

TABLESTACAS:

SISTEMAS DE HINCA Y SU PRACTICA (*)

Por MANUEL JOSE BENEGAS CAPOTE

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

El artículo analiza los distintos sistemas de colocación e hincas de tablestacas en general, y metálicas en particular, a lo largo de su existencia como elementos estructurales; desde los primitivos martillos accionados a mano hasta los modernos vibradores hidráulicos de frecuencia variable, estudiando las aplicaciones generales y particulares de cada tipo o sistema de hincas en relación con las distintas variables que se presentan en cada caso: a saber: características geotécnicas del terreno, tipo de perfil, longitud de empotramiento, etc.

En definitiva da una panorámica general del estado actual de los medios de colocación de tablestacas, y su evolución en los últimos tiempos.

El empleo de tablestacas metálicas en la construcción comienza, aproximadamente, hace unos cincuenta años, alcanzando después de la Segunda Guerra Mundial un desarrollo sin precedentes, sobre todo en los países de Europa central. Ya se venía utilizando profusamente el empleo de tablestacas de madera en palizadas, entibaciones y obras auxiliares, hasta caer en desuso en la actualidad, dado las ventajas que comportan las tablestacas metálicas, o en su caso, las de hormigón armado, y debido también a las exigencias estructurales, cada vez mayores, que las de madera no podrían soportar.

Los dos sistemas principales para la hincas de tablestacas metálicas en la actualidad son: la percusión y el vibrado; considerando algunos autores la lanza de agua como un sistema de hincas, cuando más propiamente se trata de una operación auxiliar ligado con cualquiera de los otros dos, particularmente el vibrado. Actualmente se realizan experiencias de nuevos métodos de hincas tales como el *impulse driver*, de la Stbilator (Suecia), la vibroflotación, el presionado, etc. o combinaciones de los distintos métodos aplicables a casos muy específicos y concretos.

(*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo, que pueden remitirse a la Redacción de esta revista hasta el 30 de abril de 1977.

La percusión.

Es la más antigua de las técnicas utilizada para introducir elementos rígidos en el suelo. Consiste en golpear la cabeza del elemento a hincar, suficientemente protegida, con una maza que cae libremente o controlada.

Se trata de comunicar a la tablestaca una energía suficiente para vencer la resistencia a la penetración por la punta y el rozamiento por el fuste.

La plasmación más elemental de este principio son los primitivos martinets accionados a mano, que no por primitivos dejan de ser útiles en algunas ocasiones especiales. El paso siguiente es el martinete, provisto de cabrestante para la elevación de la maza de caída, y el acoplamiento de sistemas gemelos colgantes a grúas. Sin embargo, estos sistemas están cada vez más en desuso, y la evolución de las máquinas de hincas por percusión se ha encaminado más hacia el desarrollo de martillos de una mayor energía de impacto, más manejable y fundamentalmente con una frecuencia de golpeo muy elevada. Así, aparecen los martillos de simple efecto accionados por vapor, aire comprimido o gas-oil, con válvulas de admisión y escape accionadas manualmente primero, semiautomáticas y automáticas después. Un refi-

namiento posterior son los martillos de doble efecto o martillos trepidadores que ofrecen una menor energía de golpe, pero una frecuencia mucho más elevada que las anteriores.

Los martillos Diesel de simple efecto son los más utilizados en la actualidad. Los primeros martillos Diesel aparecieron en 1934, y han experimentado un considerable desarrollo y perfeccionamiento en nuestros días, utilizándose los más pesados en la hincada de grandes pilotes.

Se basan en el mismo principio que un motor Diesel, donde el pistón es la maza golpeadora.

En esencia consisten en un cilindro donde se aloja el pistón (maza), cerrado en su parte inferior por el yunque donde golpea el pistón, que apoya sobre el sombrerete de hincada en la cabeza de la tablestaca (fig. 1).

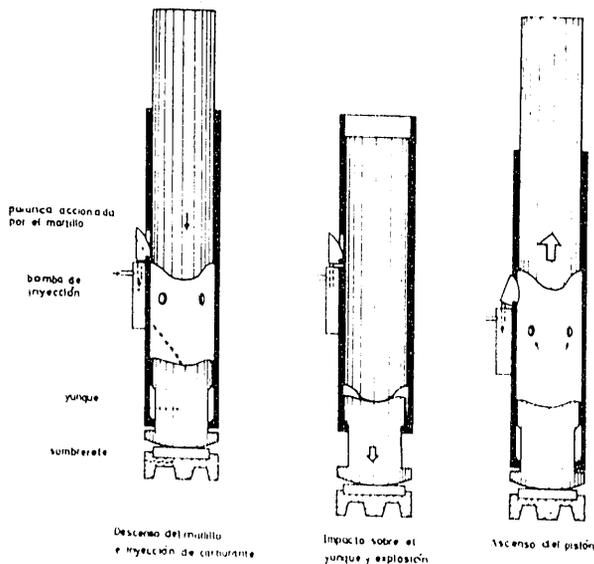


Figura 1.

El funcionamiento es simple; el pistón en su caída libre acciona la palanca de la bomba de inyección que lanza el combustible al interior del cilindro; el pistón al golpear sobre el yunque e hincada la tablestaca se ve empujado a subir por la explosión del combustible, haciéndole elevarse, liberando en su subida los orificios de escape de gases y la palanca de la bomba, con lo que el ciclo comienza otra vez. El arranque de estos martillos se realiza elevando el pistón con ayuda de una grúa. La energía de la explosión se utiliza a la vez para levantar el

pistón como para hincada a la tablestaca a través de la presión que dicha explosión ejerce sobre el yunque. El reparto de energía en una u otra misión es función particularmente de la resistencia a la hincada; así, en terrenos flojos el desplazamiento de la tablestaca es importante, y la elevación del pistón puede ser tan escasa que no llegue a liberar las válvulas de escape, con lo que el martillo se ahoga continuamente; por el contrario, en un suelo duro la tablestaca penetra poco y el pistón es levantado totalmente, produciendo el máximo impacto posible para ese martillo, lo que permite hincada enérgicamente en el terreno. Por esta causa, los martillos Diesel se adaptan automáticamente a la resistencia encontrada por la tablestaca en el terreno. Es típico en este sentido, cuando se está haciendo en terreno blando con estos martillos, al atravesar una capa de mayor dureza, el martillo automáticamente cambia la cadencia de los golpes, la altura de caída y hasta el sonido, que se transforma en más agudo (más metálico); actúa realmente como un servomecanismo.

En la actualidad se fabrica una amplia gama de martillos Diesel, que va desde el D2, de la casa alemana Demag, con un pistón de 220 kilogramos de peso, hasta el HERA-HD, de la holandesa HERA, con un pistón de 7.500 Kg, y que permiten obtener una energía de 120 a 27.000 Kgm por golpe. La frecuencia de golpeo oscila entre 35 y 70 golpes por minuto, siendo los pesados los más lentos.

Estos martillos pueden utilizarse suspendidos de cabrias, deslizando sobre gemelas o simplemente colgados de una grúa, dejando el cable en posición de *respeto* y no de tensión.

Como regla práctica para adoptar el martillo Diesel más adecuado para una hincada determinada, se utiliza la de que la relación entre el peso del perfil a hincada y el peso del pistón esté entre 1,2 y 1,6. Por otra parte, en tablestacas, no conviene sobrepasar una altura de caída de 1,20 m de la maza o pistón, pues aparte de los daños en la cabeza, las tablestacas corren el riesgo de doblarse.

Los trepidadores o martillos de doble efecto son morfológicamente parecidos a los Diesel (un cilindro y un pistón), pero en los que el pistón es accionado tanto en la subida como en

la bajada por un fluido, normalmente aire comprimido, a veces vapor y en ocasiones aceite. El fluido motor pasa a través de un distribuidor que lo envía alternativamente a uno y otro lado del pistón, mientras en el lado opuesto se abren las válvulas de escape (fig. 2). Además de la

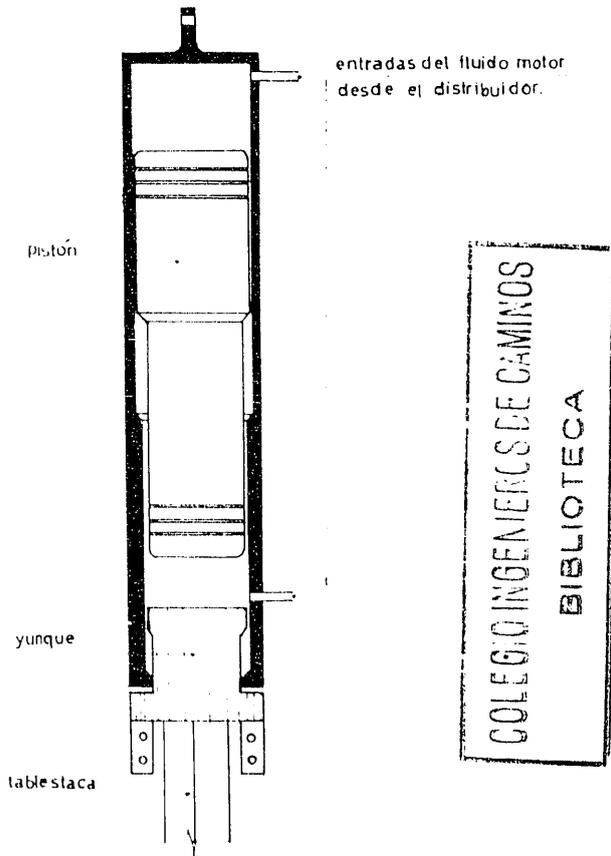


Figura 2.

energía de impacto, hay que añadir la debida al fluido motor ejerciendo una presión de 5 a 8 Kg/cm² en el extremo superior del pistón para los accionados por aire o vapor, o de 130 a 160 Kg/cm² en los hidráulicos.

Los trepidadores más utilizados son los accionados por aire comprimido, de los que existen unos 50 modelos en el mercado, que cubren desde 4,7 a 2.267 Kg de peso del pistón y frecuencias desde 1.050 a 95 golpes por minuto, respectivamente.

Los trepidadores hidráulicos no llegan a la decena; los comercializados en Europa por KRUPP y M.G.F. utilizan un pistón de unos 25 ki-

logramos de peso, con una frecuencia de 400 a 600 golpes por minuto. Están más indicados para la hinca de perfiles ligeros, para entibaciones, obras auxiliares, etc., con longitudes de hinca media (de 5 a 7 m), y especialmente indicados en obras urbanas, donde se consigue una disminución del ruido producido del orden de 10 dB(A), en comparación con un trepidador de aire comprimido y de similar potencia.

Anecdóticamente cabe señalar la existencia en el mercado de dos trepidadores Diesel, con la particularidad de poder ser utilizados como martillos de simple efecto o de doble (trepidadores), con una pequeña modificación, lo cual puede presentar ventajas específicas en algún caso particular de hinca.

Los martillos trepidadores son, en general, relativamente ligeros y bastante manejables, y su manejo es similar al de los martillos Diesel. No es aconsejable colocar un sombrerete entre el yunque de los trepidadores y la tablestaca como en los Diesel, pues se pierde bastante energía, y se dificulta la efectividad de la hinca, aunque se corre el riesgo de doblar o deteriorar las cabezas de las tablestacas.

Algunos trepidadores suspendidos al revés suelen utilizarse como arrancadores mediante ciertas precauciones dadas por el fabricante, produciendo una vibración sobre la tablestaca que permite su extracción con la ayuda de una grúa.

Como norma general en la elección de un trepidador se aconseja que el peso del pistón no sea nunca inferior a una quinta parte del peso del elemento a hincar.

El vibrado.

Las primeras experiencias sobre la utilización de la vibración en la hinca de elementos en el suelo se realizan en la Unión Soviética en 1934, pero no es hasta los años 50-55 cuando la técnica se pone a punto, también por el mismo país.

Actualmente, esta técnica de hinca está muy extendida, y numerosos países fabrican vibradores destinados a hincar por vibración elementos rígidos diversos en el suelo, tales como ta-

blestacas, perfiles, pilotes de hormigón, tuberías, etc. En Europa del oeste, cuatro casas (B.S.P., MULLER, M.G.F. y MENCK) fabrican vibradores; en Japón estas máquinas son producidas por más de diez fábricas, aún cuando en ese país el uso corriente de la vibración no data más que de tres a cuatro años.

La vibración, en general, reduce considerablemente el rozamiento en el movimiento relativo entre dos cuerpos; y es en este principio en el que se basa la hincada o recuperación de tablestacas.

Cuando el suelo es vibrado partiendo del estado sólido, toma todas las características de un verdadero líquido. Una tablestaca puesta sobre un suelo así vibrado se hincará o extraerá

de 300 por minuto. Así, arcillas y arenas pueden tener el mismo valor de N en el ensayo del penetrómetro S.P.T. y presentar grandes diferencias a la penetración.

Los vibradores están, generalmente, constituidos por dos ejes horizontales y paralelos, sobre los que giran dos masas excéntricas, sincronizadas y en sentido inverso, situadas simétricamente con respecto al plano vertical de simetría de la máquina, con objeto de compensar las componentes horizontales de la aceleración centrífuga y sumar las componentes verticales, encargadas de producir la vibración (fig. 3). Las masas excéntricas o contrapesos son movidas, generalmente, por motores eléctricos estándar, suspendidos elásticamente con objeto de no es-

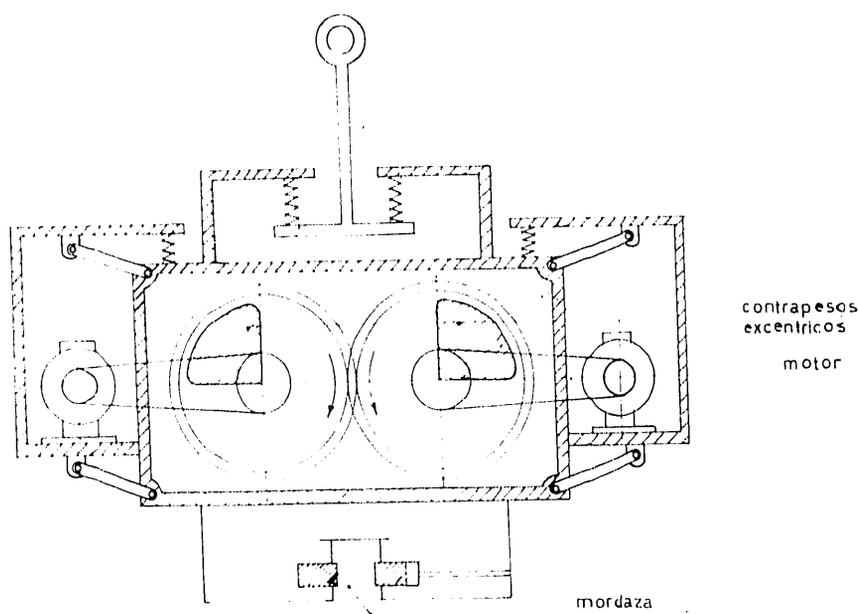


Figura 3.

sin notable dificultad. La influencia de la vibración sobre la resistencia en punta es peor conocida, pero se comprueba que disminuye considerablemente. La licuefacción es relativamente fácil de producirla en suelos incoherentes (arenas, graveras, etc.) y coherentes de granos medios (limos, etc.), pero no así en suelos de granos finos, como la arcilla; en estos casos es, a veces, necesario producir frecuencias de vibración superiores a 3.000 por minuto, mientras que en las arenas se consigue con frecuen-

tar sometido a la vibración. La potencia de estas máquinas alcanza hasta 250 CV, y, en general, son alimentadas por grupos electrógenos situados junto a la grúa.

Recientemente se han desarrollado vibradores con motores hidráulicos, alimentados por bombas de caudal variable; estos vibradores, a igualdad de peso, desarrollan una mayor potencia que los eléctricos, y presentan un mejor rendimiento energético, teniendo, además, la impor-

tante ventaja de permitir una regulación continua de la frecuencia de vibración adaptándole a las condiciones específicas de hincas, lo cual es un *handicap* para los eléctricos, con un número limitado de velocidades y frecuencias. La potencia de los vibradores hidráulicos varía de 200 a 500 CV, experimentándose actualmente con máquinas de potencia notablemente mayor; su alimentación energética se produce a través de grupos motobombas (Diesel o de gasolina) situados en el suelo junto a la grúa.

Los vibradores deben solidarizarse perfectamente con las tablestacas a hincar, al objeto de transmitirle íntegramente la vibración; esta unión suele normalmente hacerse con mordazas hidráulicas, intercambiables, para adaptarse a los distintos tipos de perfiles a hincar.

Los vibradores no necesitan dispositivos de guiados, simplemente son suspendidos del cable de una grúa.

Los parámetros más importantes que intervienen en los resultados de la hincas son, a saber:

- a) La frecuencia de la vibración.
- b) El momento de excentricidad de los contrapesos.
- c) La masa total puesta en vibración.
- d) Las características del suelo donde se va a hincar.

Sólo está en nuestra mano intervenir en los tres primeros de una forma inmediata, en función del último, las características del suelo generalmente poco o mal conocidas; así, en cada caso, se procederá tanteando previamente teniendo en cuenta la experiencia y ciertas leyes generales. Por ello, cuanto mayor sea la resistencia en punta del perfil, más pesado debe ser el vibrador a emplear y mayor el momento de excentricidad (hay vibradores que permiten la regulación del momento de excentricidad, por regulación de la posición de los contrapesos). Por otra parte, la velocidad de penetración crece con la amplitud de las oscilaciones imprimidas a las tablestacas; la experiencia enseña que la gama de amplitudes útiles en todos los suelos oscila entre 2 y 15 mm, mínimo para suelos incoherentes y máxima para la arcilla; del mismo

modo las frecuencias necesarias para vencer el rozamiento crecen con el grado de coherencia del suelo; frecuencia que sólo puede verse aumentada, incrementando la velocidad de rotación de los contrapesos, con lo que la potencia del vibrador crece desmesuradamente, ya que lo hace proporcionalmente al cubo de la velocidad de rotación. Se ve, pues, la necesidad de adoptar una solución de compromiso en función de las características del terreno y el aparato que dispongamos en cada caso, haciéndose notar el extraordinario interés que toman los vibradores hidráulicos que permiten una regulación continua de su frecuencia y momento de excentricidad.

En la extracción de tablestacas con vibradores influye especialmente:

- a) La fuerza centrífuga.
- b) El momento de excentricidad.
- c) La fuerza de tiro de la grúa.
- d) La amplitud de la vibración.

Ciertas consideraciones teóricas constatadas con la experiencia permiten evaluar el cuadro siguiente, dado la fuerza centrífuga necesaria para la extracción de tablestacas en condiciones medias:

Suelo muy blando	1,0 Tn/m l
Suelo blando	1,5 Tn/m l
Suelo duro	2,0 Tn/m l
Suelo muy duro	2,5 Tn/m l
Suelo extremadamente duro ...	5,0 Tn/m l

Por otro lado, el momento de excentricidad expresado en kilogramos por centímetro del vibrador debe ser del orden de 70 veces la fuerza centrífuga total necesaria para la extracción, expresada en toneladas.

La fuerza necesaria mínima en el gancho de la grúa suele determinarse por la suma de los siguientes términos: peso de las tablestacas, peso del vibrador y la cuarta parte de la fuerza centrífuga total de arranque.

Por último, la eficacia de la extracción está muy condicionada a adaptar una amplitud adecuada.

En función de la longitud de las tablestacas y del tipo de terreno pueden dibujarse gráficos que permitan una idea aproximada de los márgenes en que se debe encontrar la amplitud óptima para encajar el problema.

La lanza de agua.

Aunque por el sistema de lanza de agua puedan hincarse las tablestacas en algún caso especial, lo normal a que este sistema se utilice

deterioro de ningún tipo producido por golpes o vibraciones; sin embargo, hay pliegos de condiciones de ciertos países donde se prohíbe esta forma de colocación, porque produce una alteración perjudicial del suelo (descompactación), peligrosa sobre todo si hay estructuras próximas a las tablestacas; de cualquier modo, es una norma de buena práctica, cuando haya de emplearse este método, proceder a la hincada de los 2 m finales de la tablestaca sin recurrir a la inyección de agua.

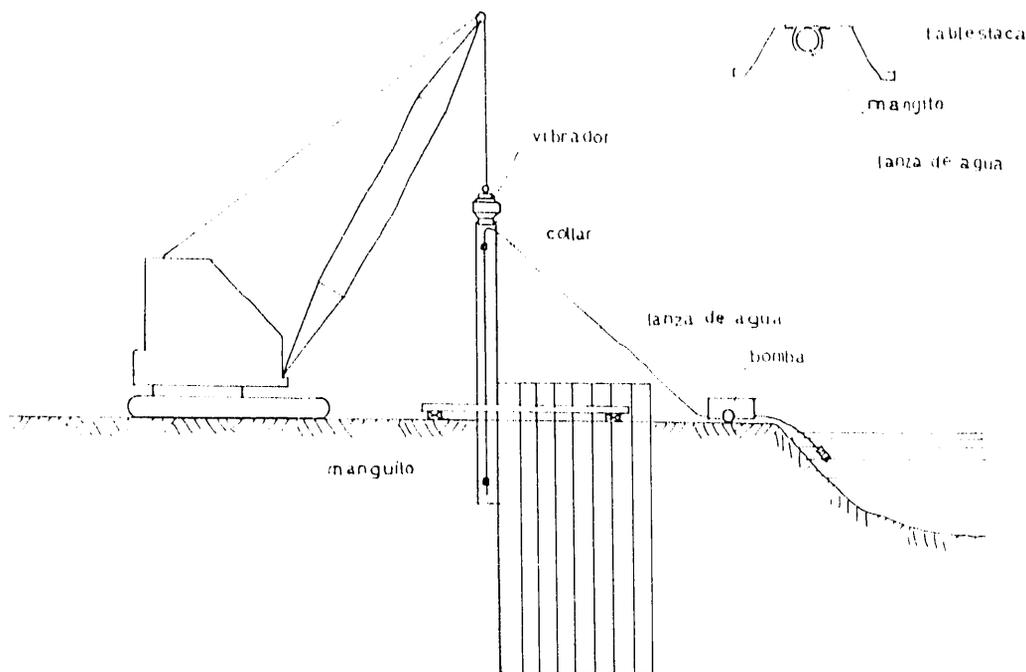


Figura 4.

en combinación con cualquiera de los otros dos, especialmente el vibrado. El principio del procedimiento consiste en lanzar un chorro de agua a presión en las proximidades del pie de las tablestacas, con la ayuda de un tubo metálico de 40 a 70 mm de diámetro, llamado lanza, de forma que descompacta el suelo y llegue a producir un estado de sifonamiento que elimine la resistencia por la punta de la tablestaca, necesitando con ello una débil energía de hincada.

Este procedimiento se emplea especialmente en suelos granulares compactados y secos, donde son ineficaces los otros procedimientos.

La puesta en obra de tablestacas, exclusivamente con la lanza, permite colocarlas sin

Para la realización de la hincada con lanza de agua se necesitan los siguientes elementos y condiciones:

- Una alimentación continua de agua, bien de un río, lago, etc. próximo al lugar de hincada o de un depósito suficientemente realimentado.
- Las bombas a utilizar deben suministrar un caudal del orden de 100 m³/h. y producir una presión a lo sumo de 15 atmósferas.
- Una conducción flexible de impulsión para llevar el agua de la bomba a la lanza, constituida por un tubo de acero de diámetro interior entre 30 y 60 mm, ter-

minado en una reducción cónica, con una relación de 0,5, aproximadamente.

- Con estos materiales dos procedimientos pueden emplearse. Uno de ellos consiste en suspender la lanza del gancho de

que pueda deslizarse verticalmente y ser recuperado al terminar la hinca.

- La presión en la punta de la lanza suele ser de 7 a 10 atmósferas, y raramente se superan, ya que plantea serios pro-

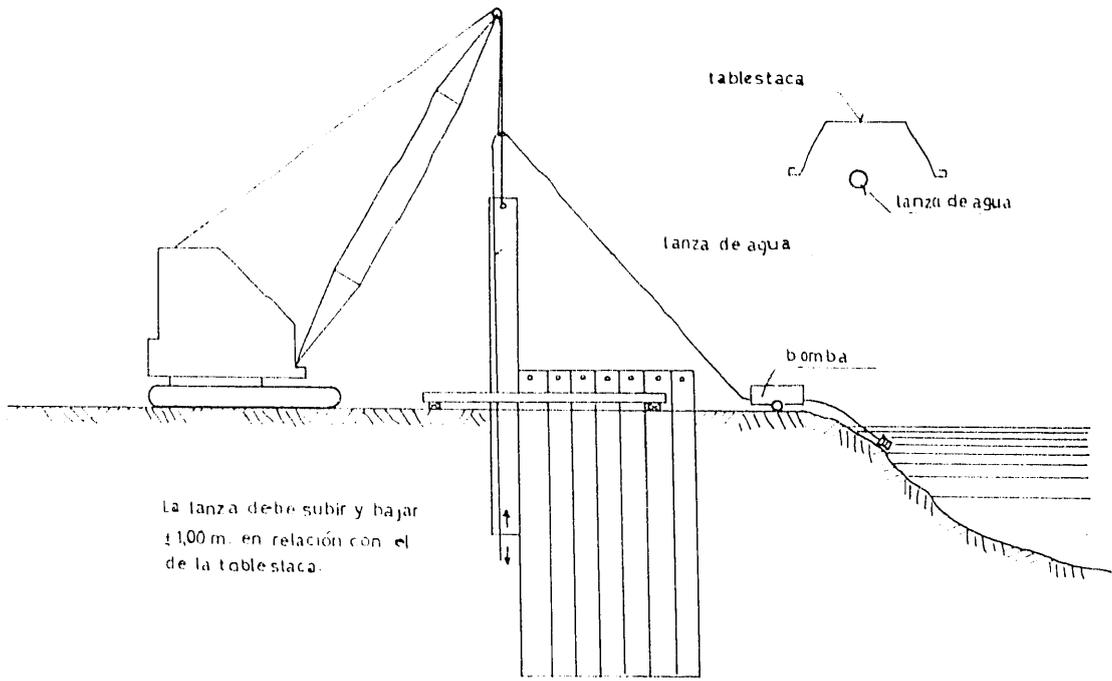


Figura 5.

la grúa (fig. 4), y colocando la punta sensiblemente delante del pie de la tablestaca, someterla a un movimiento vertical de sube y baja de 1 a 2 m de amplitud. El otro método consiste en solidarizar la lanza a la tablestaca (fig. 5); en este caso, el tubo se suelda directamente sobre el alma del perfil en los casos de tablestaca recuperables, o bien el guiado solamente con la ayuda de collares y manguitos soldados a los perfiles de forma

blemas de caudal en las bombas que le alimentan. El volumen medio de agua utilizado suele oscilar sobre un metro cúbico por minuto, lo que da una idea de las necesidades de agua para realizar el proceso.

- Estos son, en líneas generales, los tres principales sistemas de hincado de tablestacas; la elección de uno u otro, o la combinación de varios para la realización de una obra determinada es tema suficiente para tratar en otra ocasión.