

PILOTES METÁLICOS

Autoria: Equipo Técnico Gerdau Açominas

Hasta 2002 los pilotes metálicos se utilizaban en Brasil principalmente en las estructuras de contención (perfiles metálicos asociados a planchas de madera o prefabricadas de hormigón) y en los pilares de borde, con el objetivo de eliminar las vigas de equilibrio. También en el caso que se querían reducir las vibraciones consecuentes del hincado de pilotes de desplazamiento (pilotes premoldeados de concreto, pilotes del tipo Franki, pilotes tubulares, etc.), los pilotes metálicos siempre fueron considerados como solución de alta eficiencia. Lo mismo se puede decir cuando es necesario atravesar capas de pedruscos o concreciones (laterita, limonita, etc.).

Con el creciente uso de perfiles laminados del tipo WF en Brasil, ese escenario pasó a ser gradualmente transformado y, hoy, los pilotes metálicos para cimentaciones profundas ya son una realidad, compitiendo técnica y económicamente con los demás tipos de elementos para cimentaciones.

Esto se debe al hecho de que los perfiles laminados del tipo WF, son producidos en acero de alta resistencia (ASTM A 572 Grado 50) y con alas paralelas que facilitan uniones. Además de esas características fue la amplia variedad de medidas ofrecidas para perfiles de una misma familia (aquéllos cuyas medidas son de misma altura nominal, con variaciones en el espesor de alma y alas) que permitió el desarrollo de los Pilotes Metálicos de Sección Transversal Decreciente con la Profundidad. O sea, con base en las características de los perfiles WF, es posible proyectar pilotes metálicos compuestos con perfiles de un mismo grupo, con sección transversal variable en función de la profundidad. El concepto es relativamente simple y establece que la sección transversal puede ser reducida con la profundidad en función de la carga resultante en el pilote, que va disminuyendo en razón de la transferencia de carga para el suelo, por fricción lateral. Esa solución, que ofrece una significativa reducción en el peso medio de los pilotes, se presenta como alternativa técnico-económica para las cimentaciones profundas, donde tradicionalmente se utilizan pilares, estacas raíz, estacas premoldeadas de hormigón con empalmes soldados y rieles (usados y nuevos).

APLICACIONES Y CARACTERISTICAS DE LOS PILOTES METALICOS

Aplicaciones

Como elementos de cimentaciones, los pilotes metálicos tienen una importante aplicación en la construcción industrial, en edificios de múltiples pisos, puente y viaductos, puertos y torres de transmisión. En las estructuras de contención tienen papel preponderante en función de la facilidad de hincado, de su alta resistencia y de la versatilidad de integración con elementos constructivos complementarios.

Ventajas

Son muchas las razones para su utilización, con ventajas sobre otros tipos, entre las cuales resaltamos:

- Bajo nivel de vibración durante el hincado, tanto con martillos de libre caída como con los modernos martillos hidráulicos;
- Posibilidad de hincado en suelos de difícil transposición como, por ejemplo, arcillas rígidas a duras, pedruscos y concreciones (laterita, limonita, etc.) sin el inconveniente del "arrancamiento" de pilotes vecinos existentes ya clavados (como ocurre, por ejemplo, en el caso de los pilotes premoldeados de hormigón y Franki) y sin pérdidas de pilotes "rotos" que afectan no solo las cimentaciones como también los encepados que deberán ser redimensionados (aspectos de costo y plazo);
- Resistencia a esfuerzos elevados de tracción (del orden de grandeza de la carga de compresión, excepto cuando los pilotes se apoyan en roca) y de flexión (razón de su grande utilización en las estructuras de contención);
- Posibilidad de tratamiento a base de pintura especial, con la finalidad de reducir el efecto de la "fricción negativa";
- Facilidad de corte y empalmes de modo a reducir "pérdidas" consecuentes de la variación de la cota de apoyo del estrato fuerte, principalmente en suelos residuales jóvenes.

Pilotes Mixtos

Cuando usados como complemento de otro tipo de pilotes (por ejemplo, premoldeado de hormigón con anillo metálico), los denominados pilotes mixtos pueden resolver varios problemas de cimentaciones profundas, según se muestra en las Fotos 1 y 2.

Foto 1 – Pilotes Mixtos (hormigón-perfil metálico) para atravesar solos fuertes sin riesgo de arrancamiento de pilotes ya enterrados. También se utilizan en obras marítimas.



Foto 2 – Pilotes Mixtos (hormigón-perfil metálico) para apoyo en roca.



Foto 3 - Vista general de la obra.



En el primer caso (Foto 1) el tramo metálico tiene como finalidad permitir el hincado de una longitud significativa del pilote en suelos compactos arenosos o arcillas rígidas a duras, sin los inconvenientes del "arrancamiento" antes mencionado, o atravesar pedruscos y concreciones. Su aplicación más significativa ocurre en obras marítimas (muelles) donde es común la existencia de esas capas fuertes, pero el pilote es proyectado con un largo prefijado (por ejemplo, consecuente de un dragado futuro) para resistir a esfuerzos elevados de tracción. El hincado de pilotes de hormigón, en este caso, puede tornarse inviable, en razón de quiebras para alcanzar la profundidad definida por el proyectista. Así, el pilote mixto tendrá un tramo en hormigón armado (región en contacto con el agua), y un trecho metálico (región de suelo), con largo tal que permita atravesar esas dificultades de resistencia del suelo alcanzando el largo definido en proyecto, y manteniendo la

integridad estructural para resistir a las cargas de compresión y tracción que le son impuestas. Una vista general de una de esas obras es mostrada en la **Foto 3**.

En el segundo caso (Foto 2) el segmento metálico tiene por finalidad permitir que el pilote mixto pueda ser hincado hasta alcanzar un estrato rocoso, sin que haya riesgo de quiebra de la punta del pilote de hormigón, visto que, en la casi totalidad de los casos en los que se encuentre roca, ésta se encuentra inclinada, imponiendo a la punta del pilote, tensiones no uniformes, durante el hincado. Estas tensiones dinámicas del hincado no pueden ser resistidas por el hormigón, sino por la punta metálica. El acero es un material más dúctil y, por deformaciones diferenciales redistribuye esas tensiones de contacto y las transmite de modo más uniforme para la sección de hormigón.

CORROSION

Pilotes de acero son utilizados en todo el mundo hace más de 120 años y su durabilidad ha excedido todas las expectativas teóricas, especialmente en suelos muy agresivos o contaminados por productos químicos. No hay caso relatado en la literatura internacional de reducción de la capacidad estructural causada por la corrosión de pilotes de acero.

La vasta literatura disponible ha indicado que los suelos naturales son tan deficientes en oxígeno que el acero no es apreciablemente afectado por la corrosión, independientemente del tipo de suelo o de sus propiedades.

El proceso de corrosión de un pilote enterrado en suelos cuyo pH esté situado entre 4 y 10, es decir, casi que la totalidad de los suelos naturales encontrados, es fundamentalmente dependiente de la presencia simultánea de agua y oxígeno. En la ausencia de una de esas sustancias, la corrosión no ocurre.

El primer metro de suelo presenta cierta oxigenación; abajo de eso, la concentración de oxígeno decrece rápidamente con la profundidad, y su reposición es extremadamente difícil. La difusión de gases en medios porosos conteniendo agua, es un proceso muy lento. Un pilote recién hincado en el suelo consume todo ese oxígeno disponible a su alrededor durante el proceso de corrosión, agotándolo. Para que el proceso tenga continuidad, más oxígeno debe llegar al sitio de reacción, lo que no sucede con facilidad. Ese es el motivo por el cual los resultados experimentales disponibles han revelado la gran resistencia del acero frente a la corrosión, independientemente del tipo de suelo o de sus propiedades. Otras propiedades de los suelos, tales como, drenaje, resistividad eléctrica, o composición química no son de gran valía en la determinación de su corrosividad.

El artículo técnico "Durabilidad de Pilotes Metálicas Enterrados en el Suelo", de autoría de Pannoni, demuestra que el texto de la actual NBR 6122/1996 de la ABNT (Norma Brasileña), que prescribe un descuento de 1,5 mm de la superficie del perfil en contacto con el suelo, trae exigencias superiores a otras Normas y Códigos internacionales. Todavía, como esa Norma está vigente para todos los efectos, este manual seguirá su línea actual de exigencia.

Foto 4: Pilote Metálico del puente Wandenkolk removido después de más de 20 años de uso



La Foto 4 muestra un pilote metálico que sirvió como cimentación por más de 20 años, del puente de la Calle Wandenkolk, sobre el río Tamanduateí, en São Paulo. Ese pilote fue removido, juntamente con todos los demás pilotes de las cimentaciones del puente, cuando de la rectificación, alargamiento y hundimiento de la riviéra de ese río. La sección de separación entre el tramo enterrado del pilote y el inmerso en el hormigón del encuentro del puente (coronamiento) está indicada, en esa foto, por la flecha.

También en el libro de Cimentaciones de los Profesores Dirceu Velloso y Francisco Lopes (COPPE-UFRJ - vol. 2) hay el relato de que el análisis de pilotes metálicos utilizados como cimentaciones de edificios en Rio de Janeiro, junto a la "Lagoa Rodrigo de Freitas" y retiradas con 10 a 20 años de uso, no presentaban señales de corrosión.

DIMENSIONAMIENTO ESTRUCTURAL

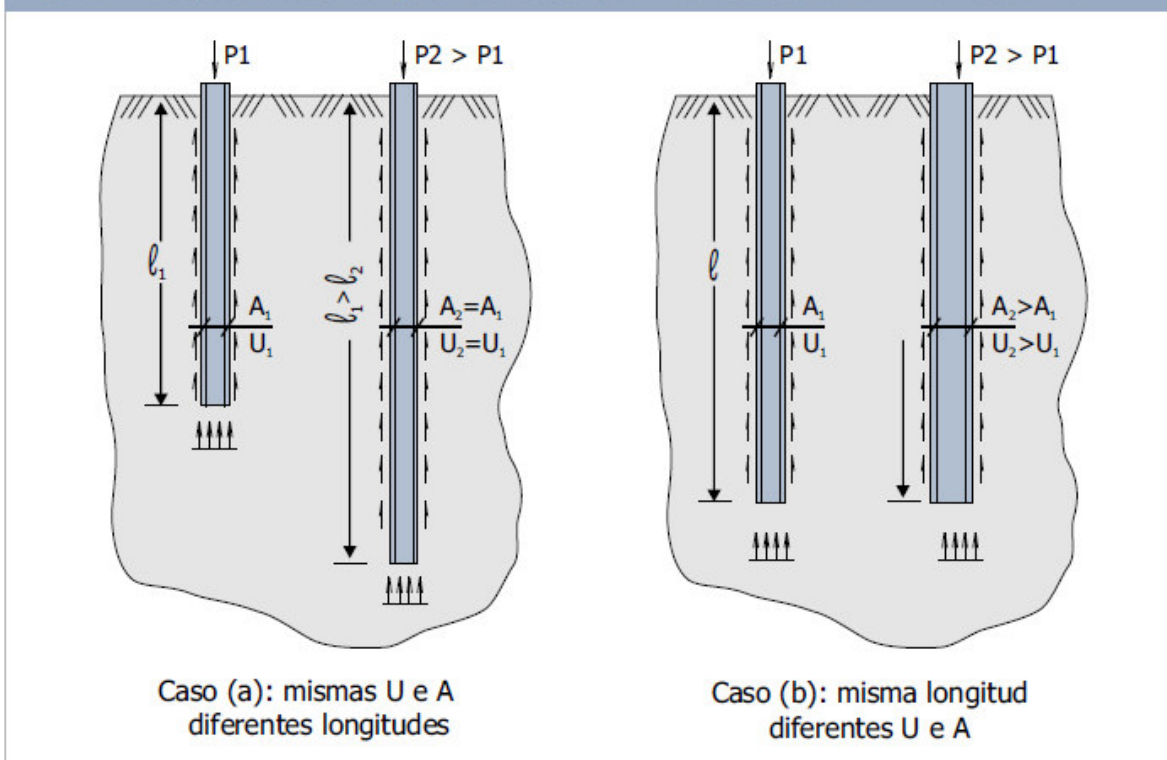
Pandeo

En pilotes comprimidos que permanecen totalmente enterrados, normalmente no ocurre pandeo. Por esa razón, la NBR 6122/1996 solo exige la verificación del pandeo cuando los pilotes tengan su cota de enrase arriba del nivel del terreno, considerando la eventual erosión (en el caso de pilotes donde ocurre el flujo de agua), o atraviesen suelos blandos (capítulo 7.9.4 de la Norma).

CAPACIDAD DE CARGA GEOTECNICA

La carga estructural admisible, también denominada carga característica, es la máxima carga que el pilote podrá resistir, ya que corresponde la resistencia estructural del acero que compone el pilote. Sin embargo, hay necesidad de dotarse un pilote de una longitud tal que permita que esa carga pueda ser alcanzada bajo el punto de vista del contacto pilote-suelo. Ese procedimiento constituye lo que se denomina "previsión de la capacidad de carga". La Figura 1 muestra dos situaciones de pilotes del mismo tipo, enterradas en un mismo suelo. El caso (a) corresponde a pilotes con mismo perímetro U y misma área de punta A , sin embargo con diferentes longitudes, de tal suerte que el pilote con mayor longitud presentará mayor capacidad de carga. Análogamente, el caso (b) presenta dos pilotes con misma longitud, pero con perímetro U y área de punta A diferentes. En ese caso el pilote de mayor perímetro y área presentará mayor capacidad de carga. Por lo tanto, el proyecto de una cimentación consiste en optimizar perímetros y áreas de punta en función de las características de resistencia del suelo y de las limitaciones de los equipos de hincado. Es evidente que, en esa optimización, y siempre que sea posible, se deben utilizar pilotes y equipos que permitan instalarlos en una longitud tal que la carga estructural admisible pueda ser alcanzada, pues ésta es la máxima carga que el pilote puede soportar. Pero no siempre eso es posible y, de una manera general, la carga admisible del pilote será inferior aquella mostrada en la Tabla 2. Es por esa razón que no existen tablas de cargas admisibles de pilotes metálicos (o de otro tipo).

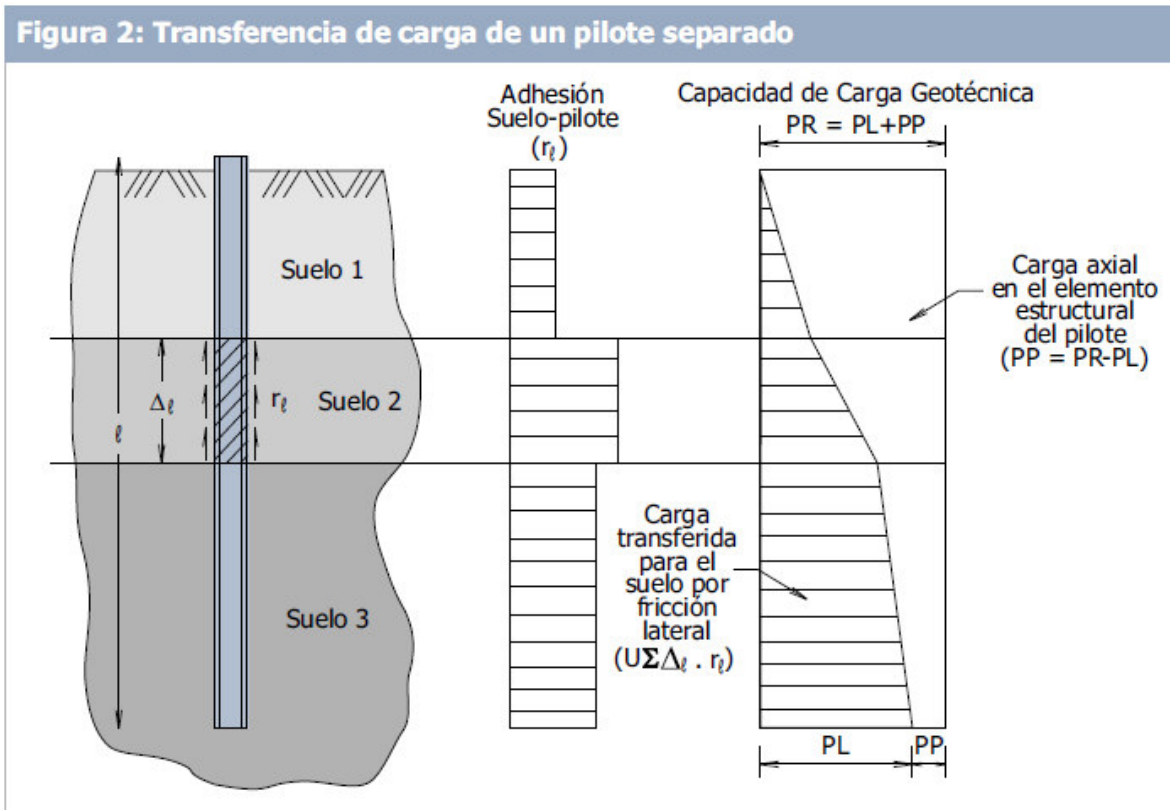
Figura 1: Capacidad de carga de estacas del mismo tipo en un mismo suelo



En Brasil, el estimado de capacidad de carga geotécnica es hecho por los métodos semiempíricos, cuyo origen se dio en 1975, cuando fue presentado el primer método

brasileño propuesto por Aoki y Veloso. Desde entonces varios otros autores, siguiendo la misma línea de razonamiento, presentaron otros métodos, existiendo hoy una experiencia bastante razonable de los profesionales del área de cimentaciones.

Todos los métodos semiempíricos tienen como base la **Figura 2** en que la carga de ruptura geotécnica PR del suelo, que da soporte a un pilote separado, es admitida igual a la suma de dos factores:



$PR = PL + PP$ carga en la ruptura del suelo que da soporte al pilote, siendo:

$PL = U \cdot l \cdot r$ factor de carga por fricción lateral a lo largo del fuste del pilote l

$PP = A \cdot r_p$ factor de carga debido a la punta del pilote p_p

U perímetro crecido de la sección transversal del pilote

l trecho de suelo donde se admite r_l constante

A área de la punta del pilote que aporta para la capacidad de carga. Su máximo p_p valor será: $b \times d$.

La diferencia entre los diversos métodos de capacidad de carga está en la evaluación de los valores de r y r_p , ya que los demás factores involucrados son geométricos.

PILOTES METALICOS DE SECCION TRANSVERSAL DECRECIENTE CON LA PROFUNDIDAD

Hasta 2006, los pilotes metálicos se proyectaban utilizando únicamente perfiles de sección constante. Sin embargo, según se puede ver en la Figura 2, la carga axial que deberá ser resistida por un pilote metálico decrece con la profundidad, desde el valor máximo (PR), en el tope, hasta el valor mínimo en la punta (PP). Como esos valores de carga son consecuentes de los valores de "rotura" del suelo, la carga (admisible o característica) a ser resistida por el pilote equivale a la mitad de ese valor, o sea, $P = PR/2$ en el tope. Así, se puede concluir que la sección transversal de un pilote metálico no necesita ser constante en toda su extensión, ya que la carga que en ella irá a actuar decrece con la profundidad. O sea, la sección de un pilote podrá variar (decrecer) con la profundidad, desde que atiende a la carga axial (con los respectivos coeficientes de ponderación) mostrada en la Figura 2.

Ese es un concepto nuevo, introducido en 2006 por el cuerpo técnico de Gerdau Açominas y denominado "Pilotes Metálicos de Sección Transversal Decreciente con la Profundidad", y que tiene como ventaja principal la reducción del peso de los pilotes metálicos. Es decir, con la variación decreciente de la sección transversal de los pilotes, se pueden lograr idénticas capacidades de carga con una economía sustancial en el peso de las mismas.

El concepto es muy simple y se basa en la utilización de Perfiles de un mismo grupo para componer los pilotes con sección transversal decreciente. Son considerados Perfiles de un mismo grupo aquéllos cuyas medidas son de misma altura nominal, con variaciones en el espesor de alma y patín (variación de masa y en el perímetro total). Siendo del mismo grupo, las uniones de los Perfiles de diferentes dimensiones serán ejecutadas con facilidad, idénticas a los pilotes con Perfiles de misma sección.

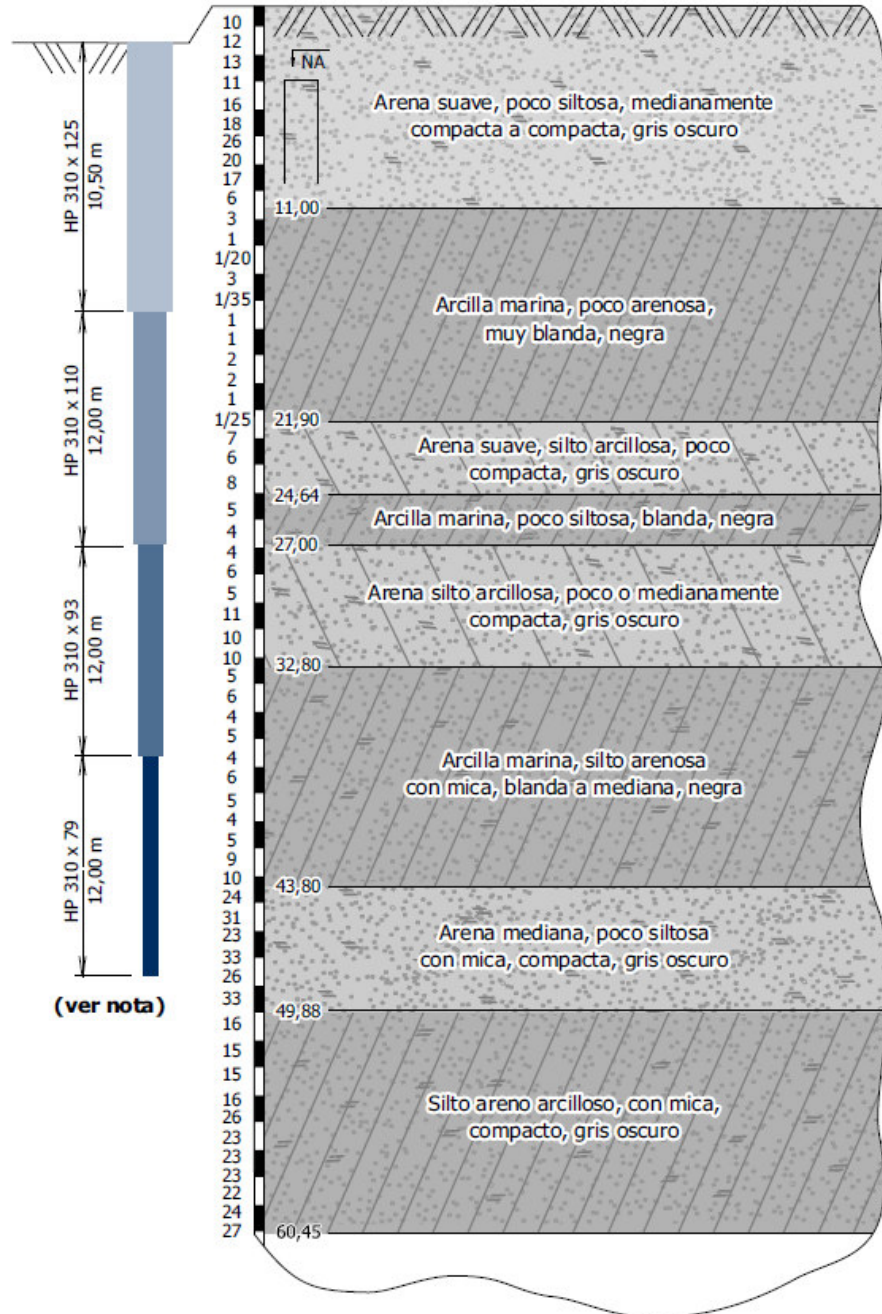
Los Perfiles WF, disponibles en amplia variedad de medidas para un mismo grupo, ofrecen extraordinaria flexibilidad para el uso de este nuevo concepto de pilotes. Usando como ejemplo las medidas del grupo con 310 mm de altura (4 diferentes perfiles del tipo HP), el perímetro varía entre el de menor y el de mayor peso del 0,5% a 2%, mientras las reducciones de masa van del 13% a 58%. Dependiendo obviamente del proyecto, de la condición de la obra, y de la combinación de los diferentes Perfiles que compondrán los pilotes, se puede economizar de una manera general para pilotes "largos", entre 15% y 25% del peso total de los pilotes metálicos de una obra utilizando sección transversal decreciente.

Es recomendable analizar la aplicación de este nuevo concepto en toda y cualquier obra que requiera el uso de cimentaciones profundas, con pilotes compuestos, por lo menos, por dos secciones de Perfiles. Como para cualquier otra solución, el tipo de suelo necesita ser considerado, pero, en los análisis ya realizados, la aplicación de pilotes metálicos de sección transversal decreciente, se ha mostrado alta eficiencia, principalmente para suelos naturales de diferentes tipos.

En Brasil, varias obras ya fueron realizadas utilizando este nuevo concepto. En la Figura 3, se muestra una de esas composiciones, proyectada para obra ejecutada en el Estado de São Paulo, en la ciudad de Santos. En esa obra fueron utilizados pilotes metálicos

compuestos con Perfiles WF de 310 mm de altura, cuyas secciones tenían peso variando entre 125 kg/m y 79 kg/m. Para comprobar la eficiencia de esos pilotes, se han realizado, regularmente, pruebas de carga estáticas cuyo resumen se presenta en el capítulo 10.

**Figura 3: Composición de Perfiles WF
(concepto de pilotes de sección decreciente con la profundidad)**

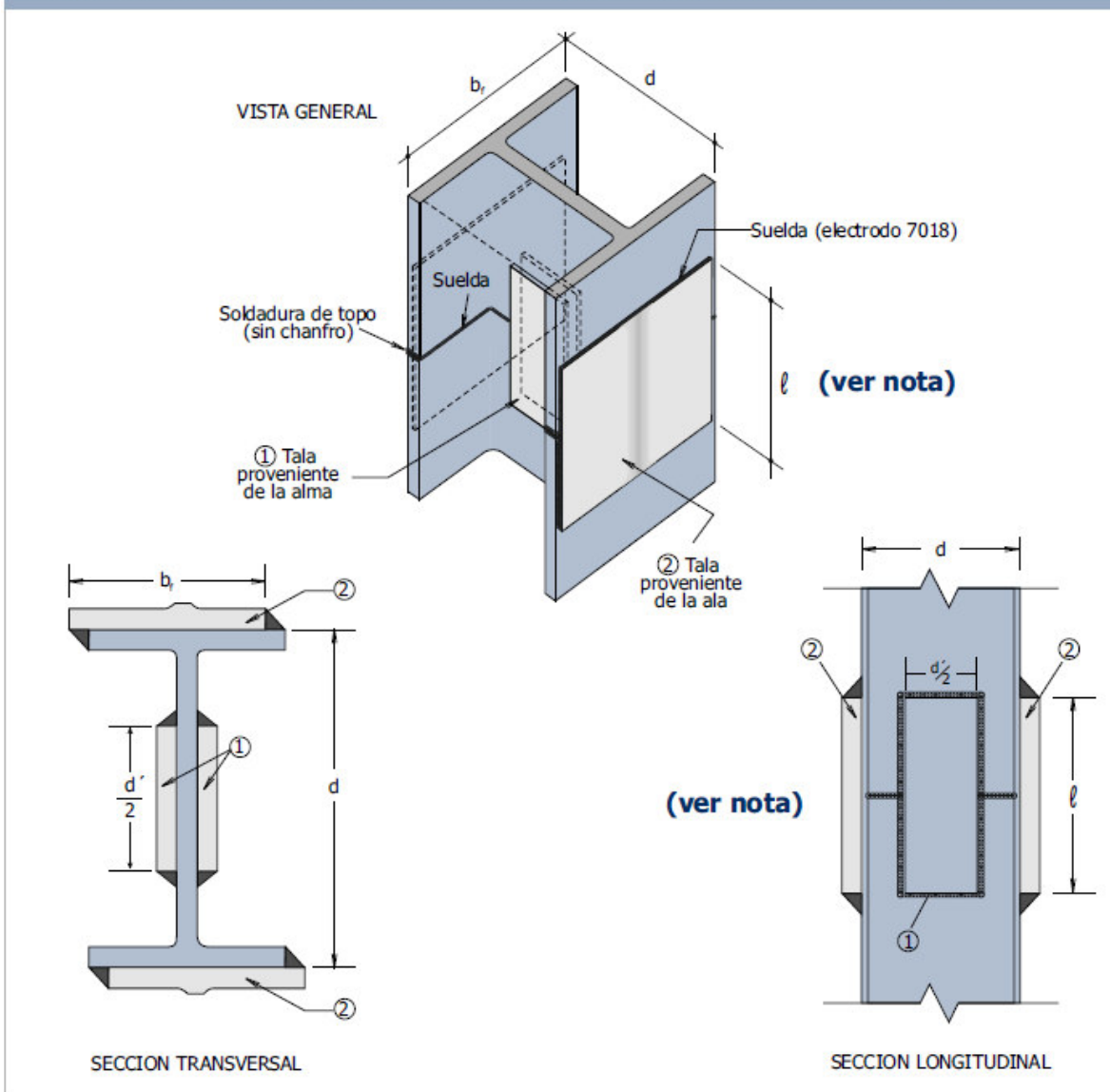


Nota: Figura sin escala, cuya finalidad es resaltar el concepto de Pilotes Metálicos de Sección Transversal Decreciente con la Profundidad.

DETALLES DE LOS EMPALMES DE LOS PERFILES

Los empalmes de los Perfiles son hechos a través de placas, fabricadas con sobrantes de los propios perfiles. El tamaño del cordón de soldadura y su espesor debe ser tal que garantice en la sección soldada, la misma resistencia del perfil. La práctica normal es usar placas extraídas de las alas para ser soldadas también en las alas, y placas del alma para ser soldadas en el alma. Las placas son previamente soldadas en el elemento superior (cuando el mismo aún no ha sido alzado, o sea, soldadura hecha con el perfil en el suelo). En seguida, ese elemento, ya con las placas, es alzado y posicionado sobre el tope del perfil ya hincado. A continuación se encaja el tope del perfil en la cabeza del ya hincado y se alinea el elemento superior con el inferior. Después de esa operación se apoya la maza sobre el sombrerete, se verifica la alineación, o la plomada y se ajustan las placas. Luego se suelda conforme detalle típico mostrada en la [Figura 4](#).

Figura 4: Unión típica de Perfiles trabajando como pilotes comprimidos



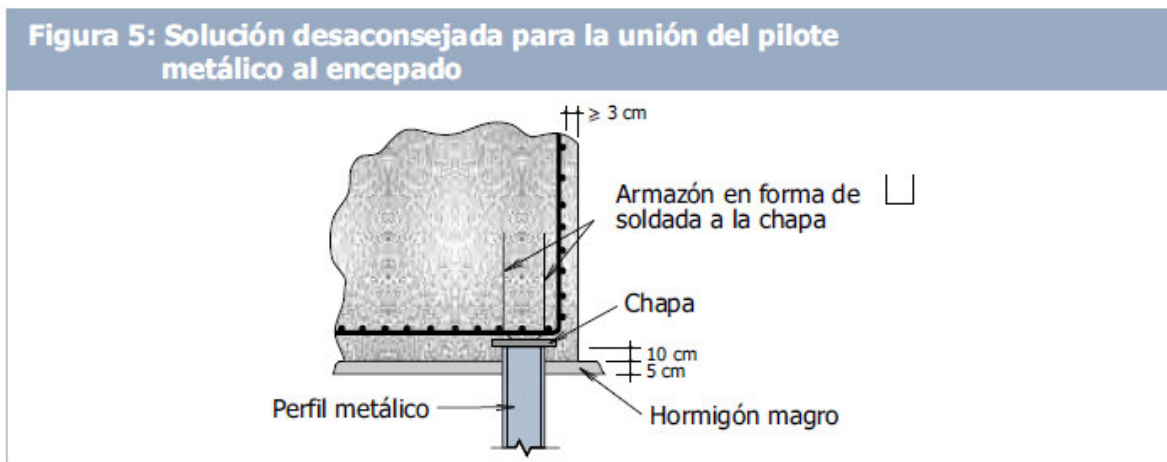
Nota: Para pilotes de tracción debe ser hecha una verificación de la longitud de las talas soldadas de modo que las mismas resistan a los esfuerzos de tracción.

UNION DE LOS PILOTES AL ENCEPADO

La unión de los pilotes metálicos al encepado debe ser hecha de modo que las cargas resistidas por el encepado sean transmitidas adecuadamente y con garantía de continuidad a los pilotes.

1er Caso - Pilotes Comprimidos

El detalle mostrado en la [Figura 5](#), muy difundido entre los calculistas de concreto armado, que consiste en soldar una placa en el tope del pilote no debe ser adoptado, pues el mismo tiene como principal inconveniente, el hecho del corte del perfil metálico, en la cota de enrase (después de hincado) donde será soldada la placa, ser hecho con soplete y en posición muy desfavorable para el operador, trabajando dentro del hueco para la confección del encepado y, en la mayoría de las veces próximo del nivel del agua. En estas condiciones adversas de corte, resultará una superficie sin garantía de perpendicularidad al eje del pilote, además en forma irregular y, de una manera general, no plana. Por esa razón el contacto de la placa con el área plena del perfil metálico es perjudicial. Para agravar la situación, normalmente la placa es mayor que la proyección de la sección transversal del perfil, necesitando que la soldadura de ésta al perfil sea realizada por debajo de la misma y, por lo tanto, sin cualquier control de la calidad de esa soldadura.



La unión más eficiente y recomendada por la NBR 6122/1996, consiste en empotrar 20 cm del pilote en el encepado, arriba de la armadura principal del encepado, según se muestra en la [Figura 6](#). También se puede utilizar una solución alternativa, mostrada en la [Figura 7](#), en que se sueldan barras al perfil abajo de la cota de arrasamiento y se envuelve esa región con hormigón armado. Generalmente esa longitud es del orden de 50 cm.

Figura 6: Solución de unión pilote-encepado recomendada por la NBR 6122/1996 (capítulo 7.8.2.3.2)

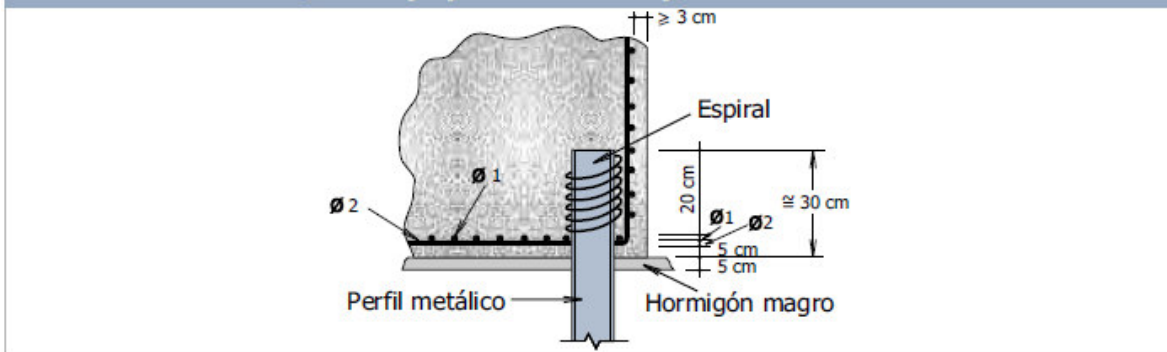
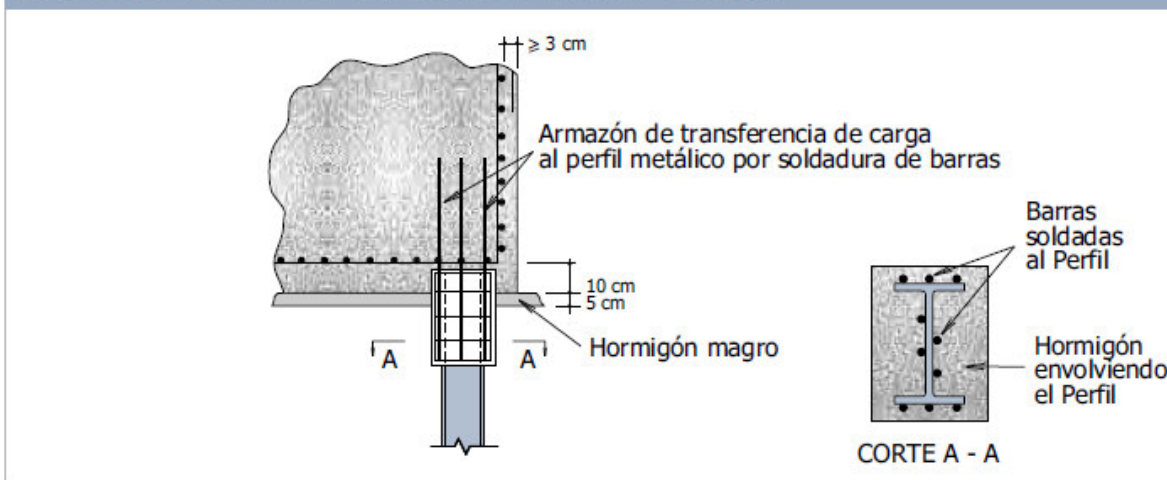


Figura 7: Solución alternativa de unión pilote-encepado



2do Caso – Pilotes de Tracción

En el caso que los pilotes trabajen a la tracción, la unión con el encepado es hecha a través de armadura, convenientemente calculada, soldada al perfil, análogamente al mostrado en la **Figura 7**, y que deberá penetrar en el encepado la longitud necesaria para transmitirle la carga de tracción, por adherencia, calculada según la Norma NBR 6118/2003.

CONTROLES DE LA CAPACIDAD DE CARGA

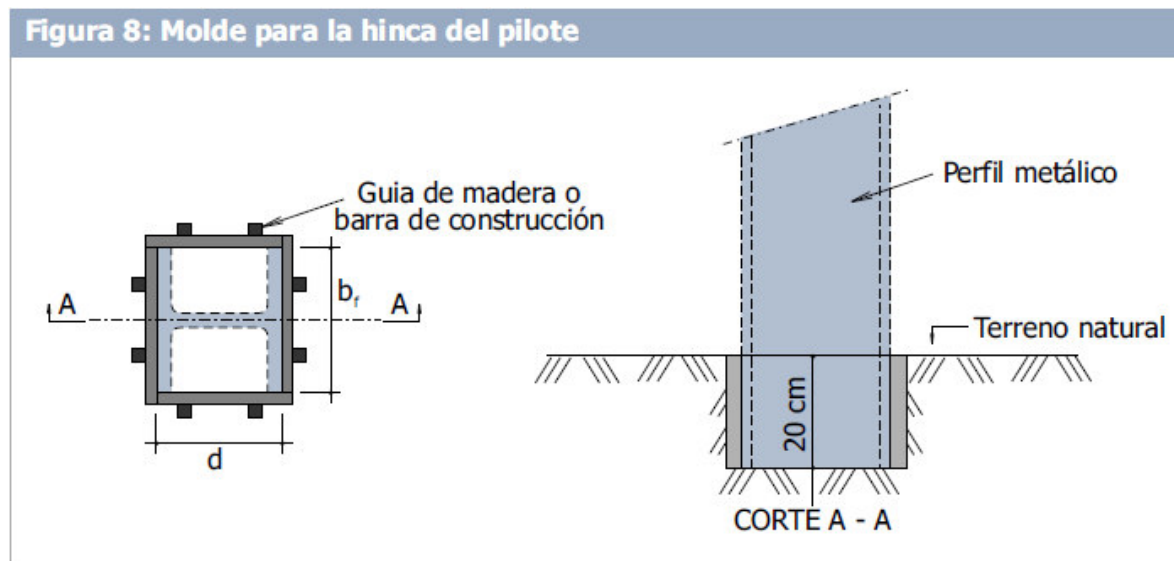
Durante el Proceso de Hincado

Los pilotes metálicos pueden ser hincados con la utilización de martinetes de caída libre, hidráulicos, a diesel, neumáticos y vibratorios. La elección de uno u otro martinete depende, principalmente, de las características del suelo, de la longitud del pilote y del

nivel de ruido y vibración. De la buena elección del martinete resultará un mejor desempeño del proceso de hincado en particular en cuanto a las vibraciones y al ruido que hoy día, en centros urbanos, acaban siendo la condicionante para la elección del tipo de cimentación.

Cualquiera que sea el martinete empleado, el control de hincado es hecho, tradicionalmente por el rechazo, por el repique y, en obras más importantes, por el ensayo de carga dinámica (NBR 13208/1994 de la ABNT).

Para garantizar que el perfil sea hincado en la posición de proyecto se debe proveer una guía de madera "enterrada" según se muestra en la **Figura 8**.



Rechazo

El rechazo es una medida tradicional, aunque, hoy día, sea más usada para el control de la uniformidad del proceso de cimentación cuando se busca mantener, durante la hincada, rechazos aproximadamente iguales para pilotes con cargas iguales. El rechazo corresponde a la penetración permanente de la estaca, cuando sobre la misma se aplica un golpe de la maza. En general es logrado como un décimo de la penetración total para diez golpes.

A pesar de las críticas a las fórmulas de los rechazos (entre otras el hecho de que fueron desarrolladas a partir de la Teoría de Choque de Cuerpos Rígidos, lo que está muy lejos de representar un pilote largo, pues bajo la acción del golpe de la maza, la punta del mismo no se desplaza al mismo tiempo que el tope), estos aún hacen parte del "recetario" de los encargados del hincado de los pilotes.

El rechazo también puede ser medido recorrido un determinado tiempo después del hincado del pilote. Es denominado "rechazo de re-hincado o de recuperación", y compararla con la medida al final del hincado para verificar si el suelo presenta el fenómeno de la cicatrización (disminución del rechazo con el tiempo) o relajación (aumento del rechazo con el tiempo).

Repique

Al contrario del rechazo, el repique ya está incluido en el contexto de la Teoría de Propagación de la Onda y, por lo tanto, presenta resultados con mucho menos dispersión que el rechazo. El repique representa el tramo elástico del desplazamiento máximo de una sección del pilote, consecuente de la aplicación de un golpe de la maza. Su control puede ser hecho a través del registro gráfico en una hoja de papel fijada al pilote y moviéndose un lápiz, apoyado en un referencial, en el instante del golpe, según se muestra en la **Foto 5**. El valor logrado, corresponde a la solución de la Ecuación de la Onda, en lo que refiere al desplazamiento máximo y sin la escala de tiempo. La interpretación de la señal lograda permite estimar la carga movilizada durante el golpe de la maza. Análogamente al rechazo esa señal puede ser lograda recorrido un cierto tiempo después del hincado para verificar los fenómenos de la "cicatrización" (aumento de la capacidad de carga con el tiempo) o "relajación" (disminución de la capacidad de carga con el tiempo) del pilote.

Foto 5: Registro del repique



Ensayo de Carga Dinámica (Norma NBR 13208/1994 de la ABNT)

Este ensayo, basado en la Ecuación de la Onda, es más completo que el repique. Consiste en acoplar al pilote un par de transductores de deformación específica y un par de acelerómetros, posicionados en planos ortogonales, para poder corregir eventuales efectos debido a la flexión del pilote en función de la no coincidencia del golpe del pilar con el eje de la estaca (**Foto 6**). Esos transductores son conectados "on line" a un analizador PDA (Pile Driving Analyser) mostrado en la **Foto 7**.

Foto 6: Transductores de aceleración y deformación específica



Foto 7: Equipos PDA para procesamiento de las señales de los transductores acoplados al pilote



El PDA procesa los datos recibidos de los transductores y los procesa logrando señales de velocidad (integración de la aceleración) y de fuerza (ley de Hooke aplicado a la señal de deformación específica). La interpretación de las señales indica la estimativa de la carga movilizada durante cada golpe de la maza. Cabe recordar que la carga movilizada por los golpes de la maza no siempre corresponde a la capacidad de carga geotécnica del pilote, pues la misma depende de la energía aplicada al pilote por los golpes de la maza. Solamente en el caso que esa energía sea suficiente para movilizar toda la resistencia del suelo al rededor del pilote es que ese valor medido por el ensayo de carga dinámica podrá aproximarse a la capacidad de carga del pilote. Sin embargo, ese valor solamente podrá ser medido por los tradicionales ensayos de carga estáticas, según se expondrá a la continuación.

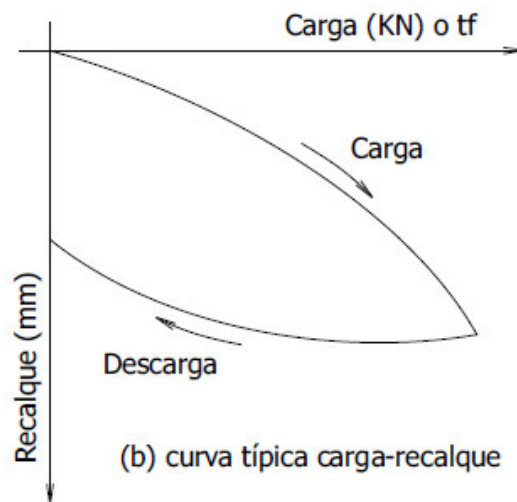
Ensayos de Carga Estática (Norma NBR 12131/2006 de la ABNT)

Los ensayos de carga estática consisten en aplicarse al pilote una carga y medir los recalques correspondientes. Para tanto se utiliza gato hidráulico que reacciona contra un sistema de vigas metálicas, que a su vez se ancla en tirantes o en pilotes de tracción. La utilización de pilotes metálicos facilita la ejecución de ensayos de carga estática, pues se

pueden utilizar pilotes del propio conjunto como elementos de tracción, según se muestra en la Foto 8.

Foto 8: Prueba de Carga Estática

(a) ensaio



El ensayo de carga estática es el método más confiable e indiscutible para evaluar la capacidad de carga de un pilote separado. Los ensayos de carga dinámica, aunque sean atractivos del punto de vista de costo, siempre necesitarán correlaciones. Es por esa razón que algunos proyectistas de cimentaciones cuestionan los resultados de los ensayos PDA y sugieren que los mismos sean contrastados, por lo menos, por una prueba de carga estática.

Figura 10: Sistema de colecta de datos durante la instrumentación de los pilotes

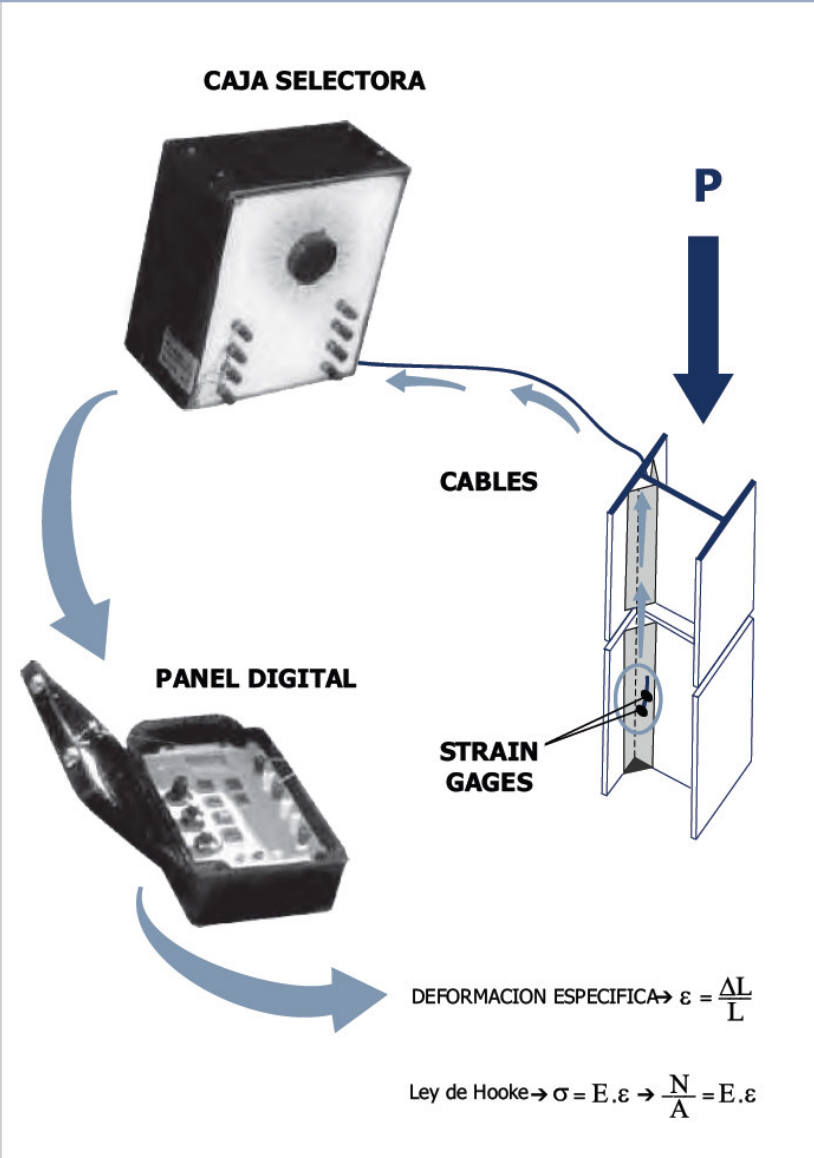
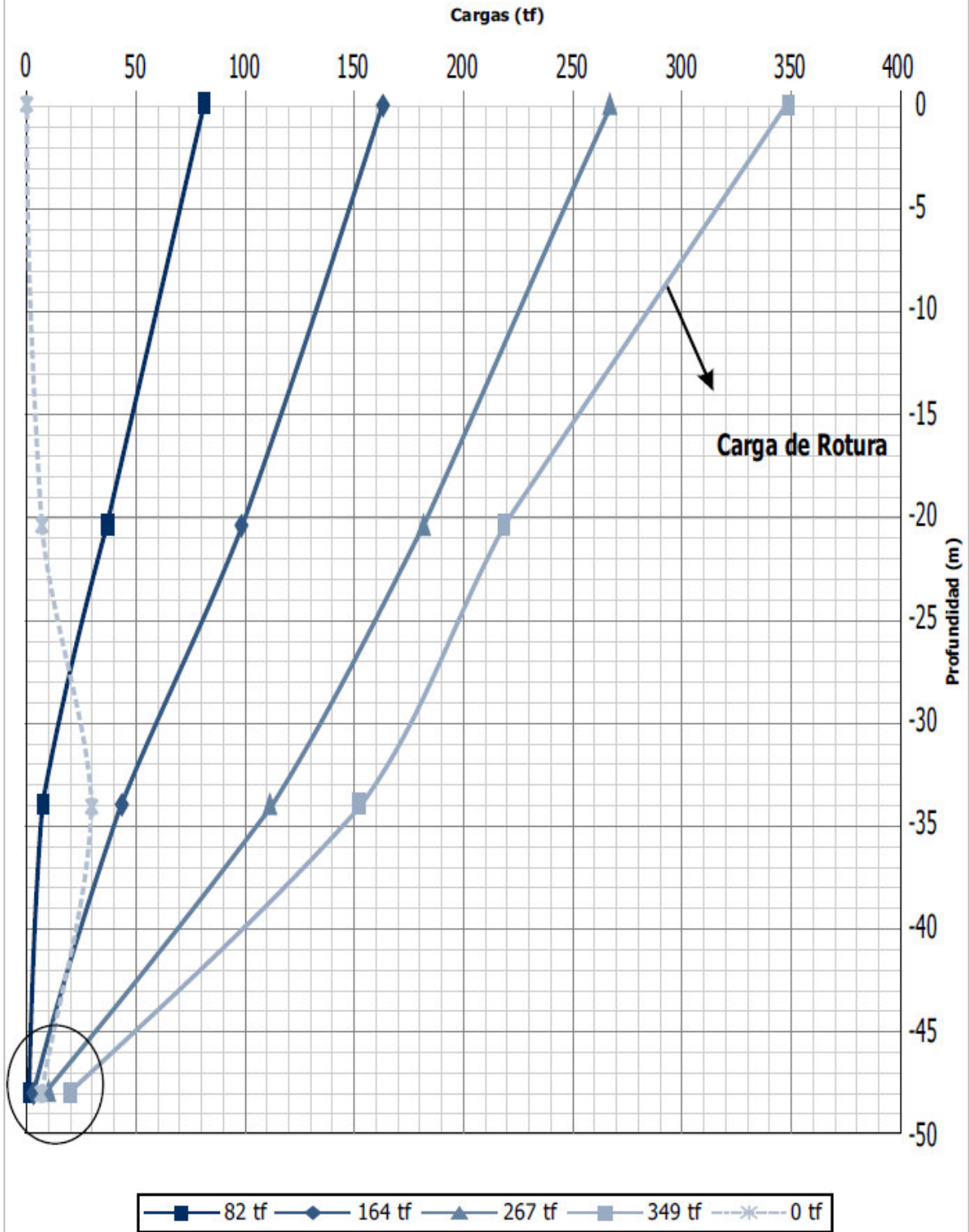


Figura 11: Pruebas de Carga - Distribución de la Carga con la Profundidad

Obra/Local: Santos - SP - Brasil
Fecha: 08/12/2006



ENCEPADOS

La disposición típica de de las armaduras para la solución recomendada por la NBR 6122/1996 para embutir los perfiles en el encepado depende del número de pilotes.

Esta opción presupone que el encepado sea calculado como rígido. El cálculo de la armadura depende de las cargas aplicadas por los pilares al encepado, de las dimensiones de los pilares, del tipo de hormigón, de la rigidez del encepado, etc.

Cuando no sea posible utilizar encepado rígido, se debe envolver el trecho embutido del pilote metálico en el bloque, por una espiral de acero para garantizar que no haya rotura por punzón.

La NBR 6122/1996 no estipula dilatación entre pilotes. Sin embargo, en el capítulo 7.7.2 de esa Norma se exige que la carga admisible de un grupo de pilotes no sea superior a la de una zapata de mismo contorno que el del grupo, y asiente a una hondura arriba de la punta de los pilotes igual a $1/3$ de la longitud de penetración en la cama de soporte. Para efectos prácticos, no se debe usar separación inferior a 100 cm entre ejes de los pilotes. Esa separación puede ser usada para los perfiles metálicos $d < 40$ cm. Para los demás perfiles se puede adoptar 150 cm como separación mínima.

Sobre este tema y detalles técnicos sobre otros asuntos de este artículo, se sugiere consultar en el sitio www.gerdau.com.br/perfisgerdauacominas, el Manual de Pilotes Metálicos Gerdau, versión en español.