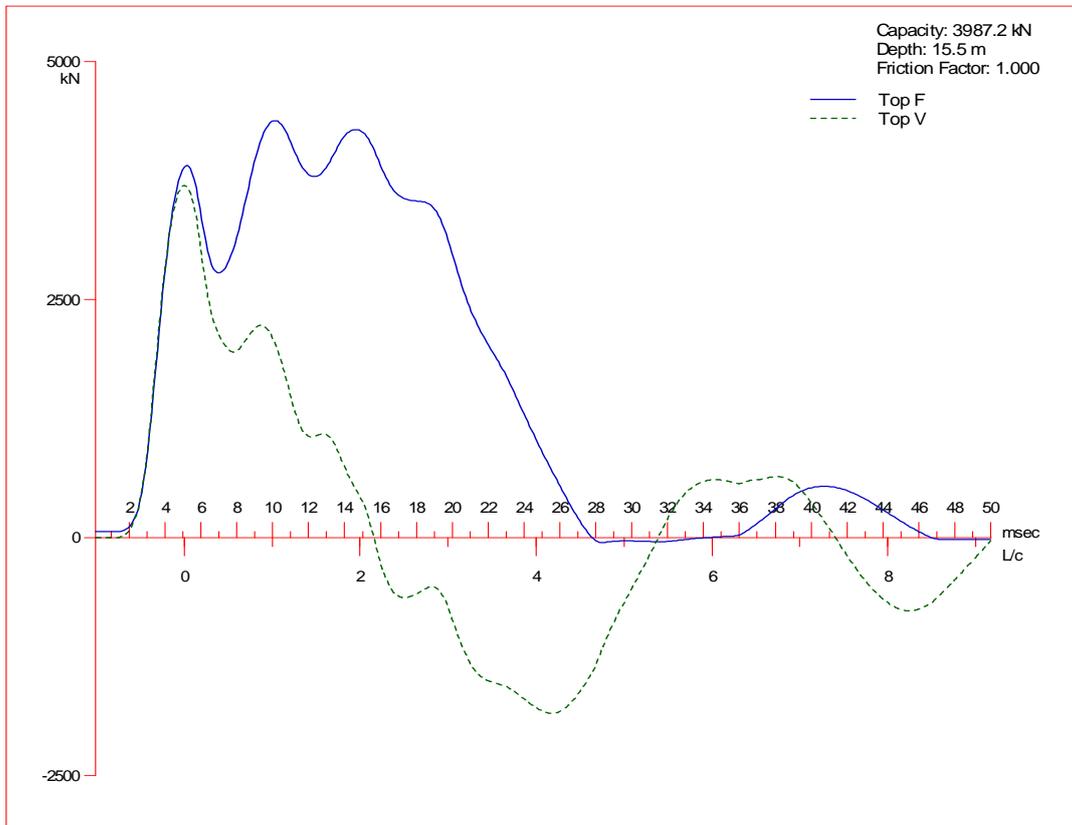
Depth m	Ultimate Capacity kN	Friction kN	End Bearing kN	Blow Count blows/m	Comp. Stress MPa	Tension Stress MPa	Stroke m	ENTHRU kJ
0.5	42.4	16.0	26.4	0.0	0.000	0.000	1.20	0.0
1.0	64.0	32.0	32.0	0.0	0.000	0.000	1.20	0.0
1.7	88.8	54.4	34.4	0.0	0.000	0.000	1.20	0.0
1.7	80.4	54.7	25.7	0.0	0.000	0.000	1.20	0.0
2.5	111.5	80.0	31.5	0.0	0.000	0.000	1.20	0.0
3.0	131.2	96.0	35.2	6.5	24.352	-6.788	1.20	68.8
3.5	148.4	112.0	36.4	7.0	24.352	-6.467	1.20	68.9
4.0	165.6	128.0	37.6	7.3	24.352	-6.136	1.20	69.1
4.5	182.4	144.0	38.4	7.6	24.352	-5.818	1.20	69.3
5.0	199.2	160.0	39.2	7.9	24.408	-5.525	1.20	73.0
5.0	965.3	162.0	803.3	25.7	24.413	0.000	1.20	82.9
6.0	1491.2	360.0	1131.2	37.9	24.576	-1.880	1.20	83.8
6.5	1668.0	460.0	1208.0	41.9	24.689	-2.179	1.20	83.3
7.0	1844.8	560.0	1284.8	46.3	24.698	-2.595	1.20	82.2
7.5	2003.5	660.0	1343.5	50.7	25.327	-3.164	1.20	81.1
8.0	2162.1	760.0	1402.1	55.6	26.250	-3.671	1.20	79.9
8.5	2320.8	860.0	1460.8	61.1	26.971	-3.990	1.20	78.7
8.5	1536.5	862.4	674.1	39.5	24.759	-1.205	1.20	84.0
9.5	1985.3	1100.0	885.3	50.7	24.769	-2.704	1.20	82.1
10.0	2212.0	1220.0	992.0	58.1	25.052	-3.182	1.20	80.4
10.5	2386.0	1340.0	1046.0	64.7	25.718	-3.514	1.20	78.9
11.0	2560.0	1460.0	1100.0	72.5	26.316	-3.823	1.20	77.2
11.5	2722.0	1580.0	1142.0	81.1	26.961	-4.073	1.20	75.5
12.0	2884.0	1700.0	1184.0	91.3	27.112	-4.129	1.20	73.7
12.5	3044.0	1820.0	1224.0	103.5	27.323	-4.297	1.20	72.1
13.0	3204.0	1940.0	1264.0	117.0	27.270	-4.168	1.20	71.1
13.5	3361.6	2060.0	1301.6	132.3	27.365	-4.116	1.20	70.1
14.0	3519.2	2180.0	1339.2	150.9	27.389	-3.636	1.20	69.3
14.5	3675.2	2300.0	1375.2	173.2	27.427	-3.382	1.20	68.5
15.0	3831.2	2420.0	1411.2	200.5	27.733	-2.716	1.20	67.6
15.5	3987.2	2540.0	1447.2	234.0	28.114	-2.323	1.20	66.6

Total Number of Blows: 909  
 Driving Time (min): 30 22 18 15 12 11 10 9 8 7  
 @Blow Rate (b/min): 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120  
 Driving Time for continuously running hammer; any wait times not included

**Resultados GRL-Weap - Propagación de ondas**

**Sección:** 40X40

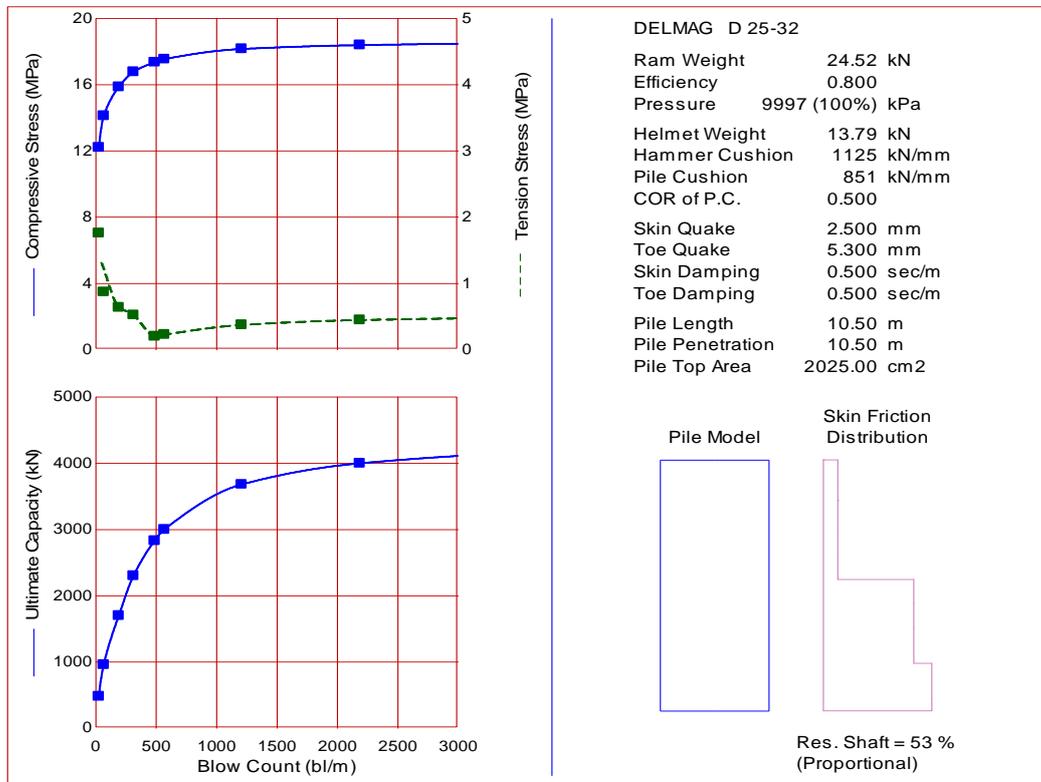
**Martillo:** DKH 10



**Resultados GRL-Weap - Capacidad de Carga**

**Sección:** 45x45

**Martillo:** D 25-32

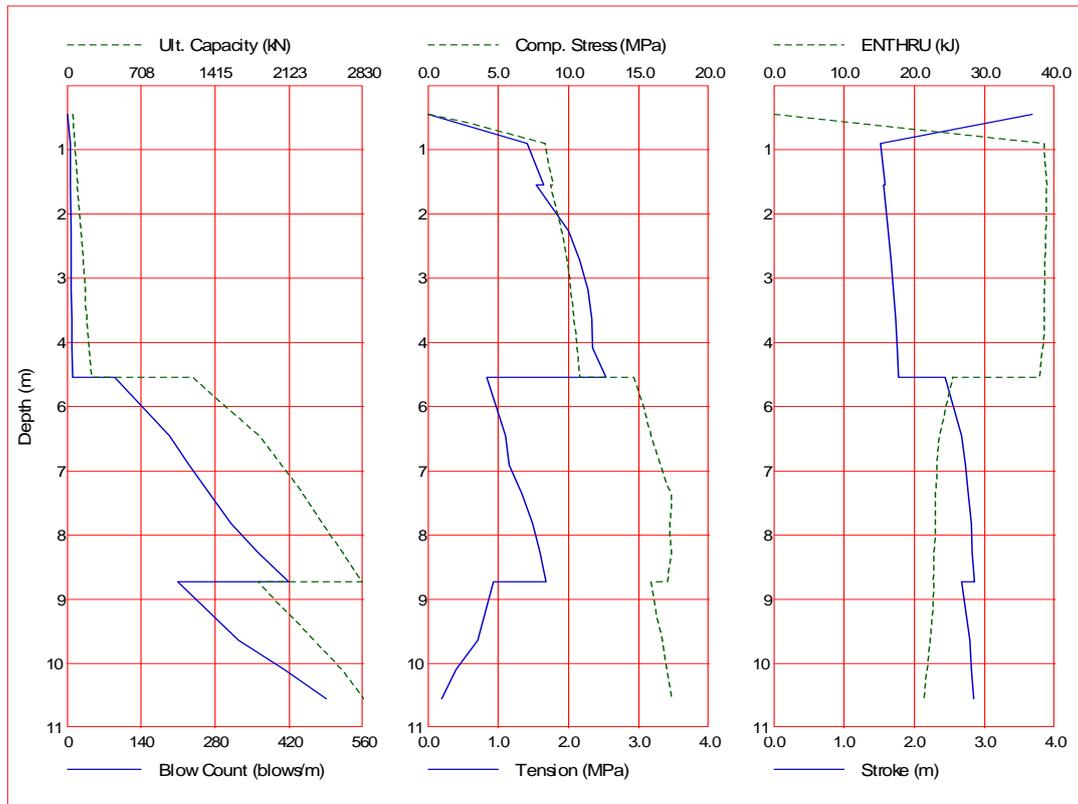


Ultimate Capacity kN	Maximum Compression Stress MPa	Maximum Tension Stress MPa	Blow Count bl/m	Stroke m	Energy kN-m
480.0	12.20	1.76	25.8	2.00	31.14
960.0	14.13	0.87	66.9	2.33	25.98
1700.0	15.87	0.64	191.8	2.63	22.25
2300.0	16.78	0.52	313.2	2.77	21.77
2830.0	17.35	0.20	489.1	2.84	21.43
3000.0	17.54	0.23	569.8	2.86	21.39
3680.0	18.16	0.38	1208.7	2.93	21.08
4000.0	18.39	0.45	2186.7	2.96	20.99
4200.0	18.54	0.49	3996.6	2.97	21.01
4500.0	18.73	0.56	9999.0	2.99	20.95

**Resultados GRL-Weap - Hincabilidad**

**Sección:** 45x45

**Martillo:** D 25-32



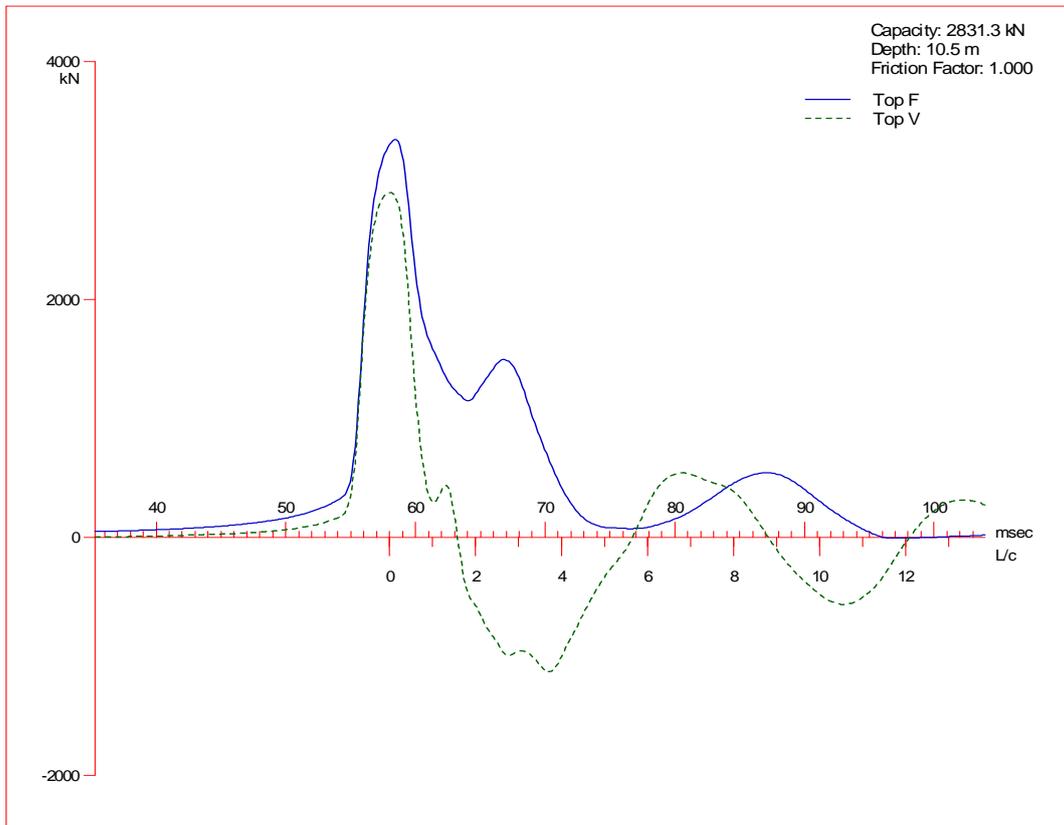
Depth m	Ultimate Capacity kN	Friction kN	End Bearing kN	Blow Count blows/m	Comp. Stress MPa	Tension Stress MPa	Stroke m	ENTHRU kJ
0.5	51.4	18.0	33.4	0.0	0.000	0.000	3.67	0.0
1.0	76.5	36.0	40.5	6.0	8.326	-1.414	1.52	38.4
1.7	104.7	61.2	43.5	6.6	8.939	-1.648	1.58	38.9
1.7	94.1	61.6	32.5	6.4	8.721	-1.543	1.56	38.8
2.5	129.9	90.0	39.9	7.3	9.503	-2.000	1.63	38.7
3.0	152.5	108.0	44.5	7.8	9.868	-2.162	1.67	38.6
3.5	172.1	126.0	46.1	8.4	10.153	-2.276	1.70	38.5
4.0	191.6	144.0	47.6	8.9	10.398	-2.327	1.73	38.4
4.5	210.6	162.0	48.6	9.6	10.598	-2.343	1.75	38.2
5.0	229.6	180.0	49.6	10.2	10.820	-2.528	1.78	37.8
5.0	1198.9	182.2	1016.7	90.4	14.616	-0.836	2.44	25.4
6.0	1836.7	405.0	1431.7	194.2	15.857	-1.100	2.67	23.5
6.5	2046.4	517.5	1528.9	229.8	16.561	-1.158	2.73	23.2
7.0	2256.1	630.0	1626.1	270.7	17.323	-1.343	2.77	23.0
7.5	2442.8	742.5	1700.3	310.1	17.223	-1.489	2.81	23.0
8.0	2629.6	855.0	1774.6	361.0	17.322	-1.597	2.82	22.8
8.5	2816.3	967.5	1848.8	418.7	17.032	-1.685	2.85	22.7
8.5	1823.4	970.2	853.2	208.7	15.870	-0.933	2.67	22.8
9.5	2358.0	1237.5	1120.5	324.2	16.640	-0.708	2.79	22.2
10.0	2628.0	1372.5	1255.5	410.2	16.983	-0.401	2.81	21.8
10.5	2831.3	1507.5	1323.8	489.3	17.346	-0.197	2.84	21.4

Total Continuous Driving Time 40.00 minutes; Total Number of Blows 1590

**Resultados GRL-Weap - Propagación de ondas**

**Sección:** 45x45

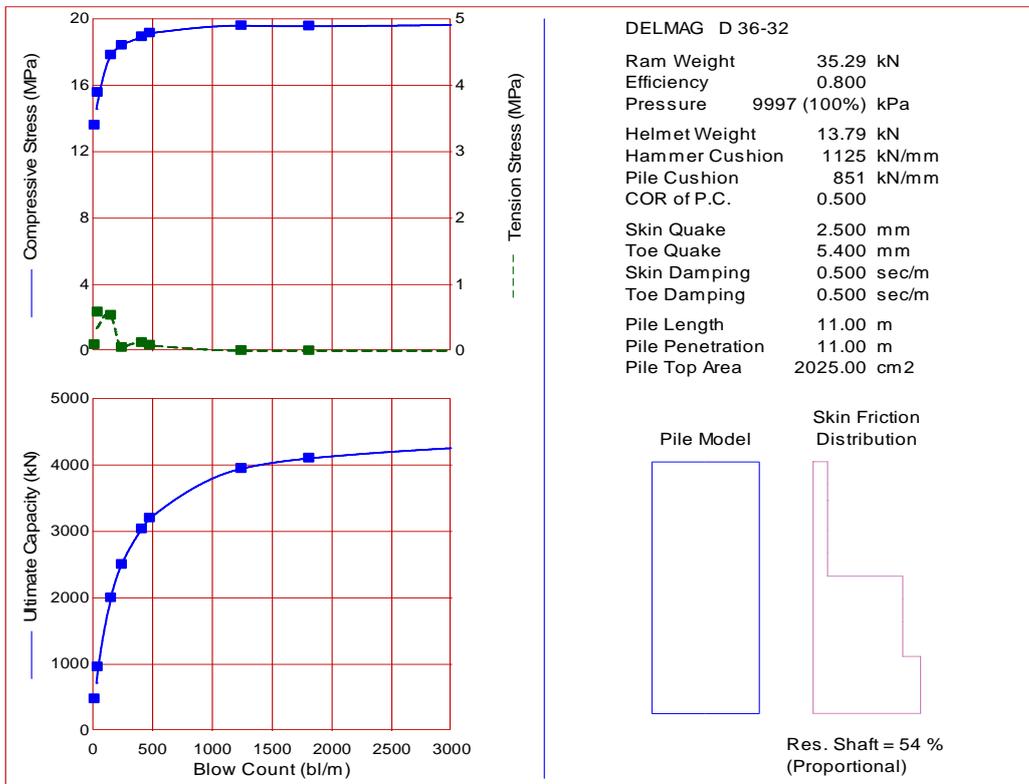
**Martillo:** D 25-32



**Resultados GRL-Weap - Capacidad de Carga**

**Sección:** 45x45

**Martillo:** D 36-32

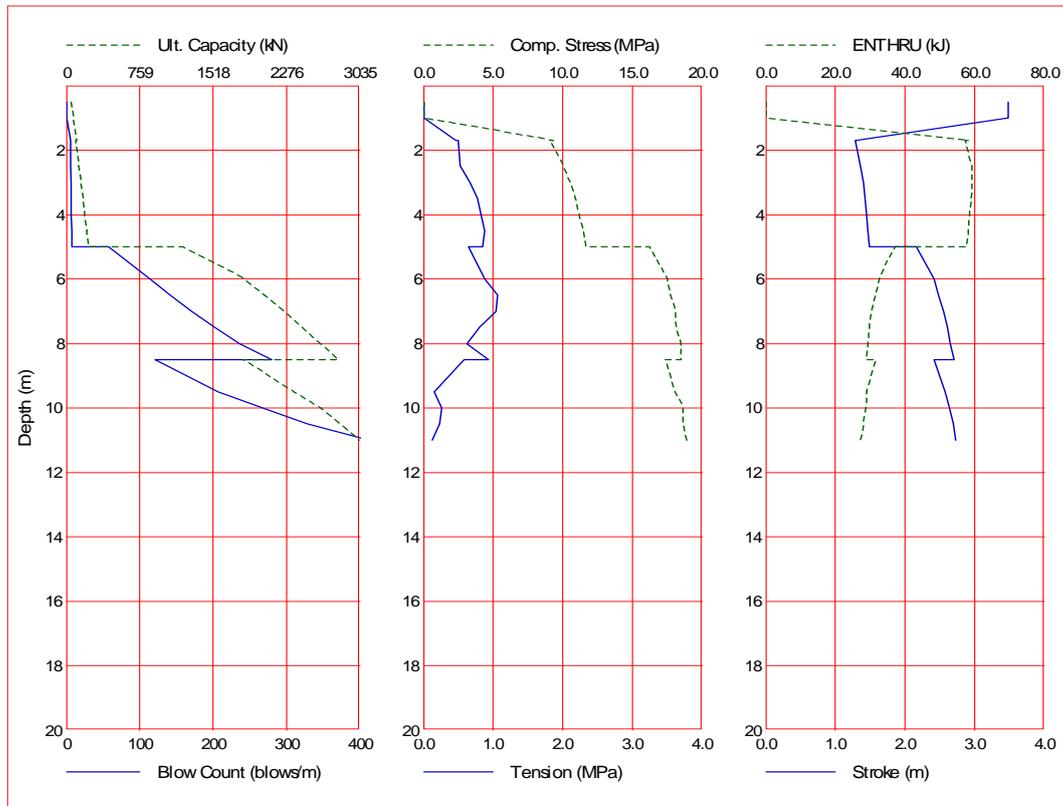


Ultimate Capacity kN	Maximum Compression Stress MPa	Maximum Tension Stress MPa	Blow Count bl/m	Stroke m	Energy kN-m
480.0	13.59	0.10	17.0	1.71	48.53
960.0	15.55	0.58	43.7	2.05	38.95
2000.0	17.81	0.54	154.8	2.47	29.76
2500.0	18.40	0.05	244.7	2.61	27.86
3035.0	18.91	0.13	412.9	2.72	27.15
3200.0	19.13	0.09	480.8	2.75	27.12
3945.0	19.58	0.01	1245.1	2.84	26.07
4100.0	19.55	0.00	1811.7	2.86	25.65
4320.0	19.67	0.01	3709.0	2.88	25.45
4800.0	19.89	0.02	9999.0	2.91	25.02

**Resultados GRL-Weap - Hincabilidad**

**Sección:** 45x45

**Martillo:** D 36-32



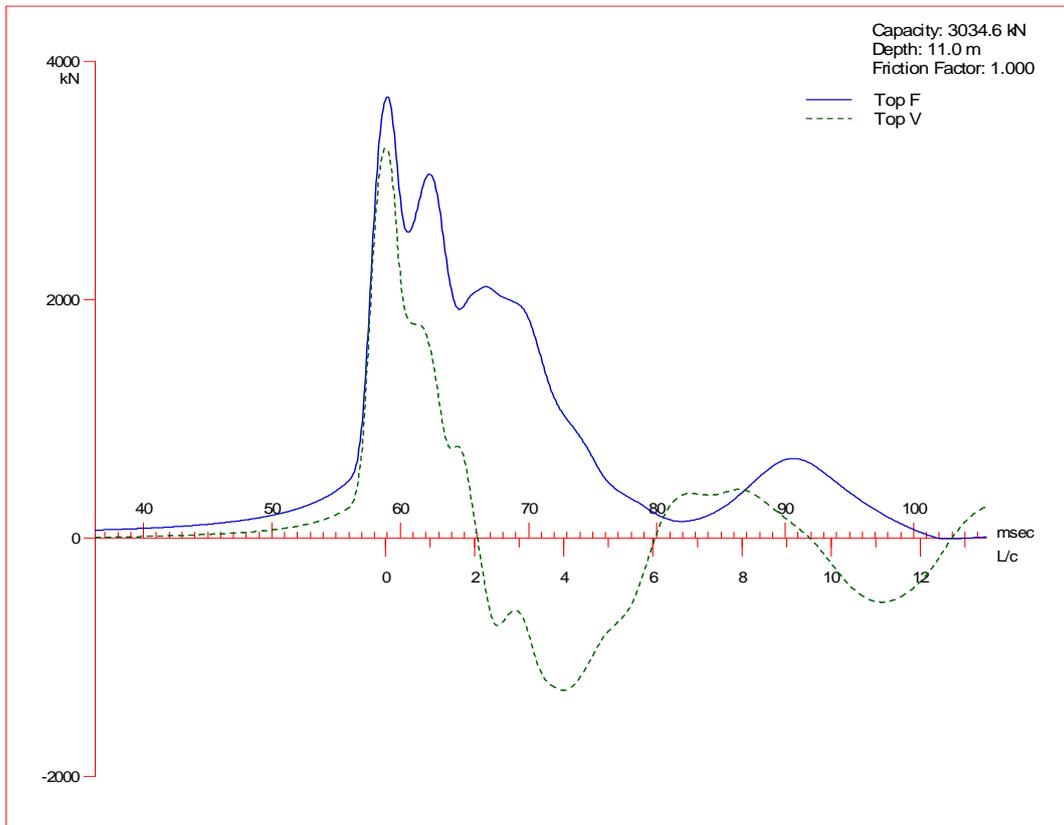
Depth m	Ultimate Capacity kN	Friction kN	End Bearing kN	Blow Count blows/m	Comp. Stress MPa	Tension Stress MPa	Stroke m	ENTHRU kJ
0.5	51.4	18.0	33.4	0.0	0.000	0.000	3.48	0.0
1.0	76.5	36.0	40.5	0.0	0.000	0.000	3.48	0.0
1.7	104.7	61.2	43.5	5.3	9.292	-0.462	1.30	58.3
1.7	94.1	61.6	32.5	5.1	9.088	-0.497	1.29	57.2
2.5	129.9	90.0	39.9	5.7	10.055	-0.533	1.36	59.3
3.0	152.5	108.0	44.5	6.1	10.543	-0.667	1.40	59.2
3.5	172.1	126.0	46.1	6.4	10.918	-0.774	1.42	58.9
4.0	191.6	144.0	47.6	6.8	11.192	-0.827	1.45	58.5
4.5	210.6	162.0	48.6	7.2	11.491	-0.884	1.47	58.1
5.0	229.6	180.0	49.6	7.6	11.654	-0.852	1.49	57.7
5.0	1198.5	182.2	1016.7	57.7	16.255	-0.648	2.16	37.2
6.0	1836.7	405.0	1431.7	114.1	17.539	-0.875	2.42	32.5
6.5	2046.4	517.5	1528.9	140.8	17.749	-1.064	2.48	31.4
7.0	2256.1	630.0	1626.1	170.4	18.111	-1.042	2.55	30.5
7.5	2442.8	742.5	1700.3	202.3	18.173	-0.807	2.61	29.7
8.0	2629.6	855.0	1774.6	236.1	18.479	-0.627	2.65	29.4
8.5	2816.3	967.5	1848.8	280.5	18.488	-0.934	2.70	29.0
8.5	1823.4	970.2	853.2	121.5	17.369	-0.585	2.42	31.6
9.5	2358.0	1237.5	1120.5	206.6	18.062	-0.151	2.58	29.0
10.0	2628.0	1372.5	1255.5	268.0	18.615	-0.259	2.64	28.7
10.5	2831.3	1507.5	1323.8	328.7	18.619	-0.226	2.69	28.1
11.0	3034.6	1642.5	1392.1	412.5	18.912	-0.124	2.72	27.1

Total Continuous Driving Time 29.00 minutes; Total Number of Blows 1198

**Resultados GRL-Weap - Propagación de ondas**

**Sección:** 45x45

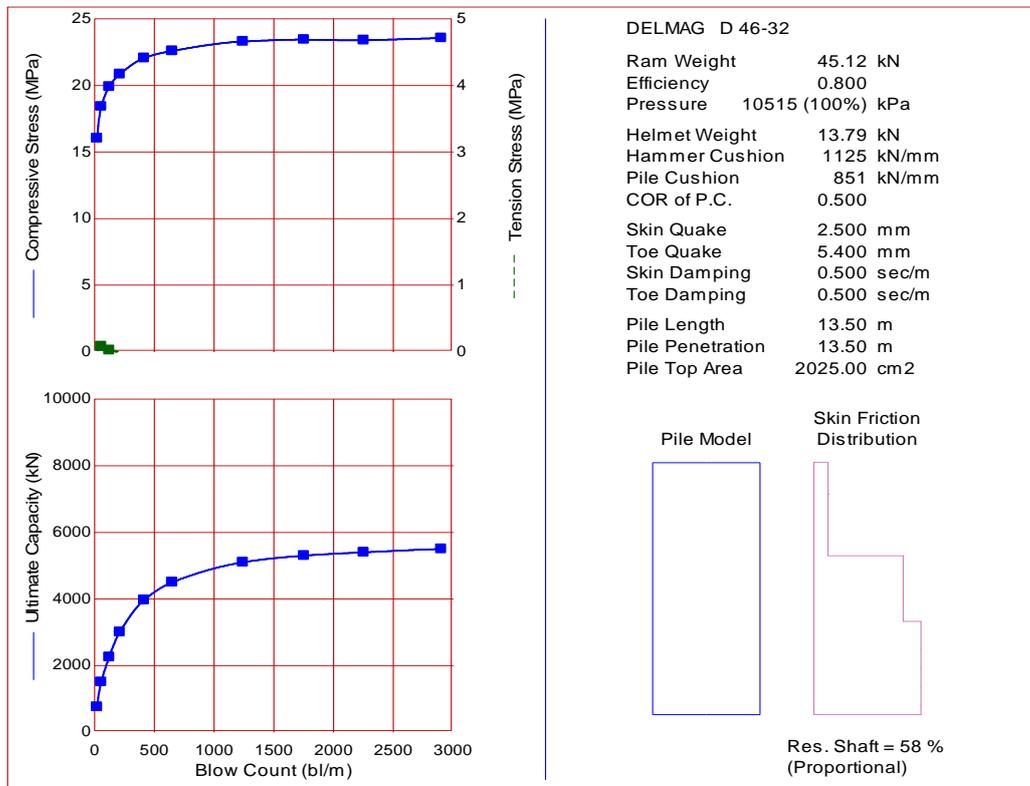
**Martillo:** D 36-32



**Resultados GRL-Weap - Capacidad de Carga**

**Sección:** 45x45

**Martillo:** D 46-32

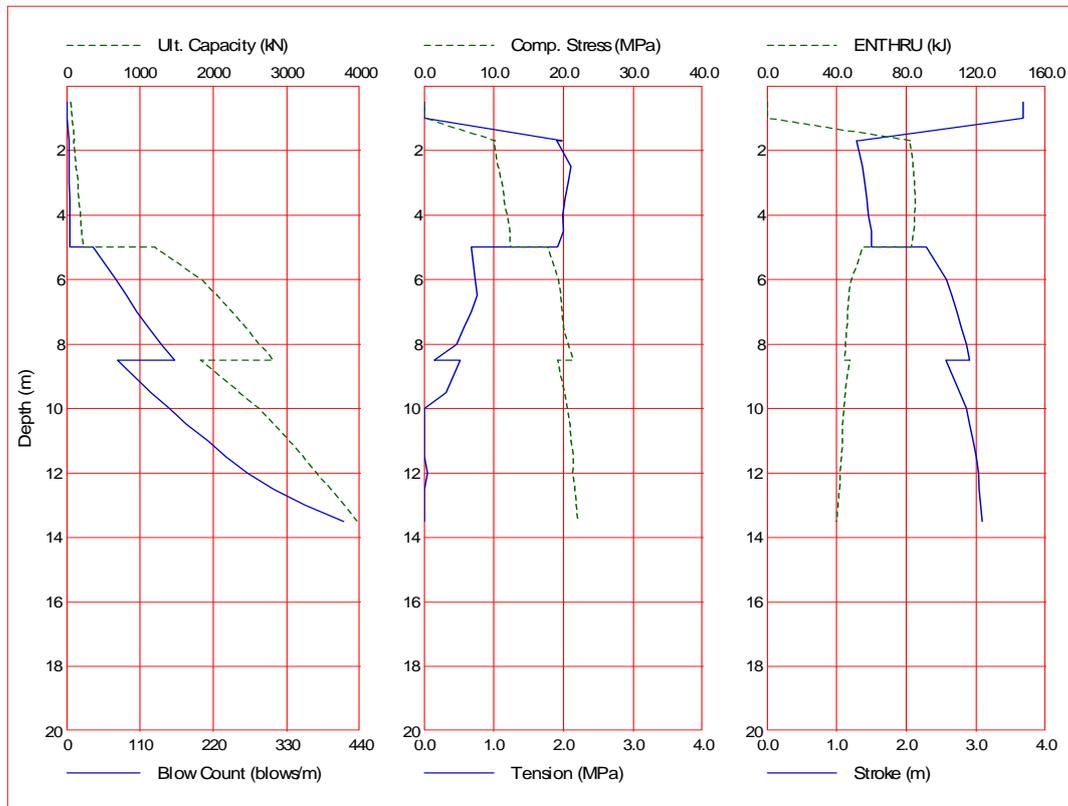


Ultimate Capacity kN	Maximum Compression Stress MPa	Maximum Tension Stress MPa	Blow Count bl/m	Stroke m	Energy kN-m
750.0	16.03	0.00	21.7	1.99	60.79
1500.0	18.42	0.08	56.3	2.43	48.72
2250.0	19.90	0.02	124.4	2.75	43.13
3000.0	20.84	0.00	213.2	2.95	40.78
3965.0	22.05	0.00	415.5	3.09	39.75
4500.0	22.59	0.00	651.0	3.14	39.37
5100.0	23.30	0.00	1242.2	3.19	39.57
5300.0	23.44	0.00	1754.5	3.20	39.45
5400.0	23.40	0.00	2255.1	3.20	39.28
5500.0	23.56	0.00	2903.8	3.21	39.32

**Resultados GRL-Weap - Hincabilidad**

**Sección:** 45x45

**Martillo:** D 46-32



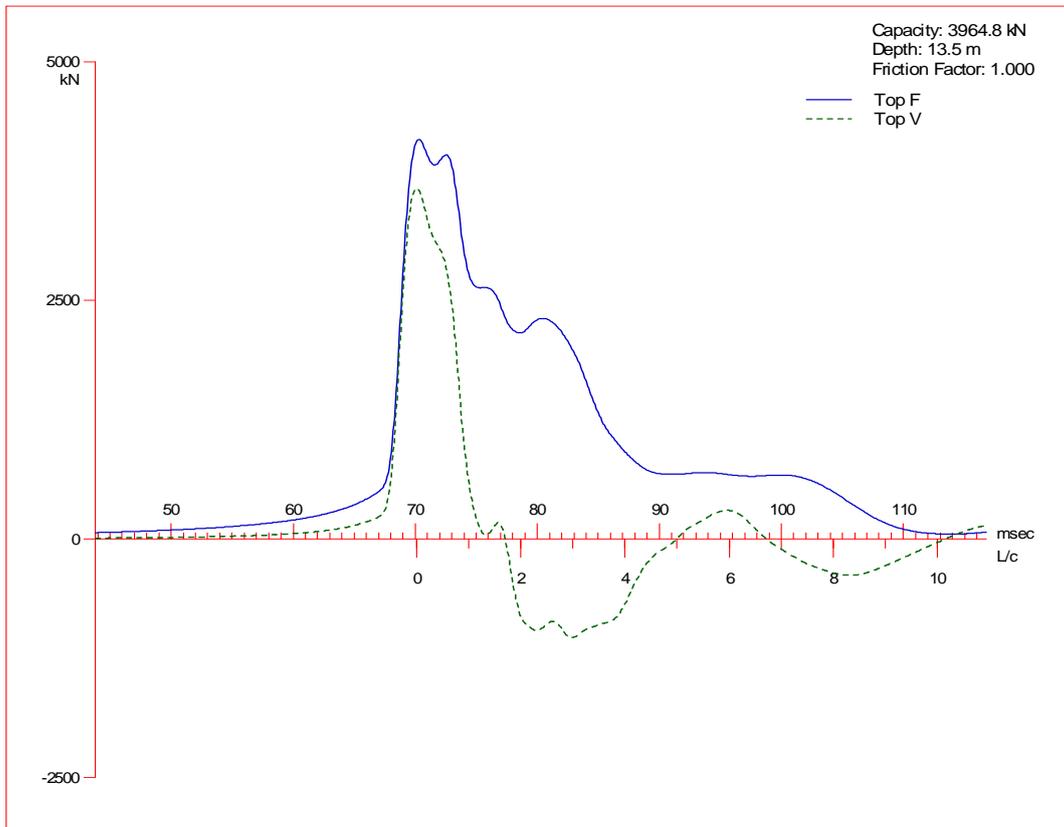
Depth m	Ultimate Capacity kN	Friction kN	End Bearing kN	Blow Count blows/m	Comp. Stress MPa	Tensor Stress MPa	Stroke m	ENTHRU kJ
0.5	51.4	18.0	33.4	0.0	0.000	0.000	3.67	0.0
1.0	76.5	36.0	40.5	0.0	0.000	0.000	3.67	0.0
1.7	104.7	61.2	43.5	3.8	10.195	-1.977	1.32	82.5
1.7	94.1	61.6	32.5	3.7	9.968	-1.902	1.29	82.0
2.5	129.9	90.0	39.9	4.1	10.651	-2.107	1.37	84.0
3.0	152.6	108.0	44.6	4.4	11.101	-2.061	1.40	84.9
3.5	172.1	126.0	46.1	4.7	11.478	-2.023	1.43	85.0
4.0	191.6	144.0	47.6	4.9	11.872	-1.990	1.46	84.8
4.5	210.6	162.0	48.6	5.2	12.296	-1.995	1.50	84.2
5.0	229.6	180.0	49.6	5.5	12.456	-1.910	1.50	82.8
5.0	1198.5	182.3	1016.7	40.1	17.731	-0.677	2.29	54.9
6.0	1836.7	405.0	1431.7	74.2	19.211	-0.727	2.58	48.6
6.5	2046.4	517.5	1528.9	89.5	19.529	-0.758	2.65	47.1
7.0	2256.1	630.0	1626.1	105.8	19.797	-0.672	2.72	46.4
7.5	2442.8	742.5	1700.3	123.0	20.053	-0.568	2.79	45.8
8.0	2629.6	855.0	1774.6	142.5	20.603	-0.464	2.86	45.2
8.5	2816.3	967.5	1848.8	162.1	21.418	-0.140	2.91	44.4
8.5	1823.4	970.2	853.2	76.4	19.109	-0.518	2.56	47.7
9.5	2358.0	1237.5	1120.5	126.6	20.178	-0.310	2.77	44.9
10.0	2628.0	1372.5	1255.5	154.7	20.534	0.000	2.86	44.0
10.5	2831.3	1507.5	1323.8	180.1	21.009	0.000	2.91	43.4
11.0	3034.7	1642.5	1392.2	211.7	21.045	0.000	2.96	43.2
11.5	3222.8	1777.5	1445.3	239.4	21.377	0.000	3.00	42.7
12.0	3411.0	1912.5	1498.5	271.5	21.272	-0.053	3.03	42.1
12.5	3596.6	2047.5	1549.1	309.9	21.596	0.000	3.05	41.5
13.0	3782.3	2182.5	1599.8	356.9	21.787	0.000	3.07	40.6
13.5	3964.8	2317.5	1647.3	415.2	22.059	0.000	3.09	39.7

Total Continuous Driving Time 38.00 minutes; Total Number of Blows 1461

**Resultados GRL-Weap - Propagación de ondas**

**Sección:** 45x45

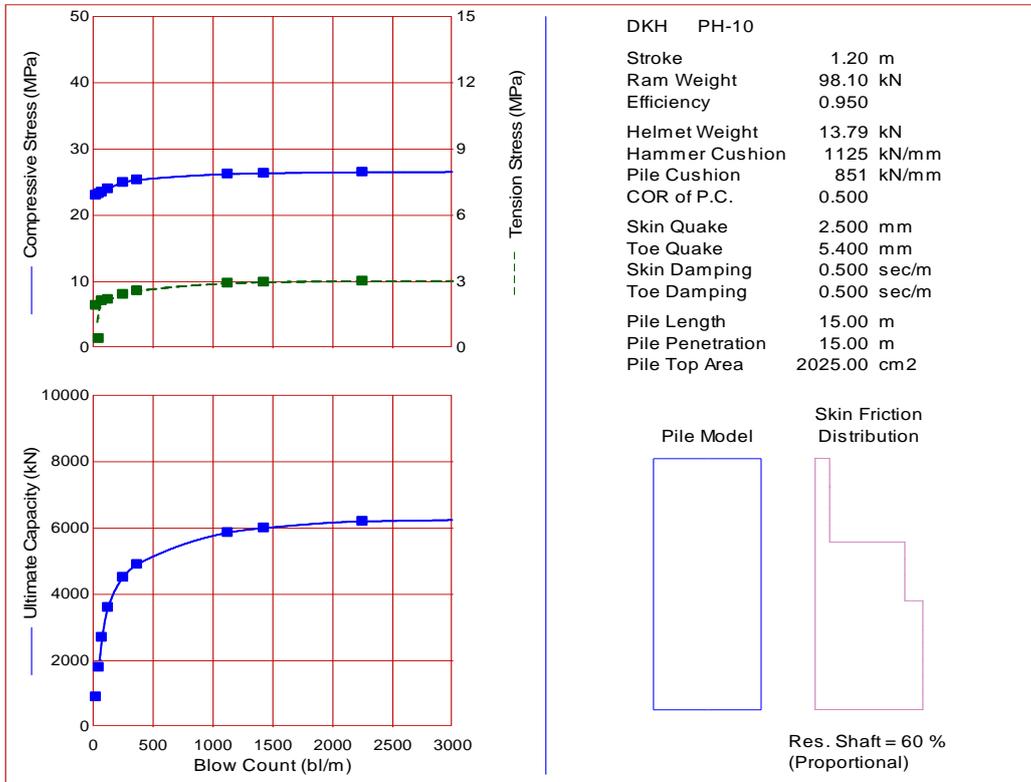
**Martillo:** D 46-32



**Resultados GRL-Weap - Capacidad de Carga**

**Sección:** 45x45

**Martillo:** DKH 10

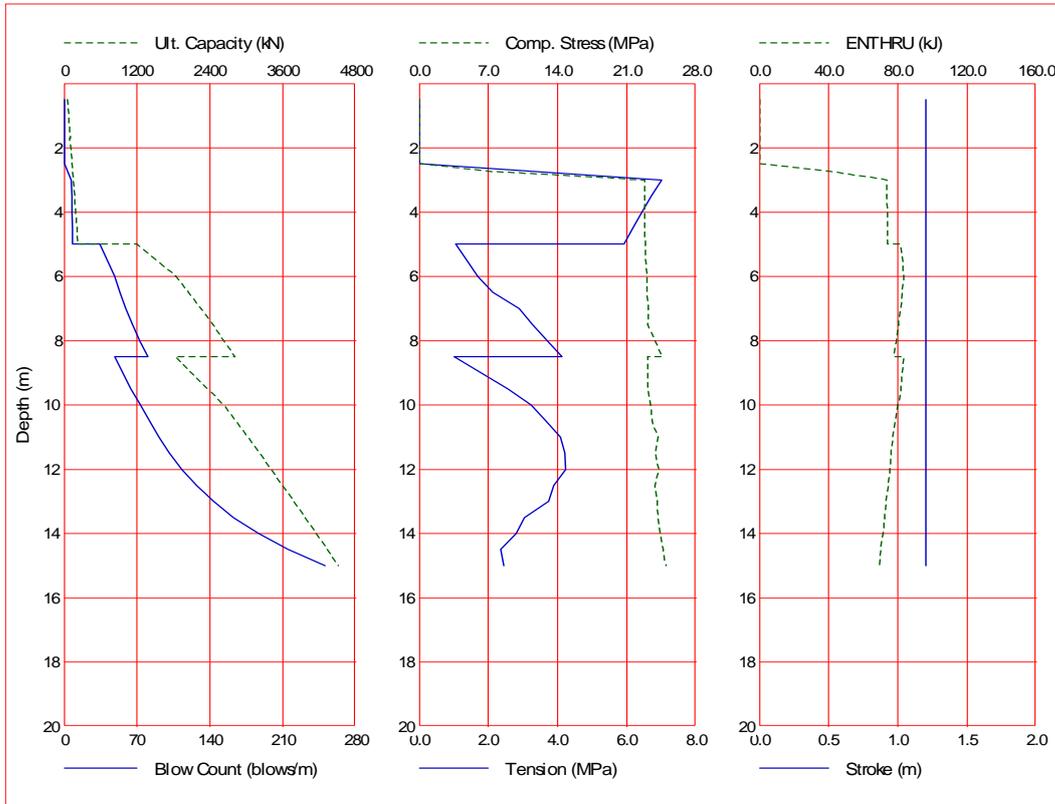


Ultimate Capacity kN	Maximum Compression Stress MPa	Maximum Tension Stress MPa	Blow Count bl/m	Stroke m	Energy kN-m
900.0	23.03	1.92	25.3	1.20	79.82
1800.0	23.27	0.43	48.7	1.20	81.48
2700.0	23.51	2.14	75.6	1.20	77.45
3600.0	24.01	2.20	126.4	1.20	73.31
4510.0	24.97	2.43	251.4	1.20	69.24
4900.0	25.35	2.58	369.3	1.20	67.57
5860.0	26.23	2.93	1125.7	1.20	63.83
6000.0	26.35	2.98	1426.9	1.20	63.33
6200.0	26.52	3.03	2249.9	1.20	62.65
6500.0	26.77	3.09	9999.0	1.20	61.66

**Resultados GRL-Weap - Hincabilidad**

**Sección:** 45x45

**Martillo:** DKH 10



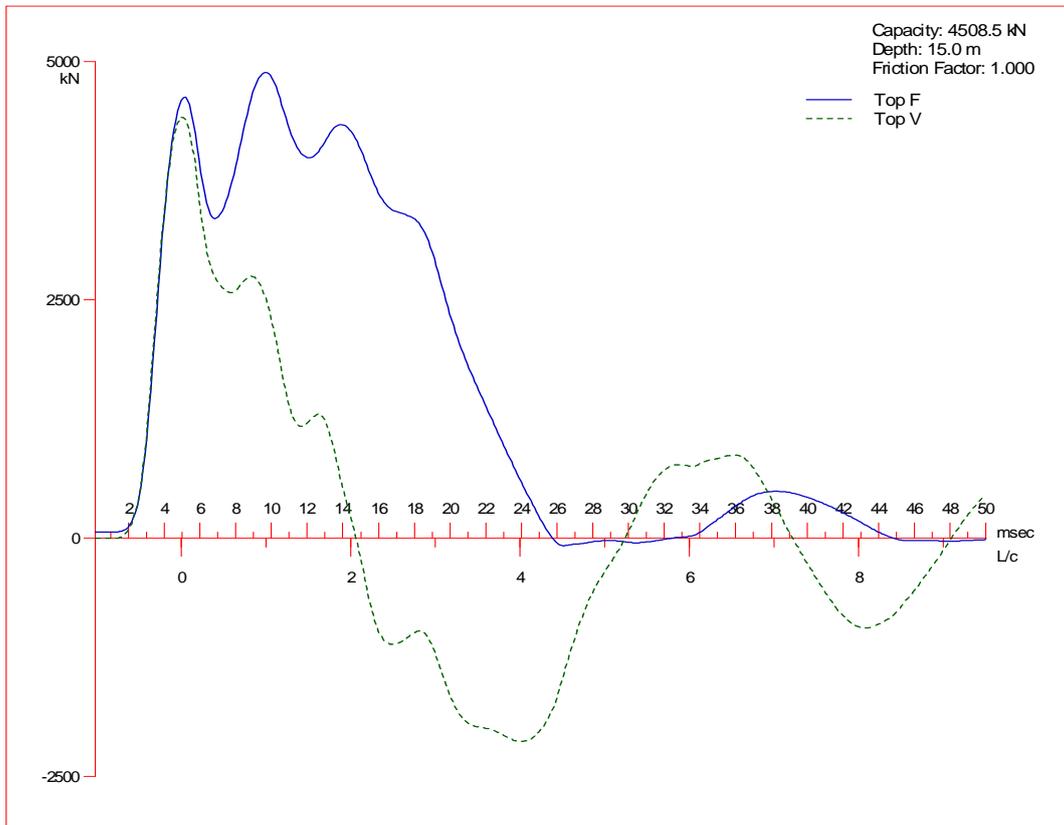
Depth m	Ultimate Capacity kN	Friction kN	End Bearing kN	Blow Count blows/m	Comp. Stress MPa	Tension Stress MPa	Stroke m	ENTHRU kJ
0.5	51.4	18.0	33.4	0.0	0.000	0.000	1.20	0.0
1.0	76.5	36.0	40.5	0.0	0.000	0.000	1.20	0.0
1.7	104.7	61.2	43.5	0.0	0.000	0.000	1.20	0.0
1.7	94.1	61.6	32.5	0.0	0.000	0.000	1.20	0.0
2.5	129.9	90.0	39.9	0.0	0.000	0.000	1.20	0.0
3.0	152.5	108.0	44.5	6.9	22.832	-7.000	1.20	73.7
3.5	172.1	126.0	46.1	7.3	22.833	-6.710	1.20	73.8
4.0	191.6	144.0	47.6	7.6	22.833	-6.442	1.20	73.9
4.5	210.6	162.0	48.6	8.0	22.833	-6.169	1.20	74.1
5.0	229.6	180.0	49.6	8.3	22.860	-5.921	1.20	74.2
5.0	1198.9	182.2	1016.7	34.2	22.864	-1.053	1.20	81.3
6.0	1836.7	405.0	1431.7	48.3	23.060	-1.704	1.20	83.2
6.5	2046.4	517.5	1528.9	53.5	23.066	-2.118	1.20	82.6
7.0	2256.1	630.0	1626.1	59.5	23.166	-2.882	1.20	81.6
7.5	2442.8	742.5	1700.3	65.7	23.122	-3.271	1.20	80.5
8.0	2629.6	855.0	1774.6	72.7	23.888	-3.705	1.20	79.1
8.5	2816.3	967.5	1848.8	80.7	24.568	-4.137	1.20	77.7
8.5	1823.4	970.2	853.2	48.9	23.101	-1.007	1.20	83.3
9.5	2358.0	1237.5	1120.5	63.8	23.107	-2.574	1.20	81.7
10.0	2628.0	1372.5	1255.5	73.5	23.438	-3.227	1.20	80.0
10.5	2831.3	1507.5	1323.8	81.7	23.572	-3.663	1.20	78.4
11.0	3034.7	1642.5	1392.2	91.1	24.143	-4.080	1.20	77.1
11.5	3222.8	1777.5	1445.3	101.2	23.900	-4.213	1.20	76.2
12.0	3411.0	1912.5	1498.5	113.0	24.263	-4.232	1.20	75.3
12.5	3596.6	2047.5	1549.1	127.0	23.820	-3.883	1.20	74.3
13.0	3782.2	2182.5	1599.8	143.5	24.066	-3.738	1.20	73.3
13.5	3964.8	2317.5	1647.3	163.0	24.147	-3.030	1.20	72.4
14.0	4147.4	2452.5	1694.9	186.9	24.364	-2.811	1.20	71.4
14.5	4328.0	2587.5	1740.5	215.3	24.698	-2.355	1.20	70.3
15.0	4508.5	2722.5	1786.0	250.7	24.997	-2.442	1.20	69.2

Total Number of Blows: 1001  
 Driving Time (min): 33 25 20 16 14 12 11 10 9 8  
 @Blow Rate (b/min): 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120  
 Driving Time for continuously running hammer; any wait times not included

**Resultados GRL-Weap - Propagación de ondas**

**Sección:** 45x45

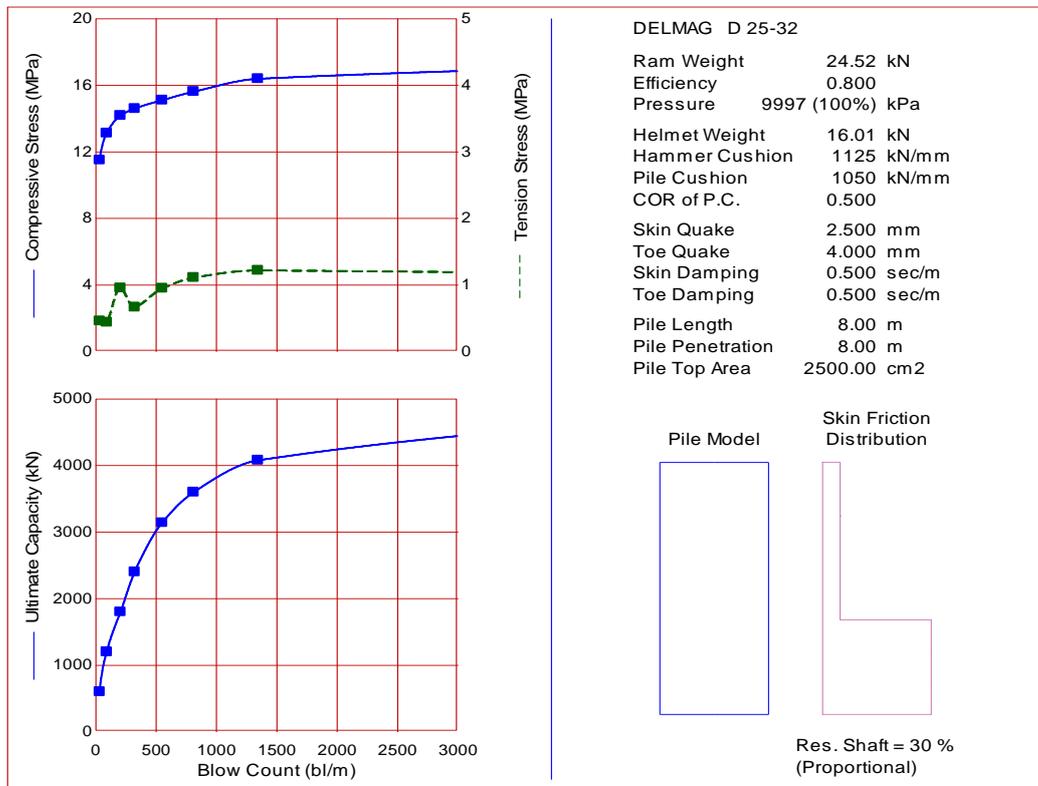
**Martillo:** DKH 10



**Resultados GRL-Weap - Capacidad de Carga**

**Sección:** 50X50

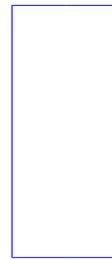
**Martillo:** D 25-32



DELMAG D 25-32

Ram Weight	24.52 kN
Efficiency	0.800
Pressure	9997 (100%) kPa
Helmet Weight	16.01 kN
Hammer Cushion	1125 kN/mm
Pile Cushion	1050 kN/mm
COR of P.C.	0.500
Skin Quake	2.500 mm
Toe Quake	4.000 mm
Skin Damping	0.500 sec/m
Toe Damping	0.500 sec/m
Pile Length	8.00 m
Pile Penetration	8.00 m
Pile Top Area	2500.00 cm <sup>2</sup>

Pile Model



Skin Friction Distribution



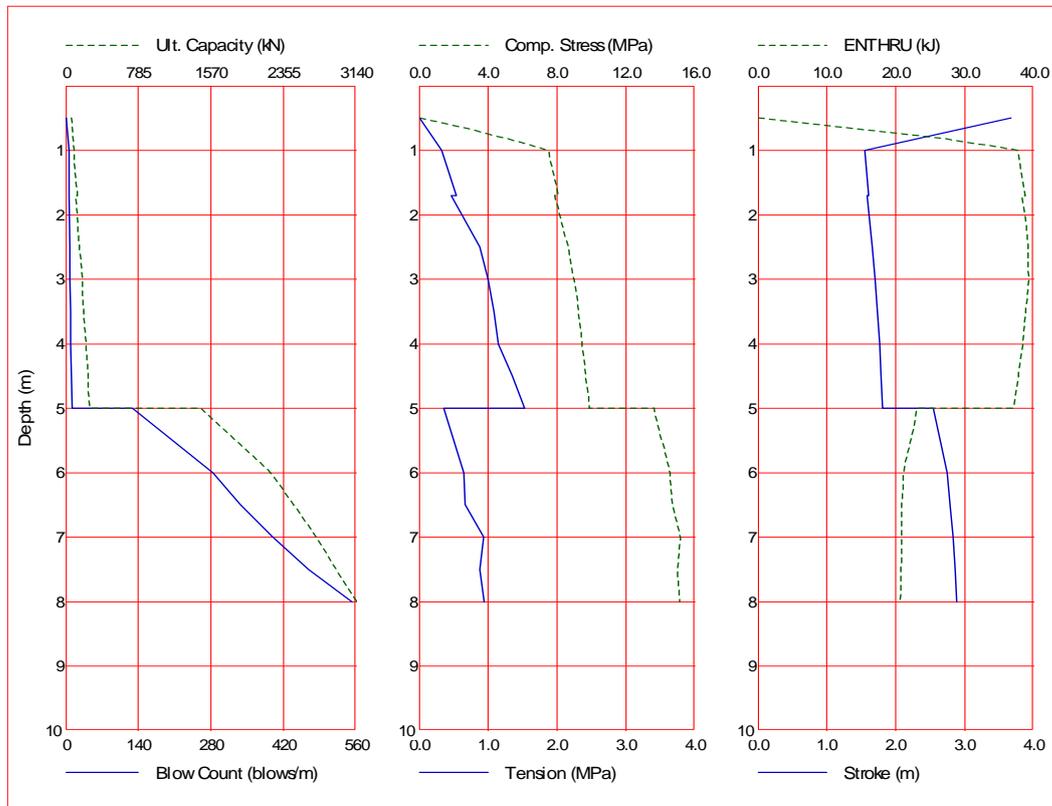
Res. Shaft = 30 % (Proportional)

Ultimate Capacity kN	Maximum Compression Stress MPa	Maximum Tension Stress MPa	Blow Count bl/m	Stroke m	Energy kN-m
600.0	11.51	0.46	34.5	2.10	29.18
1200.0	13.12	0.44	93.0	2.44	23.88
1800.0	14.18	0.95	206.3	2.68	21.50
2400.0	14.60	0.67	324.5	2.78	20.44
3140.0	15.11	0.95	552.0	2.89	20.56
3600.0	15.62	1.11	812.3	2.95	20.64
4080.0	16.40	1.22	1345.9	3.00	20.66
4800.0	17.29	1.19	5310.6	3.01	20.34
5400.0	17.91	1.36	9999.0	3.03	20.14

**Resultados GRL-Weap - Hincabilidad**

**Sección:** 50X50

**Martillo:** D 25-32



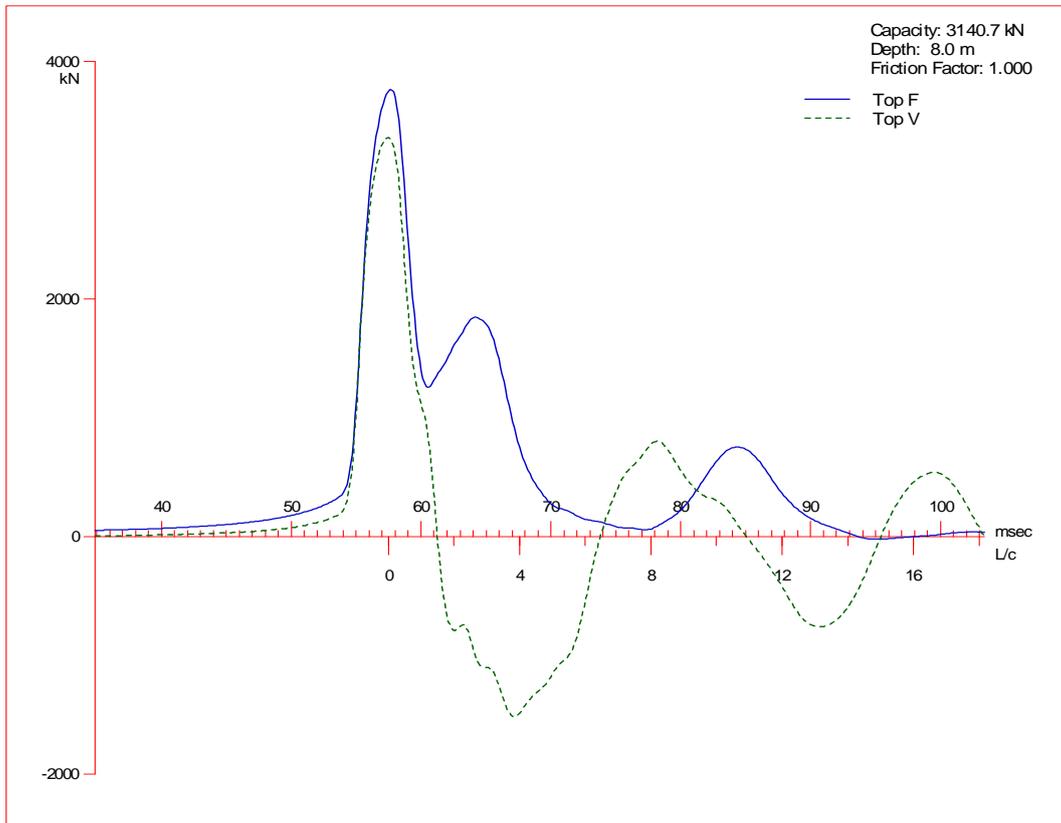
Depth m	Ultimate Capacity kN	Friction kN	End Bearing kN	Blow Count blows/m	Comp. Stress MPa	Tension Stress MPa	Stroke m	ENTHRU kJ
0.5	61.2	20.0	41.2	0.0	0.000	0.000	3.67	0.0
1.0	90.0	40.0	50.0	6.3	7.489	-0.330	1.55	37.7
1.7	121.7	68.0	53.8	7.0	8.076	-0.542	1.61	38.8
1.7	108.5	68.4	40.1	6.7	7.893	-0.465	1.58	38.3
2.5	149.2	100.0	49.2	7.7	8.661	-0.881	1.66	39.2
3.0	175.0	120.0	55.0	8.4	8.968	-0.994	1.70	39.3
3.5	196.9	140.0	56.9	9.1	9.218	-1.078	1.73	38.9
4.0	218.7	160.0	58.8	9.8	9.467	-1.151	1.76	38.4
4.5	240.0	180.0	60.0	10.6	9.676	-1.347	1.79	37.8
5.0	261.2	200.0	61.2	11.6	9.887	-1.532	1.81	37.1
5.0	1457.7	202.5	1255.2	128.8	13.611	-0.358	2.54	23.1
6.0	2217.5	450.0	1767.5	283.7	14.568	-0.644	2.75	21.1
6.5	2462.5	575.0	1887.5	337.4	14.719	-0.666	2.79	20.8
7.0	2707.5	700.0	2007.5	399.4	15.184	-0.933	2.83	20.9
7.5	2924.1	825.0	2099.1	468.5	14.988	-0.881	2.86	20.7
8.0	3140.7	950.0	2190.7	551.8	15.116	-0.940	2.89	20.6

Total Continuous Driving Time 27.00 minutes; Total Number of Blows 1053

**Resultados GRL-Weap - Propagación de ondas**

**Sección:** 50X50

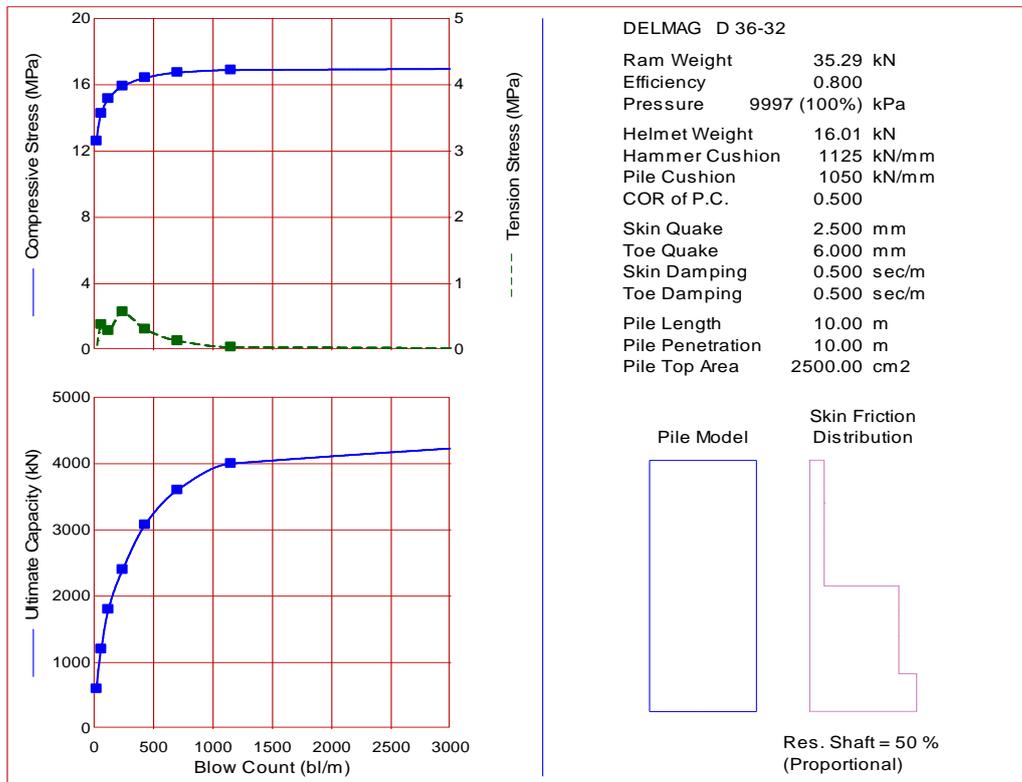
**Martillo:** D 25-32



**Resultados GRL-Weap - Capacidad de Carga**

**Sección:** 50X50

**Martillo:** D 36-32

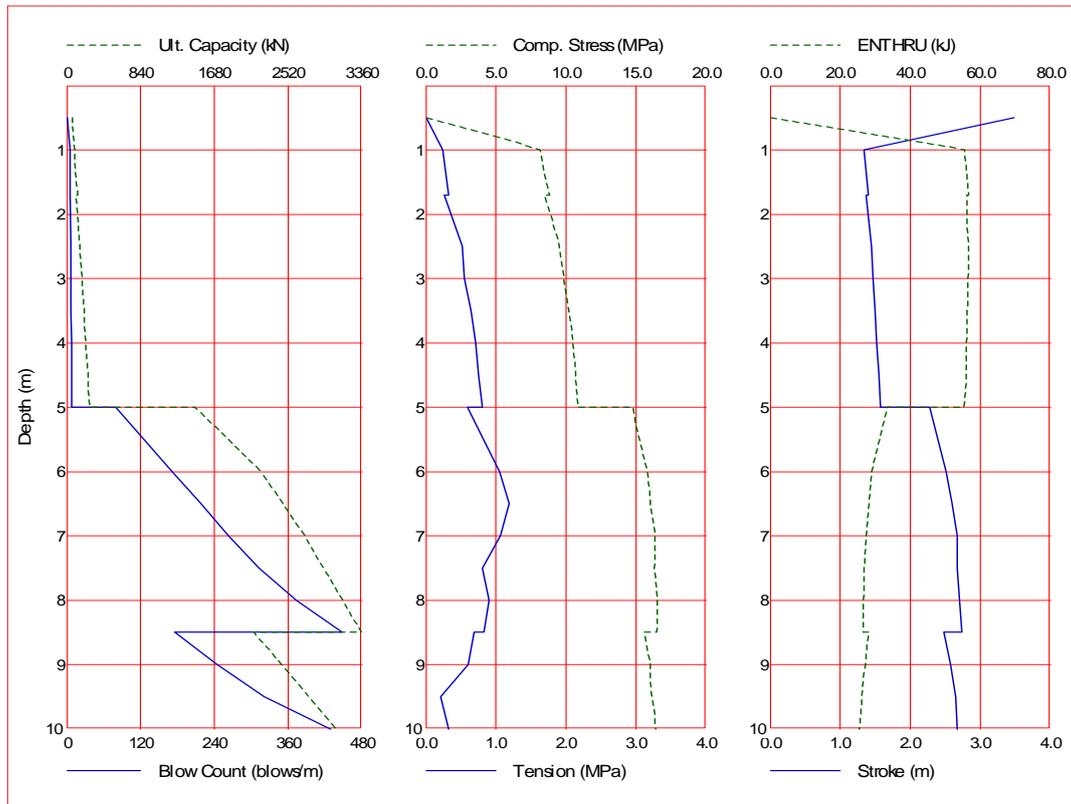


Ultimate Capacity kN	Maximum Compression Stress MPa	Maximum Tension Stress MPa	Blow Count bl/m	Stroke m	Energy kN-m
600.0	12.60	0.00	23.0	1.82	43.85
1200.0	14.26	0.38	61.1	2.17	34.63
1800.0	15.16	0.29	120.7	2.39	29.44
2400.0	15.91	0.57	240.6	2.57	26.78
3075.0	16.42	0.31	428.9	2.67	25.35
3600.0	16.74	0.14	702.7	2.73	24.84
4000.0	16.89	0.04	1152.7	2.77	24.47
4800.0	17.13	0.00	9999.0	2.83	23.91

**Resultados GRL-Weap - Hincabilidad**

**Sección:** 50X50

**Martillo:** D 36-32



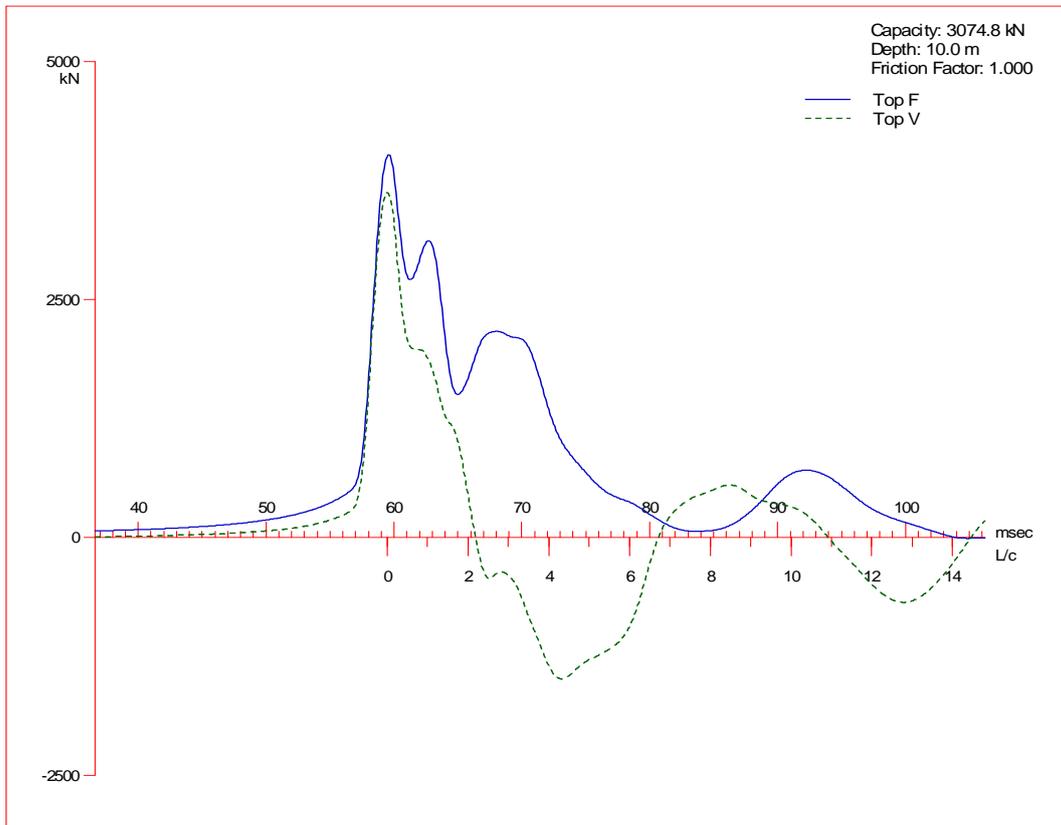
Depth m	Ultimate Capacity kN	Friction kN	End Bearing kN	Blow Count blows/m	Comp. Stress MPa	Tension Stress MPa	Stroke m	ENTHRU kJ
0.5	61.2	20.0	41.2	0.0	0.000	0.000	3.48	0.0
1.0	90.0	40.0	50.0	5.3	8.144	-0.237	1.34	55.5
1.7	121.7	68.0	53.8	5.8	8.817	-0.330	1.40	56.7
1.7	108.5	68.4	40.1	5.6	8.475	-0.259	1.37	56.2
2.5	149.2	100.0	49.2	6.3	9.503	-0.516	1.44	56.6
3.0	175.0	120.0	55.0	6.7	9.814	-0.546	1.47	56.4
3.5	196.9	140.0	56.9	7.1	10.197	-0.648	1.50	56.3
4.0	218.7	160.0	58.8	7.6	10.469	-0.714	1.52	56.1
4.5	240.0	180.0	60.0	8.0	10.700	-0.749	1.55	55.9
5.0	261.2	200.0	61.2	8.5	10.847	-0.803	1.57	55.4
5.0	1457.7	202.5	1255.2	79.2	14.790	-0.595	2.28	33.3
6.0	2217.5	450.0	1767.5	171.6	15.802	-1.054	2.51	28.9
6.5	2462.5	575.0	1887.5	217.9	16.027	-1.192	2.60	28.2
7.0	2707.5	700.0	2007.5	263.3	16.363	-1.060	2.67	27.5
7.5	2924.2	825.0	2099.2	313.3	16.296	-0.809	2.67	26.8
8.0	3140.8	950.0	2190.8	373.7	16.493	-0.906	2.70	26.6
8.5	3357.5	1075.0	2282.5	447.8	16.444	-0.824	2.74	26.5
8.5	2131.3	1078.0	1053.3	175.6	15.581	-0.685	2.48	28.2
9.0	2441.6	1225.0	1216.6	244.8	16.019	-0.599	2.58	27.2
9.5	2758.2	1375.0	1383.2	321.6	16.158	-0.203	2.65	26.1
10.0	3074.8	1525.0	1549.8	430.1	16.422	-0.320	2.67	25.4

Total Continuous Driving Time 33.00 minutes; Total Number of Blows 1326

**Resultados GRL-Weap - Propagación de ondas**

**Sección:** 50X50

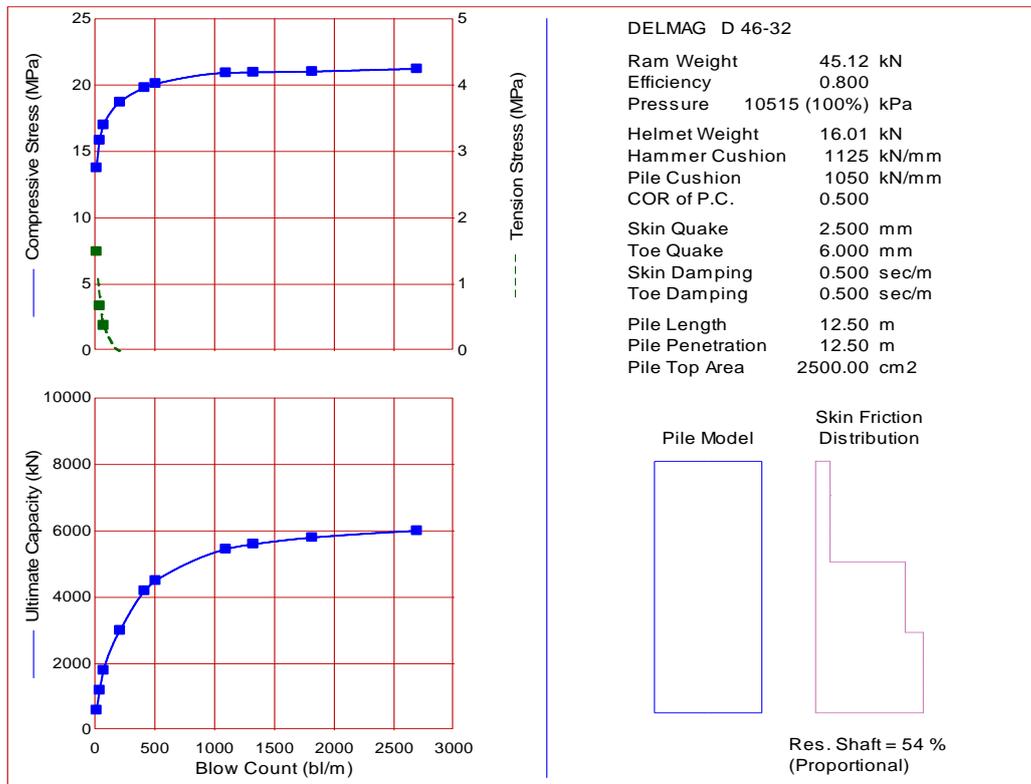
**Martillo:** D 36-32



**Resultados GRL-Weap - Capacidad de Carga**

**Sección:** 50X50

**Martillo:** D 46-32

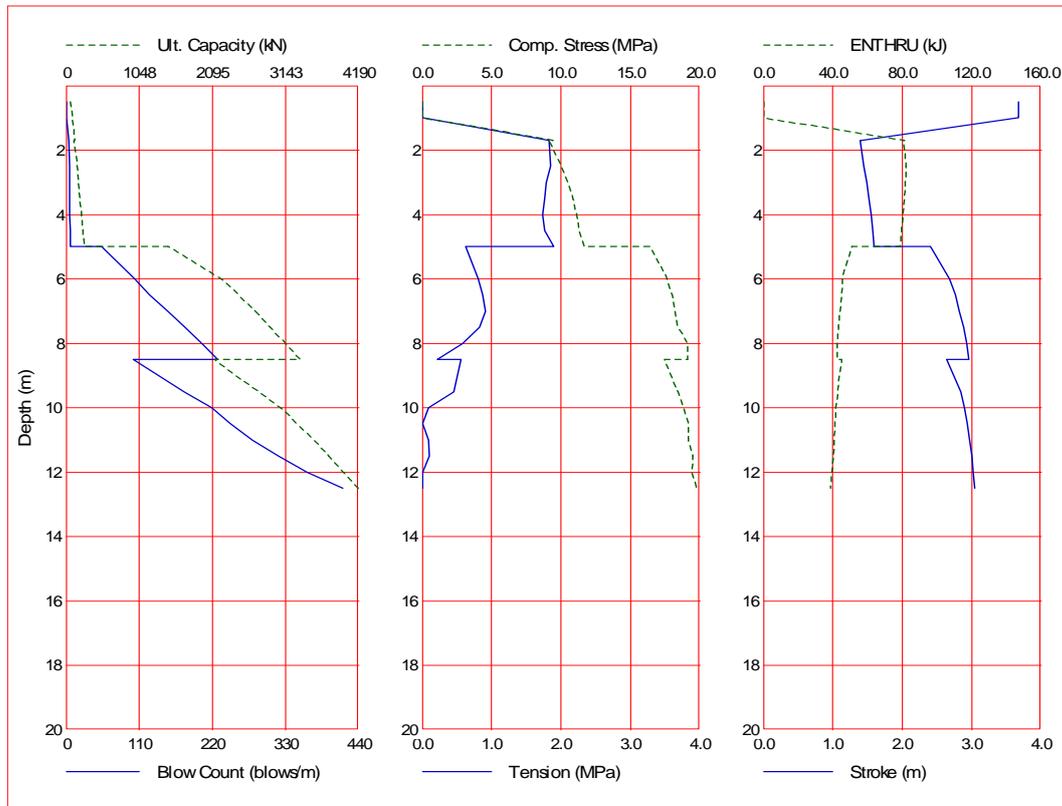


Ultimate Capacity kN	Maximum Compression Stress MPa	Maximum Tension Stress MPa	Blow Count bl/m	Stroke m	Energy kN-m
600.0	13.76	1.49	16.0	1.90	63.93
1200.0	15.85	0.67	41.8	2.30	52.09
1800.0	16.99	0.38	74.8	2.53	45.70
3000.0	18.71	0.00	212.2	2.89	40.12
4190.0	19.79	0.00	416.7	3.04	38.74
4500.0	20.10	0.00	509.0	3.07	38.50
5450.0	20.91	0.00	1096.2	3.15	38.69
5600.0	20.96	0.00	1325.0	3.15	38.60
5800.0	21.02	0.00	1815.9	3.16	38.46
6000.0	21.22	0.00	2691.7	3.16	38.46

**Resultados GRL-Weap - Hincabilidad**

**Sección:** 50X50

**Martillo:** D 46-32



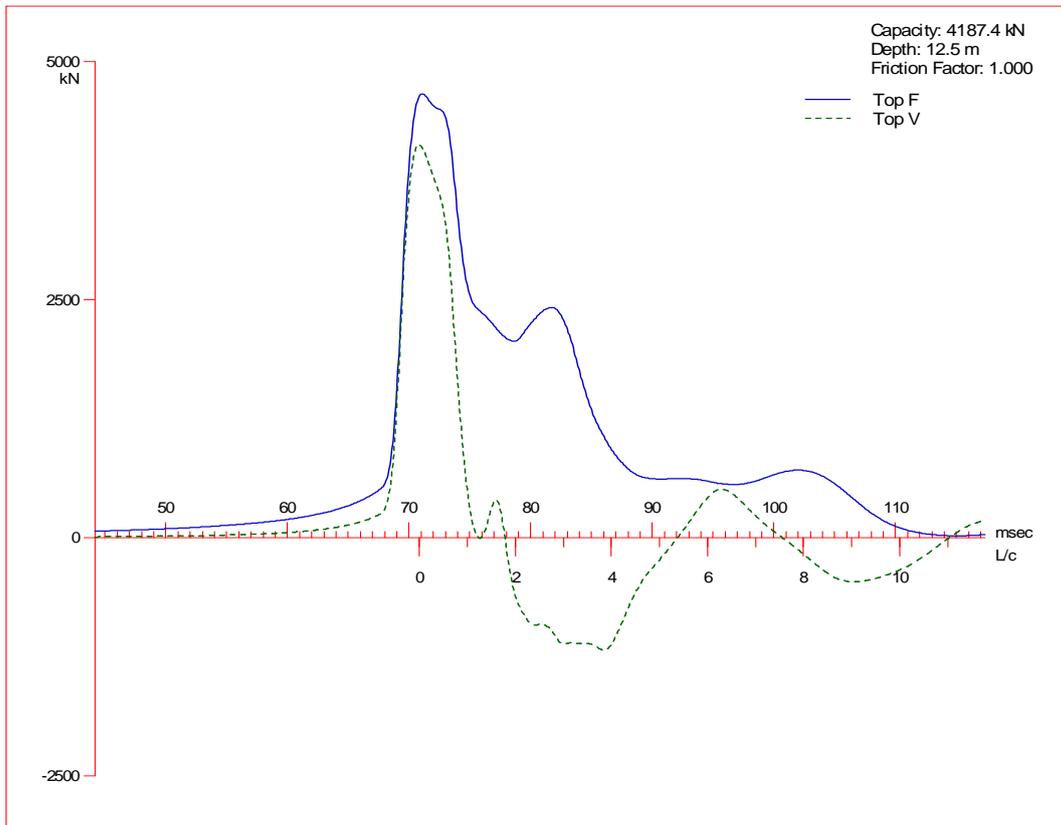
Depth m	Ultimate Capacity kN	Friction kN	End Bearing kN	Blow Count blows/m	Comp. Stress MPa	Tension Stress MPa	Stroke m	ENTHRU kJ
0.5	61.2	20.0	41.2	0.0	0.000	0.000	3.67	0.0
1.0	90.0	40.0	50.0	0.0	0.000	0.000	3.67	0.0
1.7	121.7	68.0	53.7	4.2	9.414	-1.827	1.41	81.1
1.7	108.5	68.4	40.1	4.0	9.146	-1.828	1.39	80.3
2.5	149.2	100.0	49.2	4.5	9.992	-1.854	1.44	82.2
3.0	175.0	120.0	55.0	4.9	10.497	-1.782	1.49	81.9
3.5	196.9	140.0	56.9	5.1	10.868	-1.764	1.52	81.1
4.0	218.7	160.0	58.7	5.4	11.130	-1.732	1.55	80.3
4.5	240.0	180.0	60.0	5.8	11.347	-1.760	1.57	79.4
5.0	261.2	200.0	61.2	6.1	11.645	-1.893	1.59	78.6
5.0	1457.7	202.5	1255.2	52.8	16.406	-0.627	2.41	50.9
6.0	2217.5	450.0	1767.5	102.8	17.633	-0.803	2.68	45.6
6.5	2462.5	575.0	1887.5	125.3	18.024	-0.874	2.77	44.8
7.0	2707.5	700.0	2007.5	153.7	18.200	-0.914	2.82	44.0
7.5	2924.2	825.0	2099.2	178.8	18.435	-0.829	2.88	43.4
8.0	3140.8	950.0	2190.8	204.9	19.143	-0.583	2.93	42.6
8.5	3357.5	1075.0	2282.5	228.0	19.112	-0.220	2.96	42.4
8.5	2131.3	1078.0	1053.3	100.8	17.444	-0.561	2.64	45.1
9.5	2758.3	1375.0	1383.3	177.2	18.407	-0.452	2.84	42.9
10.0	3075.0	1525.0	1550.0	218.9	18.785	-0.089	2.90	41.8
10.5	3309.4	1675.0	1634.4	247.0	19.162	0.000	2.94	41.3
11.0	3543.7	1825.0	1718.7	280.7	19.187	-0.090	2.97	40.8
11.5	3759.4	1975.0	1784.4	319.1	19.488	-0.098	3.00	40.2
12.0	3975.0	2125.0	1850.0	363.1	19.457	0.000	3.02	39.5
12.5	4187.4	2275.0	1912.4	415.9	19.782	0.000	3.04	38.7

Total Continuous Driving Time 39.00 minutes; Total Number of Blows 1511

**Resultados GRL-Weap - Propagación de ondas**

**Sección:** 50X50

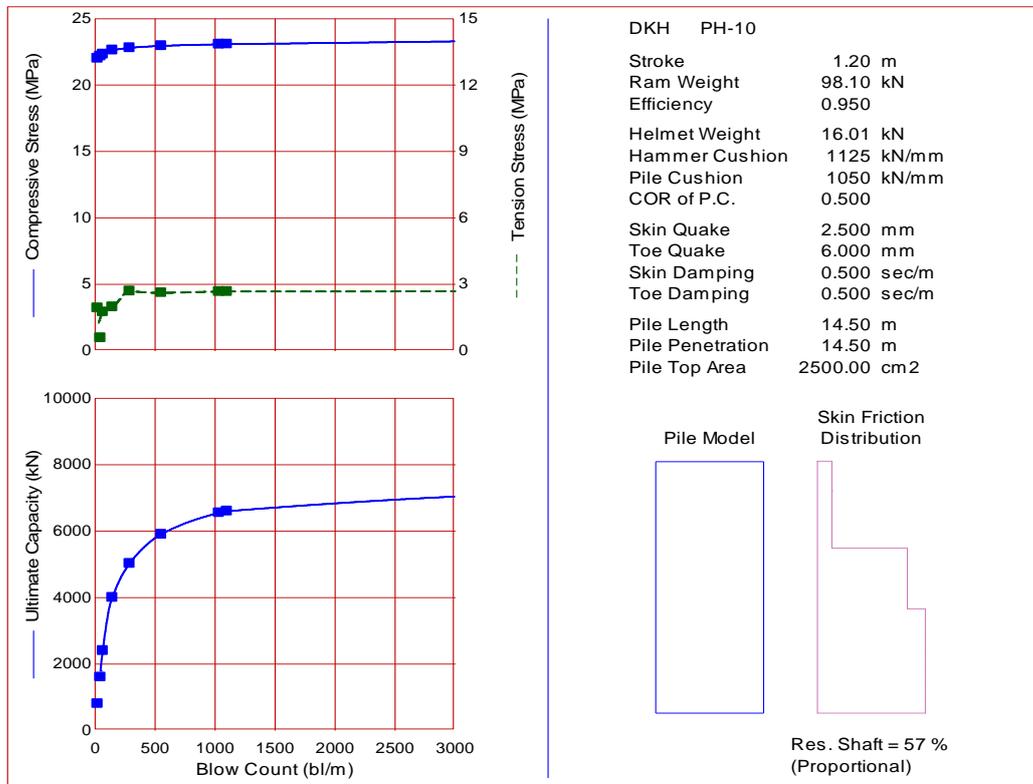
**Martillo:** D 46-32



**Resultados GRL-Weap - Capacidad de Carga**

**Sección:** 50X50

**Martillo:** DKH 10

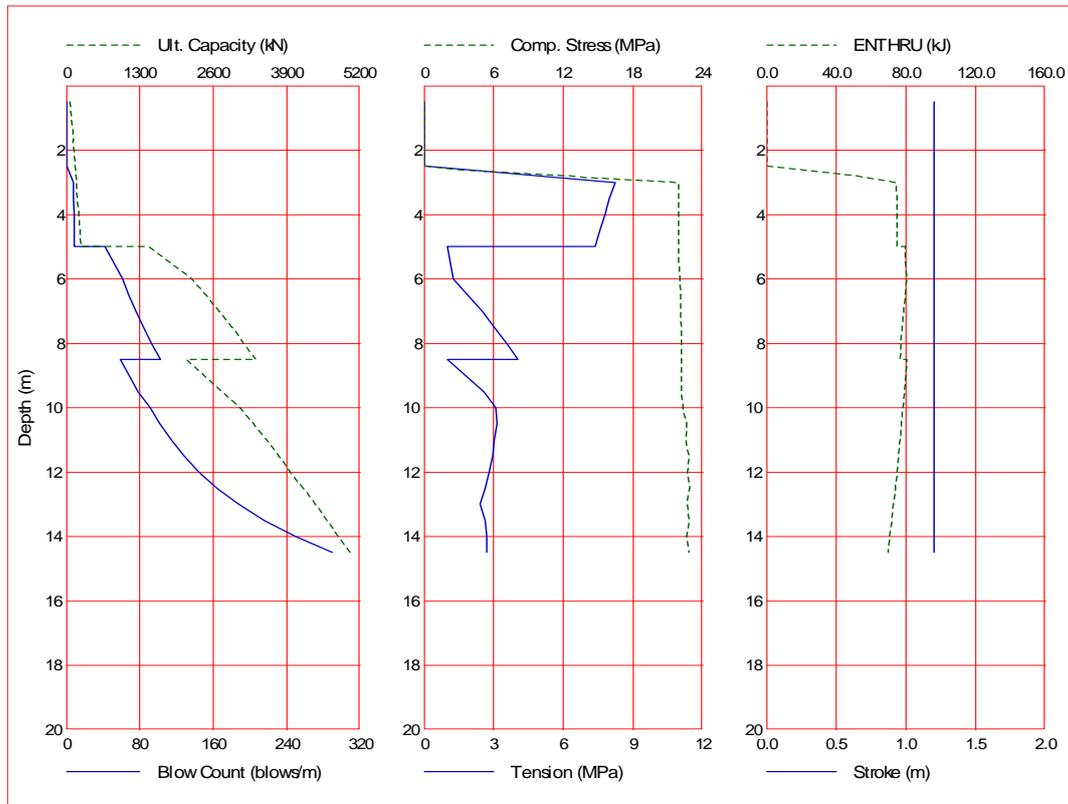


Ultimate Capacity kN	Maximum Compression Stress MPa	Maximum Tension Stress MPa	Blow Count bl/m	Stroke m	Energy kN-m
800.0	22.02	1.93	22.0	1.20	78.65
1600.0	22.18	0.58	45.6	1.20	78.99
2400.0	22.32	1.75	66.0	1.20	78.52
4000.0	22.62	1.98	145.7	1.20	73.50
5024.0	22.81	2.70	289.9	1.20	69.74
5900.0	22.95	2.62	552.7	1.20	66.76
6550.0	23.07	2.68	1033.0	1.20	64.83
6600.0	23.08	2.68	1101.1	1.20	64.69
7200.0	23.41	2.69	4247.8	1.20	63.13
7500.0	23.78	2.68	9999.0	1.20	62.41

**Resultados GRL-Weap - Hincabilidad**

**Sección:** 50X50

**Martillo:** DKH 10



Depth m	Ultimate Capacity kN	Friction kN	End Bearing kN	Blow Count blows/m	Comp. Stress MPa	Tensor Stress MPa	Stroke m	ENTHRU kJ
0.5	61.2	20.0	41.2	0.0	0.000	0.000	1.20	0.0
1.0	90.0	40.0	50.0	0.0	0.000	0.000	1.20	0.0
1.7	121.7	68.0	53.7	0.0	0.000	0.000	1.20	0.0
1.7	108.5	68.4	40.1	0.0	0.000	0.000	1.20	0.0
2.5	149.2	100.0	49.2	0.0	0.000	0.000	1.20	0.0
3.0	175.0	120.0	55.0	7.5	21.895	-8.228	1.20	74.6
3.5	196.9	140.0	56.9	7.9	21.895	-7.997	1.20	74.7
4.0	218.7	160.0	58.7	8.3	21.895	-7.785	1.20	74.8
4.5	240.0	180.0	60.0	8.6	21.905	-7.582	1.20	74.9
5.0	261.2	200.0	61.2	8.9	21.945	-7.380	1.20	75.0
5.0	1457.7	202.5	1255.2	42.0	21.920	-0.998	1.20	79.4
6.0	2217.5	450.0	1767.5	61.0	22.052	-1.264	1.20	80.4
6.5	2462.5	575.0	1887.5	68.0	22.140	-1.862	1.20	79.7
7.0	2707.5	700.0	2007.5	75.9	22.143	-2.497	1.20	78.6
7.5	2924.2	825.0	2099.2	83.7	22.168	-3.032	1.20	77.8
8.0	3140.8	950.0	2190.8	92.6	22.160	-3.582	1.20	77.1
8.5	3357.5	1075.0	2282.5	102.6	22.189	-4.049	1.20	76.4
8.5	2131.3	1078.0	1053.3	59.1	22.191	-1.018	1.20	80.6
9.5	2758.3	1375.0	1383.3	78.3	22.207	-2.576	1.20	79.1
10.0	3075.0	1525.0	1550.0	90.9	22.288	-3.078	1.20	78.2
10.5	3309.4	1675.0	1634.4	101.7	22.618	-3.143	1.20	77.5
11.0	3543.7	1825.0	1718.7	114.5	22.580	-3.009	1.20	76.6
11.5	3759.4	1975.0	1784.4	128.3	22.817	-2.965	1.20	75.8
12.0	3975.0	2125.0	1850.0	144.8	22.709	-2.792	1.20	74.8
12.5	4187.5	2275.0	1912.5	164.2	22.867	-2.650	1.20	73.9
13.0	4400.0	2425.0	1975.0	187.7	22.682	-2.416	1.20	72.9
13.5	4608.7	2575.0	2033.7	215.7	22.845	-2.652	1.20	72.0
14.0	4817.5	2725.0	2092.5	249.6	22.597	-2.712	1.20	70.8
14.5	5023.7	2875.0	2148.7	289.6	22.810	-2.705	1.20	69.7

Total Number of Blows: 1129  
 Driving Time (min): 37 28 22 18 16 14 12 11 10 9  
 @Blow Rate (b/min): 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120  
 Driving Time for continuously running hammer; any wait times not included

**Resultados GRL-Weap - Propagación de ondas**

**Sección:** 50X50

**Martillo:** DKH 10

