

1349

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
ESCUELA NACIONAL DE INGENIEROS

DESCARTE

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO CIVIL

PRESENTA EL PASANTE

ROBERTO LIRA MEZA



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A la Memoria de  
Don Benjamín Coronado Vildósola.  
con mi gratitud eterna.

A mis Padres  
con profundo cariño y gratitud.

A mis hermanos.

A mis amigos.  
Con estimación.

A mis maestros.  
Con sincero respeto y agradecimiento.

A mi querida Escuela.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA DE  
MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE INGENIERIA  
Dirección  
Núm. 731-839  
Exp. Núm. 731/

Al Pasante señor Roberto LIRA MEZA  
P r e s e n t e .

En atención a su solicitud relativa me es grato transcribir a usted a continuación el tema que aprobado por esta Dirección, propuso el señor profesor ingeniero Alberto Barocio, para que lo desarrolle como tesis en su examen profesional de Ingeniero CIVIL.

"El candidato hará un estudio referente a la selección de métodos de hincado de pilotes; descripción de tipos de pilotes actualmente usados; consideraciones sobre las formulas de hincado que se emplean y pruebas de cargas sobre pilotes."

Ruego a usted que tome nota del contenido de la Circular que me permito enviarle adjunta al presente, con el fin de que cumpla con el requisito a que ella alude indispensable para sustentar su examen profesional.

Atentamente.

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
México, D.F. 29 de Marzo de 1954.  
EL DIRECTOR

---

Ing. José L. de Parres

164  
Circular anexa  
JLP/RPV/mag.

## ADVERTENCIA PREVIA

El presente trabajo ha sido desarrollado principalmente mediante el auxilio de libros de consulta, innumerables artículos publicados en diversas revistas técnicas y catálogos de fabricantes de maquinaria, de los cuales se ha hecho una recopilación más o menos condensada; se incluyen algunas observaciones personales prácticas y dispositivos contruídos con los elementos disponibles en una obra, que son soluciones acertadas para los problemas particulares a que hube de enfrentarme en mi corta actuación en la construcción de estructuras con cimentación del tipo que me ocupa, especialmente puentes, la solución de esta clase de problemas se requiere de inmediato y de la mejor manera para conservar el ritmo de trabajo, de ninguna manera se intenta generalizar los resultados obtenidos ni el uso de los dispositivos diseñados ya que como se dijo fueron útiles en casos particulares, sin embargo se incluyen como ideas de probable utilidad en casos similares.

Con las observaciones hechas a lo más que se ha llegado es a la comprobación de teorías ya establecidas, no se llega a conclusiones personales definitivas ya que éstas requieren gran experiencia, ejecución de pruebas y experimentos de utilidad dudosa y costo prohibitivo para los contratistas cuyos precios unitarios son bajos, todos los esfuerzos deben encaminarse a reducir los costos a un mínimo con el fin de obtener en primer lugar cierta utilidad que es el objetivo fundamental de toda empresa mercantil y en segundo lugar para absorber el sinnúmero de imprevistos que se presentan en esta clase de trabajos.

Mi agradecimiento para la Cía. Caminos, Obras Hidráulicas y Edificios, S. A. de C.V. y en especial para su Gerente, Ing. Roberto -- Toscano, por sus útiles y acertados consejos y por la oportunidad -- que me brindaron para desarrollar mi Tesis Profesional, al depositar me su confianza poniéndome al frente de sus obras.

Deseo que éste trabajo sea de alguna utilidad para aquellas personas que se tomen la molestia de leerlo y pido de antemano sus disculpas si la calidad del mismo es pobre en su descripción ya que fué hecho con la mejor intención y con el deseo de servir, si lo logro -- me sentiré recompensado de sobra.

R. Lira M.

## CONSIDERACIONES GENERALES.

La elección del tipo de cimentación para cualquier estructura está sujeta a un sinnúmero de problemas, tales como tipo de estructura, geología del suelo en que se va a levantar la estructura, economía, vida de la propia estructura, estructuras adyacentes, etc. que acumuladas definirán el tipo de cimentación más adecuado a las condiciones particulares del problema.

En un principio pueden aparecer como posibles varios tipos de cimentación; sin embargo, a medida que se profundizan más los estudios, se va definiendo más un tipo dado, que finalmente debe ser el que se use, si al final hay todavía más de una solución, el buen juicio del ingeniero y otros factores será lo que finalmente decida la elección, ya que siempre hay un tipo de cimentación que es el más apropiado para un tipo dado de estructura, tomando en consideración todas las condiciones y factores que intervienen.

La elección del tipo de cimentación es la parte más importante para la seguridad de la estructura y de ella depende el éxito o el fracaso de la misma ya que una falla en ella repercute en toda la estructura pudiendo causar su ruina total.

La cimentación sobre pilotes usada convenientemente es una de las más ventajosas, sin embargo, su elección es una de las más difíciles en vista del gran número de condiciones que intervienen y el uso tan variado que tienen según su forma de trabajo.

Una vez escogido el tipo de cimentación sobre pilotes, queda todavía por escoger el tipo de pilotes más conveniente según el material de que se pueda disponer, es decir, que hay que decidirse por pilotes de concreto, de madera, de acero, etc. para lo cual habrá que buscar la ventaja que pueda presentar cada tipo en su caso, supongamos que en un principio se pensara en los de madera sin tratar, por ser el tipo que es más ventajoso tanto por su bajo precio como por las facilidades en el hincado debidas a su poco peso que lo hace muy manejable; si solo nos atuviéramos a estos factores la elección no sería correcta porque hay otros muchos factores de mayor importancia que no es posible pasar por alto sin exponerse a un error; la solución se obtiene considerando las influencias destructivas, la vida económica, la inversión que se justifique, etc. con estas consideraciones puede aun resultar que varios tipos se puedan usar pero por otro lado hay que tener en cuenta que solo un tipo puede solucionar cada caso en particular según las condiciones del lugar.

Antiguamente se afirmaba que los pilotes eran útiles en cualquier clase de terreno porque mediante ellos siempre se lograba mejorar su resistencia, muchos fracasos se han debido al uso de pilotes en donde no eran indicados; la Mecánica de Suelos ha mejorado en ese aspecto aun que aun no define con certeza la forma de trabajo de los pilotes en el seno del terreno, sino que da soluciones aproximadas basadas en suposiciones cercanas a la realidad que son de gran ayuda.

La necesidad de usar pilotes para la cimentación de una estructura es algunas veces evidente a simple vista, otras son necesarios estudios de Mecánica de Suelos para determinar las características y poder predecir la acción de los diversos estratos del suelo en que se van a alojar los pilotes; esto es algunas veces posible mediante la observación del-

comportamiento de ellos en estructuras adyacentes construídas con anterioridad y en las cuales las condiciones del suelo sean iguales o muy semejantes a las que se trata de estudiar; en caso de que no sea posible obtener la información anterior, o si es necesario reforzarla hay que recurrir a sondeos, de preferencia aquellos que por su amplitud permitan obtener muestras inalteradas de suelo capaces de proporcionar al ingeniero una información completa para predecir con certeza todas las propiedades y comportamiento de cada estrato que se estudie.

Son tres los puntos fundamentales a que hay que atender cuando se hacen estudios para una cimentación sobre pilotes con objeto de obtener máxima seguridad y eficiencia durante la construcción que equivale a reducir a un mínimo los imprevistos en el campo para lograr una perfecta coordinación:

- 1o.- Geología del lugar y estudio de los resultados de los sondeos.
- 2o.- Estudio del tipo de pilotes y del equipo mediante el uso de una fórmula dinámica de hincado.
- 3o.- Estudio de la capacidad de carga por medio de la fórmula estática, con lo anterior se combinan en muchos casos las pruebas de carga sobre pilotes.

La utilidad de los sondeos es de gran valor en todos los casos y más aún en aquellos en que no se puede obtener información adecuada, en tales casos no se debe reparar en su número, profundidad y calidad ya que con ellos obtenemos un conocimiento real de los materiales a través de los cuales se van a hincar los pilotes y sobre los que van a descansar por ser esta parte fundamental en el cálculo de cimentaciones de este tipo.

El espaciamiento de los sondeos va de acuerdo con la uniformidad y continuidad de las características del suelo, a mayor uniformidad corresponde menor número de ellos y viceversa.

La profundidad de los sondeos es muy variable según el caso y se deben llevar hasta encontrar una capa dura siempre y cuando sea de suficiente espesor y que no descansa sobre una capa compresible, si la capa dura no aparece a unos 30 m de profundidad, el sondeo se debe llevar hasta una profundidad mínima de 1.5 veces el ancho de la estructura.

Las muestras que se obtengan de los sondeos deben ser especialmente inalteradas en el caso de suelos compresibles con objeto de hacer estudios completos en las condiciones originales.

El estudio mediante la fórmula dinámica del tipo de pilote y equipo de hincado define el tamaño de cada uno de tal manera que se tenga una penetración por golpe adecuada que no perjudique el pilote, con la seguridad de que el hincado se llevará a una velocidad conveniente; este estudio se puede hacer mediante el hincado de pilotes de prueba.

El estrato elegido para soportar cargas se debe estudiar para resistencia estática a la fricción de acuerdo con el área lateral del pilote dentro del terreno, esta debe ser la que indicó la fórmula dinámica en el hincado y la longitud hincada debe desarrollar la resistencia requerida, para obtener la resistencia real por fricción es necesario deducir la resistencia por compresión directa en la punta lo que se facilita por un record continuo de los datos de hincado, pruebas de carga y de extracción cuando son posibles éstas.

Al introducir un pilote en el suelo se alteran muchas de las condiciones de interacción molecular dentro de él que habían sido establecidas mediante un proceso largo, tales como capilaridad, niveles de aguas freáticas, presión hidrostática, permeabilidad, granulometría, relación de vacíos, en fin, un desequilibrio importante de la forma y estructura del suelo.

Hay una gran variedad de pilotes en cuanto al material de que están hechos, pero los más usados son los siguientes: de madera de diversas -- clases, de acero que pueden ser tubos posteriormente llenados con concreto, o algún perfil de acero laminado, pilotes de concreto, tanto reforzados como en su nueva modalidad de preesforzado.

Cualquiera que sea el material de que están hechos los pilotes y -- cualquiera que sea su forma de trabajo, el pilote no es más que un eslabón entre la estructura y el suelo, este último es el que finalmente soporta todo el peso de la estructura y de la sobrecarga.

Son cuatro las principales formas en que pueden trabajar los pilotes, cualquiera que sea el material que los constituye:

1.- Como columnas, transmitiendo cargas a través de estratos superiores suaves a un estrato resistente más o menos profundo.

2.- Trabajando por fricción en su porción inferior al transmitir la carga a través del estrato superior blando a un estrato inferior que se considera tener adecuado valor de distribución.

3.- Trabajando a fricción pura en toda su longitud.

4.- Ocasionalmente como compactadores del terreno.

Un caso especial del uso de pilotes como columnas es transmitir cargas a través de suelos que posiblemente sean erosionados o arrastrados -- pero que en otras condiciones sería un buen suelo de cimentación, a un manto de roca no sujeto a erosión o lavado, otro uso que se puede dar a los pilotes es el de estabilizar estratos deslizantes pero en tales casos son de tipo barrenados en forma que eviten deslizamientos; también se usan como anclas contra fuerzas horizontales en muelles, muros de contención, etc.

1.- El objeto es encontrar un estrato que asegure soportar la estructura sin asentamientos considerables, dicha carga se considera aplicada al nivel de las puntas de los pilotes y deben hacerse consideraciones sobre los efectos causados en el estrato inferior, más aun en el caso de que se trate de una capa compresible y que la capa que descansa sobre ella sea de poco espesor y no alcance a absorber toda la carga sin que transmita parte de ella a esa capa compresible; la distribución de la presión puede suponerse que tiene la forma de la figura No. 2 a, como se puede comprobar por las ecuaciones Boussinesq, las curvas representan líneas de igual presión vertical.

En pilotes agrupados, los bulbos de presión se superponen (fig. 2 c y 2 d) y las presiones en el suelo aumentan en las zonas de empalme, sin embargo esto es solo peligroso cuando resultan esfuerzos que pudieran -- producir deformaciones dañinas, es decir, cuando la superposición ocurre en zonas de presión importante.

Si los bulbos interiores representan líneas de 10% de intensidad y

las exteriores 1%, es evidente que la superposición de los bulbos exteriores no es de importancia; cuando la distancia entre pilotes adyacentes es pequeña la superposición de bulbos puede llegar a las zonas interiores siendo entonces peligrosa; un espaciamento de tres a tres y media veces la dimensión transversal del pilote es por lo común suficiente para evitar superposiciones peligrosas de bulbos adyacentes que pudieran causar asentamientos locales.

La fusión de bulbos individuales de presión en uno solo de un grupo, como se muestra en la figura 2 d indican esfuerzos soportados dentro de una capa inferior, sin tomar en cuenta que los bulbos se superpongan. La teoría de la separación de bulbos se puede posteriormente aplicar a los bulbos de grupos como se ve en la figura 2 b en la cual la carga aplicada a través de la capa dura a la capa suave inferior se reparte mediante los pilotes inclinados bajo la subestructura.

2.- Columna y fricción combinadas es una combinación de los casos 1 y 3 y consiste en transmitir la carga a través de los estratos superiores a uno más firme dentro del cual la porción inferior actúa por fricción; comprende consideraciones de los valores probables de fricción en el material y el estudio de los efectos sobre el estrato subyacente al que se aplica la carga.

3.- El uso de pilotes trabajando a fricción pura en toda su longitud dentro de un estrato de consistencia aproximadamente uniforme, comprende la consideración de valores de seguridad de la fricción y el estudio de la consolidación probable en la capa inferior a la que soporta la carga por fricción, si es que influyen en ella los bulbos de presión. Debajo de una estructura un pilote soporta cierta carga, la cual es mas o bien constante y de carácter estático, aunque en algunos casos puede oscilar por las cargas vivas o vibraciones ocasionadas por temblores de tierra e impactos; en la masa de suelo se desarrolla una resistencia estática igual y de sentido contrario a la carga, durante el hincado de un pilote y a causa de los impactos del martillo se supone que la carga del pilote se contrarresta por la resistencia dinámica del suelo la cual, en general no es igual a la resistencia estática. Ambas constan de dos partes: a).- Resistencia de punta o fuerza vertical que actúa hacia arriba en la punta del pilote y b).- fricción superficial distribuida en la superficie del pilote y actuando generalmente también hacia arriba. Las experiencias realizadas hincando pilotes modelo en una masa de arena con delgadas capas horizontales de diferente color, hacen pensar en la existencia de un cuerpo de soporte alrededor del pilote en el cual actúa en apariencia la resistencia de punta. Este concepto no es compartido por todos los investigadores y comunmente se acepta que la resistencia de un pilote se produce por una resistencia de punta y una fricción superficial sobre las caras del pilote.

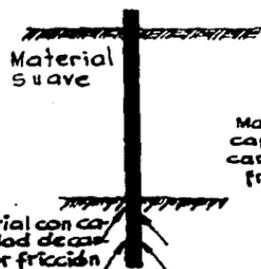
En un suelo impermeable, la resistencia de punta debida al golpe es considerable porque el agua que se aloja en los vacíos no puede eliminarse instantáneamente, por otra parte, bajo una carga estática el agua se elimina gradualmente y la resistencia de punta es menor que para la carga dinámica.

En un suelo permeable no hay gran diferencia entre la resistencia de punta bajo una carga estática que bajo una carga dinámica.

Ya se dijo que en general la fricción superficial en un pilote actúa hacia arriba pero más exactamente diremos, que la dirección de la fricción superficial es la del movimiento de la masa del suelo adyacente



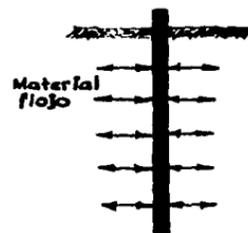
Caso 1  
Como columna  
trabajando de  
punta.



Caso 2  
Como pilotes traba-  
jando a fricción en la  
porción inferior.



Caso 3  
Como pilotes traba-  
jando a fricción  
en toda su longitud.



Caso 4  
Como compactadores  
del terreno

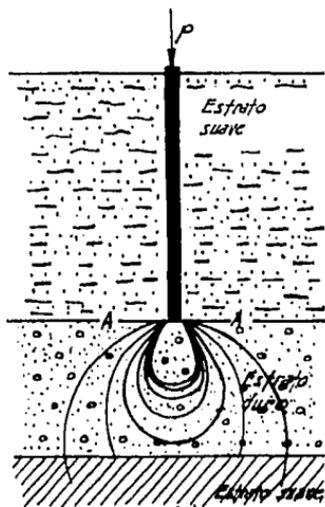
Fig. 1.-Usos diversos de los pilotes.

UNIVERSIDAD NAL. AUTONOMA  
ESCUELA NACIONAL DE INGENIEROS

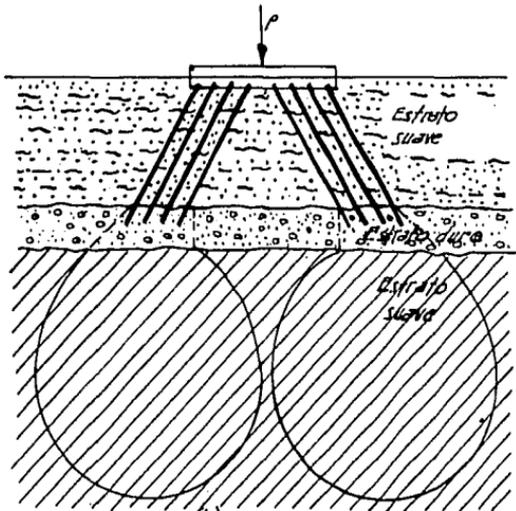
TESIS PROFESIONAL

ROBERTO LIRA MEZA

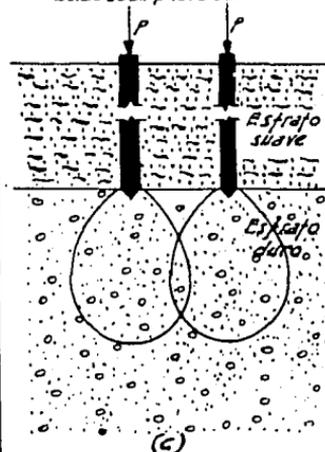
1954



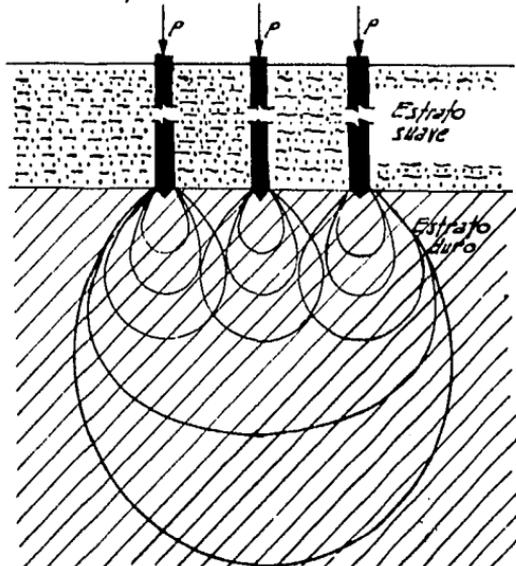
(a) Bulbo de un pilote aislado



(b) Separación de bulbos



(c) Pilotes adyacentes con bulbos sobrepuestos.



(d) Fusión de bulbos individuales en uno

Fig. N<sup>o</sup> 2.- Distribución dentro del suelo de la presión transmitida por pilotes trabajando de punta.

UNIVERSIDAD NAL. AUTONOMA  
 ESCUELA NACIONAL DE INGENIEROS  
 TESIS PROFESIONAL

ROBERTO LIRA MEZA

1954

con respecto al pilote, si éste se mueve hacia abajo por efecto de la carga, el movimiento relativo de la masa de tierra es hacia arriba y -- por tanto la fricción superficial también se produce hacia arriba; así sucede por ejemplo en los suelos incompresibles los valores de la fricción superficial dependen del tipo de suelo, espesor del terreno, grado de la consolidación y saturación naturales, forma del pilote, monto de la compactación por pilote, textura superficial del pilote y en ocasiones del tiempo de intervalo entre el hincado y la prueba.

En general la fricción aumenta con el aumento del tamaño de las -- partículas, buena sucesión de tamaños, y compactación; en suelos de partículas finas decrece con el aumento de humedad.

El valor unitario de la fricción superficial para un pilote en arena ha sido demostrado ser constante para la longitud total hincada bajo una carga dada; el valor varía sin embargo ampliamente con el grado de compactación de la arena; la división de la carga entre fricción y resistencia de punta en un pilote en arena varía considerablemente con la densidad de la arena, la proporción de resistencia de punta es mucho -- mayor en arenas sueltas; cuando los pilotes son hincados en arenas sueltas la arena se compacta y se aproxima a un estado denso.

El valor unitario de la fricción superficial para un pilote en material cohesivo se puede suponer uniforme para el total de la longitud hincada aunque hay casos de aumento o disminución; especímenes de prueba de láminas en gelatina han demostrado que los esfuerzos cortantes están prácticamente distribuidos con uniformidad en los lados de la superficie hasta una profundidad un poco arriba del extremo inferior de la atagüa; inmediatamente arriba del extremo inferior, los esfuerzos cortantes aumentan y en el extremo sobrepasan la adherencia entre dichas piezas y el material adyacente; para propósitos prácticos esta variación de una distribución uniforme se puede desprestigiar, como lo demuestran experimentos hechos con pilotes aislados.

El valor unitario de la fricción superficial para un pilote en arcilla puede tener grandes variaciones para el mismo material, dependiendo del método usado en la colocación del pilote; el hincado puede haber remoldeado el suelo en tal forma que se haya roto la estructura original y que el barro se haya vuelto más plástico alrededor del pilote si se compara por ejemplo con un pilote colocado en una perforación previamente hecha, la presión hidrostática puede impedir temporalmente cuando menos la adherencia entre el pilote y el terreno, luego, por el simple hecho de que un pilote que haya sido probado en un suelo determinado y que haya dado un cierto valor, no se sigue forzosamente que otro pilote hincado en otras condiciones vaya a soportar una carga igual aunque su tipo sea igual en ambos casos y que el período de prueba sea el mismo; el factor tiempo es de mucha importancia ya que la capacidad de carga aumenta con él mientras el agua se desaloja y se restablece la estructura de la arcilla, de aquí que las pruebas de carga se deben hacer con un intervalo lo mayor posible después de que el pilote ha sido hincado; no debe incluirse en la resistencia de un pilote trabajando de punta la fricción desarrollada en la longitud que se ha hincado en un terreno -- blando cohesivo.

Hay casos en que la fricción superficial es negativa, como sucede en suelos que se consolidan por la acción natural en que está dirigida hacia abajo, en esta forma, la punta del pilote no solo debe absorber la sobrecarga sino también una parte del peso del suelo que rodea al pilote el cual está prácticamente colgado de él; en general, la fricción

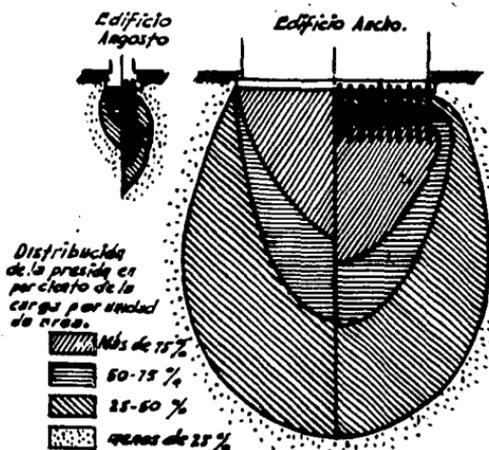
negativa es un factor de peligro puesto que aumenta la carga y pueden originarse asentamientos imprevistos en la estructura, esto es lo que sucede en general con todos los edificios apoyados sobre pilotes de la ciudad de México, cuyo suelo sabemos es de un alto grado de consolidación, por el gran contenido de agua.

La ley de distribución de la fricción superficial en un pilote es desconocida y en la mayoría de los casos se admite que es uniforme; para calcularla en el caso de un pilote de cierto material, sección y longitud, hincado en cierto suelo, se mide la fuerza necesaria para extraerlo y se supone que dicha fuerza, (acción dinámica) es el valor máximo de la fricción estática con que puede contarse en el proyecto de la estructura.

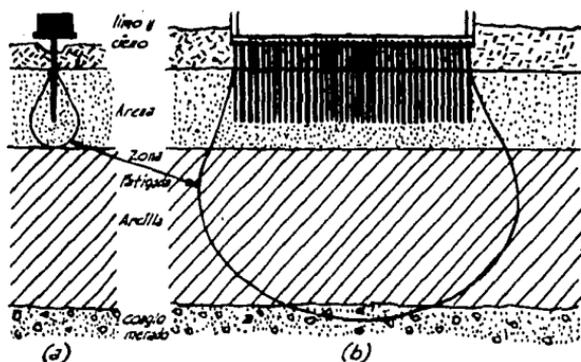
La fuerza total necesaria para extraer el pilote, dividida por su superficie, da el valor medio de la fricción, comúnmente este valor se aplica a todos los pilotes del mismo material aunque tengan diferente sección y longitud; en realidad, esto solo se justificaría si la distribución de la fricción en toda la superficie del pilote fuera realmente uniforme, lo cual ya sabemos no es seguro.

El uso de pilotes de fricción en la parte superior de un depósito de consistencia uniforme tiene por objeto reducir la intensidad de la presión que actúa al nivel del suelo y trasladar la zona de mayor presión a estratos inferiores donde se causa menor hundimiento.

El hundimiento producido por una carga uniforme, crece en proporción al diámetro del área cargada para suelos cohesivos, en tanto que en suelos no cohesivos el tamaño del área cargada es de poca consideración. El hundimiento bajo una carga unitaria decrece con el aumento de la profundidad de la cimentación, dicho hundimiento también depende de la relación de la profundidad a las dimensiones del área cargada de manera que para reducciones de hundimiento potenciales, la relación profundidad-diámetro debe permanecer igual; en materiales no cohesivos el efecto de esta relación sobre los asentamientos es menor que en suelos cohesivos; este principio indica que los pilotes pueden ser afectados de manera importante por la relación de sus longitudes-



al ancho del área cargada; bajo una estructura angosta, todo esfuerzo se debe dirigir a usar los pilotes más largos que el ancho de la estructura de manera que el bulbo de presiones llegue lo más bajo posible, esto reduce los hundimientos, en la figura 3 se ilustran las dos condiciones, en A el ancho de la cimentación es menor que la longitud de los pilotes, se ve que los pilotes son efectivos porque alargan el bulbo de presiones bajando su posición de manera muy notable; en "B" el ancho de la cimentación es varias veces mayor que la longitud de los pilotes, la parte superior del bulbo



*Fig. N° 4.- Error de considerar un pilote aislado bajo carga: en (a) la arcilla practicamente no esta sujeta a carga; considerando agrupados los pilotes bajo la estructura (b), la arcilla está bastante cargada.*

UNIVERSIDAD NAL. AUTONOMA
ESCUELA NACIONAL DE INGENIEROS
TESIS PROFESIONAL

ROBERTO LIRA MEZA

1954

de presión, se baja tanto como en el primer caso pero debido a las mayores dimensiones del bulbo las presiones en los estratos inferiores no cambian o cambian muy poco, en tal caso es infructuoso el uso de pilotes porque no mejora las condiciones de las capas inferiores para las cuales la presión es la misma que si se cimentara por superficie con lo cual no hay disminución de los asentamientos, en realidad son perjudiciales debido a que con el hincado se ha alterado la estructura interna del suelo.

4.- El cuarto uso de los pilotes enumerado es como compactadores del terreno, puede ser que resulte más económico compactar un estrato blando que descansar sobre uno firme por medio de pilotes que llegue solo al nivel del estrato firme que hincar pilotes dentro del material firme en número tal que soporten toda la carga por fricción, en este caso, los pilotes deben ser hincados en filas con espaciamientos grandes y en medio de éstos más pilotes cada vez más cercanos hasta lograr el grado de compactación deseado, medido por la resistencia al hincado que se observe; el resultado que se obtenga para la resistencia de un pilote en caso de probarse. no debe de tomarse en cuenta; para los pilotes que se usan para compactar el suelo, no hay relación entre la carga que se va a soportar y el número de pilotes hincados, lo último estando determinado por el grado de compactación requerido; es casi imposible consolidar suelos arcillosos por medio del método descrito, pero se puede hacer con los suelos permeables no cohesivos.

Para suelos que pueden ser compactados pero que tienen aun cierto grado de moldeabilidad, debe tenerse gran cuidado para evitar el hincado de demasiados pilotes que pudieran amasar el terreno a un grado tal que la capacidad de carga final resultara disminuida en lugar de aumentar.

No es de recomendarse el uso de pilotes en los casos en que su trabajo este fuera de las formas enumeradas ya que pueden ser perjudiciales o no tener ninguna utilidad, citemos un ejemplo: una capa gruesa de arcilla, con una resistencia satisfactoria sobre una capa de arcilla blanda, los estudios de campo pueden revelar una resistencia satisfactoria en la primera capa suficiente para distribuir la carga en la capa blanda de modo que la pueda soportar, si en estas condiciones hincamos pilotes, podemos destruir esta ventaja de la distribución de carga y hacer decrecer el valor aprovechable de la presión unitaria en la capa blanda lo que da por resultado, un incremento en los asentamientos en dicha capa, lo que puede verse agravado por la perturbación ocasionada en la capa dura, por efecto del amasamiento debido al hincado de pilotes.

Cada estrato del suelo debe soportar la carga proveniente de todas las capas que descansan sobre él, incluso la proveniente de alguna estructura que esté sobre ellas, una cimentación sobre pilotes, no queda automáticamente asegurada si la resistencia por fricción en el hincado es satisfactoria, aun cuando las condiciones del estrato sean las requeridas para el propósito, debe de investigarse la capacidad de carga de la capa que queda bajo la punta de los pilotes y si es capaz de soportar cargas adicionales sin sufrir perturbaciones de importancia, esto comprende también el estudio de la preconsolidación de la capa que se va a sujetar a cargas adicionales, si los asentamientos quedarán dentro de un límite permisible o si los pilotes deben de hincarse a una profundidad mayor, con objeto de aumentar la resistencia y llegar a un valor soportante del terreno satisfactorio.

Con el fin de obtener una buena distribución de la carga de un estrato firme dentro del cual están alojadas las puntas de los pilotes, cuando está sobre un estrato blando en el cual no es de recomendarse alojar los pilotes pero encima del cual se ha decidido soportar la carga total, se debe tener gran cuidado de no perforar la capa distribuidora sino suspender el hincado lo más distante posible de la cara inferior del estrato firme, tanto como lo permitan los valores de la fricción y de la resistencia al hincado; en ningún caso las puntas de los pilotes deben aproximarse más de 0.90 m. y de preferencia deben de quedar a un mínimo de 1.50 m de la cara inferior de la capa distribuidora con objeto de no rebasar la resistencia de la capa blanda a la penetración y a los esfuerzos cortantes.

El valor promedio de las presiones en el suelo bajo un pilote aislado, o grupo de pilotes, en ningún caso debe exceder el valor de la presión permisible, sin tomar en consideración los valores obtenidos mediante la aplicación de la fórmula dinámica o por la aplicación de un valor probable de la fricción superficial de la longitud hincada.

Cuando se ha escogido un valor para la carga de un pilote, debe recordarse que los pilotes en grupos no tienen como valor total la suma de los valores correspondientes a cada pilote considerado aisladamente a menos que su trabajo sea como columna, lo cual se puede ver claramente considerando un bulbo de presiones de un pilote aislado y el efecto de añadir otros bulbos similares que se superponen; en caso de que se tenga una obra en que el hincado de pilotes sea de bastante importancia es muy útil hacer una prueba de carga para un grupo llevando además un registro del comportamiento de cada pilote dentro del grupo; figura No. 4.

El tipo usual de pruebas de carga, en las que solo se usa un pilote y en las que solo se observan los asentamientos de la cabeza bajo la acción rápida de cargas que se dejan un tiempo insuficiente actuando sobre él, los cuales se retiran también en una forma repentina en lugar de hacerlo gradualmente en un período aproximadamente igual al tiempo en que fueron aplicadas, da una información de carácter muy relativo cuya interpretación es sumamente difícil y en ocasiones completamente imposible, en cambio una prueba de carga adecuada proporciona los medios de determinación del valor correcto de las longitudes de pilotes necesarios para los requerimientos de la obra.

Es una gran ventaja obtener datos previos de suficiente aproximación en relación con las capacidades de carga del suelo antes de comenzar en grande escala el hincado de pilotes, hay muchas maneras de hacer pruebas de suelo sin los problemas y gastos que implica el hincado de pilotes de las dimensiones reales y que en cambio dan una información tan valiosa como aquéllos; estos métodos consisten en hincar varillas o tubos tomando con frecuencia lecturas, tanto en el hincado como en la extracción que posteriormente serán calibradas al tamaño real, las proporciones correspondientes a resistencia de punta por fricción pueden ser separadas.

Se usan tubos de 4 1/2" a 16" de diámetro para la prueba con puntas separables y un mandril que puede ser hincado independientemente del tubo si se desea con la inserción de un block de hincado sobre la cabeza del mandril, de este modo se puede obtener la resistencia de punta independiente de la resistencia total, el resto será fricción que puede ser comprobada por una prueba de extracción con un gato en una distancia corta; el hecho de que el diámetro exterior de la punta

sea mayor que el del tubo puede afectar los valores de la fricción en algunos tipos de suelo y en estos casos sería conveniente tener una superficie a ras de ser posible, en la figura No. 5 puede verse un esquema del caso a que nos referimos; el equipo para hincar este tipo de pilote es sumamente sencillo ya que se puede hacer con un martillo de caída libre de unos 500 Kg. de peso soportado por una pluma de unos 7 m de longitud con un malacate de gasolina; el pilote puede ser hincado en secciones de pequeña longitud con conexiones sumamente fáciles.

En otras pruebas se usan varillas de  $3/4"$   $\phi$  seguidas de tubo de  $1"$  y  $1\ 1/2"$  de diámetro; los resultados de estas pruebas arrojan resultados que debidamente calibrados, concuerdan con los obtenidos en la práctica con el hincado de pilotes de tamaño real, muchos de los procedimientos se encuentran patentados por diferentes inventores.

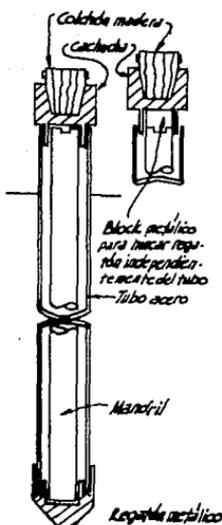


Fig. No. 5.- Pilote de prueba.

## EQUIPO PARA HINCADO

A continuación vamos a estudiar y a describir la maquinaria que se utiliza para el hincado de pilotes que incluye; martillos de cualquier tipo, maquinaria para izar los pilotes y el martillo y bombas de inyección de alta presión útil en los casos en que sea necesario el uso de chiflón para acelerar el hincado sea porque el terreno presente gran dureza o porque el martillo sea deficiente para un tamaño dado de pilotes.

Comenzaremos por los martillos en sus diversos tipos cada uno de los cuales describiremos someramente.

MARTILLO DE CAIDA LIBRE O DE GRAVEDAD.- Este tipo de martillo es el más simple y más primitivo pero cuyo uso es aun muy frecuente, consiste en un bloque de metal comunmente hierro de un peso determinado, este peso se levanta por medio de un cable que pasa por la parte superior de una torre o pluma y de ahí al tambor de un malacate que es el que lo acciona levantándolo hasta a cierta altura y soltándolo para que caiga por peso propio desenrollando el cable del tambor y golpeando la cabeza del pilote, el golpe debe ser dirigido de manera que no ocasiona impactos laterales con este objeto las torres siempre van provistas de guías que sirven de rieles para que el golpe quede centrado; en este tipo de martillo se obtienen fuertes pérdidas de energía debido al arrastre del cable y el tambor en que está enrollado así como al rozamiento contra las guías del martillo, estas pérdidas se pueden compensar aumentando la altura de caída del martillo.

MARTILLO DE VAPOR DE ACCION SIMPLE.- Estos martillos consisten en dos piezas fundamentales que son; una parte móvil que es propiamente lo que constituye el martillo que va dentro de un marco, compuesto del mecanismo del martillo o sea una caja dentro de la cual se alojan las válvulas que admiten o dejan escapar el vapor durante el trabajo del martillo, la otra parte del marco lo constituyen las guías propias del martillo; la operación de este tipo de martillos se puede hacer con vapor o por aire de una compresora, el vapor o aire levanta la parte móvil del martillo que al llegar a la parte superior de sus guías cae por peso propio golpeando la cabeza del pilote; este tipo de martillo siempre se usa con guías en la torre de la que está suspendido; algunos martillos de manufactura europea utilizan como parte golpeante el marco que hemos descrito quedando entonces fijo el pistón sobre la cabeza del pilote, este pistón queda dentro de la caja de válvulas y sobre él actúa la presión del vapor o del aire con que opera, la carrera del pistón o la longitud de las guías es corta pero el peso de las partes golpeantes es más grande que la de los martillos de gravedad y la velocidad con que golpea es mucho mayor que en aquellos, la potencia es ma-

MARTILLOS DE VAPOR DE DOBLE ACCION.- Este tipo de martillos al igual que los del anterior utilizan para su acción vapor o aire que sirve tanto para levantar la parte golpeante como para comunicarle una energía adicional en su caída lo cual equivale a que tuviera un peso mayor y operara por gravedad, las partes de que consta en general son las mismas que para el anterior solo que aquí el vapor acciona por ambas caras del pistón, aquí la carrera del pistón es mucho menor pero queda compensado por la energía adicional que le imparte el vapor, la velocidad a que opera es mucho mayor que en los de simple acción, estos martillos se usan con guías o sin ellas en la torre.

MARTILLOS DE VAPOR DE ACCION DIFERENCIAL.- Estos también utilizan para su operación vapor o aire para levantar la parte golpeante e impartirle energía adicional durante el descenso, este tipo es una variante de los de doble acción consistente en que la presión del vapor actúa constantemente en la cara inferior del pistón que es de menor superficie que la superior, esta diferencia de áreas, al actuar en ellas el vapor, produce una diferencia de fuerza que es la que imparte energía adicional.

MARTILLOS DIESEL.- Este tipo de martillos es el más moderno y se fabrican en Estados Unidos y en Europa; consisten en una sola unidad que contiene: cilindro, pistón o borrego o parte golpeante, tanque de combustible, bomba de combustible con inyectores, lubricador mecánico y depósito para el lubricante; para arrancarlo, se levanta el borrego que luego se deja caer, una inyección de combustible dentro del aire comprimido por el borrego, explota y hace que el pilote se hunda y el borrego se levanta, esto ocasiona que se abran las válvulas de escape y queden limpios los puertos de entrada, la carrera del borrego se amortigua en la cámara de retroceso por medio de aire que actúa como un resorte para el arranque del siguiente ciclo; la cantidad de combustible que se inyecta es controlada por el operador, pudiendo de esta manera graduarse la energía por golpe desde cero hasta el máximo para cada martillo, en otros martillos de este tipo la energía por golpe se puede regular acortando la longitud de la carrera.

Se usan también martillos de gasolina, que opera en forma análoga a los pistones de un motor, la explosión levanta la parte golpeante -- que luego actúa por gravedad.

EXTRACTORES PARA PILOTES.- Los extractores como su nombre lo indica, se fabrican con el propósito de extraer pilotes, ya sea que se trate de pilotes antiguos de una cimentación o pilotes que se estén hincando para una nueva cimentación y que por algún motivo se hubieran dañado durante el hincado.

En algunos casos se pueden usar como extractores los martillos de doble acción invirtiendo su posición con objeto de que el golpe vaya dirigido hacia arriba, no debe de estar en contacto con el pilote sino transmitir el golpe mediante una trama de varios hilos. La extracción de pilote se puede lograr mediante dispositivos que utilizan gatos hidráulicos.

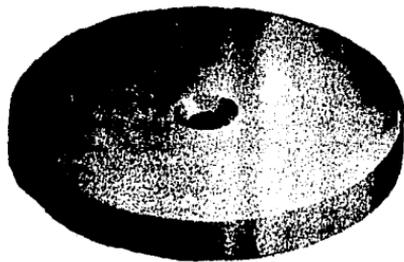
El borrego de todos los martillos no golpea directamente sobre la cabeza de los pilotes sino que golpea sobre un yunque que en su parte inferior tiene aditamentos especiales para cada caso especial según se trate de hincar pilotes de madera, de concreto, tubos, o ataguías. En las figuras se muestran yungues para varios tipos de martillos para diversos usos de hincado; muchos tipos de estos aditamentos se fabrican según las necesidades particulares del caso. Con objeto de sujetar el pilote al martillo y con el de asegurar que el golpe no sea excéntrico en la cabeza del pilote se usa un marco que abraza al yunque y al pilote a la vez, además cuando se usa un colchón amortiguador en la cabeza del pilote dicho marco sirve para que el colchón quede encerrado en su posición y no se desprenda a los primeros impactos del martillo.

SEGUIDORES.- Cuando las cabezas de los pilotes que se van a hincar van a quedar bajo la superficie del terreno y por conveniencia no es indicado ejecutar las excavaciones antes de efectuar el piloteado,

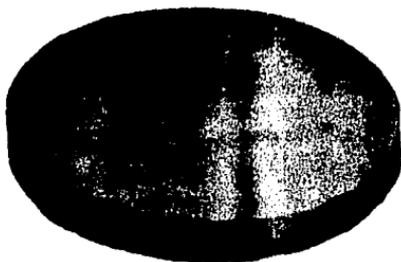


Martillo de gravedad Vulcan.-

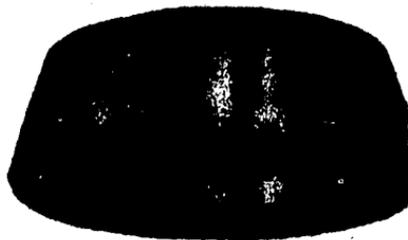
La masa está concentrada en la parte inferior con el objeto de disminuir los cabeceos y los golpes excéntricos en el momento del impacto; el perno sirve para sujetarlo a la línea de suspensión con la que se opera; las salientes de la parte inferior son para sujetar los cables de la cauchucha al finalizar o terminar el hincado.



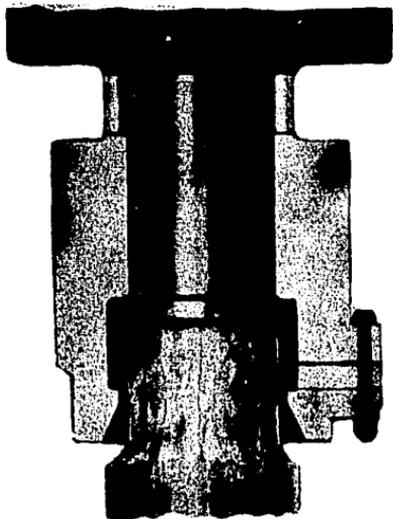
Placa para base Standard.- Estas placas vienen con todos los tamaños de martillos Vulcan de acción simple o diferencial, las hay de diversos tamaños con espesores de 1,3/8", 1,1/2", y 1,1/8".



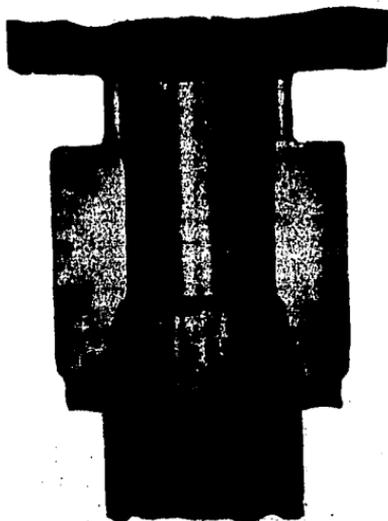
Placa para base McDermid.- Estas al igual que las anteriores se construyen para todos los martillos que se fabrican con base de este tipo, los espesores son iguales que en el caso anterior.



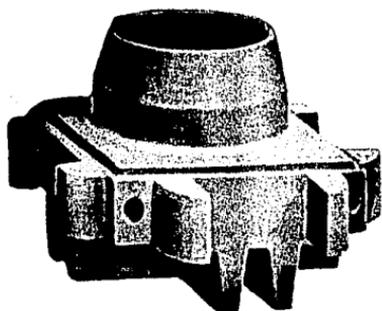
Cauchucha acampanada para bases Standard.- Están diseñadas para proteger la cabeza del pilote durante el hincado, se usan con todos los martillos fabricados con esta base y no pueden usarse con martillos con base McDermid; su uso es alternativo con la placa plana y puede estar perforada para clavarla al pilote.



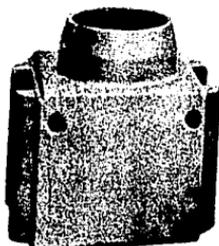
Base McDermid.- Esta forma de base solo se usa para hincar pilotes de madera redondos los cuales entran en una cavidad circular en la que se aloja una placa redonda, esta placa descansa sobre la cabeza del pilote para transmitir el golpe del martillo. Cuando la madera es blanda o el hincado es sumamente dificil, esta base evita la necesidad de usar cachucha acompañada en la cabeza del pilote como lo requiere la base standard, en adición a lo anterior, la placa ayuda a colocar en la posición correcta evitando que la cabeza de pilotes de diámetro pequeño penetre hasta la cavidad para el remate del borrego; esta base es intercambiable con la base Standard en martillos del mismo tamaño.



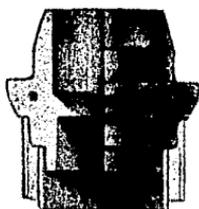
Base Standard.- Esta forma de base tiene una cavidad cónica y equipada con accesorios adecuados, puede adaptarse para hincar cualquier clase de pilotes; para pilotes de madera delgados debe usarse una placa acompañada para este tipo de base, esta también se hace necesaria cuando el material del pilote es blando; El martillo debe estar equipado con este tipo de base para poder usar las cachuchas para hincar pilotes de concreto o para los demás tipos que se muestran en la página siguiente; este tipo de base es intercambiable con la base McDermid en el mismo tamaño de martillo.



Yunque para ataguías metálicas.- Se usa para martillos con base Standard, en su parte inferior lleva muescas para dar cabida a piezas de diversas secciones con lo que se asegura un mejor alineamiento.



Yunque de tipo plano.- Este tipo es para pilotes cuya cabeza no tiene varillas sobresaliendo, solo se usa con martillos de base Standard, se puede usar para pilotes redondos, cuadrados y exagonales, en el interior puede colocarse un colchón amortiguador sobre la cabeza del pilote que penetra en parte



Cachucha para pilotes de tubo.- Solo se usa con martillos de base Standard; con el propósito de unir pilote y martillo, va provista de anillos concéntricos, fundidos con ella para dar entrada y rodear al pilote.



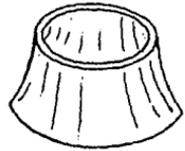
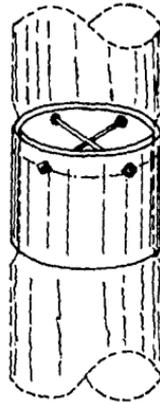
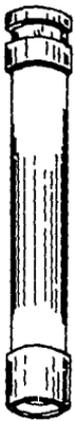
Yunque tipo Pedestal.- Se usa cuando los pilotes de concreto tienen varillas que sobresalen de la cabeza; la cachucha de que va provisto tiene todas las cualidades de la plana y además deja pasar las varillas por las muescas laterales sin perjudicarlas, cualquiera que sea su longitud, mediante ciertos arreglos; la cavidad superior que se ve, contiene un colchón de madera o fibra para recibir el golpe del borrego del martillo.

o que no se dispone de medios para hincar bajo el agua, se usan "seguidores" y deben considerarse como parte integrante del pilote, haciendo las modificaciones en las fórmulas que se emplean para conocer la resistencia dinámica del pilote, en la figura No. 6 queda mejor explicado en qué consisten estos seguidores que con palabras; es muy fácil en una obra proveerse de un seguidor, en caso de necesidad; en la base de estos seguidores se coloca también el aditamento especial de que se habló en el caso de los yunques, de acuerdo con lo que se está hincando.

Cuando hay necesidad de hincar bajo el agua se puede hacer con -- martillos de doble o de acción diferencial tipo cerrado o con martillos de simple acción también de tipo cerrado como los de la Mc-Kiernan-Terry, en cualquier caso de hincado bajo agua hay que hacer ciertas compensaciones para contrarrestar el empuje hacia arriba del agua que hace disminuir la energía efectiva del martillo usado, se logra -- añadiendo pesos adicionales equivalentes a la pérdida sufrida por el empuje citado; cualquier cambio en la velocidad a que opere el martillo debe tenerse muy en cuenta ya que es la forma más inmediata de conocer la energía que está dando el martillo en las condiciones del trabajo efectuado; con el objeto de mantener desalojado de agua el espacio en que se alojan las partes móviles del mecanismo de cada martillo, se inyecta aire a presión desde el exterior con una manguera de 1/2" de diámetro con una presión de 0.5 lb/pulg<sup>2</sup> por cada pie de profundidad a que se encuentre sumergido el mecanismo de operación del -- martillo de que se trate. Además hay que colocar en el orificio de escape del vapor una manguera de una longitud tal que la salida del vapor se haga siempre fuera de la superficie del agua. Debido al enfriamiento y por tanto a la condensación del vapor hay una caída de la presión y al mismo tiempo debe usarse para la lubricación un tipo diferente del usado en condiciones normales de hincado, la lubricación de los martillos es de mucha importancia en su mantenimiento, consiste casi -- siempre el lubricante, en un tipo especial de aceite con mayor o menor contenido de grasa animal, cada fabricante da tablas de lubricación -- para cada tipo de martillo en las condiciones especiales de hincado en cada caso, estas indicaciones deben ser seguidas a fin de obtener la -- máxima eficiencia del equipo. Siempre que sea posible hay que evitar -- el hincado bajo agua por el gran número de pérdidas que trae por consecuencia, en el caso de tener que hacerlo es preferible hacerlo mediante seguidores que simplifican mucho esta clase de trabajo.

En zonas urbanas, especialmente en las que están próximas a hospitales se hace necesario reducir el ruido proveniente de los martillos en acción, algunos códigos obligan a hacerlo, en general los dispositivos en uso para la reducción del ruido no son eficaces y se han ensayado en un número muy reducido de casos, el ruido proviene de dos fuentes fundamentales a saber: el proveniente del impacto del martillo contra el pilote, especialmente notable cuando se hincan pilotes metálicos, este puede ser amortiguado más o menos por medio de lonas o frazadas u otros procedimientos similares, ninguno de ellos recomendable ni práctico; la segunda fuente de ruido se debe al escape del vapor; se puede amortiguar con un asilenciador del tipo de los llamados "mofles" que se usan en motores, los resultados obtenidos, tampoco son positivos ni recomendables.

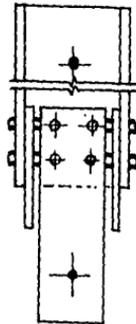
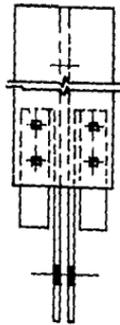
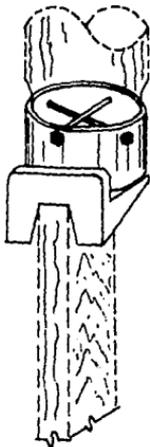
Los martillos de doble acción pueden fácilmente ser adaptados para demoler piedra, concreto, mamposterías o minerales, los tipos utilizables para hincado bajo agua se pueden usar para demoler rocas submarinas; un cincel constituido por una barra afilada de longitud y diáme-



*De tubo para pilotes madera*

*De vigueta para ataguías metálicas*

*Cachuchas de seguidor para pilotes de madera*



*Para pilotes de perfil "14"*

*Conocida y colocada de madera entre seguidor de concreto y pilote del mismo material.*

*Para ataguías de madera*

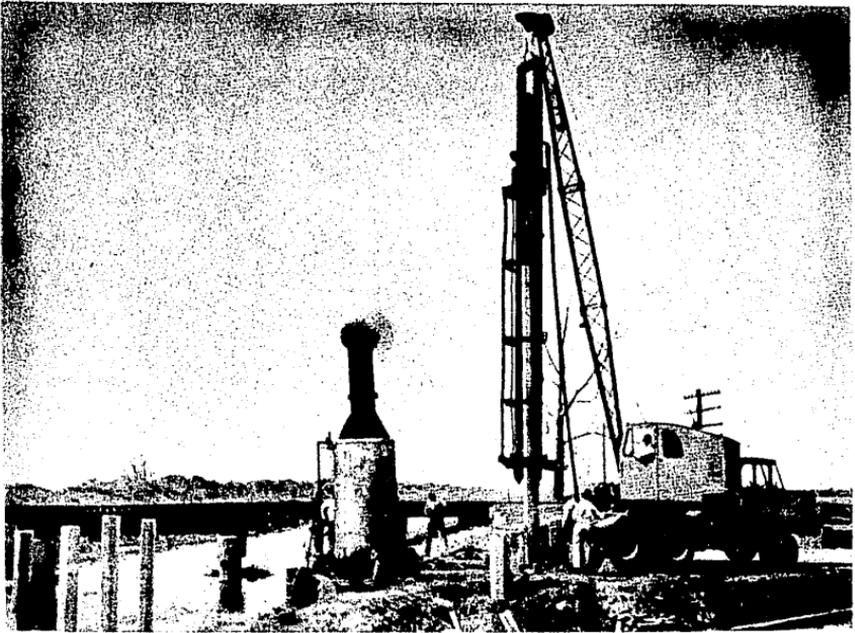
*Fig. N°6.- Tipos diversos de seguidores*

UNIVERSIDAD NAL. AUTONOMA  
 ESCUELA NACIONAL DE INGENIEROS

TESIS PROFESIONAL

ROBERTO LIRA MEZA

1954



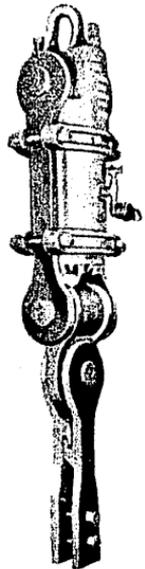
Hincado de pilotes de concreto; grúa montada sobre camion con guías colgantes; martillo Warrington-Vulcan No. 1 de simple acción, la caldera es unidad separada.



No. 200A

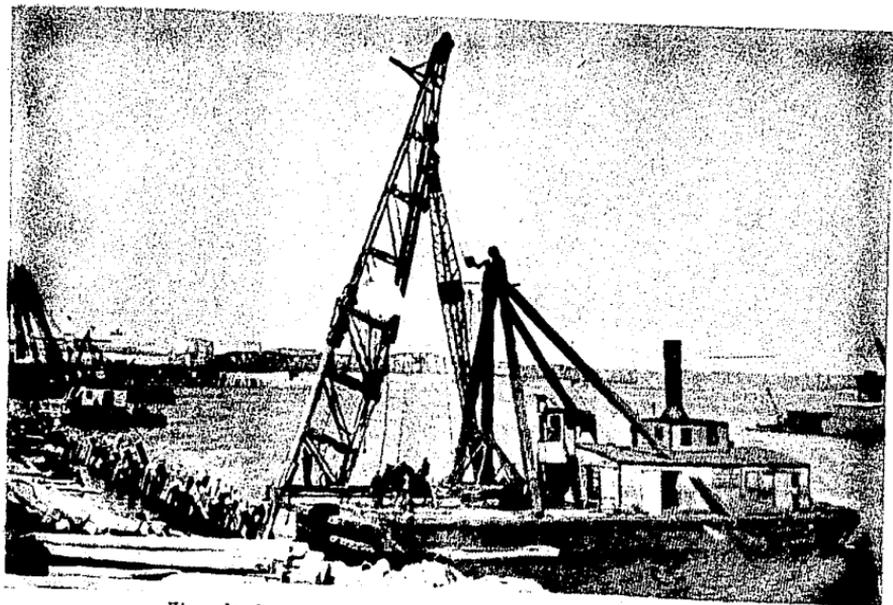


No. 400A

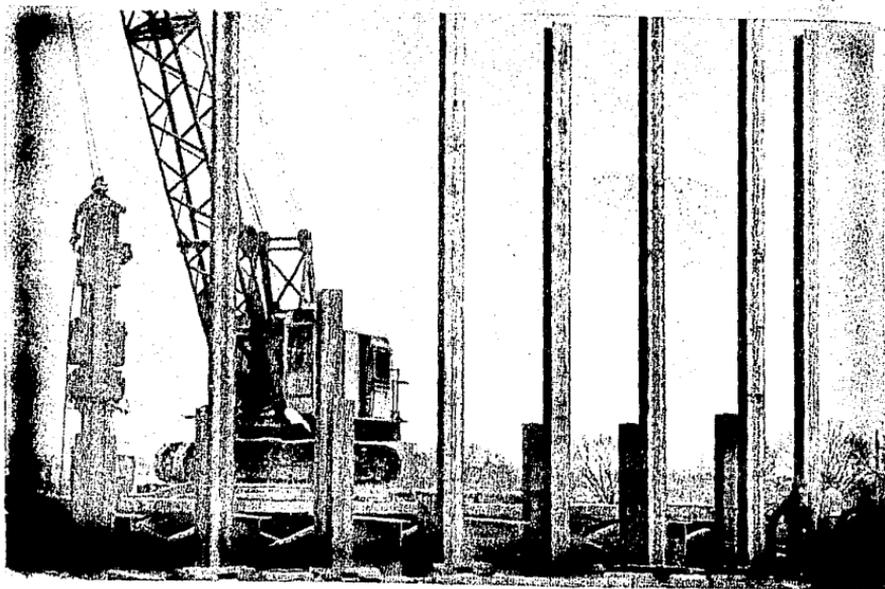


No. 500A

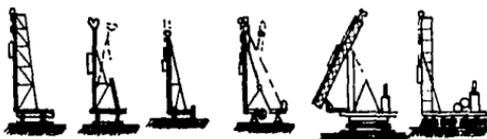
EXTRACTORES PARA PILOTES DE LA VULCAN IRON WORKS



Hincado de pilotes inclinados, de madera, pilotadora montada sobre chalán; martillo Super Vulcan 50C de acción diferencial.



Pilotadora de orugas moviéndose sobre puente de manobras para hincar pilotes de perfil laminado, con un martillo Super Vulcan No. 50C de acción diferencial sin guías, el martillo se opera con aire comprimido.



*Fig. N.º 7.-Diversos tipos de pibteadores mostrados esquemáticamente.*

UNIVERSIDAD NAL. AUTONOMA

ESCUELA NACIONAL DE INGENIEROS

TESIS PROFESIONAL

ROBERTO LIRA MEZA

1954

tro convenientes, se fija a la base del yunque y este se sostiene del martillo por medio de canales y tornillos con lo cual se tiene adaptado el martillo para demoler cualquiera de los materiales mencionados.

### MAQUINAS PILOTEADORAS.

En la página siguiente se muestran esquemáticamente varios tipos de los dispositivos más usados para máquinas de pilotear, las máquinas comprenden plumas o torres, compuestas de perfiles laminados o de madera, según el peso de los martillos y el de las piezas que se van a manejar, y las plataformas que soportan la maquinaria auxiliar que consiste en malacates y calderas y demás útiles para levantar pilote y martillo; tanto las piloteadoras standard como las especiales son fabricadas por las casas productoras de martillos y en sus catálogos se pueden ver los detalles de dichas máquinas, sin embargo en caso de necesidad se pueden adaptar las máquinas standard para trabajar en las condiciones que requiera alguna obra en particular, reforzándola convenientemente; con objeto de poderlas transportar con facilidad y de poderlas usar para pilotes de menor longitud en caso necesario, sin necesidad de usarlas en toda su altura, se dividen en varios grupos pudiendo suprimir uno o varios tramos y trabajar solo con los extremos, ya que la unión entre ellos es fácil de deshacer por estar hechas a base de tornillos y grapas.

Las máquinas más simples son las usadas para martillos de gravedad accionados con malacate de mano o de motor de gasolina las torres en muchos casos son de madera.

La maquinaria standard para pilotear es de tipos muy diversos, para su movimiento puede estar montada sobre "roles" de tubo que encajan en soportes unidos al chasis de la máquina o bien en carretes que le permiten moverse lateralmente con mayor facilidad que deslizándose directamente los apoyos sobre los tubos; algunas máquinas tienen guías móviles que les permiten hincar pilotes inclinados, dichas máquinas se dice que tienen guías tipo péndulo y pueden inclinarse en los dos sentidos para el hincado o pueden hincar también verticalmente.

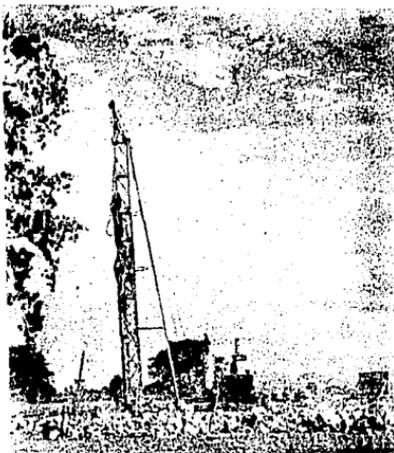
Las máquinas piloteadoras son a menudo montadas sobre chalanes para trabajar dentro del agua, como en el caso de obras portuarias; las máquinas giratorias se cuentan entre las más ventajosas y eficientes para cuando se requiere hincar un gran número de pilotes en un área pequeña, porque los pilotes pueden hincarse en cualquier lugar que se pueda alcanzar con la pluma o por las guías al moverse a cualquiera de los lados y caminando hacia adelante o hacia atrás y deslizándose hacia los lados.

Se fabrican guías telescópicas que dan utilidad extra de gran valor en las máquinas que las poseen, pues les permite ampliar la variedad de sus usos para manejar pilotes de mayor o menor longitud según el caso.

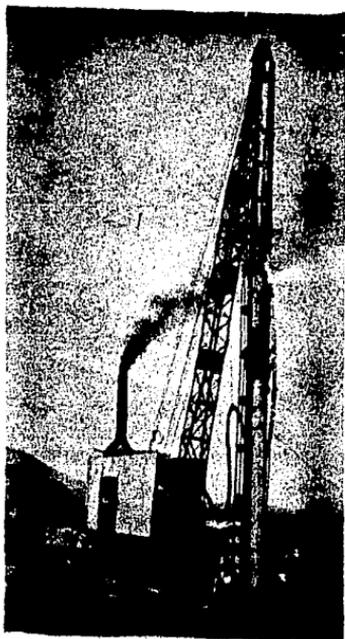
El movimiento de las máquinas piloteadoras de vapor se efectúa aprovechando como medio de locomoción el propio vapor, ya que poseen todas ellas el mecanismo semejante al de las locomotoras a base de bielas y pistones, cuyo movimiento transmitido a los retornos por medio de cables que conectan con un "muerto" mediante una trama, permiten al



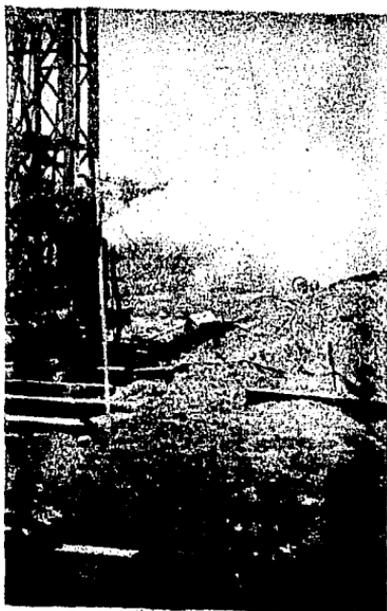
Máquina pilotadora sobre rolos con torre metálica dividida en dos tramos con conexiones sumamente fáciles.



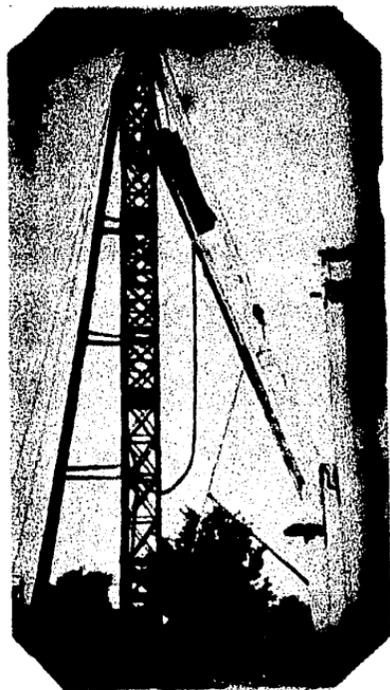
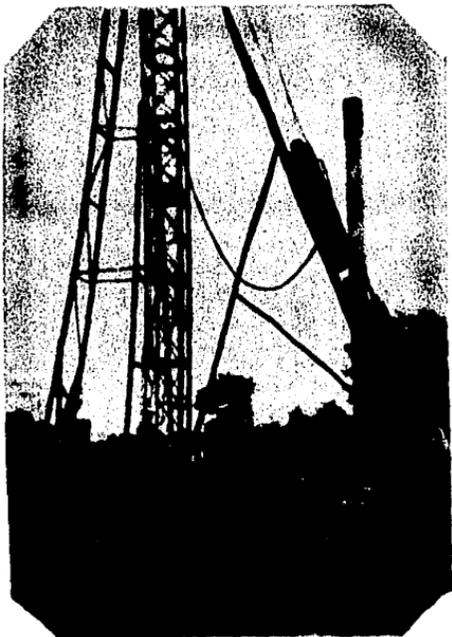
La misma pilotadora de la izquierda con tres tramos con longitud total de 22m, trabajando con un martillo McKiernan-Terry de doble acción 11-B-3.



Pilotadora sobre crugas con guías suspendidas, hincando pilotes de concreto con un martillo McKiernan-Terry de doble acción 11-B-3.



Martillo McKiernan-Terry de doble acción 11-B-3, en operación hincando pilotes de concreto a 2.5m bajo el nivel del terreno en excavación con atagaja.



La misma máquina piloteadora, montada sobre roles, de las fotografías anteriores adaptada para el hincado de pilotes inclinados mediante un aditamento especial a base de vigantas de 8" de peralte con conexiones articuladas para permitir el hincado a varios ángulos de inclinación; en el pilote y martillo se colocan abrazaderas de solera para evitar el deslizamiento lateral; los aspectos mostrados son del hincado de pilotes a 20° con la vertical para el caballete extremo de un puente, el terraplén se construyó posteriormente.

movimiento ya sea de avance, retroceso o lateral; algunas otras máquinas no necesitan "muertes" para moverse, ya que están montadas sobre cerugas y son de una movilidad mucho mayor que las de roles, sin embargo, la estabilidad de éstas es mayor que en aquéllas.

En general las piloteadoras pueden estar montadas en cualquier tipo de vehículo, camión, lanchón, patines, roles, plataformas de ferrocarril, etc. siendo por tanto su medio de locomoción también muy variable.

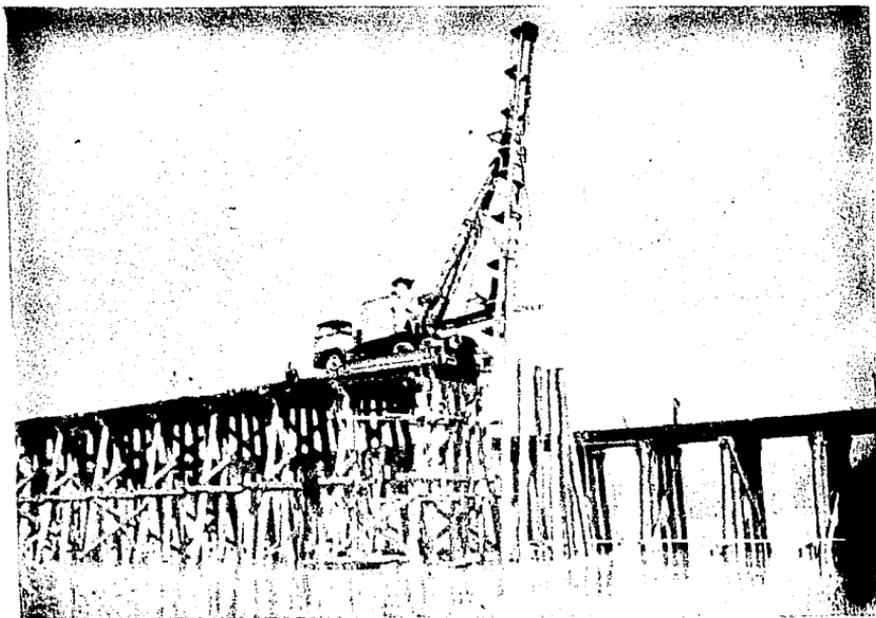
Las guías para los martillos pueden ser unidades por separado de las que sirven para sustentar el peso del martillo y del pilote de las cuales están colgando, en cuyo caso, su trabajo consiste exclusivamente en guiar sobre su línea al martillo con objeto de evitar el cabeceo y los golpes excéntricos que pueden dañar la cabeza del pilote; en otros casos, las guías son elementos contenidos en las torres o plumbas en las que el trabajo desarrollado por ellas es además del anterior el de servir como elemento activo en la sustentación de las cargas, las guías colgantes tienen la ventaja de poder quitarse con facilidad y dar a la máquina otros usos tales como el de grúa, esto es común hacerlo con las dragas, para el hincado de tablestacas, pilotes provisionales y demás trabajos auxiliares en los que no es posible o conveniente distraer maquinaria más pesada, para los últimos trabajos es común usar martillos de caída libre por la variedad de energías de que se puede disponer con solo variar la altura de caída.

Es común que el pilote y el martillo se encuentren colocados en medio de las guías pero en algunos países europeos se usan fuera de ellas, esto permite usar las cabezas de los pilotes de mayores dimensiones; algunos martillos de pequeñas dimensiones se usan sin guías como en el caso de los usados para el hincado de tablestacas, en que los martillos son colocados a mano. Cuando se va a hincar bajo la superficie del terreno y se tiene una torre de guías fijas es necesario proveerlas de un tramo telescópico o de un tramo fácilmente desmontable. En algunos casos se usan guías o más bien torres dentro de las cuales pasa el martillo y el pilote, o sea que los cuatro ángulos sirven de guías, lo que permite dirigirlos de una manera más efectiva.

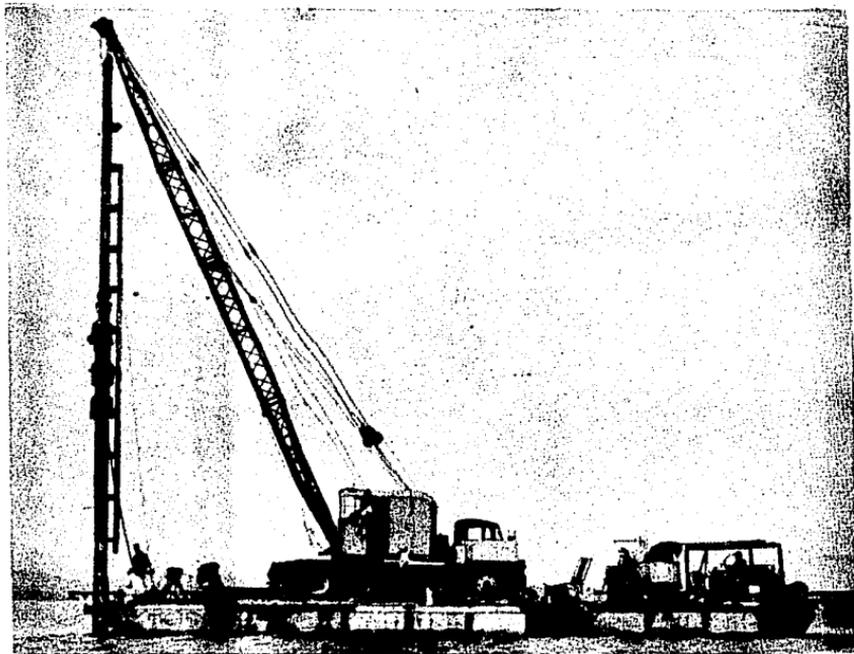
Algunas veces la caldera de las máquinas de vapor se substituye por un generador de vapor portátil, con el cual se logra gran economía, ya que uno de dimensiones mucho más reducidas que cualquier tipo de caldera de las usadas para los mismos fines, produce el vapor necesario a la presión deseada en un tiempo de la mitad del requerido por la caldera, disminuyendo el tiempo de espera y por tanto aumentando el rendimiento por hora de hincado, ahorrando por otro lado más de las tres quintas partes del combustible.

La elección del martillo por usar en una obra determinada, debe hacerse entre cualquiera de los tipos ya descritos, ninguno de ellos tiene características que lo hagan sobresalir de los demás en todas las clases de trabajo, y en un tipo especial de hincado, es posible que más de un tipo sea conveniente y aun puede ser que todos llenen las características necesarias.

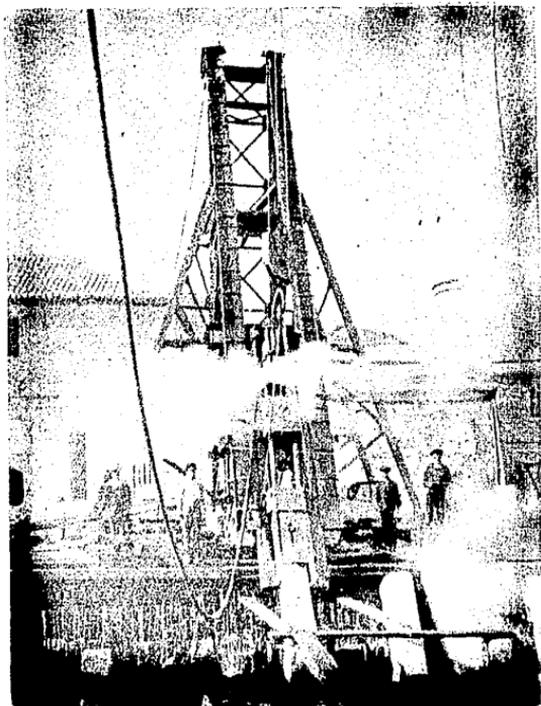
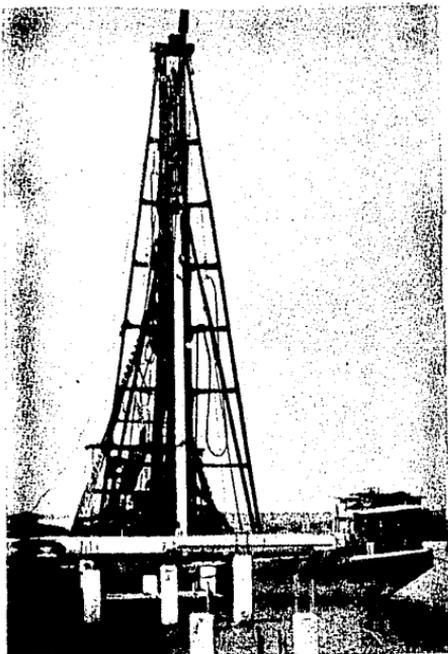
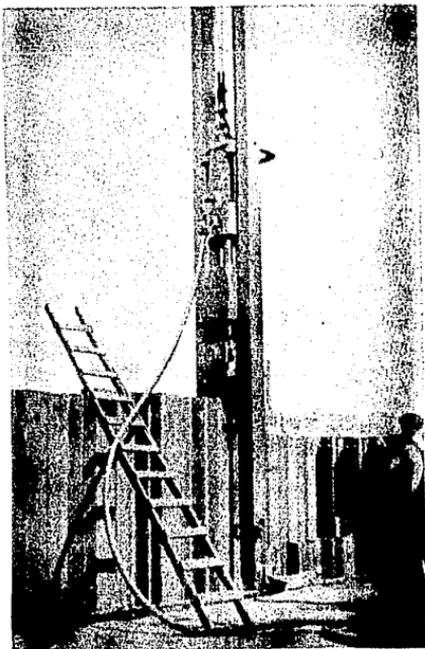
Cuando se hincan pilotes de gran peso tales como los de concreto precolados y cuando el hincado se hace en capas de material pesado, tales como barro duro, grava compacta, etc. es necesario que el golpe se dé con un borrego pesado con una carrera corta y velocidad baja en



Piloteadora montada sobre camión, hincando pilotes de madera con un martillo de simple acción Warrington - Vulcan No.2 con base McDermid en guías tipo péndulo.



Grúa con guías colgantes hincando un pilote de prueba de acero con un martillo Warrington-Vulcan de simple acción, No.2, operado con aire comprimido de una compresora, todo el equipo instalado en un chalán.



Martillo de vapor Super  
Vulcan 30C de acción di-  
ferencial en usos dife-  
rentes, suspendido en  
diversos tipos de máqui-  
nas piloteadoras.

el momento del impacto; esto permite que una gran parte de la energía se traduzca en movimiento del pilote y que el impacto y el efecto destructor de la cabeza o del colchón amortiguador queden considerablemente reducidos en relación con lo que sucedería si el hincado se efectuara con un martillo ligero pero con una altura de caída grande.

Quando se hincan pilotes ligeros o de peso normal en materiales de consistencia media, son útiles los martillos de doble acción, ya que por la rápida sucesión de golpes al pilote se mantiene en movimiento, según la opinión de los fabricantes, con lo que se reduce la inercia, la fricción y la resistencia de punta.

Los fabricantes de martillos de acción diferencial afirman que este tipo reúne las características de los de simple y los de doble acción, ya que la variedad de pesos de la parte golpeante es la misma que en los de simple acción en tanto que las velocidades de operación se aproximan a la de los de doble acción.

Hay ciertos casos en los cuales pueden aparecer esfuerzos de tensión que son perjudiciales especialmente en el caso de pilotes de concreto, dichas tensiones se deben a que en determinados momentos durante el hincado el período de vibración del terreno circundante llega a sincronizarse con la velocidad del martillo; no hay manera de prever que ese fenómeno se pueda presentar y son contados los casos en que ha ocurrido, el fenómeno se puede evitar mediante el uso de un martillo más pesado o cambiando el material del colchón amortiguador por uno más blando o más duro o simplemente reponiendo el usado por uno nuevo.

El tiempo requerido para el hincado es de importancia en todos los trabajos, por pequeños que sean y puede tener influencia decisiva en la elección del equipo que se use, por ejemplo, un martillo de caída libre puede dar pocos golpes por minuto, comparado con otros tipos pero debido a que puede variarse la altura de caída, puede ejercer una energía mayor obteniéndose una penetración mayor por golpe, por otro lado, la energía de un martillo de caída libre puede estar limitada cuando se tropieza con un estrato duro del terreno con el fin de evitar sobrefatigar el material de la cabeza del pilote quedando limitada la ventaja que habíamos citado, el ahorro de tiempo puede o no tener importancia en una obra, dependiendo esto de la forma en que ha ya sido contratada; se puede tener una idea muy aproximada del tiempo total requerido para hincar la totalidad de los pilotes de una obra si previamente se hincó un pilote de prueba con un determinado tipo de martillo y se llevó un registro completo centímetro a centímetro del hincado, conociendo la velocidad a que se operó el martillo y la penetración por golpe puede calcularse el tiempo necesario, aun más, con los datos anteriores es posible calcular el tiempo probable de hincado suponiendo otro tipo de martillo de características conocidas y cuyo uso sea también probable y determinar también el número probable de golpes necesarios para lograr el mismo fin. El tiempo de hincado depende del tamaño del martillo empleado, por lo tanto, siempre de be procurarse el empleo de martillos lo más grandes posible siempre y cuando no se sobrepasen los esfuerzos admisibles en la cabeza del pilote de que se trate.

El tipo más recomendable de máquina pilotadora para un caso particular depende de muchas condiciones tales como: el número, longitud, espaciamiento, y peso de los pilotes; condiciones del terreno; -

pilotes inclinados; profundidad de excavación y nivel de aguas. En terrenos planos se puede usar cualquier tipo de piloteadora pero para terrenos accidentados se debe usar de preferencia máquinas montadas sobre orugas o sobre camión; el hincado sobre chalanes se debe evitar siempre que sea posible, es preferible hacerlo desde puentes de mano bras que se construyen como obras previas a las definitivas; en caso de haber el hincado desde chalanes se debe usar de preferencia un martillo de doble acción con el fin de evitar balanceos en el chalán; la cantidad y presión del vapor que se disponga pueden influir en la selección del equipo; cuando se van a hincar pilotes bajo obras ya existentes es definitivo en la selección del equipo la altura del techo disponible, en tales casos es posible que se escoja un tipo especial de pilotes que se hinquen por tramos cortos o pilotes que no se hinquen por impactos sino por presión aplicada mediante gatos que se apoyan en la estructura bajo la cual se van a hincar.

## TIPOS DE PILOTES

Ahora vamos a estudiar los diversos tipos de pilotes más comunemente usados atendiendo a los materiales de que están hechos; empezemos por los más simples que son los pilotes de madera.

PILOTES DE MADERA.- Estos pilotes son muy usados aun, habiendosido los primeros en usarse, son de gran duración si se toman en cada caso las medidas adecuadas, su costo es bajo si es que se usa tal como se obtiene de los árboles de los que se extrae, pero su costo es elevado si se le dá tratamiento para evitar el ataque de insectos u otros agentes destructores de la madera, ésta es siempre seleccionada de troncos de árboles rectos con el menor número de ramas posible y las cuales se cortan al ras de la superficie del tronco, el diámetro de los mismos debe ser lo más uniforme posible; con el objeto de evitar flexiones y asegurar en lo posible que al hincarlos seguirán en línea recta hasta la profundidad deseada, los troncos deben ser lo más rectos posible.

Es evidente que las piezas seleccionadas tendrán algunos defectos, debidos a la naturaleza propia del árbol de que se obtienen, -- sin embargo, la experiencia ha establecido límites de tolerancia permisibles en dichos defectos y que pueden obtenerse de los códigos -- respectivos.

Los tamaños de pilotes de madera más usuales surtidos por los Estados Unidos son de 40 pies o menores pero cuya longitud es siempre múltiplo de 2 pies, mayores de 40 pies pero siempre múltiplos de 5 pies con tolerancia de 5 pulgadas; los diámetros de las cabezas es tan comprendidas entre 12 y 20 pulgadas y los de las puntas entre 6 y 9 pulgadas; el límite en el diámetro de las cabezas está dado por la abertura entre las guías de la máquina de pilotear.

Al almacenar las piezas se debe tener la precaución de preservarlas del ataque de insectos y de los elementos atmosféricos, así como evitar que al estibarlos vayan a quedar sujetos a flexión por cualquier defecto en la colocación.

Cualquier árbol del que se puedan extraer piezas de madera de las dimensiones citadas con anterioridad, puede proporcionar madera para pilotes con tal que ésta sea de buena resistencia y llene las especificaciones necesarias, así encontramos pilotes de uno de las diferentes variedades, pilotes de cedro, pilotes de encino, de clmo, etc. según la clase de bosques con que se cuente en la región; para cada madera se tienen tabuladas las características que debe llenar para ser utilizable en pilotes.

Algunos códigos de especificaciones no permiten el uso de madera obtenida de árboles muertos, es decir, secos, esta madera no es posible distinguirla de la de árboles verdes, excepto en algunos casos en que se encuentra visiblemente intemperizada, las pruebas de laboratorio llevadas a cabo con esta clase de madera revelan que la calidad de la madera es la misma que la de árboles verdes a pesar de que se hayan derribado por el fuego o por ataque de insectos, siempre y cuando la madera no sufra ulteriormente el ataque de agentes atmosféricos o de insectos. Estos ataques los puede sufrir también la madera de árboles vivos; en general, toda la madera es muerta si-

se toma en consideración que todo el corazón de cualquier tronco consta de células muertas y que en la periferia en realidad hay pocas células vivas; lo que se debe entonces de evitar es el uso de maderas - intemperizadas, sin importar que hayan sido obtenidas de árboles muertos o vivos.

Antes de proceder al hincado de esta clase de pilotes, hay que adaptarlos para este fin ya que siempre se encuentran sin acondicionar, las cabezas se cortan a escuadra y se les da forma para que encajen en el aditamento especial del yunque del martillo que se está usando, también se preparan las juntas de unión de los diferentes tramos de que constará el pilote siempre es necesario usar un marco que mantenga unidos pilote y martillo y evitar que el pilote se zafe en el momento del impacto; anteriormente se acostumbraba reducir el diámetro de la punta a 4 pulgadas cuando se trataba de perforar arcilla dura o grava gruesa, en la actualidad se usan "regatones" que son más efectivos, sin embargo, en ocasiones este hace que el pilote se desvíe de la línea, por lo cual es preferible usar puntas de sección cuadrada, figura No. 8.

Cuando la longitud de los pilotes necesarios no se puede alcanzar con una sola pieza, caso muy frecuente, es costumbre unir varias piezas con juntas especiales, todas las cuales adolecen de defectos y ninguna de ellas es posible calificar de completa sino que es solo efectiva en algunos casos; a veces, debido a la deficiencia del equipo son forzosas las juntas como en el caso en que debido a la longitud de las guías se ve limitada la longitud de los pilotes que se pueden manejar con la máquina; cualquier junta es ineficaz si no tiene un soporte lateral adecuado, su localización debe procurarse que no caiga en los puntos medios de los pilotes que no tengan soporte lateral a menos que dichas juntas sean de suficiente longitud; en las juntas es prácticamente imposible desarrollar las fatigas máximas permitibles de la madera a la flexión, las juntas que aumentan el diámetro de la sección no es conveniente usarlas excepto en fango y otros materiales de baja resistencia.

Los pilotes que van a estar sujetos a empuje hacia arriba no deben juntarse, a menos que se cuente con un dispositivo adecuado capaz de transmitir tensiones. Algunas juntas se hacen con tubo de fierro de 8 a 10 pulgadas de diámetro, con una longitud de 3 a 4 pies; el diámetro interior del tubo debe ser un poco más pequeño que el diámetro menor del pilote que se va a unir, el cual se rebaja a una medida tal que entre a presión en el tubo, en caso de que haya huecos no deben de rellenarse, y las secciones de las partes en contacto deben ser total para lo cual hay que tener sumo cuidado en cortarlas a escuadra, algunas juntas se pueden hacer a base de barras, se han ensayado con éxito juntas de gunita reforzadas con barras y maya de alambre.

Los pilotes de madera están muy limitados en su duración debido al gran número de elementos que los atacan; es sabido que la duración de la madera es indefinida siempre y cuando se conserven en un medio que no cambie o sea que las condiciones de humedad sean las mismas -- bien sea que se encuentren bajo el agua o en seco, por esta razón se procura que las cabezas de los pilotes queden bajo el nivel de aguas mínimas actual o probable; a pesar de que se tomen el mayor número de provisiones el ataque ocurre, especialmente cuando los pilotes se encuentran en un medio en que cambian constantemente las condiciones --

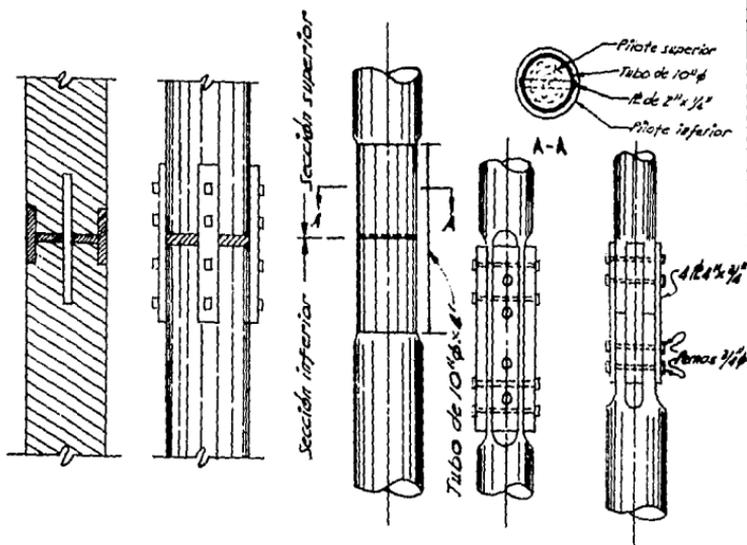


Fig. N<sup>o</sup> 86 - Juntas típicas para pilotes de madera.

UNIVERSIDAD NAL. AUTONOMA
ESCUELA NACIONAL DE INGENIEROS
TESIS PROFESIONAL
ROBERTO LIRA MEZA
1954

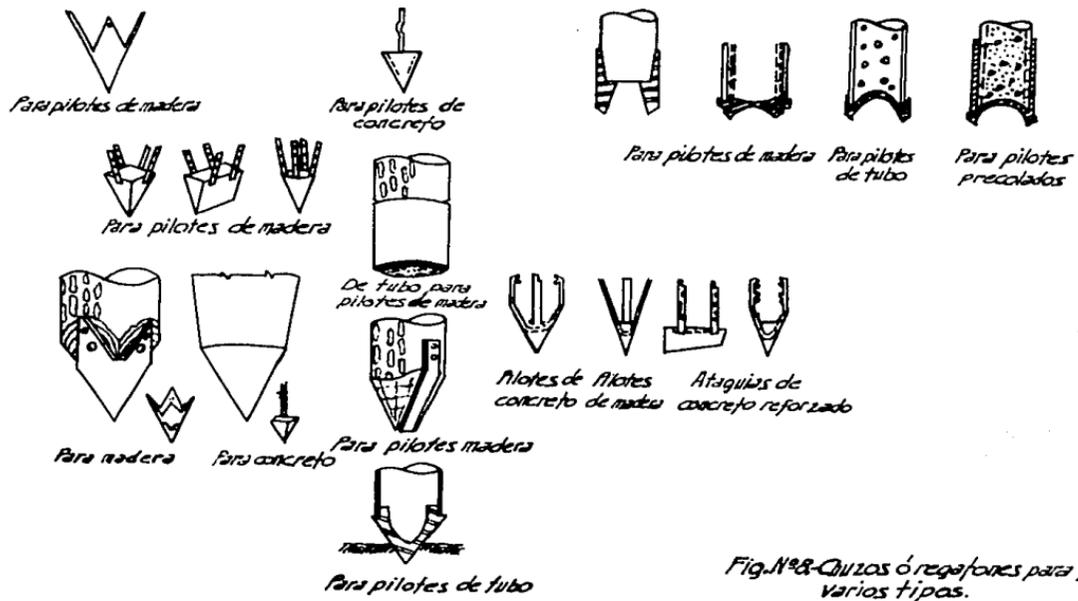


Fig. Nº 8 - Chuzos ó regañones para pilotes de varios tipos.

UNIVERSIDAD NAL. AUTONOMA
ESCUELA NACIONAL DE INGENIEROS
TESIS PROFESIONAL
ROBERTO LIRA MEZA
1954

como en el caso de los muelles en que el nivel de las aguas está sujeto a las mareas, en tal caso, ya no solo le afectan las condiciones de humedad sino que con el cambio pueden venir combinados otros ataques tal como el de insectos o de hongos que la destruyen por ser la madera base de su alimentación o por el ataque de substancias químicas que la pudren, la protección que suele darse contra esta clase de ataques es muy variada y sería muy largo entrar en detalles pero sin embargo diremos que a veces se recubre a los pilotes con capas protectoras de cobre, plomo o de concreto hasta bajo el nivel mínimo de fluctuación de las aguas; a pesar de las medidas que se toman para contrarrestar un ataque determinado puede venir otro, el cual hay que contrarrestar de inmediato para evitar daños graves, con frecuencia ocurre que zonas en las que no había ataque por insectos, se ven invadidas súbitamente por ellos, si dicho ataque no había sido previsto en la selección del tratamiento dado a los pilotes, de inmediato se debe poner remedio por el medio más eficaz de que se disponga; en ocasiones la invasión de los insectos es solo temporal y entonces el remedio se puede lograr poniendo substancias tóxicas al agua para que mate a los insectos o bien usando dinamita; la desventaja de estos procedimientos es que junto con los insectos matan toda la fauna del lugar; si se vé que la plaga persiste hay que tomar medidas para proteger los pilotes del ataque permanente de esos insectos, usando madera tratada en la porción expuesta al ataque o algún otro remedio eficaz.

El tratamiento más común dado a las maderas para preservarlas del ataque de insectos, es impregnarlas de substancias tóxicas, en algunas ocasiones, basta con recubrirlos con una capa de parafina o de asfalto; el método que mejores resultados ha dado es el creosotado, del cual hay diversos métodos patentados, todos los cuales alargan considerablemente la vida de la madera en cualquier condición en que se encuentre; el Creosotado protege la superficie exterior de la madera en espesores variables, según que la madera sea dura o blanda, siendo en este último tipo en que el tratamiento llega a mayor profundidad. Al cortar las cabezas de pilotes tratados, con el objeto de mirarlos se debe tener cuidado de proteger las cortes, ya que en ellos la madera no está tratada y por lo tanto está expuesta a toda clase de ataques, éstos se inician en cualquier parte de la madera y los pueden destruir interiormente sin que sea visible en el exterior; el tratamiento a base de creosota se dá en cámaras cerradas a presión con el fin de lograr que la substancia tenga la mayor penetración para que el tratamiento sea más efectivo. La penetración del tratamiento debe abarcar de ser posible todo el espesor de la madera blanda que rodea al corazón por ser ésta la que con mayor rudeza atacan los insectos; en general se observa que por efecto del tratamiento la resistencia de la madera se reduce, los códigos de especificaciones toman en cuenta este fenómeno dando nuevos valores para los esfuerzos admisibles en maderas tratadas. Hay algunas maderas que sin tratamiento son capaces de resistir el ataque de los insectos devoradores de madera, dicha resistencia sin embargo no es absoluta ya que en muchas ocasiones es anulada por fenómenos tales como la temperatura, la resistencia puede ser solo aparente porque puede deberse a que determinada madera no sea de la preferencia de los insectos pero en dado caso pueden también atacarla.

Prácticamente ninguna región está a salvo de la invasión de estos insectos, aunque en algunas la invasión es esporádica, en otras, a cierta latitud es común encontrar una especie determinada para la-

cual el clima se presta para su desarrollo, sin embargo, hay algunas especies a las que parece no afectar los cambios de temperatura, ya que según observaciones hechas, se reproducen con la misma rapidez a temperaturas altas que a bajas.

Los pilotes de madera son muy usados debido a su bajo costo que en muchas ocasiones es definitivo al hacer la selección, aun tomando en consideración todas las desventajas que se han enumerado; son de gran valor especialmente para la construcción de obras provisionales y auxiliares que se vayan a dismantelar en período corto, cuando se tiene la seguridad de que no ocurrirá ningún ataque por insectos y que van a estar sumergidos en un medio constante en condiciones, pueden usarse sin tratar, con la seguridad de que serán de larga duración como lo requiere la vida de la estructura.

Los pilotes de tubo y de perfiles de acero estructural no los vamos a describir ya que basta con el nombre para imaginar sus propiedades y sus ventajas, las uniones o juntas son bastante efectivas ya que se hacen con soldadura o con rosca; sus desventajas son muchas, entre ellas su alto costo y la facilidad con que se destruyen por la oxidación, muy a menudo para protegerlos de la oxidación se recubren con concreto, los tubos casi siempre se llenan de concreto con lo cual se puede aumentar considerablemente la capacidad de carga; dentro del estudio de los pilotes de concreto están considerados algunos pilotes de tubo; vamos por lo tanto a empezar con los pilotes de concreto.

**PILOTES DE CONCRETO.**- Hay una variedad inmensa de pilotes de concreto, tanto precolados como colados en el lugar, entre los primeros se encuentran algunos de concreto pre-esforzado, los métodos de hincado son así mismo muy variados, en el caso presente solo nos referiremos a los pilotes hincados con el equipo que se ha descrito con anterioridad; la elección del tipo y del procedimiento a seguir no es siempre fácil, los sondeos y pruebas del suelo son de gran ayuda al igual que el hincado de pilotes de prueba, en la selección del tipo y del procedimiento evitando en muchas ocasiones errores posteriores lamentables.

Los pilotes de concreto hincados por impacto pueden ser: precolados, colados en el lugar con molde o sin él, tubos que se llenan con concreto, celdas delgadas hincadas con un mandril y que también se llenan con concreto, y pilotes compuestos que en realidad no son pilotes de concreto sino una combinación de dos tipos diferentes que pueden ser un tramo de madera en la parte inferior completado en la superior por un tramo de concreto, el tramo inferior también puede ser un perfil estructural o un tubo, como ya se dijo estos no son pilotes de concreto, sin embargo los describiremos entre éstos.

**PILOTES PRECOLADOS DE CONCRETO.**- Este tipo de pilotes se usa cuando hay que transmitir cargas grandes a través de capas blandas a un material firme, o bien cuando hay que soportar cargas por fricción; pueden estar reforzados para resistir flexión o empuje hacia arriba, no resulta económico usarlos en longitudes mayores de 17 metros aunque hay casos en que se han fabricado de longitudes mucho mayores; esta clase de pilotes requieren tiempo para curarse, y en caso de construcciones urbanas tienen la desventaja de requerir un gran espacio para almacenamiento, el equipo usado para manejarlos es de tipo pesado; puede ser difícil predeterminar la longitud a la que



Colocación de las formas para los fondos de los pilotes sobre camas de durmientes ahogados en el terreno.



Armedo de pilotes sobre caballetes de madera, observense dentro del varillaje los tubos para inyección de agua a presión.



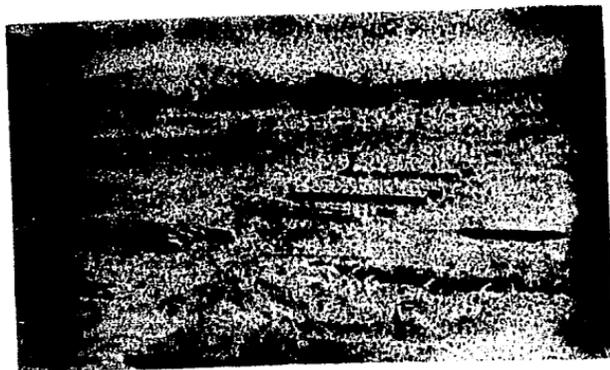
Bajando las pilotes armados a descansar en los moldes para el fondo de los mismos, luego se colocan los costados.



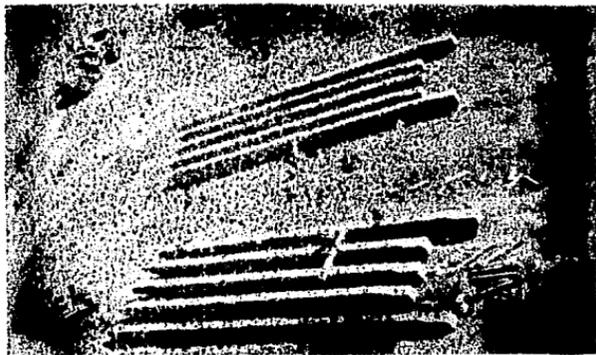
Colado de pilotes con carretillas que corren sobre madera que se apoya en las fugas de los costados



Pilotes de sección cuadrada ya descimbreados descansando en los fondos, obsérvese la salida del chiflón algo defectuosa de vido a los efectos del vibrador.



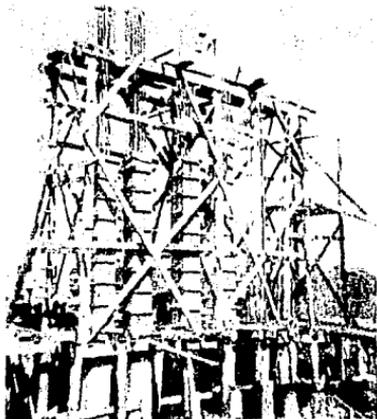
Pilotes colocados cerca de las excavaciones para disimular maniobras.



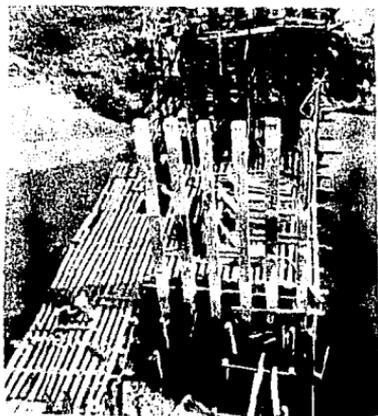
Pilotes de sección de 40 x 70cm marcados para proceder al hincado, nótese la modificación a las cabezas a sección cuadrada de 50 x 50 cm para evitar cachucha especial.



Detalle de la salida de tres chiflones en pilotes de 40 x 70 cm.



Prolongación de pilotes ya hincados; la prueba de carga reveló falta de longitud de hincado adicional, nótese la gran cantidad de madera, todo se traduce a demoras en la marcha de la obra.



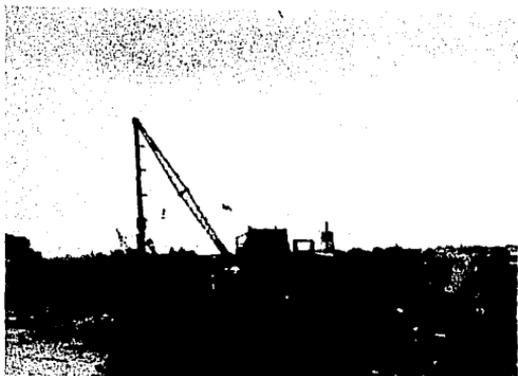
Pilotes de la fotografía de la izquierda con las prolongaciones ya desoimbradas listas para rehincarse; obsérvese el puente de maniobras para movimientos de la piloteadora, entre la prueba y el rehincado transcurrieron dos meses.



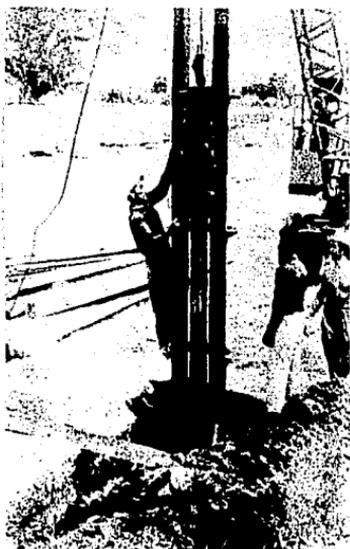
Reconstrucción de una cabeza de pilote de 40 x 70 cm, adaptada a sección cuadrada, después de romperse durante el hincado.



Rehincado de pilotes de concreto prolongados con un martillo McKiernan-Terry de doble acción 9-B-3, sin guías, suspendido de una máquina sobre orugas.



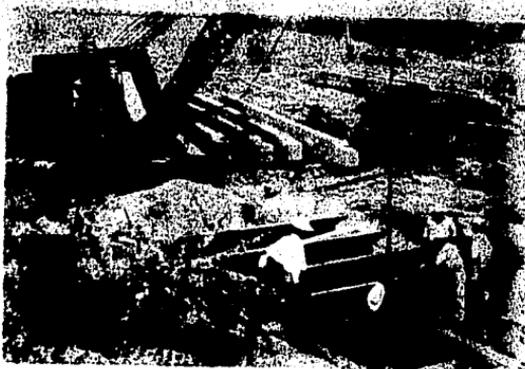
Draga de media yarda cúbica utilizada para el hincado de ataguías metálicas con martillo de gravedad de 800 KG, a la pluma se le adaptaron guías colgantes hechas a base de perfiles laminados.



Detalle del hincado de ataguías metálicas con martillo de gravedad. Nótese la cachucha especial para el objeto, posteriormente se usó con magnífico resultado para el mismo fin, una placa de 1/4" doblada en forma adecuada para evitar su caída con los impactos.



Detalle de una de las paredes de la ataguía terminada de hincar; nótese el buen alineamiento de las piezas y su buena conservación después de haberlas hincado dos veces.



Colocando viguetas de 20" para obra falsa sobre la excavación con ataguías para facilitar la entrada de la máquina pilotadora de roles hasta el centro del cablete, obsérvense los pilotes por hincar adyacentes a la excavación.

deben colarse, ocasionando ésto que muchas veces haya necesidad de añadir longitud con el consiguiente retraso en la obra, o bien haya que cortar algún tramo lo cual, aunque costoso es siempre preferible, ya que no hay necesidad de demorar la maquinaria e impedir el avance de la obra en otros aspectos; en muchas ocasiones es usual ahogar dentro de estos pilotes, tubos de 2 pulgadas con el fin de utilizarlos posteriormente para inyectar agua a presión para ayudar al martillo disminuyendo la fricción lateral, este chiflón en la mayoría de los casos no es necesario, pero puede ser de importancia en algunos, no se puede predecir su necesidad pero con la práctica se puede juzgar cuando hay necesidad de usarlo; dá muy buenos resultados en el caso de pilotes de madera con el cual se consigue hincarlos sin daño hasta la profundidad deseada; es de gran utilidad el chiflón en el hincado en arena y en general en suelos de partículas finas sin cohesión, a las cuales desplaza fácilmente, es inútil en grava gruesa; mediante el uso de chiflón se puede evitar la vibración que puede perjudicar estructuras vecinas si las hay; no se debe usar chiflón cuando hay arrastre de material porque esto le resta fricción lateral o soporte al pilote.

Cuando la longitud hincada se aproxima a la pedida se deben obtener las penetraciones finales por golpe sin chiflón, este se suspende generalmente unos dos metros antes de obtener la longitud de hincado total, con el fin de que con las mediciones hechas se pueda analizar la resistencia mediante el uso de una fórmula dinámica de hincado; el uso de chiflón es ventajoso en casi todos los tipos de suelos, excepto como ya se dijo, en grava gruesa y suelta, tepetate y rosa. Hay muchos suelos cohesivos en los cuales el chiflón no es útil o no es práctico usarlo; en algunos suelos la inyección de agua a presión es tan ventajosa que el hincado se puede llevar prácticamente sin utilizar el martillo o el número de golpes para hincarlo es muy pequeño, pero si la cantidad de agua en el subsuelo es considerable y el material atacado por el chiflón no puede escapar, la inyección no tiene éxito ya que la misma presión del agua aumenta la resistencia a la penetración resultando perjudicial en vez de obtener los resultados que se desean.

Muchas veces el tubo de chiflón que quedó ahogado dentro del pilote se tapa debido a que el suelo contiene partículas gruesas de piedra que se introducen cuando se golpea el pilote sin que trabaje el chiflón, como el tubo se reduce en su salida es difícil que la piedra que se introdujo pueda acomodarse en forma tal que quede en la posición con que entró, por lo tanto es difícil destapar el chiflón y se opta por el uso de un chiflón lateral que puede llegar a la punta del pilote sin necesidad de golpearse, bastando para el objeto la fuerza del agua que se inyecta; en otros casos hay necesidad de golpear el tubo con el fin de llegar a la punta del pilote, para este fin se puede utilizar un martillo de caída libre que puede hacerse en la obra de unos 80 Kg. de peso, en una de las fotografías se muestra un martillo con el cual se obtuvieron muy buenos resultados en el hincado del tubo para inyección, en la cual puede verse también la forma en que quedó instalado usándose para su operación el retorno de uno de los malacates de vapor de la máquina piloteadora. La acción del chiflón es desplazar el suelo en la punta del pilote por el agua a presión en volumen tal que salga a la superficie del terreno por los lados del pilote para que disminuya la fricción superficial desempeñando la acción del lubricante; en el caso de chiflones laterales es conveniente cambiarlos de lugar ya que debido a su excentricidad el pilote se desplaza hacia el lado en que aquél se encuentra, de ser posible hay que usar simultáneamente dos chiflones con el objeto de evitar el desplazamiento a que --

nos referimos; dichos chiflones pueden cooperar de una manera muy efectiva a mantener los pilotes a plomo durante el hincado o en caso de que se hayan desplomado volverlos a la posición vertical; el extremo del tubo de inyección es más efectivo si se lleva adelante de la punta del pilote unos cincuenta centímetros, el hincado debe combinarse de manera que se conserve la distancia citada; pueden usarse chiflones con varias salidas con el fin de tener una descarga que ayude al avance y otras que vayan abriendo una especie de bolsa con el objeto de reducir la resistencia de punta durante el hincado, en la fig. No. 9 pueden verse esquemáticamente diversos tipos de chiflones.

Las mangueras que van conectadas a los chiflones deben ser media pulgada mayores y su longitud debe ser lo más corta posible con objeto de evitar pérdidas por fricción, de ser posible la manguera debe tener el mismo diámetro de la descarga de la bomba con el objeto de reducir también las pérdidas por fricción y de poder usar chiflones de salida pequeños; los tubos para chiflón son de una y media, dos o dos y media pulgadas de diámetro y en ocasiones pueden llegar a cuatro pulgadas, la abertura de los chiflones debe estar comprendida entre tres cuartos a una y media pulgada de diámetro.

Las presiones usuales andan alrededor de 100 libras por pulgada cuadrada y en ocasiones pueden llegar hasta 200, las mayores presiones que se llegan a usar están comprendidas entre ciento cincuenta y doscientas libras por pulgada cuadrada esto es en las peores condiciones de hincado en que se esté perforando una capa con grava; para arena basta con cuarenta o sesenta libras por pulgada cuadrada.

La inyección de agua a presión es lo más usado en el hincado de pilotes, pero también se puede usar la inyección de agua combinada con aire, lo cual ha dado muy buenos resultados; en la inyección de agua lo que se busca es que el agua inyectada aflore a la superficie por los lados de pilote, esto suele no suceder debido que el agua puede escapar por algún otro camino o se difunde debido a la porosidad del terreno, especialmente cuando su cantidad no es suficiente, esto sucede aun en los casos en que se trate de chiflones compuestos por varias bocas de descarga, algunas hacia arriba, éstas pueden, si compactan el terreno, hacer el hincado más difícil; el aire se mueve hacia arriba con mayor rapidez que el agua y con menor dificultad, en ningún caso puede causar compactación.

El uso de chiflones de aire comprimido y agua simultáneos, descargando a la misma elevación, puede significar que al menos una pequeña cantidad de agua seguirá en su trayectoria ascendente al aire que escapa "lamiendo" las caras del pilote; en los casos en que por lo duro del hincado se llegan a usar dos chiflones y no son suficientes, las condiciones del hincado se pueden mejorar utilizando inyección de aire comprimido; el uso de inyección de aire solo puede ser útil en caso de penetraciones pequeñas, para profundidades grandes su efecto no es ventajoso; la inyección de aire y agua se hace a veces utilizando la misma tubería.

Los pilotes a que nos venimos refiriendo se pueden fabricar de varias secciones, pueden ser cuadrados, circulares u octagonales, la sección puede variar con la longitud o ser de sección constante, pueden ser huecos en el centro con el fin de disminuir el peso; se

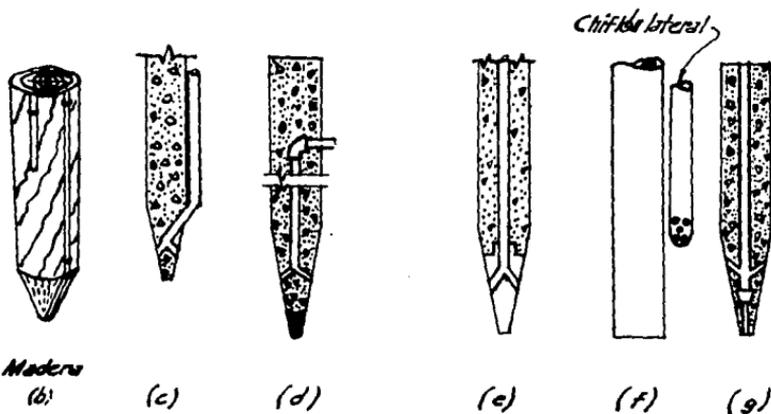
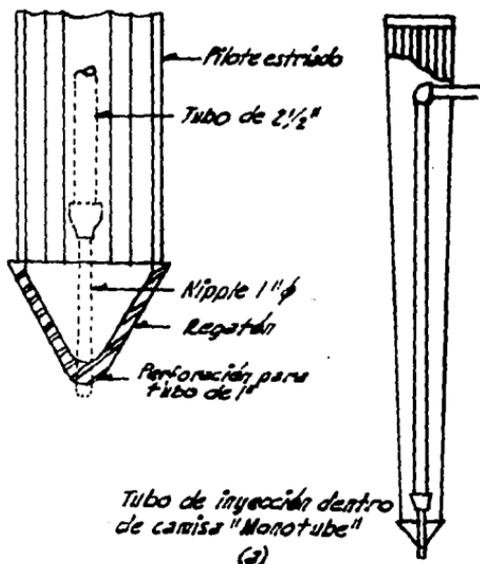


Fig. N°9.-Dispositivos para inyección de agua a presión

UNIVERSIDAD NAL. AUTONOMA
ESCUELA NACIONAL DE INGENIEROS
TESIS PROFESIONAL
ROBERTO LIRA MEZA.
1954

T A B L A No. 17

DESCARGA APROXIMADA EN GALONES POR MINUTO DE CHIFLONES CONECTADOS A TU  
BOS O MANGUERAS DE 50 PIES DE 2.50 PULG. DE DIAMETRO

Presión en $\frac{1}{2}$ <sup>a</sup> bomba, lb/	ABERTURA DEL CHIFLON EN PULG.				
	0.75	1.00	1.25	1,3/8	1.50
100	160	275	400	460	515
150	195	340	495	570	640
200	220	395	580	670	740

PERDIDAS DE PRESION POR FRICCIÓN EN EL TUBO DE INYECCION Y EN LA MANGUE  
RA

Diámetro del tubo en pul- gadas.	G A L O N E S P O R M I N U T O									
	100	150	200	250	300	350	400	450	500	
	PERDIDA POR FRICCIÓN EN LIBRAS POR PIE DE LONGITUD									
2.00	0.14	0.30	0.55	0.85	1.20	....	....	....	....	
2.50	0.05	0.10	0.18	0.28	0.40	0.54	0.72	0.90	1.12	
3.00	0.02	0.04	0.07	0.12	0.16	0.22	0.30	0.40	0.45	
3.50	....	0.02	0.03	0.05	0.08	0.10	0.13	0.16	0.20	
4.00	....	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.07	0.08	0.11	
5.00	....	....	....	....	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	
6.00	....	....	....	....	....	....	....	0.01	0.02	



Pilotes con la cabeza destruida debido a la obstrucción del chiflón; hubo necesidad de reconstruirlos e inyectar el agua mediante chiflones laterales.



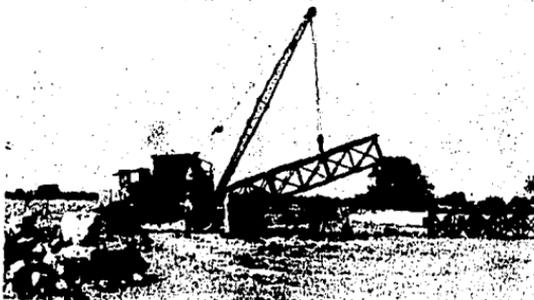
Bomba de cuatro pasos de alta presión para inyección de agua a los chiflones.



Dispositivo para el hincado del tubo con chiflón lateral, la guía del martillo de gravedad, construido ex-profeso, la constituye un tubo de 1" que pasa a través de él; se suspende de la torre de la piloteadora y se opera con la propia maquinaria usando los retornes o cabesa de negro de uno de los malacates, por fricción.



Cabezas de pilotes hincados, obsérvese una rota al alcanzar la penetración final.



Acosado de los tramos de la torre para proceder a su conexión.

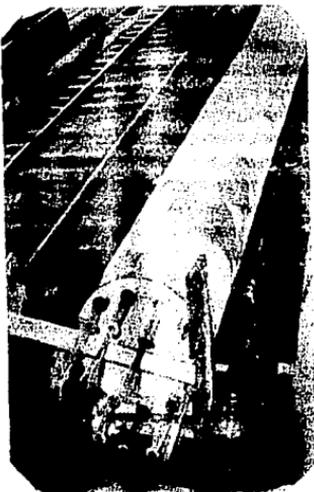
construyen en el piso previamente nivelado sobre el cual se colocan las formas de los fondos y sobre estos se coloca el esqueleto de varilla de refuerzo, luego se procede a colocar las formas para los costados; se cuellan con carretillas que corren por caminos de madera que se colocan sobre las formas.

Cuando por convenir a que se aumente la fricción superficial unitaria, se construyen de sección no simétrica, resulta práctico y económico hacer las adaptaciones necesarias con objeto de que la cabeza sea de sección cuadrada que es la forma ordinaria de los yunques, pues de otra manera se tropieza con la dificultad de tener que hacer yunques especiales que no son efectivos porque con mucha frecuencia se descentra el golpe y hay que hacer maniobras con objeto de reacomodarlo; el concreto de la cabeza así acondicionada debe ser de mayor resistencia que el resto, para compensar la reducción de la sección, de esta manera se reduce el peligro de rotura de las cabezas que causan una demora de importancia, si no se hace la adaptación la rotura es frecuente debido a la falta de uniformidad del golpe.

Los pilotes precolados pueden estar rematados en su extremidad por una punta o su sección puede ser constante; cuando su número es crecido se usan moldes metálicos para su fabricación.

Hasta hace unos 18 años se estuvieron usando en los Estados Unidos pilotes precolados huecos y reforzados construidos en fábrica, en moldes que se sometían a la centrifugación, con esto se lograba producir un concreto de muy buena calidad ya que se eliminaban casi totalmente los vacíos, por acción del centrifugado se producía en el centro un hueco que se podía aprovechar para la inyección de agua; su inconveniente era su costo elevado y los largos acarreos que se tenían que hacer desde la fábrica al lugar de la obra, el número de ventajas que ofrecía era crecido sin embargo en la actualidad ya no se fabrican porque sus ventajas han sido superadas por otros tipos más económicos.

**PILOTES HUECOS DE CONCRETO PRE-ESFORZADO.** En los últimos años



se ha desarrollado un nuevo tipo de pilotes de concreto pre-esforzado que son especiales para suelos que requieren pilotes muy largos para soportar grandes cargas, está atravesado longitudinalmente por espacios huecos, y está formado por tramos de 16 pies de largo y están reforzados longitudinalmente y por espirales, se fabrican en diámetros que varían entre 14 y 40 pulgadas y el hueco de las paredes es de 4 pulgadas aproximadamente; después de que las secciones han sido curadas, un número suficiente de ellas se juntan para formar un pilote de la longitud deseada, a través de los huecos longitudinales se usan cables de acero de alta resistencia que se ponen en tensión mediante gatos hidráulicos, finalmente los extremos de los cables quedan ancla-

dos mediante dispositivos adecuados dentro de los pilotes; los huecos para los cables se rellenan posteriormente de mortero de cemento que se bombea a presión y después de que éste ha fraguado se pueden retirar las anclas de los extremos de los cables, o se pueden dejar en su lugar, con lo que el pilote queda listo para hincarse.

Estos pilotes pesan menos que los de concreto sólido, por lo que su hincado es más fácil; esta clase de pilotes se han hincado de una sola pieza hasta de una longitud de 29 metros usando un martillo que desarrolla 30,000 lb.ft por golpe, se han usado para soportar cargas de 320 toneladas con toda seguridad.

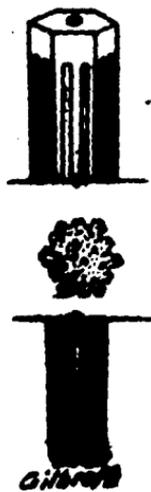
**PILOTES TIPO HAWCUBE.**- Este tipo de pilotes son muy usados en Inglaterra consisten en secciones reforzadas con longitudes de 5 a 10 pies, la sección de uno de los extremos termina en punta; las secciones se conectan insertando una espiga acanalada que lleva en el extremo una de las secciones dentro de un socket relleno de mortero que lleva en el extremo la otra sección.

El ajuste y la longitud de la espiga dá como resultado pilotes rectos como si constaran de una sola pieza, la construcción del pilote por secciones lo hace ventajoso en lugares en que la predeterminación de la longitud total para pilotes precolados ofrece dificultad ya que con la variedad de longitudes que se pueden obtener resulta económico añadir o recortar pilote sin pérdidas de tiempo de importancia ya que la longitud por añadir o recortar tiene como máximo la de una de las secciones, otra de las ventajas es la de poderse manejar con torres de pequeña altura que además reduce los problemas de manipulación.

**PILOTES GIANT.**- Estos son pilotes precolados de sección cuadrada, diseñados de tal manera que permiten que el hincado se haga sin dañarlo por difícil que sea el hincado, ésto se logra por medio de un regatón de punta roma de metal que se coloca en el extremo inferior del pilote, en tal forma que reciba lateralmente a dos canales metálicos que rodean al pilote sin estar unidos a él; estos canales están conectados al extremo superior con una cabeza metálica para hincado; después de que el pilote ha alcanzado la profundidad deseada los canales laterales se levantan dejando en el lugar el regatón; una gran parte de la energía aplicada para el hincado es transmitida al regatón por los canales laterales, aliviando de ella al pilote, que la hubiera tenido que soportar de no existir el dispositivo mencionado, con ésto es posible alcanzar grandes profundidades, o efectuar el hincado con un martillo más chico que el que se hubiera usado en caso de usar pilotes precolados standard; el hincado de pilotes adyacentes cierra el hueco dejado al extraer los canales laterales.



Giant.  
Fig. 110



Giant.  
Fig. 111

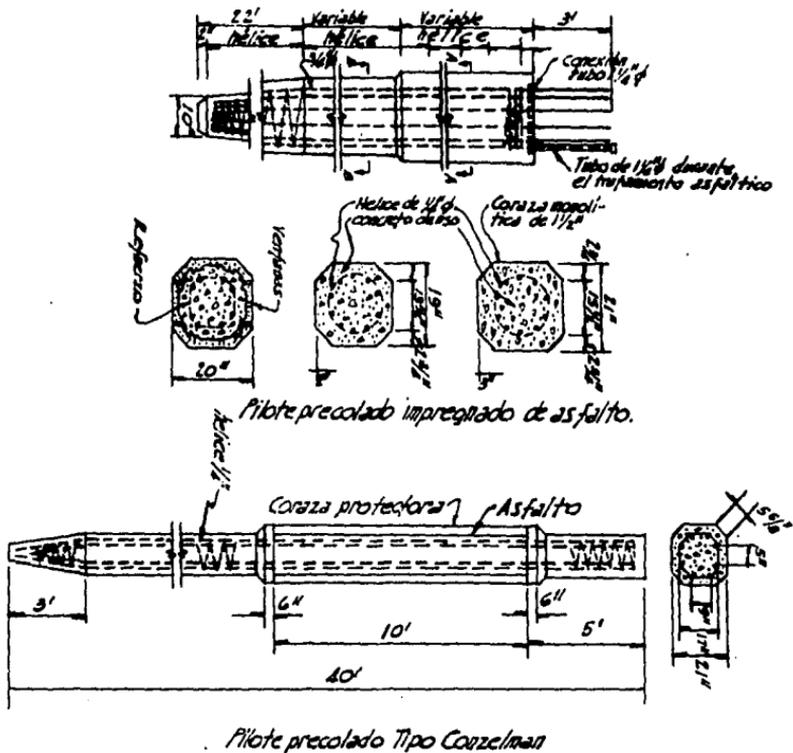


Fig. N°12 .- Pilotes de concreto precolados con caraza.

UNIVERSIDAD NAL. AUTONOMA
ESCUELA NACIONAL DE INGENIEROS
TESIS PROFESIONAL
ROBERTO LIRA MEZA
1954

PILOTES GILBRETH.- Son estos de sección decreciente exagonal - reforzados con malla metálica, en cada cara llevan una o dos hendiduras longitudinales y una abertura cónica central de 4 pulgadas de diámetro en la cabeza y de 2 pulgadas en la punta, el chiflón conectado en la perforación, sube a lo largo de las hendiduras a la superficie, los inventores aseguran que el perímetro añadido por las hendiduras mejora la fricción superficial al dejar de actuar el chiflón.

PILOTES CONZELMAN.- Estos pilotes constan de un tramo cubierto con una camisa precolada de concreto reforzado, en la cual la superficie interna se cubre con asfalto antes de colar el pilote dentro de ella; al colarlo, en la camisa se dejan tres ventanas para hacer el vaciado y al terminarse, se tapan con piezas del mismo material de la camisa.

El concreto usado es de bajo revenimiento y los pilotes se curan durante 30 días; el tramo acorazado se prolonga desde abajo del nivel de aguas mínimo hasta un poco arriba del nivel de aguas máximas para protegerlo de la erosión y del cambio constante del estado húmedo al seco.

PILOTES DE CONCRETO IMPREGNADOS DE ASFALTO.- Estos pilotes tienen una camisa monolítica que se extiende desde 3 pies bajo el nivel de aguas mínimas, hasta la cabeza del pilote, el pilote en toda su longitud se trata con asfalto caliente a presión, la mezcla más pobre de concreto de la camisa asegura una buena penetración del asfalto, la vida de estos pilotes se estima en 75 años, estando sujetos a la acción del agua de mar.

Estos se vuelan usando simultáneamente dos mezclas de resistencia diferente, la de la parte central es la de mayor resistencia, el concreto usado en ella es de una fatiga de ruptura entre 4,000 y 6,000 libras por pulgada cuadrada; la parte central está rodeada por una capa de concreto más pobre, de unas 1500 a 2,000 libras por pulgada cuadrada, las dos porciones se vuelan simultáneamente, usando durante el colado separadores verticales que se van levantando conforme el proceso avanza, el vibrado se hace por fuera del molde con vibradores neumáticos, se procura producir concreto sin poros; se curan durante 60 días.

**MANIPULACION DE LOS PILOTES DE CONCRETO PRECOLADOS.**- La carga de trabajo de los pilotes de cimentación es generalmente de compresión axial y el refuerzo en ellos es solo necesario para fines de manipulación, excepto en los casos en que trabajan a flexión o como columnas.

Antes de hincarlos, son sometidos a una serie de movimientos con el fin de retirarlos de los moldes, almacenarlos, cargarlos a los vehículos en que se transportan, descargarlos, almacenarlos en la obra, finalmente llevarlos de la posición horizontal a la vertical para hincarlos, al diseñarlos se debe tener en cuenta todas estas maniobras.

El acero de refuerzo es a menudo el concepto de mayor costo y puede reducirse diseñando dispositivos especiales con el fin de reducir los esfuerzos de manipulación, es siempre conveniente un pequeño exceso en el refuerzo para tener más libertad en las maniobras, almacenaje y durante el hincado.

El pilote debe ser diseñado después de elegir los puntos de suspensión ya sea como una viga simplemente apoyada o como una viga con doble voladizo en los extremos, los puntos de suspensión deben marcarse en forma visible en los pilotes; durante las maniobras puede ocurrir una sucesión en la combinación de claros como se muestra en la figura.

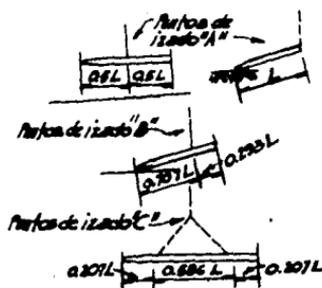


Fig. 1043.-Puntos de izado para pilotes precolados

la figura siguiente están basadas en los tres métodos de izado que en dicha figura se puede observar.

Los puntos de suspensión mostrados dan como resultado, iguales momentos positivos y negativos; las fatigas por impacto que se suponen durante el diseño para fines de manipulación varían de 0 a 100 por ciento las fatigas de trabajo para prever cualquier contrariedad en el campo, que ocurren con frecuencia debido a descuidos del personal al no fijar con seguridad los nudos de los cables de izado, con el fin de evitar estas contrariedades y accidentes lamentables es conveniente antes de iniciar la maniobra de izado cerciorarse de que todo ha sido ajustado convenientemente para que los nudos no se corran.

Si la longitud de los pilotes es tan grande que requiera más de dos puntos de suspensión, en la siguiente figura se muestran los coeficientes de claro y de momento que dan reacciones iguales; el refuerzo requerido para absorber los momentos se debe prolongar a todo lo largo del pilote, ya que los momentos son aproximadamente

Todas las maniobras se deben hacer de manera que el trabajo del pilote sea en el sentido de los momentos de inercia máximos, o sea con los cantos verticales, si la sección no es simétrica los verticales deben ser los lados mayores, nunca se deben hacer maniobras con las diagonales en posición vertical.

Las tablas de diseño para varios tamaños de pilotes de concreto de los tipos mostrados en los tres métodos de izado que

iguales en toda la longitud; si las reacciones no son iguales, se debe calcular el momento flexionante para varios dispositivos de izado hasta encontrar alguno que dé aproximadamente momentos positivos y negativos iguales, comunmente se desprecia el efecto de la reducción en la punta y se considera que el peso es uniforme.

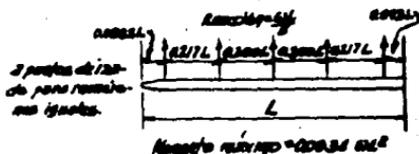
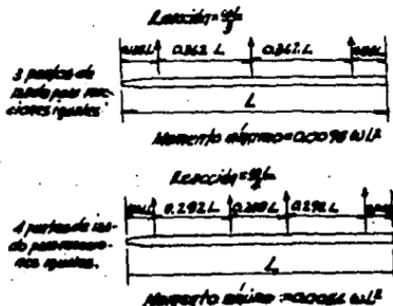


Fig. 14. - Localización de puntos de izado y momentos flexionantes para reacciones iguales.

Se incluyen en el presente trabajo como ilustración algunas tablas para el diseño de los puntos de suspensión para pilotes circulares y octogonales.

**DISPOSITIVOS PARA MANIPULACION DE PILOTES DE CONCRETO.** - Los pilotes cuya longitud no pasa de unos 10 metros se diseñan de manera que se use un solo punto de suspensión en cualquier punto, los diseñados para manejarse con dos puntos de suspensión requieren una carrucha en uno de ellos de manera que el cable se vuelva cable compensador que dé reacciones iguales; siempre se debe usar un balancín compensador para poder manejar los pilotes con más rapidez pues de lo contrario resulta muy lento porque hay que estar cuidando que no se vaya a cargar en un solo extremo del cable.

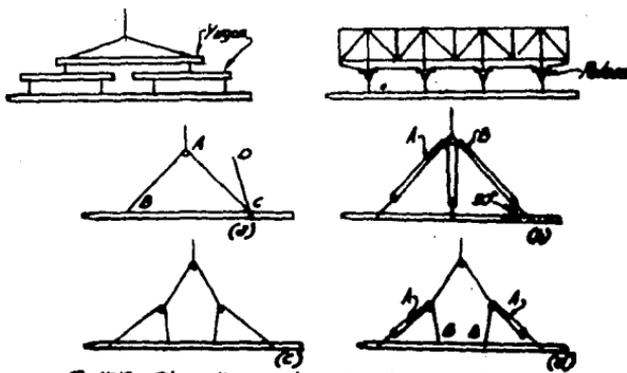
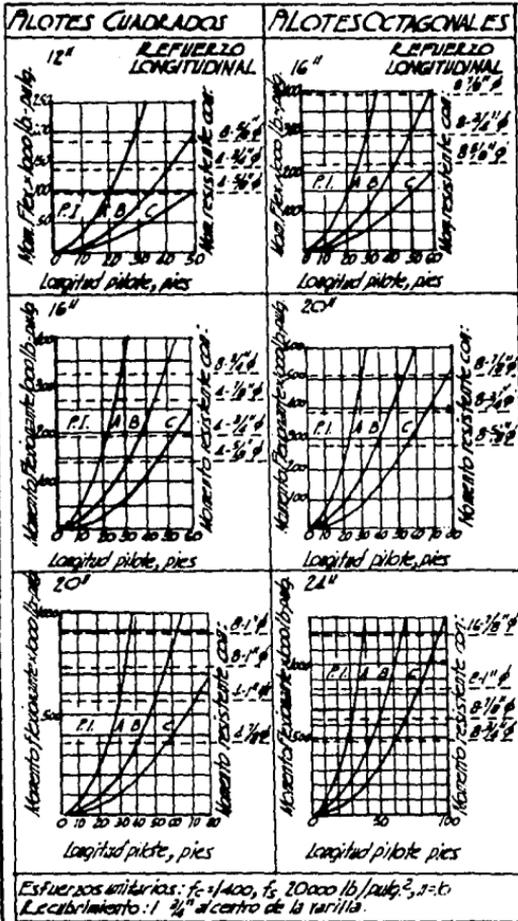


Fig. 15. - Dispositivos para izado de pilotes concretos.

Para llevar el pilote a la vertical se usa la línea C D y se colga una polea en el punto A la cual se mueve hacia el punto C; para mantener el control se usa una línea auxiliar que puede estar operada con malacate o a mano con ayuda de un aparejo; el dispositivo para tres -- puntos de suspensión trabaja en forma análoga, el de cuatro puntos es semejante al anterior y se muestran dos formas de usarse. Para pilotes muy pesados se usan yugos como se vé en la figura en lugar de cables - compensadores con ellos la longitud requerida de torre es menor y las reacciones se pueden igualar en todos los puntos de suspensión; cuando se usa una viga o una armadura, se necesita un cable compensador continuo, de otra manera las reacciones dependen de la tensión inicial dada a los cables y la deflexión de la viga o de la armadura.

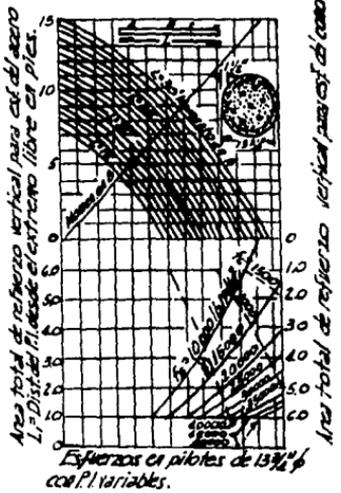
De ordinario los pilotes se levantan con cables y ganchos que --- abrazan al pilote, para proteger las aristas del daño y prevenir desgaste del cable, se usan pedazos de madera u otro material amortiguador; cuando los pilotes han sido diseñados con puntos de suspensión de finidos, se ahogan en el concreto cables y pernos los cuales se cortan en el momento de tener al pilote en posición para iniciar el hincado, esto también asegura que el pilote se manejará correctamente con la cara en que se ha puesto refuerzo extra en la posición correcta, cuando dicho refuerzo se ha colocado en una sola cara como se hace algunas veces con fines de economía.

Los dispositivos para izado se diseñan de manera de colocarse al iniciar las maniobras y se quitan al dejarlos colocados en posición de hincado.



Esfuerzos unitarios:  $f_c = 1400$ ,  $f_s = 20000$  lb/pulg<sup>2</sup>,  $n = 10$   
 Recubrimiento: 1 1/2" al centro de la varilla.

### PILOTES CIRCULARES



Area total de refuerzo vertical para cast de concreto

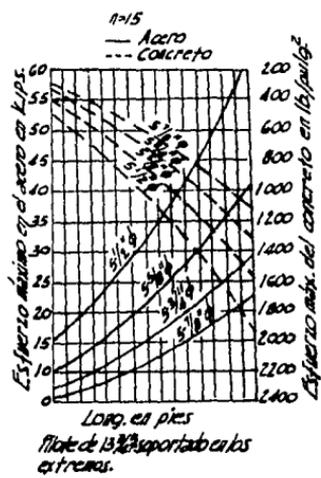


Fig. N°16.-Gráficas para diseñar puntos de izado (P.I) en pilotes precastados de concreto diversas secciones.

**PILOTES DE CONCRETO COLADOS EN EL LUGAR SIN CAMISA.**- Estos pilotes se pueden construir con camisa o sin ella, estos últimos se usan cuando se tiene la seguridad de que ni el terreno adyacente ni el agua caerán dentro del agujero o reducirán el tamaño del mismo al retirar el mandril con el cual se perforó el cual al alcanzar la profundidad deseada se retira para llenar la perforación con concreto; el hincado de los pilotes vecinos no debe alterar el concreto fresco; esta clase de pilotes no requiere lugar para almacenamiento, ni hay que cortar tramos sobrantes en su longitud, tampoco se necesita equipo especial para manipulación ni están sujetos a los peligros -- provenientes de la misma.

Las dimensiones, método de hincado, y el procedimiento de construcción son muy variados dando lugar a una infinidad de tipos dentro de esta clase de pilotes los cuales será largo de enumerar, el procedimiento general seguido tanto en la construcción como en el hincado se va a reseñar en términos generales, que es casi uniforme para todos los tipos, diferenciándose estos solo en pequeños detalles con los cuales se obtienen ventajas muy relativas en ciertas condiciones.

El pilote consta de lo siguiente: (a) una camisa y un núcleo o alma, la base del alma es de un diámetro tal que llene por completo el interior de la camisa cuando se introduce dentro de ella, el núcleo y la camisa se hincan simultáneamente hasta obtener la penetración deseada; (b) se deposita dentro de la camisa una carga de concreto después de haber retirado el núcleo solo, (c) el núcleo se vuelve a poner en su lugar dentro de la camisa y en contacto con el concreto fresco que se vació, en esta posición el núcleo, se extrae la camisa hasta la altura a que se encuentra el núcleo; (d) el núcleo y la camisa se rehincan a través del concreto depositado; (e) el núcleo se retira y se llena la camisa con concreto, repitiéndose la operación las veces que sea necesario para que el ensanchamiento sea de una longitud comprendida entre la cuarta y quinta parte de la longitud del pilote; (f) se retira la camisa recargando el núcleo sobre el concreto para producir una presión que impida una discontinuidad en el cuerpo del pilote.

El caso descrito se refiere a los pilotes colados en el lugar -- llamados de pedestal o de hongo debido a la forma que adopta su extremidad inferior, este tipo de pilotes es útil especialmente en los casos en que la capa resistente es de pequeño espesor a las profundidades económicamente alcanzables; el ensanchamiento de la base tiene el efecto de una zapata de repartición sobre esa capa resistente relativamente delgada en la cual disminuyen la presión unitaria, aumentando por tanto la capacidad de resistir las cargas transmitidas por los pilotes, o soportarlas con mayor seguridad.

El tipo descrito tiene como ventaja adicional de adaptarse a las rugosidades que pudieran existir en la capa dura o de dar un apoyo firme en una superficie de roca inclinada, el pedestal asegura un amarre efectivo sobre la roca.

Para los casos en que no se haga necesario la formación de bulbo o pedestal los pasos seguidos son los siguientes: (a) las partes constitutivas del pilote son las mismas que se enumeraron. (b) Inmediatamente se retira el núcleo y el hueco se rellena con concreto de agregado grueso. (c) El núcleo vuelve a colocarse sobre la camisa en contacto con el concreto y en seguida se retira la camisa dejando --

que obre sobre el concreto fresco el peso del martillo y del núcleo.

Con objeto de asegurar que durante la extracción de la camisa no se romperá la columna de concreto es aconsejable hacer una trama que ligue la camisa con el martillo y el núcleo con objeto de que los esfuerzos encaminados para extraerla se traduzcan en una compresión efectiva sobre el concreto.

Otra manera de formar el bulbo consiste en rellenar el tubo de la camisa hasta una altura determinada hecho lo cual se extrae ésta una longitud aproximadamente igual a la mitad de la que se relleno con concreto hecho lo cual se hince el núcleo comprimiendo el concreto quedando su extremidad a la altura en que se encuentra la de la camisa siendo las fases sucesivas de su construcción similares a las descritas.

En otros tipos de pilotes de la clase que nos ocupa no se utiliza núcleo para el hincado de la camisa sino que ésta consiste en un tubo de mayor espesor capaz de resistir los esfuerzos originados por el impacto en el proceso de hincado; a dicho tubo se le inserta en su extremidad inferior y a manera de tapón para impedir la entrada del material que se perfora un chuzo o regatón cónico a base de placas o fundido previamente el cual queda perdido para cada pilote; el tubo que sirve de molde al pilote debe abrazar o rodear a dicho regatón con el objeto de evitar su pérdida antes de alcanzar la profundidad debida, fig. No. 20.

Dentro del tubo se puede introducir en caso necesario la armazón que constituirá el refuerzo del pilote; con el objeto de ampliar la sección transversal del pilote si así se desea al extraer la camisa una determinada longitud puede seguir unos pocos golpes hacia abajo para comprimir el concreto que va quedando sin molde, lo que debe avanzar con esos golpes es aproximadamente de la mitad de lo que se extrae, dichas cantidades deben ser pequeñas para no romper la continuidad del concreto. Como el diámetro exterior del chuzo es mayor que el diámetro exterior del tubo en el hincado se reduce la resistencia por fricción superficial la cual hay que recuperar al dejar depositado el concreto lo que se logra también con los golpes de que se habló con lo cual queda asegurada también que el concreto tomará cualquier irregularidad que pudiera presentar el terreno en alguna de las capas que se atraviese con el pilote.

**PILOTES DE CONCRETO COLADOS EN EL LUGAR, CON CAMISA.**- Este tipo se usa cuando se requiere un soporte lateral para las paredes del agujero que impida se cierre o se derrumbe mientras se vacía concreto; generalmente se hince una camisa fuerte o falso pilote con el martillo dentro de la cual se introduce con posterioridad una camisa delgada, el falso pilote se recupera para usos subsiguientes; en los suelos blandos que requieran ademe para el vaciado de pilotes el soporte lateral puede ser pequeño en cuyo caso al proyectar debe considerarse el trabajo de los pilotes como columnas, este requiere refuerzo, aunque no en todos los casos; cuando se requiere refuerzo pesado la camisa delgada se puede reemplazar en ocasiones con ventaja por un tubo de acero. Estos pilotes al igual que los anteriores no requieren espacio para almacenaje ni corte de longitud excedente, además, el concreto no se ve en peligro de dañarse por el hincado de pilotes adyacentes.

Estos pilotes se deben usar en los casos en que el terreno es -

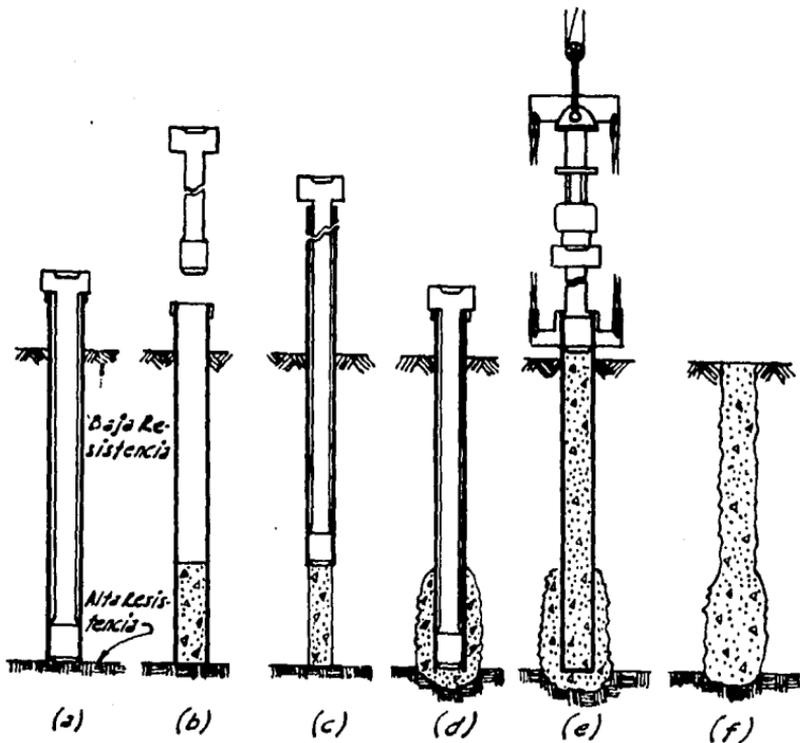


Fig. nº18.- Pilotes colados en el lugar sin camisa, con pedestal de concreto comprimido.

UNIVERSIDAD NAL. AUTONOMA
ESCUELA NACIONAL DE INGENIEROS
TESIS PROFESIONAL.
ROBERTO LIRA MEZA
1954

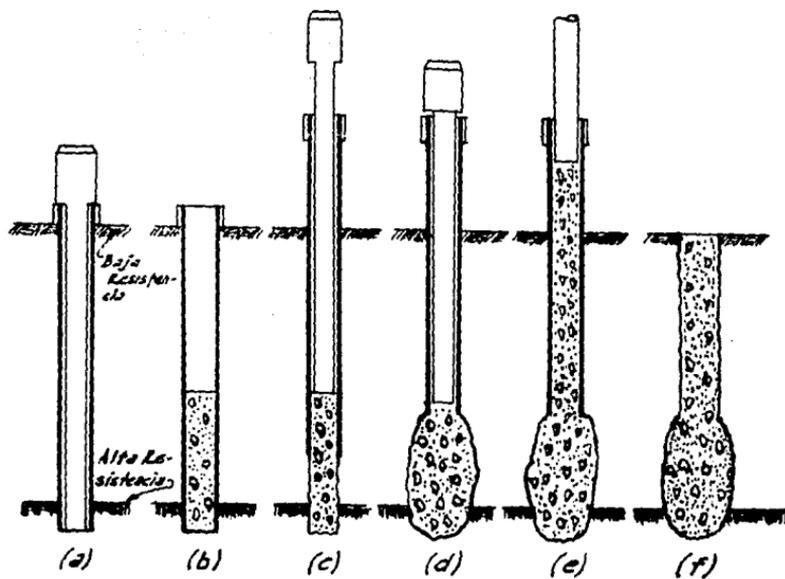
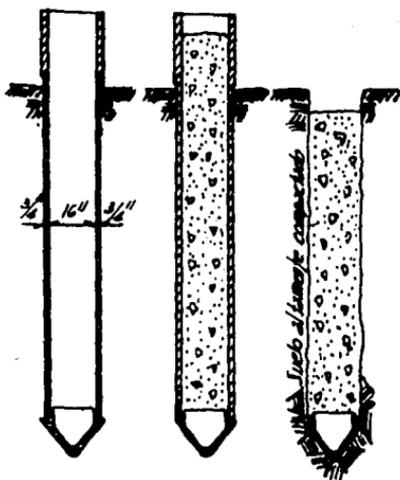


Fig. N° 19.- Pilotes colados en el lugar sin camisa, con base de hongo.



*Fig. N° 20.- Pilotes de concreto colados en el lugar, sin camisa y regatón perdido (Tipo Simplex.)*

UNIVERSIDAD NAL. AUTONOMA

ESCUELA NACIONAL DE INGENIEROS

TESIS PROFESIONAL

ROBERTO LIRA MEZA

1954

demasiado suave y fluido que resulta imposible el uso de pilotes sinmolde, o cuando el terreno es difícil de comprimir que produce una deformación del concreto si carece de molde para prevenir el escurrimiento.

El pilote consiste de lo siguiente: (a) Una camisa y un corazón o núcleo, el fondo del corazón es de un diámetro tal que llene por completo el interior de la camisa cuando se introduce en ella; la camisa y el núcleo se hincan simultáneamente hasta obtener la profundidad deseada, (b) Se retira el núcleo y dentro de la camisa se inserta otra camisa de espesor menor, el objeto de ésta última es el de recibir el concreto fresco, debe ser de material ligero ya sea corrugado o lisoremachada o soldada; (c) El núcleo vuelve a ponerse dentro de la camisa gruesa en contacto con la extremidad superior de la delgada, el martillo se coloca en tal forma que obligue al núcleo a quedar fijo de manera que al extraer la camisa exterior no perturbe al pilote así formado.

En algunas ocasiones debido a la naturaleza del terreno el molde se usa solo parcialmente en un pilote cuando alguno de los estratos por los que atraviesa es tan fluido que de usarse podría producirse un estrangulamiento en la sección transversal; cuando se comprime la masa interna de concreto utilizando el propio núcleo en un estrato de las características citadas daría lugar a la formación de un bulbo de dimensiones exageradas de forma incierta por lo que en ese tramo es de recomendarse el uso de la camisa pudiendo prescindir de ella en las capas cuya dureza permita dar una buena compresión al concreto, sin peligro de dar lugar a la formación de un bulbo por no permitirlo el terreno adyacente.

Quando la suavidad del terreno sea grande deberá considerarse a los pilotes trabajando como columnas, o cuando los pilotes vayan a soportar cargas excéntricas ya sea por fuerzas laterales o por excentricidad de las cargas laterales, dentro de la camisa perdida se coloca un castillo que servirá de refuerzo para absorber la flexión resultante.

Quando se requiere reducir la presión en la capa en que se van a apoyar los pilotes se usan los llamados button-bottom, el botón inferior durante el hincado forma un agujero de un diámetro mayor que el del resto del tubo hincado con lo cual se reduce la fricción superficial temporalmente, las pruebas de rehincado demuestran que se recupera totalmente la fricción para soportar cargas permanentes; esta clase de pilotes constan de un tubo de acero ordinariamente de 14" de diámetro y 1/2" de espesor con una base de fierro fundido, se coloca sobre un "botón" de concreto que tiene un diámetro una pulgada mayor que el del tubo, después de hincarlo a la profundidad deseada se coloca dentro del tubo una camisa corrugada de lámina delgada descansando sobre el "botón" y ligada a él por medio de una placa soldada a la extremidad inferior de la camisa que lleva un agujero central dentro del cual se inserta una espiga colocada previamente en el centro del botón; la camisa se llena de concreto parcialmente o por completo antes de retirar el tubo exterior, fig. 21.

Quando se hince con mandril y por algún concepto los tubos no quieren llenarse de inmediato con concreto se usan en la extremidad inferior del tubo tapones de concreto que se pierden en cada uno, fig. No. 22, son similares a los "botones" del caso anterior y sirven para evitar la entrada de material dentro del tubo antes del vaciado, el martillo opera directamente sobre el mandril que a su vez lo trans-

mite al tapón que es el que va perforando el terreno, el extremo superior de estos debe quedar dentro del tubo una longitud suficiente que impida una desviación.

En este caso de pilotes con molde en algunas ocasiones se desea construirlos de pedestal u hongo como en el caso a que nos referimos en los pilotes sin molde; la función del pedestal es la misma que en el anterior y las ventajas de estos pilotes son las mismas que antes, solo que se usan en suelos de diferente naturaleza; cuando se perfora una capa artesiana el tubo debe ir provisto de tapón a fin de impedir que la primer mezcla de concreto colocado en su interior quede alterada por el contacto con el agua, al comprimir el concreto con el objeto de formar el pedestal dichos tapones son expulsados de su lugar pero quedan formando parte de la cabeza del hongo; después de hincar el pilote en la forma ordinaria hasta la profundidad deseada se vacía -- concreto dentro del tubo y el núcleo vuelve a introducirse, en contacto con el concreto depositado, el tubo, se extrae hasta la altura en que se encuentra el núcleo, ambos se rehincan a través de la masa de concreto, la resistencia dinámica al hincado que se toma como medida de la capacidad de carga en suelos sin cohesión se calcula de la penetración por golpe obtenida en este rehincado a través del concreto -- fresco del pedestal; se retira el núcleo y se substituye por una camisa corrugada que debe quedar aproximadamente a la altura a que se encuentra la extremidad del tubo, después se extrae la camisa y se llena totalmente de concreto el molde perdido. Este tipo de pilotes puede reforzarse con un castillo que se coloca en la camisa antes de vaciar el concreto, fig. 22.

En algunos pilotes se hincan directamente la camisa mediante un mandril que va en su interior y que en el extremo inferior lleva un regatón de un diámetro mayor que el de la camisa con el objeto de que disminuyen los esfuerzos que pudieran dañarla durante el hincado; las camisas usadas pueden ser de concreto reforzado con espiral de alambre y pueden construirse por tramos con lo que se facilita su manejo y disminuye considerablemente el peligro de ruptura y si esto acontece, el tramo dañado se repone con facilidad y no se daña la camisa de todo el pilote; cuando se hincan esta clase de camisas, se acostumbra que la penetración por golpe no sea menor de tres milímetros por golpe a fin de no dañar la camisa; cuando por las condiciones del terreno se requiera formar un bulbo en la extremidad inferior del pilote, puede lograrse mediante el uso de dinamita que se coloca en dicha extremidad y que al terminar el hincado se hace explotar, dando por resultado la formación de una cavidad que al llenarse de concreto forma el bulbo; a este tipo de pilotes, de camisa delgada hincada con mandril, pertenecen los pilotes tipo Raymond que se han usado en México, y que usan una camisa de lámina corrugada de diferentes calibres que dependen de la clase de terreno que se va a atravesar, las camisas -- usadas vienen generalmente en longitudes de 8 pies, en un mismo pilote se pueden usar tramos de diferentes calibres, las de calibre menor se colocan cercanas a la superficie del terreno, con estos pilotes se pueden alcanzar longitudes económicas mayores de treinta metros, las camisas pueden verse dañadas al hincar pilotes en la vecindad de los que han sido recientemente vaciados, por lo que es conveniente hacer el vaciado por grupos que ya hayan sido completados, o bien evitar el hincado junto a un pilote recientemente vaciado hasta que este haya alcanzado edad suficiente para no verse dañado, esto no es práctico -- por las demoras que ocasiona y el crecido número de movimientos para hincar pilotes aislados.

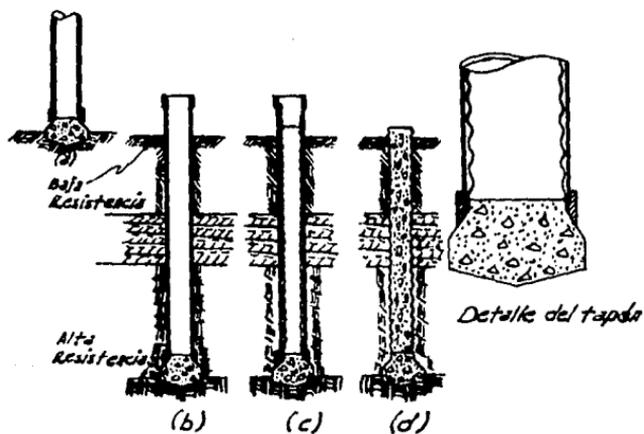


Fig. N<sup>o</sup> 21.- Pilotes "Button-bottom" colados en el lugar, con camisa.

UNIVERSIDAD NAL. AUTONOMA
ESCUELA NACIONAL DE INGENIEROS
TESIS PROFESIONAL
ROBERTO LIRA MEZA
1954

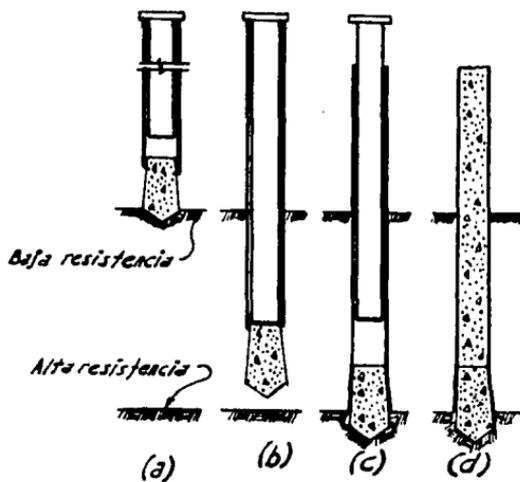


fig. 22.- Pilotes colados en el lugar, con  
camisa de tubo y tapón precolado de  
concreto.

UNIVERSIDAD NAL. AUTONOMA

ESCUELA NACIONAL DE INGENIEROS

TESIS PROFESIONAL

ROBERTO LIRA MEZA

1954

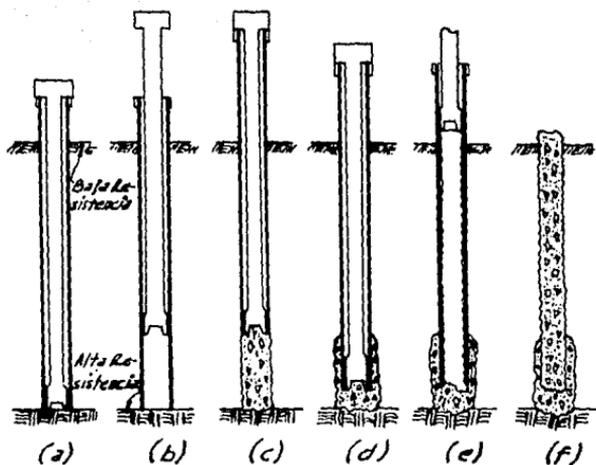


Fig. N<sup>o</sup> 23. - Pilotes colados en el lugar, con camisa, con pedestal de concreto comprimido.

UNIVERSIDAD NAL. AUTONOMA
ESCUELA NACIONAL DE INGENIEROS
TESIS PROFESIONAL
ROBERTO LIRA MEZA
1954

**PILOTES COMPUESTOS.**- Son estos la combinación de dos o más tipos de los ya enumerados incluyendo los de madera o cualquier otro material; empezaremos por describir la combinación de pilotes de concreto sin molde y pilotes de madera.

Pilotes compuestos de pilotes de concreto sin molde y pilotes de madera.- Este tipo de pilotes puede usarse con ventaja bajo las siguientes condiciones: (a) donde el nivel máximo de aguas freáticas esté a una profundidad inferior a 18 metros del nivel superficial del terreno; la longitud económica límite para los pilotes de concreto de este tipo es aproximadamente de unos 18 metros.

(b) Donde el uso de pilotes de madera requiera una profundidad de excavación superior a 3 metros en seco o de 1.25 metros en agua, dichas excavaciones pueden evitarse usando pilotes compuestos de los dos tipos mencionados.

(c) Donde la longitud total del pilote sea tan grande que resulte económicamente imposible obtener o manipular pilotes de una sola pieza ya sea de madera o de concreto, ya que la longitud límite usual para pilotes de concreto colados en el lugar es de 21 metros, pero la longitud puede aumentarse si el pilote de concreto se hace descansar sobre la cabeza de pilotes de madera de cualquier longitud obtenible, los pilotes de madera resultan antieconómicos tanto en su adquisición como en su manejo en longitudes mayores de 25 metros; los pilotes de concreto precolados se han construido hasta de longitudes mayores de 30 metros pero su límite económico es de 17 metros, para longitudes mayores que esta resultan sumamente costosos.

El pilote consta de lo siguiente: una camisa y un núcleo, que se hincan simultáneamente hasta una profundidad un poco mayor que el de aguas mínimas permanentes; (b) al llegar a la profundidad citada se retira el núcleo y en su lugar se coloca una pieza de madera cuadrada dentro de la camisa; (c) La pieza de madera, guiada por la camisa, se hincan lo necesario para alcanzar la capacidad de carga pedida, el hincado se hace por medio del núcleo, el cual se retira una vez alcanzada la capacidad de carga y dentro de la camisa se vacía una mezcla de concreto que queda sobre la cabeza de la pieza de madera, en seguida se vuelve a introducir el núcleo. (d) La camisa se levanta lo suficiente, manteniendo la presión del núcleo y martillo sobre el concreto, para formar en el extremo una junta con pedestal entre la cabeza del pilote de madera y el de concreto, de manera que aquella quede embebida dentro de la masa de concreto y protegida por él contra posibles variaciones de la humedad, el trabajo de la combinación debe hacerse como si se tratara de una sola unidad y no existiera la junta.

(d) Se retira el núcleo y dentro de la camisa se vierte concreto en cantidad suficiente para llenar los vacíos y el espacio ocupado por la camisa. (f) Se extrae la camisa lentamente mientras el concreto se mantiene bajo presión por medio del martillo y el núcleo, fig. No. 23.

Pilotes compuestos de pilotes de concreto con molde y pilotes de madera.- Este tipo de pilote se puede usar con las ventajas enumeradas para los anteriores; han sido construidos con longitudes hasta de 55 metros para soportar cargas superiores a 35 toneladas.

El pilote consta de lo siguiente: (a) Un núcleo provisto de una -

campana sólida de acero que se introduce dentro de una camisa pesada de acero ambos se hincan hasta una profundidad mayor que el nivel de aguas mínimo permanente. (b) Se saca el núcleo de la camisa y dentro de ésta se introduce un pilote de madera provisto de una espiga que se refuerza con espiral de acero, el detalle puede verse en la figura 24, esta espiga queda alojada dentro de la camisa y sirve para hacer la junta. (c) Usando el núcleo como seguidor, el pilote de madera se hincó a través de la camisa hasta que la cabeza queda bajo el nivel del agua después de haber alcanzado la capacidad de carga necesaria. (d) Se retira el núcleo que se substituye por una camisa metálica corrugada a la cual va unido un huacal que servirá de refuerzo en la junta y que rodeará a la espiga del pilote de madera el refuerzo puede prolongarse si es necesario en toda la longitud del pilote de concreto. (e) La camisa metálica corrugada puede llenarse de concreto antes o después de retirar la camisa de hincado; el núcleo se baja dentro de la camisa hasta que quede en contacto con la camisa delgada que queda fijada en su posición en tal forma que la camisa de hincado no arrastre en su movimiento a la interior cuando se extrae aquella. (f) El pilote terminado consta entonces de una sección de concreto protegida por una camisa metálica, una junta reforzada, y un pilote de madera.

En algunos casos el pilote de madera se introduce previamente dentro de la camisa de hincado y se procede como si se tratara de hincar un pilote de madera hasta alcanzar una resistencia que se crea próxima a la capacidad de carga pedida, mientras tanto la camisa ha estado sólo en contacto con la superficie del terreno pero en este momento se inicia su hincado, al quedar alojada la camisa en el terreno, se continúa el hincado del pilote de madera mediante un seguidor, hasta alcanzar la capacidad de carga; se procede a introducir la camisa corrugada los pasos siguientes son semejantes a los ya descritos para el caso anterior; aquí también se usa para la junta una espiga en el pilote de madera, reforzada con espiral de alambón; el seguidor debe estar acampanado en el extremo inferior con el objeto de dar cabida a la espiga.

Otro tipo de pilotes compuestos utiliza como en el caso anterior un tramo constituido por un pilote de concreto colado en el lugar con camisa y en la inferior un pilote de tubo; el conjunto es sumamente semejante al tipo ya descrito así como el procedimiento de construcción y de hincado; son útiles cuando su longitud es demasiada para construirlos de concreto precolado y cuando no es posible usar en la porción inferior un pilote de madera debido a que las aguas mínimas están a una profundidad demasiado grande; también se usan cuando se van a perforar estratos muy duros y la carga a soportar por pilote es excesiva.

Pilotes compuestos de pilotes precolados y pilotes colados en el lugar.- Estos pilotes son útiles cuando la profundidad por alcanzar es muy grande para lograrse con cualquier tipo de los pilotes que lo forman y donde no resulta conveniente el uso en la parte inferior de un pilote de madera, en estos casos se usan tramos precolados, en la cabeza de los cuales se dejan varillas de refuerzo sobresaliendo de la cabeza para lograr el amarre con el tramo colado en el lugar; en la cabeza del pilote precolado puede colocarse una placa de acero con perforaciones que permitan el paso de las varillas de refuerzo que sobresalen, las que se pueden soldar a ella. Después de hincar el pilote precolado hasta cerca de la superficie del terre

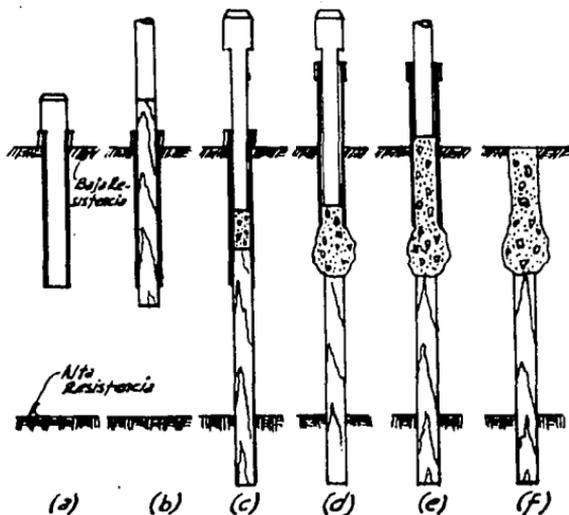


Fig. N° 23.- Pilotes compuestos; porción superior de concreto colado en el lugar sin camisa, porción inferior de maderas.

UNIVERSIDAD NAL. AUTONOMA

ESCUELA NACIONAL DE INGENIEROS

TESIS PROFESIONAL

ROBERTO LIRA MEZA

1954

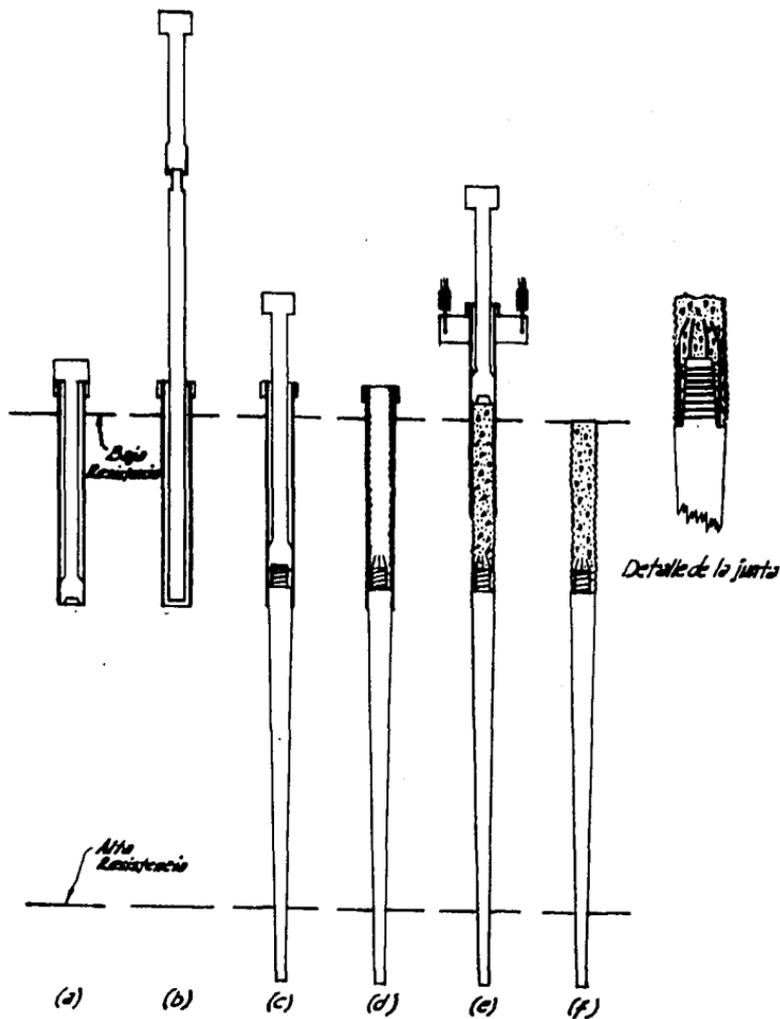


Fig. N° 24.- Pilotes compuestos; porción superior de concreto colado en el lugar con camisa, porción inferior de madera.

UNIVERSIDAD NAL. AUTONOMA  
 ESCUELA NACIONAL DE INGENIEROS  
 TESIS PROFESIONAL

ROBERTO LIRA MEZA  
 1954

no, usando una caochucha o yunque que permita el paso de las varillas de refuerzo; se coloca una camisa temporal de tubo sobre la placa que va sobre la cabeza de la porción inferior y se continúa el hincado -- hasta alcanzar la capacidad de carga, el tubo se llena con concreto, hecho lo cual se retira el tubo; si la sección superior requiere molde, en terreno blando, se puede dejar el tubo en el lugar, o puede dejarse una camisa metálica delgada y extraer el tubo; si se necesita -- dejar perdido el tubo se recomienda soldarlo a la placa de la sección inferior a fin de lograr una unión impermeable, si es necesario, se puede introducir un castillo para refuerzo del tramo colado en el lugar.

Cuando los pilotes que se han descrito no son satisfactorios para la transmisión de cargas, a capas más duras, como en el caso de que el suelo esté formado por arcilla, la que en lugar de comprimirse al paso del pilote que se hincan, fluye ocasionando que los pilotes se le vanten y pierdan el apoyo con la capa dura logrado durante el hincado cuando se hincan pilotes adyacentes, se usan pilotes perforados o barrenados con los que se elimina completamente la tendencia a elevarse, porque en cada uno, en lugar de desplazar el material con el hincado, se extraen corazones que se eliminan en la superficie del terreno.

Este tipo es útil también cuando la carga unitaria sobre el terreno es demasiado grande, tanto, que resultaría muy difícil y aún imposible hincar el número suficiente de pilotes para soportar la carga sin aglomerarlos ineficazmente.

El procedimiento de construcción es similar al usado para los pilotes colados en el lugar solo que el núcleo es hueco para que el material penetre en él y una vez lleno, se extrae por medio de chiflonnes si el material no cae por su propio peso; en otras ocasiones se hincan un tubo solo con el que se extrae el material que se elimina -- por medio de un núcleo sólido que se introduce en el tubo y lo desplaza la perforación se llena con concreto; para hacer esta perforación se puede usar también la herramienta que se utiliza para hacer sondeos o perforación de pozos.

Un tipo de pilote usado en Europa llamado Bignell corresponde a la clase de pilotes precolados y tiene la particularidad de que su hincado se logra por su propio peso sin necesidad de martillo u otro implemento clásico para esta clase de pilotes fuera de una grúa para suspenderlo e iniciar el hincado.

En el interior del pilote van dos tubos, uno de 4 pulgadas de diámetro, en el cual se aloja otro de 2 pulgadas; los tubos se usan para inyectar agua a presión, el de 2" descarga en la punta del pilote por medio de un chiflón que va ablandando el material, en tanto -- que por el de 4" se suministra agua a varios chiflones laterales condescarga hacia arriba que disminuyen la fricción superficial; el agua, en el chiflón extremo se inyecta a una presión comprendida entre 200 y 300 libras por pulgada cuadrada; en los chiflones laterales se inyecta con presión entre 100 y 150 libras por pulgada cuadrada.

Con lo anterior queda detallado con cierta amplitud lo referente a todas las clases de pilotes usados en la actualidad para cimentación de estructuras, los tipos que no se han mencionado son muy similares a los descritos en el curso del presente trabajo; quedó sin detallarse el tipo de pilotes que se forman por medio de una camisa com

puesta por perfiles que usualmente se usan para tablestacados, diremos sin entrar en detalle que dicha camisa -- viene a ser un tablestacado en miniatura del diámetro de un pilote, alrededor de unos cincuenta centímetros, para describirlos con amplitud sería necesario tratar lo relacionado con tablestacas, lo cual caería fuera de los límites del tema que me ocupa.



Aquí queda concluido lo relativo a la descripción de pilotes, y vamos en seguida a pasar a estudiar las fórmulas usadas para controlar el hincado, es decir las que sirven en el campo, durante el proceso, para conocer a cada paso la resistencia del terreno, lo cual equivale a conocer a cada momento la capacidad de carga del pilote y saber en qué momento se ha alcanzado la resistencia final de proyecto con lo que se conoce en qué momento debe de suspenderse el hincado, con la seguridad de que el valor es correcto por lo menos en lo referente a resistencia dinámica, la que se comprobará al efectuar una prueba con -- cargas permanentes.

*Fig. N° 25.- Pilote  
tipo Bagnall.*

### FORMULAS PARA HINCADO DE PILOTES.

Las fórmulas usuales quedan comprendidas en los siguientes cuatro tipos generales: Dinámicas, Empíricas, Estáticas y las basadas en la teoría del impacto longitudinal sobre una barra.

Las fórmulas empíricas se basan en resultados obtenidos de pruebas para condiciones determinadas de problemas particulares, la fórmula de Wilcoxon es de este tipo; otras fórmulas empíricas se basan en la resistencia de postes pero sin guardar relación con las condiciones de hincado, las fórmulas de Sankey, Adams, Bereton y una de Rankine son de este tipo; estas fórmulas son poco usadas en vista de lo limitado de sus condiciones.

Algunas fórmulas estáticas, de entre la gran cantidad que se han propuesto, han sido usadas; dichas fórmulas se basan en las diversas teorías de Mecánica de suelos de la distribución de esfuerzos en el interior de una masa de suelo, de este tipo son las fórmulas de Vierendeel, Patton, Griffith y Howe; algunas fórmulas estáticas contienen correcciones empíricas de observaciones prácticas que en la capacidad de carga incorporan la resistencia de punta y la debida a la fricción.

Las fórmulas de más uso son las dinámicas y se basan en la suposición de que la capacidad de carga final de un pilote es igual a la fuerza dinámica necesaria para el hincado del mismo; lo anterior a su vez se apoya en que el peso de las partes golpeantes del martillo multiplicado por la carrera puede igualarse con la resistencia al hincado multiplicada por la penetración por golpe lograda en la última serie en la punta del pilote.

La fórmula dinámica más simple apareció a mediados del siglo pasado y es la expresión matemática de lo expuesto antes a la cual se afecta de un factor de seguridad 6, 8 o 3.6 según lo recomendaron diversos autores de acuerdo con las condiciones en que hicieron sus observaciones.

El grupo que sigue en cuanto a simplicidad se integra con fórmulas dinámicas que contienen un coeficiente fijo para compensar en parte los factores que intervienen realmente en el hincado pero que no se expresan en las fórmulas mediante términos variables, a este tipo pertenecen las fórmulas del Engineering News, Wellington, la de la Vulcan Iron Works, y la del Departamento de Pisos y Muelles (Bureau of Yards and Docks).

Otro grupo cubre las variables mediante el uso de expresiones para la eficiencia de la energía aplicada en las que se incluyen los pesos relativos del pilote y del martillo, son de este tipo la fórmula Holandesa, la de Ritter y la de Benabencq.

Existen otras fórmulas que pretenden compensar las variables mediante el uso de coeficientes fijos y variables combinados y expresiones que contienen los pesos relativos del pilote y del martillo, a este grupo pertenecen las fórmulas de Eytelwein y la de Navy y McKay.

Otro grupo de fórmulas contiene ya sea parcial o totalmente una serie de términos para representar las pérdidas por impacto y varias pérdidas elásticas en la cachucha, en el pilote y en el terreno; a este tipo pertenece la de Hilley.

La que con mayor frecuencia se usa es la del Engineering News, la de Redtenbacher se usa bastante en Europa, algunas de las formulas tienen como gran ventaja la de su simplicidad, sin embargo por esta misma simplicidad se sacrifican muchas variables de gran amplitud, utilizando en su lugar valores fijos; los valores del factor de seguridad que se obtienen con el uso de estas formulas pueden variar mucho, siendo a menudo mucho mayores o mucho menores de lo que se supone debido al intento de proporcionar una formula muy corta que tiene que cubrir una gran variedad de condiciones la peor de las cuales se supone que se presentará; -- por comparación con la fórmula de Hiley, el factor de seguridad obtenido usando la fórmula del Engineering News, puede variar desde 0.5 hasta 16 o más ya que con penetraciones por golpe pequeñas arroja altos valores para la capacidad de carga, claro que esto se debe a defectos de la formula pero los resultados son indebidos, cuando esta fórmula se emplea para calcular la capacidad de carga con tipos o tamaños de martillo diferentes con el mismo tipo de pilotes, y al mismo tiempo se determina contra fórmula similar los resultados obtenidos resultan muy diferentes.

La fórmula del Engineering News se propuso en los días en que los pilotes eran exclusivamente de madera y los únicos martillos que se conocían eran los de gravedad, en el caso de utilizar las mismas condiciones en que fué propuesta, pueden obtenerse resultados satisfactorios; la relación entre el peso del martillo y el pilote era grande por ser los pilotes de madera de peso relativamente ligero cosa que no sucede actualmente con los tipos usuales de pilotes.

Las teorías dinámicas del hincado de pilotes, suponen que la fuerza se propaga instantáneamente a través del pilote, cuando lo que en realidad sucede es que se propaga por un movimiento ondulatorio; la fricción lateral y la proporción de asentamiento plástico y elástico del suelo -- tienen un gran efecto sobre la propagación de las ondas; para aplicar la teoría es necesario suponer que todo el movimiento en el extremo superior es elástico, y que el movimiento elástico equivalente, es igual al movimiento elástico observado más el doble del movimiento plástico.

La fórmula de Hiley no adolece de esos defectos ya que en ella se consideraron todos esos factores, la teoría base de estas fórmulas ya se encuentra contenida en fórmulas mucho más antiguas.

Algunos autores supusieron que el pilote era perfectamente elástico, en tanto que otros lo supusieron perfectamente inelástico y otros -- aun supusieron que era imperfectamente elástico, lo cual es lo que más se aproxima a la realidad; esta suposición es la que aprovechó Stern para el desarrollo de su fórmula; Kafka fué el primero en proponer una fórmula dinámica teórica que considerara dentro de sus términos, la elasticidad del suelo y la del pilote; algunas fórmulas que son bastante completas se usan poco debido a que los datos necesarios para su aplicación no siempre se tienen a mano.

La teoría del impacto extremo en varillas se ha aplicado a la determinación de los esfuerzos en varios puntos de pilotes de concreto pre-castados durante el hincado, los resultados de estas aplicaciones han aparecido en algunas publicaciones; en ellas se ha analizado el efecto de la variación del martillo, tipo y calidad de empaque, condiciones de resistencia de punta, de fricción y de soporte lateral, cantidad y localización del acero de refuerzo tanto longitudinal como transversal, sunchado de la cabeza y de la punta, etc., dichas observaciones fueron comparadas con los resultados obtenidos en las pruebas de carga, la concordancia --

con la teoría fué excelente; los pilotes que se probaron fueron pilotes precolados de concreto de sección transversal constante.

La teoría matemática tal como fué desarrollada por Saint Venant y Boussinesq es muy complicado e imposible de usarse en alguna fórmula de manera que resulte práctica, la forma en que se ha aplicado es con el auxilio de tablas en que se resume los resultados obtenidos en pruebas.

En tanto que se consiguen más datos que combinen la teoría con las observaciones de campo que conduzcan a una mayor aproximación en una fórmula para determinar la capacidad de carga de pilotes mejor que las disponibles en la actualidad, o a otros métodos de aproximación al objeto, es necesario continuar diseñando y construyendo cimentaciones sobre pilotes con habilidad; de entre las varias fórmulas que se estudian para hincado de pilotes es de recomendarse el uso de la de Hiley para obtener resultados que se aproximen a la realidad ya que en ella se consideran las múltiples variables en los pilotes dando resultados comparables de hincado bajo diferentes condiciones, en los cuales se puede notar los efectos de esas variables, en esas mismas condiciones se recomienda la fórmula del Código uniforme de construcción de la costa del Pacífico y la del Código nacional de construcción canadiense. Los resultados que se obtienen con el uso de estas tres fórmulas son preferibles a los obtenidos mediante el uso de otras de uso común ya que, en aquellas quedan descartados los resultados altos indebidos que se obtienen cuando las penetraciones por golpe son pequeñas para pilotes pesados o cuando la relación de pesos entre el martillo y el pilote es pequeña.

Las fórmulas del tipo de la de Hiley dan capacidades de carga de una uniformidad aceptable de acuerdo con los valores calculados para la resistencia al hincado o la capacidad de carga con varios tipos y tamaños de pilotes y martillos; después de lograr la uniformidad relativa los conceptos de relación de resistencia al hincado a la capacidad de carga, según lo indican las pruebas de carga o los valores de fricción y del factor de seguridad, se deben considerar; es inútil considerar estos asuntos sin antes haber obtenido la uniformidad en los resultados del hincado porque el problema se transforma en una serie de contradicciones.

Debe recordarse constantemente que las fórmulas de hincado de pilotes deben ser meros instrumentos en la solución de cada problema los cuales se complementarán con los sondeos, valores estáticos y los resultados de las pruebas de carga verificadas sobre los pilotes.

**FORMULA DINAMICA PARA ANALISIS DE HINCADO.**- La teoría del impacto dinámico establece que, la capacidad de carga de un pilote es igual a la resistencia al hincado en los últimos golpes del martillo; esto da como resultado una fórmula para hincado llamada Fórmula Dinámica para pilotes; dicha fórmula no está relacionada con la resistencia del terreno bajo la punta del pilote en forma que se pueda predecir la repartición dentro de él de las cargas provenientes de la estructura, tampoco toma en cuenta la reducción que sufre el valor de la fricción superficial en un pilote cuando forma parte de un grupo; tampoco considera los cambios en la estructura del terreno y condiciones hidrostáticas temporales que ocurren durante el hincado ni otros factores que dependen del tiempo más o menos largo de reajuste del equilibrio interno del suelo y que afectan a la capacidad de carga del pilote a la acción de cargas permanentes que trasmite la estructura en ellos apoyada; de lo anterior concluimos que los resultados obtenidos por medio de la fórmula, carecen de valor si no son acompañados por otros factores tendientes a obtener a la vez que una cimentación apropiada, economía y seguridad; sin embargo los datos obtenidos son de gran valor informativo y efectivos para controlar el hincado.

Esta fórmula se puede aplicar solamente en caso en que se perforan estratos sin cohesión, tales como arena, grava y relleno permeable en estos materiales la resistencia actúa durante el hincado y tiene una estrecha relación con la resistencia a la capacidad de soportar cargas estáticas, aunque hay casos en que en materiales gruesos hay una diferencia hasta de 50% en las siguientes 24 horas a la terminación del hincado, debida tal vez al reajuste en la posición de las partículas del terreno que se descargan de esfuerzos internos. El criterio para escoger el factor de seguridad que se agrega a la fórmula dinámica, es que el rehincado después del reposo no difiera de la resistencia alcanzada durante el hincado original más de un 20%.

En el caso de hincar pilotes en material plástico, tal como arcilla, la relación entre la resistencia temporal al hincado y la resistencia permanente a cargas permanentes, es incierta; en esta clase de materiales la fricción que actúa durante el hincado, es mucho menor que la fricción que ocurre después de un período de tiempo variable, pero la resistencia al impacto es mucho mayor que la resistencia a las cargas estáticas que actúan de modo permanente; este fenómeno es causado por el hecho de que para hacer hueco para el pilote es necesario para el agua en los vacíos del barro escapar, cuyo proceso requiere tiempo considerable, lo cual no se puede lograr en el corto tiempo en que ocurre el impacto; este hecho ocasiona que el agua actúe contra la superficie del pilote durante el hincado haciendo papel de lubricante; al cesar el hincado el exceso de la presión hidrostática en la arcilla, escapará gradualmente y el material se cerrará sobre el pilote aumentando la fricción en él, dando por resultado un incremento en la capacidad de carga debida a la fricción y una disminución en la capacidad de carga debida a la resistencia de punta; la diferencia entre la capacidad de carga temporal y permanente en suelo permeable o no saturado, y barro saturado se muestra en el siguiente cuadro:

Suelo	Proceso	Cap. de carga	
Material permeable y no saturado	Durante el hincado	-----	↑↑↑↑↑↑
	Rehincado después -		
	de reposo.	-----	↑↑↑↑↑↑
	Carga estática.	-----	↑↑↑↑↑↑
Barros saturados	Durante el hincado	↑↑↑↑↑↑	-----
	Rehincado después-		
	de reposo.	↑↑↑↑↑↑	-----
	Carga estática.	-----	-----

NOTA. Los símbolos usados son para la fricción: -----; para la resistencia de punta: ↑↑↑↑↑↑.

Es un error usar una fórmula de hincado para obtener la capacidad de carga cuando se hincan en suelos plásticos; sin embargo puede usarse para obtener el valor de las fatigas en el pilote pero no guarda ninguna relación con la capacidad de soportar cargas permanentes debido a las resistencias temporales ya mencionadas que se presentan en el proceso de hincado. Lo anterior es útil para la determinación de las penetraciones por golpe y en la selección del tipo y tamaño de pilotes y martillos.

Hay infinidad de suelos que participan de las características de los dos mencionados antes, en tales casos la experiencia y el buen juicio decidirán si es o no aconsejable el uso de una fórmula del tipo -- que nos ocupa y si se usa qué restricciones deben considerarse en su aplicación.

Algunos códigos restringen el uso de la fórmula dinámica para suelos en los que la resistencia dinámica al rehincado después de 24 horas de reposo no acusa un incremento mayor del 25% del observado durante el hincado original.

La capacidad de carga final ( $R_u$ ), considerada como la resistencia al hincado, de cada pilote debe obtenerse de la relación  $R_u.s = W_r.h$ , cierta de no existir pérdidas de energía de varias fuentes; vamos en seguida a deducir la Fórmula Dinámica, que considera pérdida de energía debida a las causas principales que son: eficiencia del martillo, impacto, compresión temporal en el pilote y el yunque, compresión temporal y vibraciones del suelo; antes vamos a dar el significado de las literales usadas en las fórmulas que se incluirán.

$R_u$  = Capacidad de carga final, considerada como la resistencia al hincado, en libras, sin afectarla de ningún factor de seguridad.

$W_r$  = Peso de las partes golpeantes del martillo, en libras.

W<sub>o</sub> = Peso del casco del martillo, en libras, para martillos de doble acción y de acción diferencial.

E<sub>n</sub> = Valor de energía por golpe del martillo en libras-pies, - que se encuentra tabulado en los catálogos del fabricante a diferentes velocidades de operación; los martillos deben operarse a la velocidad máxima tabulada siempre que sea posible a fin de obtener la eficiencia máxima; en los martillos de doble acción Vulcan-California y los Super-Vulcan de acción diferencial la energía tabulada por el fabricante es la suma de las energías obtenidas multiplicando el peso del borrego por la longitud de la carrera más el producto del área del pistón por la presión del vapor en el martillo recomendada, con el valor máximo igual a la suma de los pesos del borrego más el producto de la longitud de carrera por el peso del casco del martillo, -  $E_n = (W_r + W_o) (h / 12)$ ; lo anterior se basa en la teoría de que la presión del vapor no puede exceder el peso del casco sin causar en él una pérdida de contacto con la cabeza del pilote por sufrir un levantamiento. En el caso de los martillos de vapor de doble acción National y ---- Union Iron Works las energías se calculan de la misma manera; en los McKiernan-Terry de doble acción el valor de  $E_n$  se base en un diagrama indicador de lecturas confirmadas por una película de alta velocidad que muestra el movimiento del borrego en el momento del impacto, las lecturas en ambos casos concuerdan con bastante aproximación de acuerdo con la teoría de limitar la presión del vapor por el peso del casco, las variaciones son bastantes de manera que se recomienda usar las energías tabuladas ya que los martillos actúan mejor dentro de ellas.

h = Altura de caída libre del borrego en pulgadas para martillos de gravedad; carrera del borrego en pulgadas para martillos de vapor de simple acción y carrera normal del borrego para martillos de doble acción y de acción diferencial.

er = Eficiencia, los siguientes porcentajes se recomiendan para calcular capacidades de carga:

1.00 para martillos de gravedad operados con malacate con mecanismo apropiado para soltarlo rápidamente y la caída sea libre.

0.75 para martillos de gravedad operados por un cable y malacate con fricción pero tomando en cuenta que este coeficiente puede decrecer cuando la altura de caída es pequeña y puede aumentar cuando la altura de caída es considerable; el tirón en la línea y en el tambor, la fricción en las guías, y la fricción debida a que el operador en muchos casos no deja libre totalmente en un momento dado al martillo para que caiga, son factores que reducen la energía del golpe.

0.85 para martillos McKiernan-Terry de simple acción, los fabricantes recomiendan como mínimo un 90 por ciento para la eficiencia de estos martillos aun cuando se operen en circunstancias desfavorables señalando que el martillo es

tá totalmente encerrado y diseñado para reducir a un mínimo la fricción y que la carrera es constante ya que el golpe se dá en un yunque colocado en la cabeza del pilote y - que la longitud de carrera es mayor que la tabulada como normal en una cantidad suficiente para compensar pequeñas caídas de presión, estos martillos están diseñados para desarrollar el total de la energía tabulada.

0.75 para Warrington-Vulcan de simple acción.

0.65 para Vulcan-California de doble acción.

0.85 para McKiernan-Terry de doble acción; como las energías tabuladas para estos martillos están basadas en un diagrama-indicador, las pérdidas debidas a caídas de presión, admisión del vapor antes de completarse la carrera descendente, pérdidas por expansión que permiten la caída de la presión del vapor entrante que significan presión efectiva en el cilindro y pérdidas en las válvulas han sido deducidas antes de tabular las energías, dejando sólo pérdidas mecánicas tales como la fricción mecánica entre el pistón y el cilindro para ser absorbidas en el valor de la eficiencia; el fabricante recomienda como mínimo un 90 por ciento como valor de la energía para estos martillos aun cuando sean operados en circunstancias desfavorables.

0.85 para martillos Industrial Brownhoist, National y Union de doble acción.

0.75 para martillos de acción diferencial, como las energías tabuladas para estos martillos se basan en el producto de la presión del vapor multiplicada por el área del pistón, el valor de la eficiencia debe cubrir las pérdidas mecánicas, caída de presión, resultante de la admisión de vapor antes del impacto, pérdidas en las válvulas y puertos y otras -- pérdidas mecánicas; el fabricante recomienda un coeficiente mínimo para la eficiencia de este tipo de martillo 0.84 para los tamaños grande y medio y de 0.80 para los de tamaño pequeño en buenas condiciones y operados en circunstancias favorables.

1.00 para martillos Diesel marca Syntron; el fabricante ya considera en las energías tabuladas una reducción de 10% para absorber las pérdidas en la eficiencia mecánica y no se debe hacer ninguna otra modificación por pérdidas de otro -- concepto.

0.80 para martillos de simple acción semiautomáticos BSP, el fabricante recomienda un coeficiente mínimo de 0.90 si se opera en condiciones normales.

$W_p$  = Peso del pilote en libras, incluye regatón y cachucha para martillos de gravedad y martillos de vapor de simple acción; peso del pilote incluyendo regatón y yunque en el caso de martillos de vapor de doble acción y de acción diferencial, en caso de que se use seguidor, también se debe incluir su peso en el peso del pilote; cuando se hincan hasta llegar al manto de roca, se usa solo la mitad del peso-

real en la fórmula. Cuando se usan pilotes de perfil laminado o de tubo sin tapón en la extremidad inferior, dentro del peso del pilote se debe incluir el peso de la tierra que se introduce en ellos, la que es arrastrada por él en su movimiento.

- l** = Longitud del pilote en pulgadas, medido desde la cabeza al -- centro de resistencia al hincado.
- L** = Longitud del pilote en pies, medido de la cabeza al centro de resistencia al hincado.
- e** = Coeficiente de restitución:
- e** = 0.55 cuando no se usa amortiguador en la cabeza del pilote.
  - e** = 0.50 para amortiguador bien compactado cuando se hincan pilotes de tubo.
  - e** = 0.50 para borregos de martillos de doble acción golpeando sobre yunque de acero e hincando pilotes de este mismo material, o precolados de concreto.
  - e** = 0.40 para amortiguador medianamente compactado (de madera), cuando se hincan pilotes de tubo.
  - e** = 0.40 para borregos de martillos de doble acción golpeando sobre yunque de acero, hincando pilotes de madera o golpeando sobre una cachucha que contenga madera --- cuando se estén hincando pilotes de acero.
  - e** = 0.40 para borregos de martillos de simple acción y martillos de gravedad, golpeando directamente sobre la cabeza de pilotes precolados de concreto desprovistos de cachucha.
  - e** = 0.32 para borregos de martillos de simple acción, golpean do sobre una placa de acero que cubre una cachucha de madera para pilotes de acero.
  - e** = 0.25 para amortiguador de madera verde cuando se hincan pilotes de tubo.
  - e** = 0.25 para borregos de martillos de simple acción o martillos de gravedad golpeando sobre una cachucha de madera bien acondicionada para hincar pilotes precolados de concreto, o directamente sobre la cabeza de pilotes de madera.
  - e** = 0.00 cuando se golpean cabezas deterioradas de pilotes de madera o golpeando cachuchas de madera también deterioradas o cuando pone colchón amortiguador de madera excesivo sobre la cabeza de los pilotes.
- s** = Penetración final del pilote por golpe, usando el promedio de los 5 últimos golpes, para martillos de gravedad y de los 20-últimos golpes para los demás tipos de martillos.

C1 = Compresión temporal permisible en la cabeza del pilote y en la cachucha, en pulgadas, Tabla # 18.

C2 = Compresión temporal en el pilote, en pulgadas, Tabla # 19.

C3 = Compresión temporal permisible en el suelo para el promedio de los casos de hincado de pilotes, Tabla # 20.

A = Promedio de la sección transversal del pilote en pulgadas cuadradas, cuando se trata de pilotes de concreto precolados, el área del refuerzo se transforma en el área equivalente de concreto.

E = Módulo de elasticidad del material del pilote.

P1 = esfuerzo unitario en el colchón amortiguador o en la cabeza del pilote si no se usa colchón.

$$P_1 = \frac{R_u}{\text{Área de la cabeza del pilote}}$$

P2 = Esfuerzo unitario en la sección del pilote.

$$P_2 = \frac{R_u}{A}$$

P3 = Esfuerzo unitario en la proyección horizontal de la punta del pilote.

$$P = \frac{R_u}{\text{Área de la punta}}$$

P3 = Esfuerzo unitario en la sección del pilote en el nivel del suelo, cuando se trate de pilotes cónicos trabajando por fricción.

$$P_3 = \frac{R_u}{\text{Área al nivel del suelo}}$$

Los valores que no se encuentran tabulados en la relación anterior, pueden verse en las tablas que se incluyen en las hojas siguientes del presente trabajo.

DEDUCCION DE LA FORMULA DINAMICA.- Aparte de las literales cuyo significado se ha dado, vamos a dar el significado de algunas que se usarán en el curso de la deducción:

g = Aceleración de un cuerpo en caída libre producida por la gravedad que en el sistema inglés vale 32.2 pies por segundo, por segundo.

v = Velocidad del borrego, debida a la caída libre, en el momento del impacto.

v<sub>c</sub> = Velocidad del borrego y del pilote, al finalizar el periodo de compresión.

v<sub>r</sub> = Velocidad del borrego, al finalizar el periodo de restitución.

T A B L A No. 1

MARTILLOS DE GRAVEDAD DE LA MARCA "VULCAN"

C O N C E P T O	T I P O D E M A R T I L L O						
	K	M	P	S	T	V	W
Peso de la parte golpeante (lb)	500	700	1000	....	....	2000	
	600	800	1200	1500	1800	2500	3000
Peso en libras de la cachucha para ataguías metálicas.	...	...	...	...	600	700	750
Peso de la cachucha para pilotes de tubo en libras.	280	300	520	720	760	900	970
Peso de la cachucha con sus accesorios para usarse con pilotes Monotube en libras,							
con colchón de madera o fibra	...	...	760	760	760	760	760
con colchón de acero y fibra			814	814	814	814	814

NOTAS.- Las columnas en que se dan dos valores para el mismo concepto indican que para ambos se pueden utilizar los mismos aditamentos por ser las medidas iguales.

En los pesos anotados se incluyen los correspondientes al anillo para la cabeza de los pilotes el cual queda comprendido entre 15 y 45 lb. aproximadamente, dependiendo del diámetro de la cabeza del pilote.

Todos los martillos de este tipo y de esta marca tienen base plana.

T A B L A No. 2

**MARTILLOS DE VAPOR WARRINGTON.- VULCAN DE SIMPLE ACCION.**

C O N C E P T O	T I P O D E M A R T I L L O					
	O R	0	1	2	3	4
Carrera normal (h) en pulg.	39	39	36	29	24	21
Peso del borrego en libras.	9300	7500	5000	3000	1800	550
Peso de la placa McDermid, lb.	...	...	65	57		
Peso de la cachucha acampanada (lb)	...	...	60	50	28	
Peso cachucha ataguías metálicas	...	1400	750	700	600	
Peso cachucha para tubo, libras	...	...	750	650		
Peso cachucha para pilotes Raymond	...	...	225			
Accesorios para el hincado de pilotes Monotube, libras:	...	...				
base Standard con colchón de madera o de fibra.	...	...	775	778		
base Standard con colchón de acero y fibra.	...	...	846	849		
base McDermid con colchón de madera o de fibra.	...	...	716			
base McDermid con colchón de acero y fibra.	...	...	805			
Presión del vapor en el martillo en lb/pulg <sup>2</sup> .	100	80	80	80	80	80
Tamaño de la caldera en caballos -- Cald.	72	60	40	25	18	8
Superficie de calefacción de la caldera en pies cuadrados.	864	720	480	300	210	90
Aire comprimido pies <sup>3</sup> /min.	1020	841	565	356	220	36
Energía estimada en pies.lb.	30225	24375	15000	7260	3600	825
Diámetro del pistón en pulg.	16.50	16.50	13.50	10.50	8.0	4.0
Longitud del martillo en pies.	15.00	15.00	13.00	11.50	9.5	7.0
Peso neto del martillo, libras.	18050	16250	9700	6700	3700	1400
Ancho de las quijadas para guías, - en pulgadas.	9.25	9.25	8.25	7.25	6.25	4.25
Distancia entre quijadas, pulg.	26.00	26.00	20.00	19.00	18.00	14.00
máxima dimensión transversal de pilotes de concreto, pulg.	23.00	23.00	17.00	15.00		
Golpes por minuto.	50	50	60	70	80	80
Diámetro de la manguera, pulg.	2.5	2.5	2.0	1.5	1.25	1.0

NOTA.- Para obtener la presión anotada para el martillo, la presión en la caldera debe ser de 5 a 15 lb/pulg. cuad. mayor; los pesos anotados incluyen el peso del anillo para la cabeza del pilote, la sup. de calefacción se basa en que se requieren 12 pies cuadrados por caballo, es un valor conservador para cualquier tipo de caldera.

**T A B L A N o. 3**

**MARTILLOS DE VAPOR SUPER-VULCAN DE ACCION DIFERENCIAL, DE TIPO ABIERTO.-----**

C O N C E P T O	TAMANO DEL MARTILLO					
	18C	30C	50C	80C	140C	200C
Carrera normal en pulgadas	10.5	12.5	15.5	16.5	15.5	15.5
Peso del borrego en libras	1 800	3 000	5 000	8 000	14 000	20 000
Energia estimada por golpe en pies-lb a los golpes por minuto anotados.	3 600 a 150	7 260 a 153	15 100 a 120	24 450 a 111	36 000 a 103	50 200 a 98
	3 150 a 145	6 800 a 130	13 300 a 115	20 900 a 105		
	2 800 a 140	6 150 a 125	12 000 a 110	18 000 a 100		
	2 500 a 135	5 550 a 120	10 900 a 105	17 200 a 95		
	2 300 a 130	5 075 a 115	10 000 a 100	16 000 a 90		
	2 125 a 120	4 700 a 110	9 300 a 95	15 050 a 85		
Presión del vapor, lb/pulg <sup>2</sup>	120	120	120	120	140	142
Diámetro del pistón pequeño en pulgadas.	4,15/16	6,1/2	8,7/16	10,3/16	11,1/4	13
Peso con base Standard, lbs	4 139	7 036	11 782	17 885	27 984	39 050
Peso con base McDermid, lbs	4 164	7 090	11 845	18 013		
Long con base Standard, pulg	92.5	107.5	122.63	136.25	147.00	158.00
Long con base McDermid, pulg	94.75	110.0	125.63	138.25		
Peso de la placa Standard, lb	15	40	48	75		
Peso de la placa McDermid, lb	22	55	65	80		
Peso de la placa acampanada lb	30	55	70	125		
Accesorios para el hincado de pilotes Monotube, peso en lb:						
Colchón de madera o fibra.	...	...	...	1 205		
Colchón de acero y fibra	...	...	...	1 249		
Tamaño de la caldera, B.H.P.	25	40	60	80	100	120
Superficie de calefacción, pies <sup>2</sup>	300	480	720	960	1 200	1 440
Aire comprimido, pies <sup>3</sup> /min.	308	488	880	1 245	1 425	1 746
Diámetro de la manguera en pulg	1.25	1.50	2.00	2.50	3.00	3.00
Diámetro de la abertura en la base Standard en pulg.	13.0	16.0	16.63	21.00	24.5	28.0
Diámetro de la abertura en la base McDermid en pulg.	11.0	12.0	13.00	16.00		
Ancho de las quijadas para guías en pulgadas.	6.25	7.25	8.25	9.25	11.25	11.25
Distancia entre quijadas, pulg	18	19	20	26	32	36
Máxima dimensión transversal de pilotes de concreto, pulg.	...	15.50	17.00	23.0	23.0	32.0

**NOTAS.-** Los tamaños mayores de martillos anotados deben operarse a las velocidades máximas, para velocidades menores debe consultarse la energía al fabricante.

Para obtener en el martillo la presión especificada, en la caldera debe ser de 5 a 15 lb por pulg. cuad. mayor que en él.

En los pesos quedan incluidos los correspondientes a los anillos de cabeza, los cuales varían aproximadamente entre 15 y 45 lb según el diámetro.

T A B L A N o. 4

MARTILLOS DE VAPOR SUPER - VULCAN DE ACCION DIFERENCIAL DE TIPO CERRADO

C O N C E P T O.	T A M A Ñ O D E L M A R T I L L O							
	600	1 100	1 800	3 000	5 000	8 000	14 000	20 000
Carrera Normal, pulg.	7.5	9.0	10.5	12.5	15.5	16.5	15.5	15.5
Peso del borrego, lbs.	600	1 100	1 800	3 000	5 000	8 000	14 000	20 000
Peso del casco, lbs.	1 232	1 839	2 339	4 036	6 782	9 885	13 984	19 050
Energía por golpe es- timada en pies-lb a - los golpes por minuto anotados.	1 125 a 225	2 180 a 181	3 600 a 150	7 260 a 133	15 100 a 120	24 450 a 111	36 000 a 103	50 200 a 98
			3 150 a 145	6 800 a 130	13 300 a 115	20 900 a 105		
			2 800 a 140	6 150 a 125	12 000 a 110	18 800 a 100		
			2 500 a 135	5 550 a 120	10 900 a 105	17 200 a 95		
			2 300 a 130	5 075 a 115	10 000 a 100	16 000 a 90		
			2 125 a 125	4 700 a 110	9 300 a 95	15 050 a 85		
Peso del yunque plano			200	392	588	877	1 460	1 450
Peso del yunque con - campana, lbs.	55	101	135	214	358	592		
Cachucho para pilotes Monotube con: colchón de madera o fi- bre peso en lbs.						1 205		
colchón de acero y fi- bre, peso en lbs.						1 249		
Presión del vapor en - el martillo lb/pulg <sup>2</sup> .			120	120	120	120	140	142
Tamaño de la caldera - en B.H.P.		25	25	40	60	80	100	120
Superficie de calefaca- ción caldera, pies <sup>2</sup>			300	480	720	960	1 200	1 440
Aire comprimido pie <sup>3</sup> por minuto, pres.stm.			308	488	880	1 245	1 425	1 746
Diámetro de la manguera	1.25	1.50	1.25	1.50	2.00	2.50	3.0	3.0

NOTAS.- Los accesorios para este tipo de martillos son intercambiables con los de tipo abierto correspondientes al mismo peso de las partes golpeantes.  
 Para velocidades de operación de los tamaños ligeros y pesados menores que las anotadas debe consultarse al fabricante.  
 Los pesos incluyen los pesos correspondientes a los anillos de la cabeza del pilote, los que pueden variar de 15 a 45 lb según el diámetro.  
 Para obtener la presión especificada, la de la caldera debe ser de 5 a 15-lb/pulg<sup>2</sup> mayor que la del martillo.  
 El tamaño de la caldera se basa en 12 pies cuadrados por H.P. con lo que se queda del lado de la seguridad para cualquier tipo de caldera.  
 Las velocidades y las energías correspondientes están anotadas en la misma columna, encerradas entre las líneas horizontales, las velocidades llevan una "a" precediendo al número que la determina.

T A B L A No. 5

**MARTILLOS DE VAPOR VULCAN - CALIFORNIA DE DOBLE ACCION**

C O N C E P T O	TAMAÑO DEL MARTILLO		
	E	F	G
Carrera normal, en pulgadas.	16	12	8
Peso del borrego en libras.	950	330	100
Peso del casco del martillo.	2 850	1 470	650
Energía estimada por golpe en lb. pies			
a 150 golpes por minuto.	3 800	-----	-----
a 190 golpes por minuto.	-----	1 300	-----
a 270 golpes por minuto.	-----	-----	375
Peso del yunque en libras:			
tipo plano	110	-----	17
tipo acampanado	118		

T A B L A No. 6

**EXTRACTORES PARA PILOTES VULCAN**

C O N C E P T O	N U M E R O		
	200-A	400-A	800-A
Longitud de la carrera en pulg.	2	2	2
Peso del borrego en libras.	200	400	300
Peso total incluyendo las barras de conexión	1 500	2 850	5 400
Energía estimada por golpe en lb-pies	250	500	1 000
Golpes por minuto con 100 lb/pulg. cuad. de presión en el extractor.	550	550	550
Longitud total sin incluir las barras de conex.	71	80	94
Longitud total de las barras en pulgadas.	31	42	49
Anchura en las barras laterales en pulgadas	17	22.5	29
Espesor de normal a las barras de conexión.	13.5	15.5	20
Espesor entre las barras de conex. en pulg.	7	7.5	8.5
Diámetro de la manguera, en pulg.	1	1.25	1.5
Potencia de caldera requerida, en H.P.	18	25	40
Volumen de aire requerido, pies <sup>3</sup> por minuto	312	615	1 330
Jalón máximo de la grúa en ton. inglesas.	25	40	50

**NOTA.-** La presión del vapor o aire admisible puede variar de 75 a 150 - libras por pulgada cuadrada.

Cuando para la extracción se requiere un tirón de la grúa mayor del tabulado, debe utilizarse un dispositivo para ejercer ese jalón adicional, directamente sobre el pilote, en lugar de hacerlo sobre las barras de conexión u otras partes que transmiten el golpe de las partes golpeantes del extractor.



**Martillo de vapor McAlarnan-Terry E-14 de simple accion  
tipo cerrado, suspendido de máquina especial.**

T A B L A No. 7

MARTILLOS DE VAPOR MCKIERNAN - TERRY DE SIMPLE ACCION

C O N C E P T O	T A M A Ñ O D E L M A R T I L L O				
	S3	S5	S8	S10	S14
Carrera normal en pulgadas.	36	39	39	39	32
Carrera máxima en pulgadas.	39	42	42	42	36
Peso del borrego en libras.	3 000	5 000	8 000	10 000	14 000
Peso del casco en libras.	5 000	6 000	8 500	10 000	14 000
Energía estimada por golpe, lb.pie.	9 000	16 250	26 000	32 500	37 500
Velocidad, golpes/min.	65	60	55	55	60
Peso en libras de:					
Yunque tipo plano.	800	1 375	1 600	2 200	3 200
Yunque tipo acampanado.	800	1 400	1 650	2 250	3 300
Yunque tipo tubo.	940	1 550	1 900	2 700	3 600
Yunque tipo "H".	900	1 500	1 750	2 500	3 400
Yunque tipo atagufas met.	900	1 500	1 750	2 500	3 400
Tipo pilotes concreto cab.-plana.	1 400	1 900	2 700	3 200	6 000
Presión vapor en caldera, - lb/pulg <sup>2</sup>	100	100	100	100	125
Presión vapor en martillo, - lb/pulg <sup>2</sup>	80	80	80	80	100
Tamaño de la caldera, en -- B. H. P.	25	40	55	65	90
Capacidad compresora, pie <sup>3</sup> /min. libre	400	600	850	1 000	....
Díámetro mínimo manguera co nex. pulg.	1.5	2.0	2.5	2.5	3.0
Díámetro del pistón en pulg	11.0	14.0	17.0	17.5	20.0
Máxima dim. transv. de pilo tes que puede usarse con el martillo, pulg:					
Pilotes de concreto cuad. o exag.	16.0	20.0	22.0	26.0	32.0
Pilotes de tubo, diam. ext.	20.0	24.0	26.0	30.0	32.0
Pilotes de madera, diam. -- int. camp.	13.0	16.0	18.0	22.0	28.0
Pilotes de perfil H.	24.0	27.0	30.0	36.0	36.0

NOTA.- Los pilotes de dimensiones mayores que las mostradas en la tabla, requieren yunques especiales, más amplios que la sección transversal del martillo; las guías de las máquinas para manejarlos necesitan ser lo suficientemente amplias para dar cabida a estos tipos especiales de yunques.

Los valores de las presiones en la caldera y el martillo son -- aproximadas y solo se dan como referencia, las presiones reales requeridas con el estado de tiempo, con las condiciones de instalación de la caldera, longitud de la línea de la caldera a la válvula estranguladora y la longitud de la manguera.

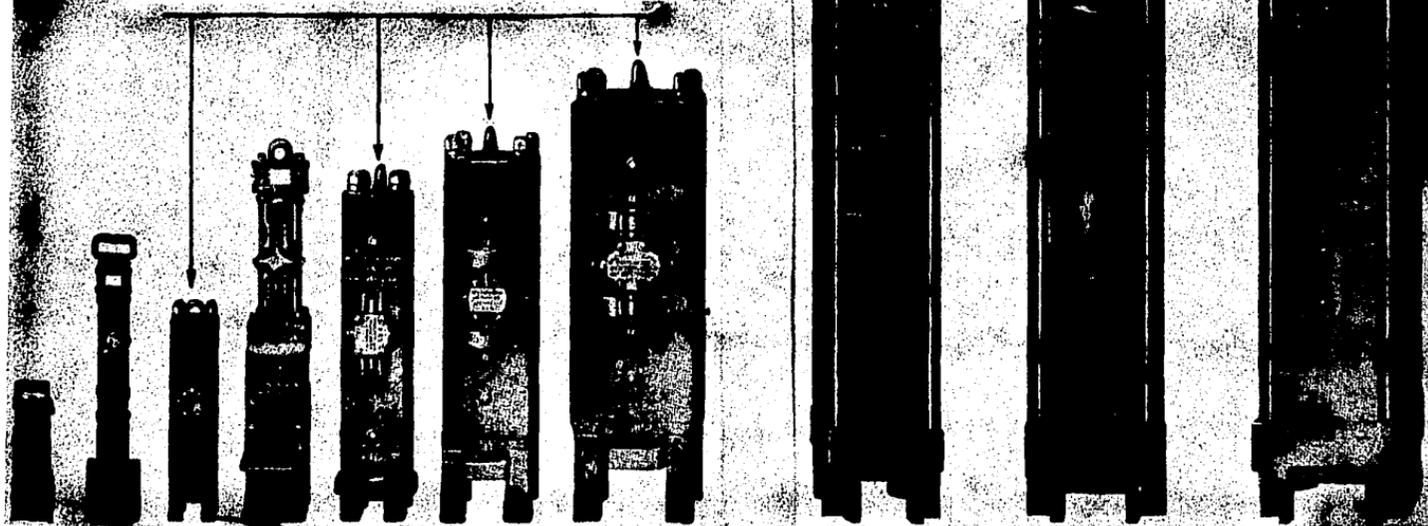
La presión real debe controlarse por medio de la válvula estranguladora y variando la presión de la caldera de manera que el martillo trabaje a la velocidad tabulada.

Los martillos no deben trabajarse a velocidades mayores de las tabuladas ni a velocidades tales que causen levantamiento del mismo del pilote en la carrera ascendente del borrego.





DOBLE UTILIDAD  
(Martillos y Extractores)



EXTRACTORES Y MARTILLOS DE DOBLE ACCION FABRICADOS POR McKIMMAN - TERRY CORPORATION.

T A B L A No. 11

MARTILLOS DE VAPOR UNION IRON WORKS DE DOBLE ACCION.

C O N C E P T O	TAMAÑO DEL MARTILLO				
	00	0A	0	1	1A
Carrera Normal en pulgadas.	36	21	24	21	18
Peso del borrego en libras.	6 000	5 000	3 000	1 850	1 600
Peso del casco en libras.	15 000	12 000	11 500	9 650	8 900
Energía estimada por golpe, lb.pies:					
a 85 golpes por minuto. . . . .	54 900				
a 90 golpes por minuto . . . . .	32 050				
a 110 golpes por minuto. . . . .		19 850			
a 130 golpes por minuto. . . . .			13 100		
a 120 golpes por minuto. . . . .				10 020	
Tamaño caldera en B.H.P.	125	60	40	40	35
Compresora pies <sup>3</sup> /min.libre.		800	600	500	450
Diámetro manguera en pulg.	3.00	2.50	1.50	1.50	1.50

T A B L A No. 11 (continúa)

C O N C E P T O	TAMAÑO DEL MARTILLO				
	1.5A	2	3	3A	4
Carrera Normal en pulgadas.	18	16	14	13.5	12
Peso del borrego en libras.	1 500	1 025	700	820	370
Peso del casco en libras.	7 700	5 575	4 000	4 380	2 430
Energía estimada por golpe, lb.pies:					
a 125 golpes por minuto.	8 680				
a 145 golpes por minuto.		5 755			
a 160 golpes por minuto.			3 660		
a 150 golpes por minuto.				4 390	
a 200 golpes por minuto.					2 100
Tamaño caldera en B.H.P.	25	20	25	12	10
Tamaño compresora pie <sup>3</sup> /min. libre	400	300	350	150	100
Diámetro manguera en pulg.	1.25	1.25	1.25	1.00	1.00

T A B L A No. 11 (continúa)

C O N C E P T O	TAMAÑO DEL MARTILLO				
	5	6	7A	8	9
Carrera Normal en pulgadas.	9	7	6	6.5	4
Peso del borrego en libras.	210	100	80	40	25
Peso del casco en libras.	1 415	810	460	160	75
Energía est. por golpe, lb.pies:					
a 250 golpes por minuto.	1 010				
a 340 golpes por minuto.		445			
a 400 golpes por minuto.			320		
a 450 golpes por minuto.				210	
a más de 500 golpes por min.					90
Tamaño caldera en B.H.P.	8				
Tamaño compresora pie <sup>3</sup> /min. libre	75	70		60	45
Diámetro manguera en pulg.	0.75	0.75	0.75	0.50	

NOTA.- En los pesos se incluye el de la base standard; presión de 100 a 125 lb/pulg<sup>2</sup>.

T A B L A No. 12

**MARTILLOS DE VAPOR SEMIAUTOMATICOS BRITISH STEEL PILING. CO. DE SIMPLE -- ACCION**

C O N C E P T O	T A M A Ñ O D E L M A R T I L L O									
	4B	5B	6B	7B	9B	9C	10B	10C	12B	12C
Carrera normal en - pulgadas.	54	54	54	54	54	72	54	72	54	72
Peso de la parte -- golpeante (casco) - en cwt.	30	40	50	60	80	80	100	100	120	120
Peso total en c w t	41	52	63	70	90	97	117	118	138	142
Capacidad requerida de caldera:										
Evaporación de agua en lb/hora.	1050	1250	1500	1700	2000	2000	2300	2300	2600	2600
Tamaño de la calde- ra en B.H.P.	12	14	16	18	20	20	22	22	24	24

NOTAS.- En estos martillos el pistón es fijo y lo que produce la emer-  
gía es el impacto de lo que hemos venido llamando "casco" que -  
es la parte en la que va alojado el pistón.  
1 c. w. t. = 112 lb.  
La longitud de la carrera puede ser controlada por el operador,  
la anotada es la carrera máxima.

T A B L A No. 13.

**EXTRACCIONES McKERNAN TERRY.**

C O N C E P T O	T I P O D E E X T R A C T O R	
	E2	E4
Carrera Normal en pulgadas.	3	3
Peso del borrego en libras.	200	400
Peso total en libras.	2 600	4 400
Energía estimada por golpe en lb. pie	700	1 000
Velocidad en golpes por minuto.	450	400
Máximo jalón de la grúa en Ton. Inglesas.	50	100
Tamaño de la caldera en B. H. P.	30	35
Tamaño de compresora pies <sup>3</sup> /min. a la presión atmosf.	400	450
Presión del vapor o del aire en lb/pulg <sup>2</sup> .	100 a 125	100 a 125

T A B L A No. 14

**MARTILLOS DIESEL "SYNTRON".**

C O N C E P T O	TAMAÑO DEL MARTILLO			
	3000	5000	9000	16000
Carrera Máxima en pulgadas.	33	34	34	48
Carrera en vacío (sin impacto), en pulg.	14	...	...	22-24
Peso del borrego en libras.	1 200	2 100	3 800	5 400
Peso del casco en libras.	1 800	2 600	5 200	5 600
Energía estimada por golpe en lb-pies.	3 000	5 200	9 000	16 000
Velocidad en golpes por minuto.	110	105.10	105	84
Longitud total en pies.	8.96	9.75	10.42	15.50
Abertura de las guías en pulgadas.	18.50	20.50	26.50	20.50
Consumo combustible (Diesel) en gal/hora	0.80	.....	1.80	2.50

T A B L A No. 15

**MARTILLOS DIESEL "JOHNSON" (Inglés)**

C O N C E P T O	TAMAÑO DEL MARTILLO	
	D <sub>1</sub>	D <sub>3</sub>
Peso del borrego en libras.	702	1 764
El mismo usando pesos adicionales en él.	...	1 872
		1 980
Energía estimada por golpe en lb.pies: -		
con carrera de 33 pulgadas con velocidad		
de 60 golpes por minuto.	4 000	...
con carrera de 63 pulgadas con velocidad		
de 40 golpes por minuto.	7 200	...
con carrera de 34 pulgadas con velocidad		
de 55 golpes por minuto.	...	7 842
con carrera de 54 pulgadas con velocidad		
de 40 golpes por minuto.	...	11 920
Longitud total en pies.	8.75	10.17
Dimensión de la placa golpeadora en pulg.	12.00	12x25.25
Consumo máximo combustible en galones/hora	1.775	1.60

T A B L A No. 16

**MARTILLOS DIESEL BRITISH STEEL PILING COMPANY LTD.**

Tamaño del martillo. . . . .	No. 2.
Carrera máxima en pulgadas. . . . .	36
Peso de la parte golpeante, (casco) en libras. . . . .	2 464
Peso total en libras . . . . .	2 860
Energía estimada por golpe en lb. pie, aprox. . . . .	2 500
Velocidad en golpes por minuto . . . . .	60
Altura de techo requerida en pies, (total) . . . . .	12
Consumo de combustible en galones por hora . . . . .	0.4

NOTA.- La parte golpeante de estos últimos la constituye el casco del martillo. .

$v_p$  = Velocidad del pilote al finalizar el período de restitución.

$M_t$  = Cantidad de impulso que causa compresión.

$eM_t$  = Cantidad de impulso que causa restitución.

La cantidad de Movimiento del borrego en el momento del impacto es:

$$C.M. = \frac{W_r \cdot v}{g}$$

Al finalizar el período de compresión, la cantidad de movimiento del borrego es:

$$C.M. = \frac{W_r \cdot v}{g} - M_t$$

y la velocidad del conjunto de borrego y pilote es:

$$v_c = \frac{\frac{W_r \cdot v}{g} - M_t}{\frac{W_r}{g}}$$

Suponiendo que el pilote se puede desplazar una distancia pequeña y que como resultado de los golpes y rebotes del martillo y el pilote viene un aflojamiento de la tierra que lo rodea, la cantidad de movimiento del pilote al finalizar el período de compresión puede tomarse como  $M_t$  y su velocidad será la debida al impulso:

$$v_c = \frac{M_t}{\frac{W_p}{g}}$$

Como las velocidades del martillo y del pilote son iguales al finalizar el período de compresión, en ese momento:

$$M_t = \frac{v \cdot W_r \cdot W_p}{g (W_r + W_p)}$$

Al finalizar el período de restitución, la cantidad de movimiento del borrego será:

$$c. m. b. = \frac{W_r \cdot v}{g} - M_t - e.M_t = \frac{W_r \cdot v_r}{g}$$

Por lo tanto:

$$v_r = v - \frac{M_t(1+e)}{\frac{W_r}{g}} = v - \frac{W_p}{W_r + W_p} (1+e)v \quad v_r = \frac{W_r - e \cdot W_p}{W_r + W_p} v$$

Al final del período de restitución, la cantidad de movimiento del pilote:

$$c. m. p. = M_t + e.M_t = (W_p \cdot v_p)/g$$

Por lo tanto:

$$v_p = \frac{M_t(1+e)}{\frac{W_p}{g}} = \frac{W_r}{W_r + W_p} (1+e)v \quad v_p = \frac{W_r + e \cdot W_r}{W_r + W_p} v$$

Usando los valores anteriores de  $v_r$  y  $v_p$  puede determinarse la suma de las energías totales del borrego y del pilote al final del período de restitución, disponible para gastarse en vencer la resis-

tencia al hincado del terreno y en deformar temporalmente por medio de compresiones elásticas en el yunque, pilote y terreno.

La energía disponible en el borrego y en el pilote al final -- del periodo de restitución será:

$$\begin{aligned} \frac{W_r.v^2}{2g}(v_r)^2 + \frac{W_p}{2g}(v_p)^2 &= \frac{W_r.v^2}{2g} \frac{(W_r - e.W_p)^2}{(W_r + W_p)^2} + \frac{W_p.v^2}{2g} \frac{(W_r + e.W_r)^2}{(W_r + W_p)^2} \\ &= \frac{W_r.v^2}{2g} \frac{(W_r + e^2.W_p)}{(W_r + W_p)} = W_r.h \frac{W_r + e^2.W_p}{W_r + W_p} \dots (I) \end{aligned}$$

La anterior expresión de la energía disponible se puede escribir:

$$\frac{W_r.v^2}{2g} \left[ 1 - \frac{W_p(1 - e^2)}{W_r + W_p} \right]$$

Entonces la energía que se pierde en el impacto es:

$$\frac{W_r.v^2}{2g} \frac{W_p(1 - e^2)}{W_r + W_p} = W_r.h \frac{W_p(1 - e^2)}{W_r + W_p} \dots (II)$$

La eficiencia del golpe del martillo es:

$$\frac{W_r + e^2.W_p}{W_r + W_p} = \frac{1}{1 + W_p/W_r} + \frac{e^2}{1 + W_p/W_r} \dots (III)$$

Si no hubiera impacto o pérdidas elásticas y si la eficiencia-mecánica del martillo fuera 100 por ciento, podría escribirse la siguiente expresión:

$$R_u.s = W_r.h \dots (IV)$$

Llamando "e<sub>f</sub>" la eficiencia mecánica del martillo la expresión anterior se transforma en:

$$R_u.s = e_f.W_r.h \dots (V)$$

Reemplazando los términos W<sub>r</sub>.h por la expresión encontrada para la energía disponible al finalizar el periodo de restitución obtenemos:

$$R_u.s = e_f.W_r.h \frac{W_r + e^2.W_p}{W_r + W_p} \dots (VI)$$

La que puede transformarse en:

$$R_u = \frac{e_f.W_r.h}{B} \frac{W_r + e^2.W_p}{W_r + W_p} \dots (VII)$$

Sin embargo, mientras la punta del pilote se mueve hacia abajo una distancia "s", la parte que recibe el golpe del martillo se mueve hacia abajo una distancia adicional a la anterior igual a --- C<sub>1</sub> + C<sub>2</sub> + C<sub>3</sub>, debida a las compresiones elásticas temporales en el yunque, en el pilote y en el suelo; dentro de los límites elásticos, la deformación de cada uno de estos materiales, puede suponer-

se que varía con la carga; para el yunque y el pilote la deformación temporal puede calcularse con la ley de Hooke; def. = ----- Ru.1/A.E; el trabajo obtenido de la energía cinética del golpe puede escribirse: Ru(s + C/2) en lugar de Ru.s y la expresión anterior se transforma en:

$$Ru = \frac{ec.Wr.h}{s + C/2} \frac{Wr + e^2.Wp}{Wr + Wp} \dots\dots\dots (VIII)$$

Y si la compresión temporal "C" se substituye por sus componentes, la expresión obtenida es la siguiente:

$$Ru = \frac{ec.Wr.h}{s + 1/2(C_1+C_2+C_3)} \frac{Wr + e^2.Wp}{Wr + Wp} \dots\dots\dots (A)$$

Que es la de la fórmula dinámica que se usa para martillos de gravedad, martillos de vapor de simple acción y martillos Diesel.

$$Ru = \frac{12ec.Eu}{s + 1/2(C_1+C_2+C_3)} \frac{Wr + e^2.Wp}{Wr + Wp} \dots\dots\dots (A_1)$$

Esta última fórmula se utiliza para martillos de doble acción y de acción diferencial; en la cual se ha substituido Wr.h de la fórmula (A) por el término Eu, que es la energía tabulada para los diversos fabricantes, con el coeficiente 12 para obtener libras-pulgadas.

Estas fórmulas dan la capacidad de carga final y no incluyen ningún factor de seguridad, son aplicables cuando  $Wr > Wp.e$ , que es el caso corriente en el cual se debe contar constantemente condiciones favorables durante el hincado.

Dichas fórmulas, inexactas matemáticamente, en especial cuando se hincan al rebote los pilotes en material impenetrable o roca en el cual la punta del pilote no está libre para avanzar, dan resultados que difieren muy poco de los obtenidos usando fórmulas más correctas pero que son mucho más complicadas.

El denominador del primer término de las fórmulas (A) y (A<sub>1</sub>):

$$s + 1/2 ( C_1 + C_2 + C_3 )$$

representa el total del promedio del movimiento hacia abajo debido al golpe del martillo, el promedio de la compresión temporal lo constituye  $1/2(C_1+C_2+C_3)$  y el residuo permanente es la penetración por golpe representada con "s".

En la práctica se ha visto que el total de la compresión temporal en el pilote y en el suelo, casi nunca es tan grande como se calcula usando la longitud total del pilote (L), lo que se debe a que gran parte de la energía es absorbida por la fricción lateral en las caras del pilote antes de que llegue a la punta, se logran mejores resultados utilizando valores reducidos para "i" y "L", mediante los cuales se logra en ciertos casos resultados más cercanos a la realidad.

En el campo pueden tomarse medidas de la suma de C<sub>2</sub> y C<sub>3</sub> fácilmente, estas deben de tomarse en los primeros pilotes hincados.

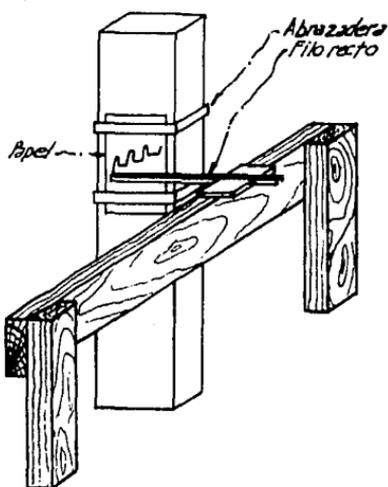
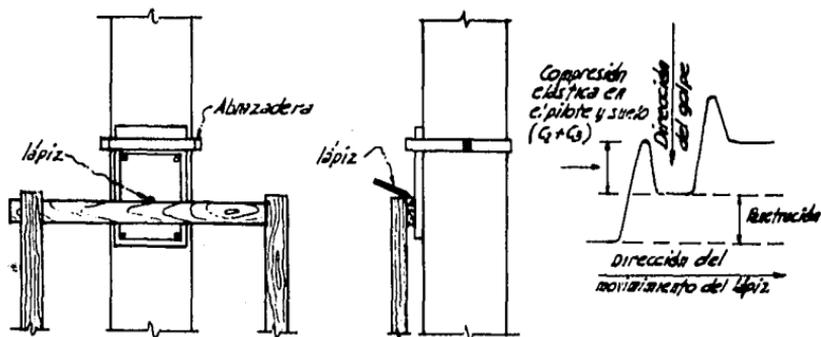


Fig. N° 26.- Métodos para tomar gráficas en el campo.

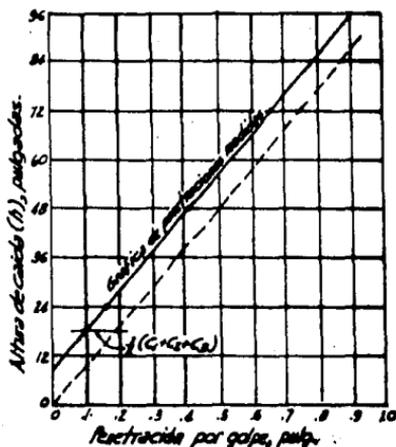
UNIVERSIDAD NAL. AUTONOMA
ESCUELA NACIONAL DE INGENIEROS
TESIS PROFESIONAL
ROBERTO LIRA MEZA
1954

para servir de comprobación a las suposiciones hechas.

De lo anterior puede tomarse una gráfica con el siguiente procedimiento: fijando en una de las caras del pilote una hoja de papel o cartulina antes de completar el hincado, horizontalmente se coloca lo más cerca posible del pilote una regla que se sujeta a dos postes hincados en el terreno a una distancia suficiente para que no los afecte en su posición el movimiento del pilote, el pilote no debe rozar a la regla, durante una serie de golpes del martillo se desliza un lápiz a lo largo del filo de la regla y marcando sobre el papel con lo que se obtiene la gráfica que se muestra en la figura No. 26, en la que se muestra el movimiento total hacia abajo de la cabeza del pilote en cada golpe y el movimiento de recuperación hacia arriba que representa la suma de las cantidades que se citaron en el párrafo anterior.

Cuando se hincan pilotes de acero sin cachucha al rebote se obtiene el valor de  $C_2$  sola, siempre y cuando la fricción en el cuerpo del pilote sea pequeña, los valores obtenidos en la gráfica concuerdan bien con los calculados con la fórmula de Hooke, de manera que el pilote en estas circunstancias se puede considerar como un resorte que demuestra que los valores de  $R_u$  son directamente proporcionales a  $C_2$ ;  $C_1$  es más difícil de medir aislado y no es frecuente intentarlo; cuando se trabaja con martillo de caída libre, puede obtenerse con el siguiente método:

Se deja caer el martillo de varias alturas con las cuales se obtiene una penetración por golpe próximas a la penetración deseada; a una gráfica se llevan en las abscisas las penetraciones por golpe correspondientes a las diversas alturas de caída que se llevan en --



las ordenadas, prolongando esta gráfica que sería una línea recta hasta la intersección con el eje de -- las ordenadas, en esta intersección se obtiene la altura máxima para la cual la penetración es nula, esta es la medida de todas las pérdidas de energía representadas por el término  $1/2 (C_1 + C_2 + C_3)$  para esa altura de caída, las pérdidas adicionales son solo las debidas al impacto para cualquier altura mayor, representada por el último término de las fórmulas (A) y (A<sub>1</sub>), si se toma medida de  $C_2 + C_3$  como se describió antes, dicha lectura se puede restar de  $1/2 (C_1 + C_2 + C_3)$  para obtener los valores de  $C_1$  para información posterior.

Para escoger el valor de la compresión temporal en el suelo  $C_3$ , debe tomarse en cuenta la compresibilidad del estrato en que se encuentra

la punta del pilote y la del estrato subyacente, en caso de que el segundo de los estratos citados sea blando, deben usarse valores de los que se usarían si fuera duro.

Cuando se hincan pilotes inclinados con martillo de gravedad o

martillo de vapor de simple acción, se reduce la altura "h" de las fórmulas, en este caso se produce fricción contra las guías, tomán- dose como coeficiente de fricción 0.10 cuando "θ" es el ángulo del pilote con la vertical. La caída efectiva del martillo que se va a usar en las fórmulas es "h'", en lugar de "h", que está dada para martillos de gravedad, martillos de vapor de simple acción y martillos Diesel:

$$h' = h (\cos \theta - 0.10 \sin \theta) \dots\dots\dots (B)$$

Cuando se hincan pilotes inclinados con martillo de vapor de doble acción o de acción diferencial, la caída debida a la gravedad del borrar se reduce y la energía debida a la presión del vapor en el pistón permanece igual cualquiera que sea la posición del martillo, el valor efectivo de la energía  $M_e$ , en pies libras - que se debe usar en lugar de  $M$  en las fórmulas correspondientes - puede calcularse con la siguiente fórmula para los tipos de martillos citados arriba:

$$M_e = M - W_r \cdot h \left( \frac{1 - \cos \theta}{12} \right) \dots\dots\dots (B_1)$$

RELACIONES ENTRE DIVERSAS FÓRMULAS DINAMICAS.- Vamos a continuación a dar las relaciones entre las fórmulas dinámicas para hincado más frecuentemente empleadas y algunas indicaciones de su base común y sus puntos de contacto.

Partiremos de la fórmula (A) ya conocida que es la fórmula de Hiley:

$$R_u = \frac{ef \cdot W_r \cdot h}{s + 1/2(C_1 + C_2 + C_3)} \frac{W_r + e^2 \cdot W_p}{W_r + W_p} \text{ Fórmula de Hiley.. (A)}$$

Si no hubiera pérdidas, la resistencia al hincado se expresaría por la fórmula  $R_u \cdot s = W_r \cdot h$ , pero como hay pérdidas debidas a la eficiencia, impacto, compresiones elásticas en la cachucha, pilote y suelo, de la fórmula anterior se sustraen los conceptos enu- merados, resultante la siguiente expresión:

$$R_u = \frac{ef \cdot W_r \cdot h}{s} - \frac{ef \cdot W_r \cdot h}{s} \frac{W_p(1 - e^2)}{W_r + W_p} - \frac{R_u \cdot C_1}{2s} - \frac{R_u^2 \cdot l}{2A \cdot N \cdot s} - \frac{R_u \cdot C_3}{2s} \dots (C)$$

que se usa para martillos de gravedad, martillos de vapor de simple acción y para martillos Diesel.

Para martillos de vapor de doble acción y de acción diferen- cial se usa la siguiente fórmula:

$$R_u = \frac{12ef \cdot M_e}{s} - \frac{12ef \cdot M_e}{s} \frac{W_p(1 - e^2)}{W_r + W_p} - \frac{R_u \cdot C_1}{2s} - \frac{R_u^2 l}{2A \cdot N \cdot s} - \frac{R_u \cdot C_3}{2s} \dots (C_1)$$

En esta se ha afectado de un coeficiente 12 al término que -- contiene la energía con el fin de homogeneizarla y utilizar las -- energías tabuladas que están dadas en libras-pies, en estas fórmu- las hacemos  $M_e \cdot l / A \cdot N = C_2$  y haciendo operaciones obtenemos la fórmu- la de Hiley; modificando empíricamente los coeficientes de esta  $C_1$  tíma y se adopta un coeficiente de seguridad igual a 3, se obtiene la siguiente fórmula del Código Nacional Canadiense de la Construc- ción.

$$R = \frac{4n \cdot W_r \cdot H}{s \uparrow C/2} \text{ Canadian National Building Code F6rmula .....(D)}$$

en la que:  $n = \frac{W_r \uparrow e^2 \cdot W_p}{W_r \uparrow W_p}$ , para pilotes de fricci6n.

$$n = \frac{W_r \uparrow 0.50e^2 \cdot W_p}{W_r \uparrow W_p}, \text{ para pilotes trabajando de punta.}$$

$$C = \frac{3R}{A} \left( \frac{1}{E} \uparrow 0.0001 \right)$$

El valor resultante se usa para martillos de caida libre, se afecta de un coeficiente de 0.90 para martillos de vapor de simpleccion y de 0.80 para martillos de gravedad que en el movimiento de descenso arrastren el cable que est6 enrollado en un carrete.

Si se supone que no hay p6rdidas el6sticas en la cachucha o en terreno suelto, la f6rmula (C) se convierte en:

$$R_u = \frac{ef \cdot W_r \cdot h}{s} - \frac{ef \cdot W_r \cdot h \cdot \frac{W_p (1 - e^2)}{W_r \uparrow W_p}}{s} - \frac{R_u^2 \cdot l}{2A \cdot E \cdot s} \text{ ..... (D)}$$

Ahora supongamos que el martillo es eficiente 100 por ciento, - por lo cual en la anterior omitimos el t6rmino ef y la resolvemos - para Ru:

$$R_u = \frac{A \cdot E}{I} \left[ -s \uparrow \sqrt{s^2 \uparrow W_r \cdot h \left( \frac{W_r \uparrow e^2 \cdot W_p}{W_r \uparrow W_p} \right) \frac{2l}{AE}} \right] \text{ (F6rmula Univer} \text{ (sal o de Stern) (E)}$$

Si se supone que el impacto es perfectamente inel6stico en lugar de semiel6stico, o sea  $e = 0$ , la f6rmula de Stern se transforma en:

$$R_u = \frac{A \cdot E}{I} \left[ -s \uparrow \sqrt{s^2 \uparrow \left( \frac{W_r^2 \cdot h}{W_r \uparrow W_p} \right) \frac{2l}{AE}} \right] \text{ F6rmula de Redtenbacher ..... (F)}$$

Y si la p6rdida por impacto se desprecia totalmente llegamos - al siguiente resultado:

$$R_u = - \frac{s \cdot A \cdot E}{I} \uparrow \sqrt{\frac{2W_r \cdot h \cdot A \cdot E}{I} + \left( \frac{s \cdot A \cdot E}{I} \right)^2} \text{ F6rmula de Weisbach ..... (G)}$$

En las f6rmulas (E), (F) y (G) los autores supusieron "L" como la longitud total del pilote. Si se supone que el martillo es eficiente mec6nicamente 100 por ciento, y si en lugar de considerar -- las p6rdidas el6sticas en la cachucha o terreno suelto se usa el doble del promedio de la p6rdida el6stica considerando la longitud total del pilote, suponiendo valores fijos para "e", la f6rmula (A) -- se transforma en:

$$R_{ut} = \frac{12W_r \cdot H \cdot \frac{W_r \uparrow K \cdot W_p}{W_r \uparrow W_p}}{s \uparrow \frac{24 \text{ COOR} \cdot l}{A \cdot E}} \text{ Pacific Coast Uniform Building Code Formula ..... (H)}$$

En la cual:

$Ru_f$  = Resistencia final al hincado, en toneladas -  
inglesas, se especifica que se debe de aplicar un factor de seguridad 4 para obtener la carga de trabajo en toneladas inglesas.

$Wr_f$  = Peso de la parte golpeante en toneladas.

$Wp_t$  = Peso del pilote en toneladas.

$K$  = 0.25 para pilotes de acero y 0.10 para otros -  
pilotes.

Ahora supongamos que el impacto es perfectamente elástico y -  
que el pilote queda completamente incrustado en el terreno traba-  
jando a fricción únicamente sin ningún trabajo como columna, de ma-  
nera que la distancia de la cabeza al centro de resistencia sea  $\frac{1}{2}$ , con las suposiciones anteriores obtenemos la siguiente fórmula:

$$Ru = \frac{2A \cdot E \cdot s}{1} \left( \sqrt{1 + \frac{Wr \cdot h \cdot l}{s^2 \cdot EA}} - 1 \right) \text{ Fórmula de Rankine..... (I)}$$

Si en la fórmula (A) suponemos que la eficiencia mecánica es-  
100 por ciento y que el impacto es perfectamente inelástico y que-  
no hay pérdidas elásticas, obtenemos la siguiente fórmula:

$$Ru = \frac{Wrh}{s} \frac{Wr}{Wr + Wp} \text{ Fórmula holandesa..... (J)}$$

Con esta fórmula se acostumbra usar un factor de seguridad de  
10 cuando se hince con martillo de gravedad y de 6 con martillo de  
vapor.

Incluyendo en la fórmula anterior los pesos del martillo y el  
pilote se obtiene:

$$Ru = \frac{Wrh}{s} \frac{Wr}{Wr + Wp} + Wr + Wp \text{ Fórmula de Ritter..... (K)}$$

Tomando H en pies y suponiendo un factor de seguridad de 6 po-  
demos escribir la fórmula holandesa en la forma siguiente para ob-  
tener la aplicable a martillos de gravedad:

$$R = \frac{2Wr \cdot H}{s \left( 1 + \frac{Wp}{Wr} \right)} \text{ Fórmula de Kytelwein... (L)}$$

Para aplicarla en martillos de vapor de simple acción y de do-  
ble acción, la fórmula anterior se modifica para obtener las si-  
guientes:

Simple acción:

$$R = \frac{2Wr \cdot H}{s + 0.1 \frac{Wp}{Wr}} \text{ ..... (L1)}$$

Doble acción:

$$R = \frac{2(W_r \uparrow A_p)}{s \uparrow 0.1 \frac{W_p}{W_r}} \dots\dots\dots (L_2)$$

En la que:

A = Area efectiva del pistón en pulgadas cuadradas.

p = Presión media efectiva del vapor o aire en libras por pulgada cuadrada.

Si se toma H en pies, se supone un factor de seguridad de 6 y se modifica en la fórmula (L<sub>1</sub>) la relación W<sub>p</sub>/W<sub>r</sub> afectándola del factor 0.3s en lugar de 0.1 tenemos:

$$R = \frac{2W_r \cdot H}{s \left( 1 \uparrow 0.3 \frac{W_p}{W_r} \right)} \text{ Fórmula de Navy y McKay.. (K)}$$

En la fórmula (A) se desprecia totalmente la pérdida por impacto, la eficiencia mecánica se supone igual al 100 por ciento, las -- pérdidas elásticas en la cachucha, pilote y suelo representados por un término constante de 1.0, se toma H en pies y luego se multiplica por 12 y se afecta de un factor de seguridad 6 con lo cual se obtiene la siguiente fórmula útil para usarse con martillo de gravedad, - de la cual se obtienen cargas de trabajo en lugar de capacidad de -- carga total:

$$R = \frac{2W_r \cdot H}{s \uparrow 1.0} \text{ Fórmula del Engineering News..... (N)}$$

La fórmula (N) con objeto de aplicarla a martillos de vapor de simple acción se modifica cambiando el término 1.0 por 0.1,

Simple acción:

$$R = \frac{2W_r \cdot H}{s \uparrow 0.1} \dots\dots\dots (N_1)$$

Doble acción y acción diferencial:

$$R = \frac{2En}{s \uparrow 0.1} \dots\dots\dots (N_2)$$

Las fórmulas (N<sub>1</sub>) y (N<sub>2</sub>), pueden ser expresadas como sigue, --- siendo n el número de golpes por pie de penetración.

Simple acción:

$$R = \frac{20n}{120 \uparrow n} W_r \cdot H \text{ Fórmula de la Vulcan Iron Works.. (N)}$$

Doble acción y acción diferencial:

$$R = \frac{20n}{120 \uparrow n} En \dots\dots\dots (N_1)$$

La United States Steel Co. modifica la fórmula del Engineering News, variando la constante del numerador como sigue:

Martillos de gravedad:

$$R = \frac{F \cdot W_r \cdot H}{s \uparrow 1.0} \quad \text{Fórmula de la United States Steel Co.... (O)}$$

Simple acción:

$$R = \frac{F \cdot W_r \cdot H}{s \uparrow 0.1} \dots\dots\dots(01)$$

Doble acción y acción diferencial:

$$R = \frac{F \cdot H (W_r \uparrow A \cdot p)}{s \uparrow 0.1} \dots\dots\dots(02)$$

En las cuales:

F = 2 para pilotes hincados al rebote o practicamente en cualquier clase de material.

F = 6 para pilotes de hincado fácil en arenas y gravas.

F = 4 para pilotes hincados con facilidad en barro duro y barro arenoso.

F = 3 para pilotes hincados con facilidad en terrenos arcillo-arenosos o de arena con fango en partes aproximadamente iguales.

F = 2 para pilotes hincados con facilidad en depósitos aluviales, barroes suaves y fango.

A = área efectiva del pistón en pulgadas cuadradas.

p = presión media efectiva del vapor o aire en libras por pulgada cuadrada.

La siguiente fórmula es otra modificación de la (N<sub>1</sub>):

$$R = \frac{2W_r \cdot H}{s \uparrow 0.3} \quad \text{Fórmula del Depto. de Muelles y Patios.. (P)}$$

$$R = \frac{W_r \cdot h}{2s} \uparrow W_r \uparrow W_p \quad \text{Fórmula de Benabencq..... (Q)}$$

Si a la fórmula IV (R<sub>u.s</sub> = W<sub>r</sub>·h) le introducimos un factor de seguridad igual a 8, obtenemos la siguiente fórmula:

$$R = \frac{W_r \cdot h}{8s} \quad \text{Fórmula de Sanders..... (R)}$$

Usando en la misma fórmula un factor de seguridad de 6, obtenemos:

$$R = \frac{W_r \cdot h}{6s} \quad \text{Fórmula de Merriman..... (S)}$$

La fórmula de Goodrich es una simplificación de otra muy extensa que contiene 25 términos que se refieren a condiciones del pilote, -- martillo, cachucha y suelo, se pretendía usarla solo para pilotes de-

madera y martillos de gravedad con una altura de caída alrededor de unos 15 pies con penetraciones de 1.0 pulgadas; bajo estas condiciones el autor pensó que se obtendría una aproximación en los resultados arriba del 90 por ciento de los obtenidos con la fórmula larga original, la fórmula compendiada es la siguiente:

$$R = \frac{10Wr.H}{3s} \quad \text{Fórmula de Goodrich ..... (T)}$$

La siguiente fórmula fué la primera en la cual las recuperaciones elásticas del pilote y del suelo, medidas en una gráfica obtenida en el pilote, fueron incluidas:

$$Ru = X \left[ -1 + \sqrt{1 + \frac{Y}{X(2s + \lambda')}} \right] + Wr + Wp \quad \text{Fórmula de Kafka(U)}$$

En la cual:

$$X = (2s + \lambda') \frac{AE}{L}$$

$$Y = 6Wr.h \frac{Wr + e^2.Wp}{Wr + Wp}$$

$$\lambda' = s + C2 + C3$$

La siguiente fórmula solo se usa con martillos de gravedad:

$$Ru = \frac{h_1 - h_2}{s_1 + s_2} W_r \quad \text{Fórmula de Kreuter..... (V)}$$

En la cual:

$h_1$  y  $h_2$  son diferentes alturas de caída del martillo.

$s_1$  y  $s_2$  penetración promedio del pilote por golpe pa ra cada "h".

Para obtener resultados satisfactorios con la fórmula anterior,  $h_1$  y  $h_2$  no deben ser muy diferentes y deben estar cercanas al valor de  $h$  máximo que no produce asentamiento. los valores que producen grandes asentamientos no pueden usarse aunque la diferencia entre ambos valores sea pequeña, esto se debe a que las pérdidas de energía crecen al aumentar la energía del golpe; esta fórmula dá la resistencia final al hincado; la punta del pilote debe estar en el mismo estrato y las series de golpes con diferentes alturas de caída deben ser consecutivas con el objeto de evitar que intervengan otras variables.

Si bajo la primer serie de golpes el pilote avanza demasiado, - la siguiente serie se debe dar con golpes más suaves, si el asentamiento o penetración de pilote es pequeño, los golpes deben ser más fuertes en la siguiente serie.

Analizando cuidadosamente cada una de las fórmulas que se han citado pueden verse los inconvenientes y ventajas que ofrecen según el caso, por ejemplo en la fórmula Holandesa (J) puede verse que ---

cuando "s" se aproxima a cero, Ru se aproxima a infinito con lo que nos podemos dar cuenta que esa fórmula no es útil para usarse cuando las penetraciones son pequeñas; así mismo podemos darnos cuenta que en la fórmula del Engineering News (N) no se toma en cuenta el peso del pilote, aunque es evidente que las penetraciones obtenidas hincando un pilote de madera serían muy diferentes de las que se obtendrían hincando un pilote pesado de acero o de concreto.

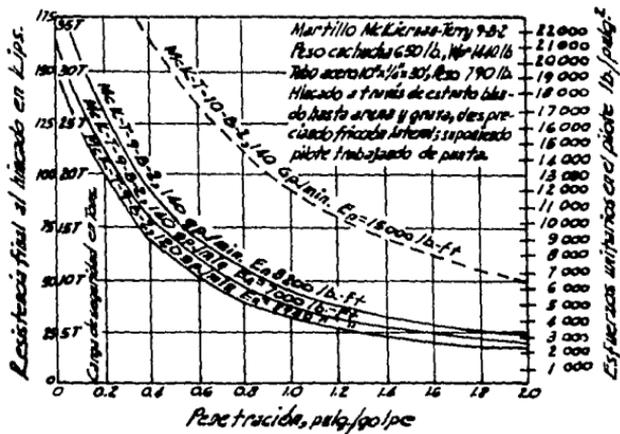
Con el objeto de estudiar el problema y para usarse en el campo, se pueden preparar gráficas con las fórmulas anteriores, en las cuales se ponen como abscisas las penetraciones por golpe y como ordenadas las resistencias al hincado o cargas de trabajo según el caso, estas gráficas son muy útiles para el control del hincado por- que se puede fácilmente y de una manera rápida en cualquier momen- to, encontrar el valor de la resistencia correspondiente a una pene- tración obtenida en el campo; las gráficas pueden construirse con facilidad suponiendo varias resistencias al hincado diferentes y re- solver las fórmulas para los correspondientes valores de "s". Esto- resulta más sencillo que suponer valores a "s" y resolviendo las -- fórmulas para Ru, ya que en este caso, en varias fórmulas el valor- de Ru está contenido en el de C2, lo que ocasiona que se tenga que- operar por tanteos.

Las curvas, fig. No. 28, muestran gráficamente las resistencias para cada una de las penetraciones y son de interés especial cuando el hincado se hace más difícil y se aproxima al rebote; la disminu- ción de la pendiente en la curva cuando aumenta el número de golpes por pulgada, indica que más allá de ciertos límites, el valor de la capacidad de carga se ve poco afectada por el aumento del número de golpes por pulgada de penetración.

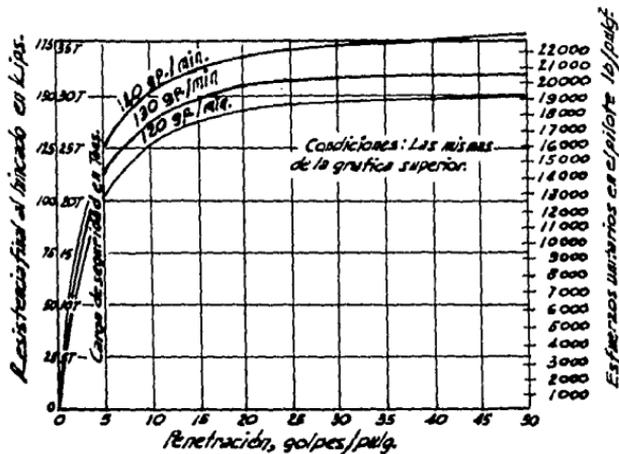
Los esfuerzos unitarios en el pilote, pueden calcularse divi- diendo la capacidad de carga por el área del pilote en el punto que se analice; en las gráficas se puede marcar con líneas horizontales los valores límite de los esfuerzos máximos permisibles durante el- hincado, las penetraciones mínimas permisibles pueden leerse en el- punto de intersección de la horizontal con la curva.

Después de obtener el valor de Ru se recomienda que las pérdi- das de la energía aplicada debidas a causas diversas se ratifiquen- en el hincado para probar la eficiencia del equipo que se usa para- posteriormente comprobarla calculando Ru con una de las siguientes- fórmulas ya conocidas que anteriormente se anotaron con (C) y (C1); en ellas señalaremos el significado de cada término:

Energía neta efeg- tiva disponible -- para el hincado = Resistencia final al hincado con la penetración obte- nida con el últi- mo golpe.	Energía C1 nética to- tal aplica da con el- martillo.	Pérdida de eneg- gía debida al - impacto.	Pérdida de energía- debida a la compres- ión elástica imper- fecta de:		
			Cabeza del pi- lote.	Pilote	Suelo
Ru.s	= $ef.Wr.h$	= $ef.Wr.h \frac{Wp(1-e^2)}{Wr + Wp}$	$\frac{Ru.C1}{2}$	$\frac{Ru^2.l}{2}$	$\frac{Ru.C3}{2}$
Ru.s	= $12ef.Ea$	= $12ef.EaWp \frac{1 - e^2}{Wr + Wp}$	$\frac{Ru.C1}{2}$	$\frac{Ru^2.l}{2}$	$\frac{Ru.C3}{2}$



Curva de asentamientos-resistencias



Curva de asentamientos-resistencias

Fig. N° 28

UNIVERSIDAD NAL. AUTONOMA
ESCUELA NACIONAL DE INGENIEROS
TESIS PROFESIONAL
ROBERTO LIRA MEZA
1954

Las fórmulas precedentes, son auxiliares valiosos para la elección del peso apropiado del martillo que se vaya a usar en un caso particular, ya que se puede observar la proporción de la energía -- útil a la energía gastada; en un hincado eficiente y económico, una buena parte de la energía aplicada debe permanecer disponible para el hincado; por razones de economía y de seguridad en los resultados obtenidos, debe usarse un martillo de eficiencia adecuada y es mejor escoger uno que esté en el lado de los pesados que en el de los ligeros y en general debe ser tan grande como se pueda usar con seguridad sin dañar el pilote, los esfuerzos calculados en el pilote deben compararse con el del punto de fluencia del material del pilote afectado de un factor de seguridad tal que se tenga la certeza de que no será rebasado.

FORMULA ESTATICA.- Antes de decidir la longitud de pilotes, es necesario considerar las longitudes totales embutidas de los pilotes en estratos que resisten cargas por fricción y las capacidades de carga resultantes estrictamente desde el punto de vista de la fricción, después de deducir el porcentaje correspondiente a la resistencia de punta que se supone que intervendrá para servir como comprobación aunque sea burda para las longitudes proyectadas.

En proyectos de importancia deben hacerse pruebas directas en el terreno para determinar los valores de la fricción, los valores que se encuentran en algunas tablas son solo promedios que pueden servir para estudios preliminares pero no deben usarse en casos particulares porque pueden variar mucho; para pequeños proyectos puede resultar más barato prolongar los pilotes hincados que hacer pruebas.

La fórmula estática se expresa en la siguiente forma:

$$f_u = \frac{R_u - R_t}{A_s}$$

En la cual:

$f_u$  = Valor de la fricción en libras por pie cuadrado.

$R_t$  = Carga que se supone soportada por la punta del pilote en libras.

$A_s$  = Area de las caras de la porción de pilote que trabajan a la fricción en pies cuadrados.

El porcentaje de la carga que soporta la punta del pilote varía con el suelo, pilote y método de colocación; varía con la carga y puede permanecer sin actuar a menor que la carga sea lo suficientemente grande para llegar a la punta; en arenas y gravas firmes la resistencia de punta puede llegar a ser la tercera parte de la carga total, en arenas sueltas la resistencia de punta es menor, en arcilla dura la resistencia es considerable y en arcilla blanda es prácticamente nula. La resistencia por fricción y la de punta no siempre actúan simultáneamente.

Después de que se ha determinado la capacidad de carga final, con todas sus correcciones, de un pilote, este valor hay que dividirlo por un factor de seguridad conveniente para obtener la carga-

de trabajo o de proyecto por pilote; con la fórmula dinámica se acostumbra usar un factor de seguridad de 2 a 2.5 para la de Hiley, para la del Engineering News se usa un factor de seguridad de 6, que ya va incluido en ella.

El factor de seguridad que se usa con los valores finales de la fricción, es con frecuencia más bajo que el correspondiente a la fórmula dinámica, si ese valor de la fricción es conocido, ya sea por una prueba de extracción o por una prueba de carga después de deducir la cantidad correspondiente a la resistencia de punta, si no intervienen otras variables, es posible acercar los valores de la de trabajo a la final.

Hay una gran tendencia a despreciar la fricción estática y guiar el hincado únicamente por la fórmula dinámica y suspenderlo cuando se ha alcanzado una penetración por golpe satisfactoria, esto se opone a menudo con otras condiciones que requieren una penetración mayor que causan un hincado más difícil y más lento; el factor de seguridad debe mantenerse lo más bajo posible, pues si se trata de aumentar se pueden encontrar muchas dificultades que resultan anti-económicas e innecesarias, en relación con lo que se gana en el factor de seguridad; sin embargo, el proyectista no debe forzarse a aceptar por lo anterior un factor de seguridad menor que el que ha analizado y ha aceptado como bueno para un caso particular. De ser posible, se debe buscar que el factor de seguridad ande alrededor de 1.5, este ha sido el mínimo que se ha usado y que se ha establecido por la práctica como el límite más bajo, queda también dentro de lo que se requiere por las pruebas de carga que se especifica debe ser entre 1.5 y 2.0; su valor puede estar regido por las condiciones y características del suelo, de la estructura y de la clase de cargas.

Cuando se trata de seleccionar el valor para el factor de seguridad, debe tenerse muy en cuenta la relación entre carga viva y carga muerta, en los casos de pilotes trabajando de punta o en los que el estrato que rodea al pilote y el que se encuentra bajo la punta es un material no cohesivo, no se necesita hacer distinción entre dichas cargas ya que el peligro de futuros asentamientos es remoto; cuando el pilote transmite su carga a un estrato cohesivo, que rodea al pilote, debe hacerse distinción entre ambas tomando en cuenta la intensidad y duración de las cargas vivas que intervengan ya que de estos factores depende que llegue o no a expulsarse el agua contenida en el suelo, lo que se traducirá en asentamientos, cuando en el cálculo se toma en consideración el efecto de los sismos, el factor de seguridad se duplica, o se disminuye la separación entre pilotes.

#### FORMULAS ESTATICAS.-

$$R_u = \frac{m \cdot d \cdot w \cdot L}{4} \tan^2 \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} \right) \left[ \frac{d \cdot \tan^2 \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} \right)}{2 \sin a} + L_1 \cdot \tan \phi \right] - W_p \dots \text{(IIA)}$$

En la cual:

m = Relación entre el perímetro y el semidiámetro.

d = Diámetro o dimensión menor.

a = Medio ángulo de la punta.

W = Peso del suelo por pie cúbico.

L = Longitud del pilote dentro del suelo en pies.

Se recomienda un factor de seguridad de 4 a 6.

Esta fórmula estática, teórica, se basa en la siguiente suposición: que la fricción aumenta directamente con el espesor del suelo, esto no va de acuerdo con las investigaciones recientes en las cuales no se toma en cuenta la diferencia en los estratos, también se supone que el suelo no es cohesivo y que la resistencia a la distorsión del mismo solo se debe a la fricción interna, de acuerdo con la teoría de Rankine.

$$R_u = A.L.W + w.p \left( \mu' \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} \frac{L}{2} + \mu \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} \frac{L_1^2}{2} \right) \text{ Fórmula de Vierendesel (IIB)}$$

En la cual:

$\mu$  = Fricción del suelo sobre el pilote, su valor para pilotes de concreto en terrenos promedio es como máximo 0.33 y para terrenos blandos de arcilla es 0.25 máximo.

$\mu'$  = Fricción del suelo sobre el pilote  $\hat{=} 1/3 \mu$

p = Perímetro del pilote.

$L_1 = L / 2$

L = Longitud del pilote.

Se recomienda un factor de seguridad entre 3 y 6.

Las siguientes fórmulas son útiles para pilotes de caras normales y para pilotes cuya sección decrece gradualmente:

$$R = w \cdot \tan^2 \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} \right) A.l_1 + \frac{\pi d_o \mu \cdot W}{2} (1 + \tan^2 \phi) l_2^2 \text{ Fórmula de Dorr. (IIC)}$$

$$R = \frac{\pi \cdot w \cdot \tan^2 \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} \right) l_1 (d_o + d_o \cdot d_1 + d_1^2 + 2\mu \cdot d_o \cdot l_1 + 4\mu \cdot d_1 l_1)}{12} \text{ (IID)}$$

Las anteriores son las fórmulas de Dorr en las cuales:

$d_o$  = diámetro al nivel del suelo.

$d_1$  = diámetro en la base.

$l_1$  = longitud de pilote dentro del terreno.

Los valores calculados con ella dan una carga de trabajo directamente, pero se recomienda un factor de seguridad entre 1.5 y 2.0; para fines de la práctica el valor de " $\mu$ " se puede tomar entre 0.75 -  $\tan \phi$  y 1.00  $\tan \phi$ , el primer término de la fórmula (IIC) representa-

la capacidad de carga del pilote debida a la resistencia de punta y el último la debida a la fricción, se usan mucho en Europa.

$$R_u = \frac{\mu \left( \frac{1 + \operatorname{sen} \phi}{1 - \operatorname{sen} \phi} \right)}{1 + \mu \left( \frac{1 + \operatorname{sen} \phi}{1 - \operatorname{sen} \phi} \right)} \frac{w \cdot \pi \cdot D \cdot l^2}{2} \quad \text{Fórmula de Griffith..... (IIE)}$$

En la que:

D = Area lateral del pilote.

La siguiente fórmula dá dos valores para la capacidad de carga:

Valor mínimo:

$$R_u = \frac{A}{144} w L_1 \left( \frac{1 + \operatorname{sen} \phi}{1 - \operatorname{sen} \phi} \right)^2 + S_1 \cdot \mu \cdot w \cdot L_1 \left( \frac{1 - \operatorname{sen} \phi}{1 + \operatorname{sen} \phi} \right) \quad \text{Fórmula de Patton..... (IIF)}$$

Valor máximo:

$$R_u = \frac{A}{144} w L_1 \left( \frac{1 + \operatorname{sen} \phi}{1 - \operatorname{sen} \phi} \right)^2 + S_1 \cdot \mu \cdot w \cdot L_1 \left( \frac{1 + \operatorname{sen} \phi}{1 - \operatorname{sen} \phi} \right) \quad \text{..... (IIF}_1\text{)}$$

En la cual:

$S_1$  = Area del pilote en contacto con el suelo.

$L_1$  = Longitud del pilote dentro del terreno.

El primero de los términos representa la capacidad de carga -- por resistencia de punta y el último la resistencia por fricción; -- en la fórmula (IIF) el último término tiende a cambiar el último -- término de la (IIF<sub>1</sub>) en suelos no cohesivos debido a la compacta-- ción durante el hincado. En suelos cohesivos el valor aparente de -- " $\mu$ " aumenta después de que el hincado ha cesado, el factor de se-- guridad varía de 2.0 cuando  $\phi = 15^\circ$  y 1.25 cuando  $\phi = 35^\circ$ .

$$R_u = \frac{A \cdot L_1 \cdot w}{144} \left( \frac{1 + \operatorname{sen} \phi}{1 - \operatorname{sen} \phi} \right)^2 + 4L_1 \cdot f \sqrt{\frac{A}{144}} \quad \text{Fórmula de Howe..... (IIG)}$$

En la que:

f = Fricción en el suelo en libras por pie cuadrado.

$$R_u = w \cdot l_1 \left( \frac{1 + \operatorname{sen} \phi}{1 - \operatorname{sen} \phi} \right) \left[ \frac{2 \cdot \mu \cdot l_1}{2} + \frac{A}{144} \left( \frac{1 + \operatorname{sen} \phi}{1 - \operatorname{sen} \phi} \right) \right] - W_p \quad \text{... (IIH)}$$

La anterior es la fórmula de Bennett, para obtener la carga de trabajo se debe usar un factor de seguridad adecuado.

$$R = \frac{A \cdot B}{144} + S_1 \cdot F$$

Fórmula de Patton..... (III)

En la cual B y F son constantes para las cuales se recomiendan los siguientes valores dados en libras por pulgada cuadrada para ambas:

Clase de suelo	B (lb/pie <sup>2</sup> )	F (lb/pie <sup>2</sup> )
Materia sedimentaria o fango liquido...	0	150
Arcilla ordinaria o tierra, húmeda.....	2 000	150
" " " " " seca.....	3 000	300
Arcilla dura compacta.....	5 000	300
Arena o arena con grava.....	5 000	500

$$R = F.S_1 \uparrow \frac{4A.B}{144} \quad \text{Fórmula de Arrol..... (IIF)}$$

Clase de suelo	B (Ton/pie <sup>2</sup> )	F (Ton/pie <sup>2</sup> )
Sedimento muy blando.....	0	0.07
Fango algo rígido.....	0.25	0.09
Arcilla húmeda.....	1.00	0.10
Arcilla seca.....	1.50	0.20
Arcilla dura compacta.....	3.00	0.20
Arena o arena con grava.....	5.00	0.25

Los valores de esta tabla son para usarse con la fórmula de ---- Arrol.

FORMULAS EMPIRICAS.- Vamos a mencionar las más conocidas, comenzaremos con la de Wilcoxon se base en modelos de prueba a tamaño reducido afectando a los resultados de un factor de seguridad de 6.

$$R = \frac{W_r.H}{(S)^n} \quad \text{Fórmula de Wilcoxon..... (IA)}$$

En la cual:

S = Penetración por golpe en pies.

n = Constante que varía entre 0.60 y 1.00, aproximándose a 1.00 conforme los suelos se vuelven rígidos y densos.

$$R = \frac{N.W_r.H}{L(1+s)} \sqrt{\frac{L}{50}} \quad \text{..... (IB)}$$

En la cual:

N = Número total de golpes.

L = Longitud total hincada de pilote en pies.

Esta fórmula se usa en suelos limosos que se consideran inestables pero que dan capacidad de carga por fricción suficiente para pilotes largos; los valores típicos en la aplicación de esta fórmula son: S = 1.5 pulg. W<sub>r</sub> = 2.0 Ton. H = 4.0 pies L = 60.0 pies R = 30.0 Ton.

$$R_u = \frac{46W_r \sqrt[3]{H}}{s \uparrow 1.0} \quad \text{Fórmula de Trautwine..... (IC)}$$

El autor recomienda que los factores de seguridad no sean menores de 2 para pilotes hincados totalmente en suelo firme y no menores de 6 para pilotes hincados en lodo de río y no menores del doble de los anteriores para pilotes que vayan a soportar esfuerzos provenientes de sismos.

Una fórmula que se puede usar con martillos de gravedad es la siguiente:

$$R_u = \frac{12W_r^2 \cdot H \cdot W_p}{s (W_r \uparrow W_p)^2} \quad \text{Fórmula de Brix y Becker..... (ID)}$$

Una variación de la fórmula anterior que se usa mucho en Europa en la que se usa un coeficiente de seguridad de 8.

$$R = \frac{4W_r^2 \cdot W_p \cdot h}{n \cdot s (W_r \uparrow W_p)^2} \quad \text{..... (IE)}$$

Para martillos de gravedad se usa también la siguiente fórmula:

$$R_u = \frac{12W_r^3 \cdot H}{s (W_r \uparrow W_p)^2} \quad \text{Fórmula de Nystrom..... (IF)}$$

$$R_u = \frac{\left(0.3 \uparrow \frac{W_r}{5W_p}\right) W_r \cdot h}{s \uparrow \left(\frac{M \cdot v}{I} \uparrow \frac{L}{n}\right) \tan \phi} \quad \text{Fórmula de Minikin..... (IG)}$$

En la que:

p = Perímetro del pilote en pulgadas.

l = Longitud dentro del terreno del pilote en pulgadas.

L = Longitud total del pilote en pies.

n = 200 para suelos blandos y de consistencia media y arcillas.

n = 100 para arcillas duras, arenas compactas y gravas.

φ = Angulo de fricción interna virtual del terreno. - Para suelos blandos φ vale de 25 a 30 grados, para suelos medios φ vale de 30 a 38 grados y para suelos duros φ vale de 38 a 45 grados.

Angulo de reposo, grados	20	25	30	35	40	45
Valores de " m "	3.2	2.8	2.5	2.0	1.7	1.5

Se recomienda un factor de seguridad de 2.0 excepto en el caso en que se ejerza en los pilotes la acción dinámica de las mareas en cuyo caso el factor que se usa es 2.5

Las fórmulas de Faber son muy usadas en Inglaterra y son las que se anotan a continuación para pilotes colocados en suelos de consistencias diversas.

Pilotes en arena o balasto:

$$R_u = \frac{W_r \left( h - \frac{d}{z} \right)}{s \uparrow x \cdot h} \quad \text{Fórmula de Faber..... (IH)}$$

Pilotes en arcilla:

$$W = R_u \uparrow T = \frac{W_r \left( h - \frac{d}{z} \right)}{s \uparrow p \cdot x \cdot h} \uparrow 112A \quad \text{.....(IH}_1\text{)}$$

En la que:

$$x = \frac{2 \sqrt{\frac{W_r}{2A} \left( \frac{1}{E} + \frac{l_1}{E_1} \right)}}{3 \sqrt{3d/z}}$$

d = Diámetro del pilote en pulgadas.

z = Constante aproximadamente 7.

l<sub>1</sub> = Espesor del colchón después de comprimido, en pulgadas.

E<sub>1</sub> = Módulo de elasticidad del colchón.

= 12.5 toneladas por pulgada cuadrada para viruta de madera.

= 8.0 " " " " " cartón corrugado.

= 5.5 " " " " " fieltro.

A = Área de la sección transversal del pilote en pulgadas cuadradas.

W = Capacidad de carga total del pilote en libras.

T = Amarre del pilote con el suelo después de reposo, un valor conservativo es de 112 lb por pie cuadrado de área del pilote dentro del terreno.

p = plasticidad o índice de fluidez de la arcilla.

Se recomienda un factor de seguridad de 2.

**EJEMPLOS NUMERICOS.**- Vamos a comenzar con una aplicación de las fórmulas dinámicas para determinar la penetración por golpe para -- una capacidad de carga de trabajo dada y al mismo tiempo el análisis de las pérdidas de energía en sus diferentes conceptos.

En vista de que todas las fórmulas están calculadas para el -- sistema de unidades inglesas, vamos a trabajar en el mismo sistema para evitar complicaciones al tener que traducir las unidades de -- uno a otro sistema así como al tomar los datos de las tablas que están también en unidades inglesas, siempre resulta más fácil traducir los datos de un problema que traducir todas las fórmulas y datos que se utilizan en el curso de la solución, si así se requiere, al final se traducen los resultados.

Los datos supuestos son los siguientes:

Condiciones del suelo:

1.50 m = 5 pies de tierra superficial con material de relleno reciente.

6.00 m = 20 pies de arcilla blanda.

0.60 m = 2 pies de arena.

6.00 m = 20 pies de grava.

1.50 m = 5 pies de arcilla tepetatesa sobre manto de roca.

Se va a usar un martillo McKiernan-Terry 9-B-2 de doble acción operando a una velocidad de 140 golpes por minuto.

Energía desarrollada a esa velocidad = 8 200 lb-pie, Tabla No. 8.

Se va a hincar un pilote de tubo de 10 pulg. de diámetro de 30 pies de longitud y un peso total de 790 lb, el tubo se llenará después de hincado con concreto.

Peso de la cachucha = 650 lb.

$$W_p = 790 + 650 = 1440 \text{ lb.}$$

$$W_r = 1500 \text{ lb.}$$

$$e_f = 0.95$$

$$e = 0.40$$

$$R = 30 \text{ Ton (carga de trabajo)}$$

$$\text{factor de seguridad} = 2.5$$

-----

$$R_u = 30 \times 2000 \times 2.5 = 150\,000 \text{ lb.}$$

T A B L A No. 18

COMPRESION TEMPORAL PERMISIBLE "C" PARA LA CABEZA DEL PILOTE Y LA CACHUCHA

	Hincado fácil p1=500 lb/pulg <sup>2</sup> en la ca- beza o ca chucha.	Hincado medio p1=1000 lb/pulg <sup>2</sup> en la ca- beza o ca chucha	Hincado duro p1=1500 lb/pulg <sup>2</sup> en la ca- beza o ca chucha	Hincado muy duro p1=2000 lb/pulg <sup>2</sup> en la ca- beza o ca chucha
Cabeza de pilote de ma- dera	0.05	0.10	0.15	0.20
Colchón amortiguador de 3 a 4 pulg. de espesor- dentro de la cachucha - de pilotes de concreto- precolados.	0.05,0.07	0.10,0.15	0.15,0.22	0.20,0.30
Fibra entretrejida de -- 0.5 a 1.0 pulg. de espe- sor solo en la cabeza - de pilotes de concreto- precolados.	0.025	0.05	0.075	0.10
Cachucha para pilotes - de acero o de tubo con- teniendo empaque de ma- dera.	0.04	0.08	0.12	0.16
Disco de 3/16" de espe- sor de fibra entre dos placas de acero de 3/8" para usarse en pilotes- "Monotube" bajo condi- ciones severas de hinc <u>a</u> do.	0.02	0.04	0.06	0.08
Cabeza de pilotes de -- acero o de tubo.	0	0	0	0

NOTA.- La primera cifra representa la compresión de la cachucha y el material amortiguador que se usa en ocasiones sobre la misma para recibir el golpe del borrego para que no haya choque de acero sobre acero, la segunda cifra representa la compresión del colchón amortiguador de madera -- que se coloca entre la cachucha y la cabeza del pilote; los valores representan condiciones promedio que pueden usarse con buenos resultados.

T A B L A No. 19

VALORES DE LA COMPRESION TEMPORAL DE "C<sub>2</sub>". PARA PILOTES

Tipo de pilote	Hincado fácil p <sub>2</sub> =500 lb/pulg <sup>2</sup> para pilo- tes de ma- dera o -- concreto, p <sub>2</sub> =7 500 lb/pulg <sup>2</sup> para sec- ción neta de acero- en pulg.	Hincado medio p <sub>2</sub> =1000 lb/pulg <sup>2</sup> para pilo- tes de ma- dera o -- concreto, p <sub>2</sub> =15 000 lb/pulg <sup>2</sup> para sec- ción neta de acero- en pulg.	Hincado duro p <sub>2</sub> =1500 lb/pulg <sup>2</sup> para pilo- tes de ma- dera o -- concreto, p <sub>2</sub> =22 500 lb/pulg <sup>2</sup> para sec- ción neta de acero- en pulg.	Hincado muy duro p <sub>2</sub> =2000 lb/pulg <sup>2</sup> para pilo- tes de ma- dera o -- concreto, p <sub>2</sub> =30 000 lb/pulg <sup>2</sup> para sec- ción neta de acero- en pulgad.
Pilote de madera basado en el valor de E =1,500,000 - lb/pulgada cuadrada.	0.004 x L	0.008 x L	0.012 x L	0.016 x L
Pilotes de concreto preco- lados. (E=3 000 000 lb/pulg <sup>2</sup> )	0.002 x L	0.004 x L	0.006 x L	0.008 x L
Tablestacas, pilotes de tu- bo, camisas "Monotube" y - pilotes tipo Raymond, E=30 000 000 lb/pulg <sup>2</sup>	0.003 x L	0.006 x L	0.009 x L	0.012 x L

NOTA.- L se considera la distancia al centro de resistencia al hincado-  
que no es necesariamente la longitud total del pilote.  
El valor de E para una mezcla de muy buena calidad puede llegar-  
excepcionalmente a 6 000 000 lb/pulg<sup>2</sup>

T A B L A No. 20

VALORES PERMISIBLES PARA LA COMPRESION TEMPORAL O MOVIMIENTO DEL SUELO "C<sub>3</sub>"

	Hincado fácil	Hincado medio	Hincado duro	Hincado muy duro
	p <sub>3</sub> =500	p <sub>3</sub> =1 000	p <sub>3</sub> =1 500	p <sub>3</sub> =2 000
	1b/pulg <sup>2</sup>	1b/pulg <sup>2</sup>	1b/pulg <sup>2</sup>	1b/pulg <sup>2</sup>
	pulgadas	pulgadas	pulgadas	pulgadas

Para pilotes de sección

transversal constante.	0 a 0.10	0.10	0.10	0.05
------------------------	----------	------	------	------

NOTAS.- Los valores son de condiciones promedio que puedan usarse para to dos los casos.

Si el estrato adyacente inmediato a las puntas de los pilotes es muy blando, los valores aquí anotados pueden llegar al doble.

Los valores de p<sub>3</sub> deben tomarse en las puntas de los pilotes o en las puntas especiales de hincado para pilotes de punta y pilotes de sección transversal constante; sobre el área total del pilote al nivel del suelo en caso de pilotes de caras inclinadas trabajando a fricción y sobre el área perimetral en el caso de pilotes "II".

$$C_1 = 0.16 \quad (p_1 = 150\,000 \text{ lb/78 pulg. cuad} = 2\,000 \text{ lb/pulg. - cuad). \text{ Tabla No. 18}$$

$$\text{Sección transversal del tubo} = 7.73 \text{ pulg}^2$$

$$C_2 = \frac{19\,400}{15\,000} \times 0.006 \times 30 = 0.23 \text{ pulg.}$$

$$p_2 = 150\,000/7.73 = 19\,400 \text{ lb/pulg}^2$$

$$p_3 = 150\,000/78 \text{ pulg. cuad} = 2\,000 \text{ lb/pulg}^2$$

$$C_3 = 0.05$$

con los valores obtenidos pasamos a aplicar la fórmula de Hiley (A<sub>1</sub>) para martillos de doble acción:

$$R_u = \frac{12ef \cdot E_n}{s \uparrow 1/2 (C_1 \uparrow C_2 \uparrow C_3)} \quad \frac{W_r \uparrow v^2 \cdot W_p}{W_r \uparrow W_p}$$

$$150\,000 = \frac{12 \times 0.95 \times 8\,200}{s \uparrow 0.5 (0.16 \uparrow 0.233 \uparrow 0.05)} \quad \frac{1500 \uparrow 0.4^2 \times 1440}{1500 \uparrow 1440}$$

$$150\,000 = \frac{83\,500}{s \uparrow 0.2215} \times 0.589 = \frac{49\,150}{s \uparrow 0.2215}$$

$$s \uparrow 0.2215 = \frac{49\,150}{150\,000} = 0.328, \quad s = 0.328 - 0.2215 = 0.1065 \text{ pulg.}$$

$$\text{Penetración por golpe} = s = 0.1065 \text{ pulg.}$$

$$\text{Golpes por pulgada de penetración} = 9.33$$

Resulta ventajoso hacer una gráfica de penetración-resistencia para conocer las resistencias correspondientes a otras penetraciones por golpe para lo cual basta resolver la fórmula anterior suponiendo diversos valores a  $R_u$ ; cuando es posible variar la energía aplicada como en el caso de martillos de gravedad y de doble acción es conveniente construir gráficas para varias velocidades de operación o varias alturas de caída, según el caso, para tener a la mano cualquiera de estas informaciones que a menudo se necesitan.

#### ANÁLISIS DE LAS PERDIDAS DE ENERGÍA.

Energía cinética total aplicada por el martillo = 83 600 lb.-pulg.

Pérdida por impacto:

$$12 \times 0.95 \times 8200 \times \frac{1440 (1 - 0.4^2)}{1500 \uparrow 1440} = 34\,400 \text{ lb.pulg} = \dots 41 \%$$

Pérdida elástica en la cachucha:



Para el Vulcan No. 1: carrera de la parte golpeante = 33 pulg.

Eficiencia - - - - - = 0.750

Para el martillo de caída libre: se supone cualquier altura de caída entre 3 y 10 pies con malacate de fricción,  $e_f = 0.750$ , cachucha: placa McDermid.

Los pilotes son de madera creosotada con 16 lb de creosota por pie cúbico con un diámetro mínimo especificado para las puntas de 7-pulgadas, con una longitud de 65 pies.

Peso por pie cúbico =  $41 \times 16 = 57$  lb.

$W_p = 3\ 000$  lb, incluyendo la placa.

Condiciones del suelo:

1.50 m = 5.00 pies de material de relleno.

9.00 m = 30 pies de fango de río y sedimento.

15.00 m = 50 pies de arcilla ligera firme.

Los pilotes se van a cortar a 3 m sobre el nivel del terreno.

Se supone una distancia al centro de resistencia de 18 m = 60 - pies.

coeficiente de restitución =  $e = 0.25$

Carga de trabajo proyectada = 15.00 Ton. (inglesas).

Resulta más conveniente calcular  $C_2$  y tomar  $C_1$  y  $C_3$  de las tablas para un valor arbitrario de  $R_u$ , tomaremos 100 000 lb, y obtener el valor de 0.5 ( $C_1 + C_2 + C_3$ ) para esa cantidad y luego obtener el valor de 0.5 ( $C_1 + C_2 + C_3$ ) para otros valores de  $R_u$  proporcionalmente a - 100 000 lb.

$p_1 = 100\ 000$  lb/230 pulg<sup>2</sup> = 440 lb/pulg<sup>2</sup>, hincado fácil, luego-  
 $C_1 = 0.04$  pulg.

Sección transversal del pilote a la distancia media entre la cabeza del pilote y el centro de resistencia al hincado: en este punto el pilote tiene un diámetro de 7.75 pulgadas, en la cabeza el diámetro es de 16.75 pulgadas.

$$\left(\frac{7.75 + 16.75}{2}\right)^2 \times \frac{3.14}{4} = 116 \text{ pulg}^2$$

$$C_2 = \frac{R_u \cdot A}{A \cdot E} = \frac{100\ 000 \times (60 \times 12)}{116 \times 1\ 600\ 000} = 0.39 \text{ pulg.}$$

$p_2 = 100\ 000 / 47.5$  pulg<sup>2</sup>, (47.5 es el área en el centro de hincado)

$C_3 = 0.15$  pulg.

Para cada martillo o para cada altura de caída de gravedad, se resuelve la fórmula de Hiley calculándola para varios valores de "s" a fin de usarlos en la construcción de las curvas. Comencemos con el 9-B-2 :

$$100\ 000 = \frac{12 \times 0.85 \times 8\ 200}{s \uparrow 0.5(0.04 \uparrow 0.39 \uparrow 0.10)} \times \frac{1\ 500 \uparrow 0.25^2 \times 300}{1\ 500 \uparrow 3\ 000}$$

$$= \frac{83\ 600}{s \uparrow 0.265} \times 0.375 = \frac{31\ 300}{s \uparrow 0.265} ; s \uparrow 0.265 = \frac{31\ 300}{100\ 000}$$

$$s = 0.313 \qquad s = 0.05 \text{ pulg.}$$

Luego:

$$125\ 000 = \frac{31\ 300}{s \uparrow 0.265 \times 1.25} ; s = 0 \text{ (hasta el rebote)}$$

$$75\ 000 = \frac{31\ 300}{s \uparrow 0.265 \times 0.75} ; s = 0.22 \text{ pulg.}$$

$$50\ 000 = \frac{31\ 300}{s \uparrow 0.265 \times 0.50} ; s = 0.49 \text{ "}$$

$$25\ 000 = \frac{31\ 300}{s \uparrow 0.265 \times 0.25} ; s = 1.19 \text{ "}$$

De estos valores, o en mayor número si se desea, se traza la curva de penetraciones por golpe para el martillo 9-B-2, con esta curva trazada es fácil obtener un número suficiente de puntos para el trazo de la de número de golpes por pulgada de penetración, ambas curvas se pueden trazar en la misma hoja de papel pero no es de recomendarse ya que daría lugar a confusiones. Por lo que resulta más práctico usar dos hojas por separado, fig. No. 29.

Para el martillo Vulcan No. 1 repetimos todos los cálculos hechos para el anterior utilizando la fórmula de Hiley para martillos de simple acción (A):

$$100\ 000 = \frac{0.75 \times 5000 \times 33}{s \uparrow 0.265} \times \frac{5000 \uparrow 0.25^2 \times 3000}{5000 \uparrow 3000}$$

$$= \frac{124\ 000}{s \uparrow 0.265} \times 0.649 = \frac{80\ 300}{s \uparrow 0.265}$$

y

$$s \uparrow 0.265 = \frac{80\ 300}{100\ 000} = 0.803 \qquad s = 0.54 \text{ pulg.}$$

Entonces

$$150\ 000 = \frac{80\ 300}{s \uparrow 0.265 \times 150/100} ; s = 0.13 \text{ pulg.}$$

$$125\ 000 = \frac{80\ 300}{s \uparrow 0.265 \times 125/100} ;$$

$$75\ 000 = \frac{80\ 300}{s \uparrow 0.265 \times 75/100} ; \quad s = 0.87 \text{ pulg.}$$

$$50\ 000 = \frac{80\ 300}{s \uparrow 0.265 \times 50/100} ; \quad s = 1.47 \text{ pulg.}$$

$$25\ 000 = \frac{80\ 300}{s \uparrow 0.265 \times 25/100} ; \quad s = 3.14 \text{ pulg.}$$

Con estos valores podemos trazar las gráficas Penetración por Golpe y Golpes por Pulgada de Penetración para este martillo.

Para el martillo de gravedad repetimos las operaciones anteriores para una altura de caída de 5 pies, usando la misma fórmula de Hiley que para el caso del martillo de simple acción.

$$100\ 000 = \frac{0.75 \times 3450 \times 5 \times 12}{s \uparrow 0.265} \times \frac{3450 \uparrow 0.25^2 \times 3000}{3450 \uparrow 3000}$$

$$= \frac{155\ 000}{s \uparrow 0.265} \times 0.564 = \frac{87\ 300}{s \uparrow 0.265}$$

Y

$$s \uparrow 0.265 = \frac{87\ 300}{100\ 000} = 0.873 \quad s = 0.61 \text{ pulg.}$$

Entonces

$$150\ 000 = \frac{87\ 300}{s \uparrow 0.265 \times 150/100} ; \quad s = 0.18 \text{ pulg.}$$

El paso anterior se repite para 3, 4, 6, 8 y 10 pies de caída y se construyen tantas gráficas de penetración por golpe y de golpes por pulgada de penetración como se desee.

La escala de valores de Ru del lado izquierdo de la gráfica --- cuando se dividen por la sección transversal del pilote en el centro de resistencia dan los esfuerzos unitarios en el pilote, dichos esfuerzos deben estar por debajo de los de ruptura, puede tomarse la tercera parte de esos valores para esfuerzos de trabajo y no se debe usar una penetración por golpe que arroje valores mayores de esa cantidad, para mayor seguridad se debe fijar un máximo siempre inferior al citado; las más pequeñas penetraciones por golpe que deben usarse en el campo pueden verse en la gráfica y permiten suspender el hincado antes de que el pilote se dañe; en las gráficas se han trazado -- líneas horizontales a 2,600 libras por pulgada cuadrada para cada tamaño de punta y la penetración por golpe límite se encuentra en la intersección de esas líneas con la curva del martillo usado; estos valores se encuentran en la siguiente tabla para los casos que estamos estudiando.

**NÚMERO MÁXIMO PERMISIBLE DE GOLPES POR PULGADA**

Martillo	Para pilotes con diámetro en la punta de			
	6"	7"	8"	9"
10 pies de caída	0.66	1.00	1.33	2.50
5 " " "	1.50	3.00	7.00	Ilimitado.
3 " " "	3.00	10.00	Ilimitado	Ilimitado.
Vulcan No. 1	2.00	3.00	10.00	Ilimitado.
9-B-2	15.00	Ilimit.	Ilimitado	Ilimitado.

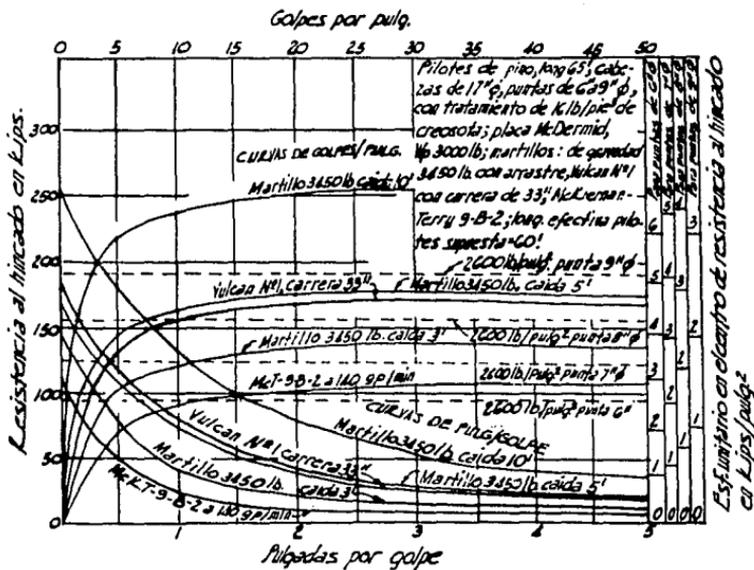


Fig. N°29.- Curvas de penetración por golpe-resistencia al hincado.

UNIVERSIDAD NAL. AUTONOMA  
 ESCUELA NACIONAL DE INGENIEROS

TESIS PROFESIONAL

ROBERTO LIRA MEZA

1954

Si la fuerza requerida para obtener una resistencia al hincado satisfactoria en materiales no cohesivos

$$Ru = 15 \text{ Tons} \times 2 \text{ 000} \times \text{F.S. } 2.5 = 75 \text{ 000 lb}$$

se supone que sea la menor requerida para hincar en materiales cohesivos, puede verse que la curva de golpe por pulgada de penetración correspondiente al martillo 9-B-2 es muy pequeña y aunque sería prácticamente imposible que dañara el pilote, de ser posible alcanzar la longitud de hincado deseada requeriría un número excesivo de golpes lo cual sería muy tardado.

El Vulcan No. 1 puede ejercer una fuerza entre 125 000 y ----- 150 000 lb sin requerir penetraciones por golpe tan pequeñas ni demasiado tiempo, en tanto que la fuerza del 9-B-2 se limita a 110 000 lb; la pequeñez del factor de impacto para este último en la solución de la fórmula ( $A_1$ ) muestra también una gran pérdida por impacto indicando que el pilote es muy pesado para este martillo; comparando este término con los obtenidos para los otros martillos disponibles se ve que es innecesaria esta pérdida, ya que en los otros es mucho menor.

Viendo las curvas y la tabulación de valores anterior se nota que sería muy fácil dañar los pilotes con el martillo de gravedad operado con una caída de 10 pies, sería más acertado limitarla a 5 pies ya que con ésta es más difícil obtener penetraciones por golpes grandes que causaran sobrefatiga en el pilote; los impactos fuertes en pilotes largos y esbeltos tienen una tendencia a romperse antes de alcanzar la penetración por golpe deseada; puede verse también en las curvas que aunque es muy fácil sobrefatigar los pilotes con puntas menores de 7 pulgadas de diámetro será más difícil dañarlos de 8 y 9 pulgadas, estos últimos soportan la energía del Vulcan y la del martillo de gravedad operado a alturas de caída superiores a 6 pies.

Habiendo quedado descartado el martillo de doble acción hay que elegir entre los dos martillos restantes o sean entre el Vulcan No. 1 y el martillo de gravedad; nos decidimos por el Vulcan No. 1 tomando en cuenta el mayor número de pilotes que puede hincar por turno basándonos en la siguiente consideración: su velocidad de operaciones de unos 55 golpes por minuto en tanto que la del martillo de gravedad es apenas de 8 golpes por minuto la cual mucho depende de la habilidad del operador del malacate.

Tomando gráficas en el campo del retroceso del pilote con el martillo en operación se obtiene la suma real de  $C2 + C3$ ; deben tomarse para varios valores de  $s$  y las distancias obtenidas a escala conveniente más el valor supuesto para  $C1$  se usan para localizar nuevos puntos sobre las curvas; estos puntos quedan tan cerca de las curvas ya trazadas que casi no hay necesidad de cambiarlos si la longitud efectiva se ha supuesto correctamente lo que puede lograrse con unos buenos sondeos.

Si durante el hincado no se han tomado registros completos, el centro de resistencia al hincado puede ser solo estimado inspeccionando los sondeos y estudiando las muestras, pero si se ha hecho ese registro, el centro de resistencia al hincado se puede tomar como el centro de gravedad de la resistencia al hincado debida a la fricción

y a la resistencia de punta medida en libras, puede verse la figura - que corresponde al ejemplo anterior; en la que observamos varios hechos en relación con el número de golpes necesario para hincar una longitud dada con martillos de diferentes tamaños; un martillo ligero necesitará un número crecido de golpes conforme la resistencia al hincado se aproxima a la pedida, en tanto que un martillo pesado no encuentra dificultad en las mismas condiciones, esto puede verse claramente examinando también la forma en que se acuestan las curvas de número de golpes por pulgada de penetración, en relación con una resistencia al hincado dada.

La traducción de las penetraciones por golpe a resistencias al hincado se hace leyendo los valores de las resistencias de las gráficas Penetración por golpe-Capacidad de carga; la resistencia debida a la punta que se incluye en la resistencia de la unidad de longitud hincada no es acumulativa y debe deducirse tomando en consideración los incrementos de una porción a otra del pilote se deben a la resistencia de punta, sin embargo, esta resistencia actúa conjuntamente con la debida a la fricción; en caso de no disponerse de datos más de finidos, puede ser satisfactorio considerar el incremento en la resistencia al hincado en el siguiente pie de longitud al último hincado y como resistencia de punta, la correspondiente al último pie.

En la figura No. 30 puede verse el registro continuo de resistencias al hincado de dos pilotes idénticos hincados con tipos diferentes de martillo, uno ligero y otro pesado, ambos dan la misma resistencia al hincado cuando se traduce el número de golpes por unidad de longitud a libras; gráficamente se muestra la manera de estimar la porción correspondiente a la resistencia de punta; la superficie sombreada entre la línea de resistencia de punta y la de resistencia total, representa la resistencia por fricción; el centro de gravedad del área sombreada y la resistencia de punta a la penetración por golpe final, puede tomarse satisfactoriamente a ojo o si se prefiere, calculándolo, esto se hace de la siguiente manera: localizando el centroide del área sombreada que será el de la resistencia por fricción, para lo cual se toman momentos con respecto a un eje, el de las Ru por comodidad, de las componentes de dicha área, queda así localizado el centroide de esa área; después, en la misma forma se calcula el de la resistencia por fricción con la resistencia de punta en conjunto, los momentos tomados con respecto al mismo eje, se dividen entre la resistencia final para encontrar el centro de la resistencia al hincado debida a la fricción y a la resistencia de punta; la distancia de este centro de gravedad de la resistencia al hincado a la cabeza del pilote es la longitud efectiva L.

DETERMINACION DE LOS ESFUERZOS EN LOS PILOTES.- Los datos tomados en el campo son los siguientes; suponemos que se carece de gráficas.

Martillo Vulcan No. 1

$R_u = 5\ 000\ \text{lb.}$

$h = 36\ \text{pulg.}$

$e_f = 0.85$

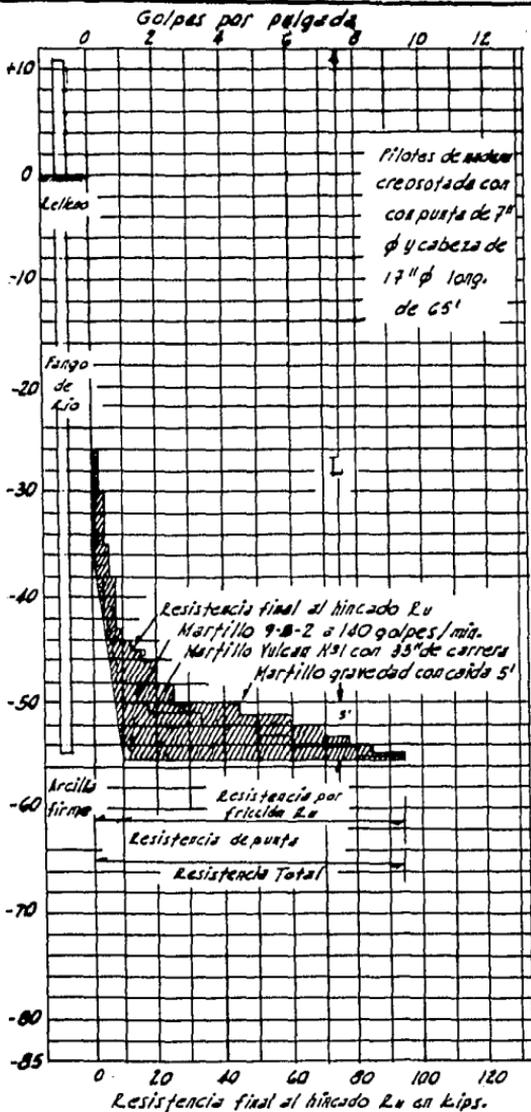


Fig. N° 30

UNIVERSIDAD NAL. AUTONOMA

ESCUELA NACIONAL DE INGENIEROS

TESIS PROFESIONAL

ROBERTO LIRA MEZA

1954

Pilotes de madera de 40 pies de longitud con 8 pulgadas de diámetro en la punta y 12 en la cabeza con tratamiento de creosota de 16 lb por pie cúbico. Peso de la madera incluyendo el de la creosota = 55 lb/pie<sup>3</sup>.

$$W_p = \left( \frac{8 + 12}{2} \right)^2 \times \frac{3.1416}{4} \times \frac{40}{144} \times 55 = 1\ 200 \text{ lb.}$$

Suelo: 30 pies de arcilla blanda y 10 pies de arena.

Suponemos que el centro de resistencia al hincado está a 37.5 pies de la cabeza del pilote.

$$l = 37.5 \times 12 = 450 \text{ pulgadas.}$$

$$E = 1\ 600\ 000 \text{ lb/pulg}^2$$

Se desea conocer los esfuerzos en el pilote cuando la penetración por golpe medida en el campo es: 0.5 pulg. y la recuperación - después del impacto es de 0.75 pulg. abajo se muestran las gráficas para los dos casos que consideraremos:

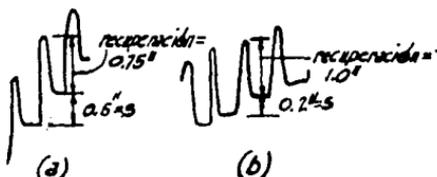


Fig. N° 231.- Gráficas hechas en el campo

Suponiendo que no hay resistencia al hincado debida a la capa de arcilla blanda, la totalidad de  $R_u$  en el pilote se localiza al nivel de la capa de arena y en ese punto el área del pilote es:

$$A_p = \left( 8 + \frac{10}{40} \times 4 \right)^2 \times \frac{3.1416}{4} = 63.5 \text{ pulg}^2$$

El método consiste en considerar al pilote como un resorte de dinamómetro que mide sus propios esfuerzos, no debe aplicarse a camisas delgadas hincadas con núcleos pesados ya que la compresión de la cachucha con el colchón es muy grande comparado con la compresión elástica del núcleo; en el caso de que se trate de pilotes de madera, de acero o de concreto de área transversal relativamente pequeña o de esfuerzos unitarios altos, el método es perfectamente aplicable para analizar la posibilidad de dañar los pilotes durante el hincado.

La validez de la suposición anterior se basa en la ley de Hooke aplicada al pilote y al suelo; la relación básica  $W_r \cdot h = R_u \cdot s$  si no hubiera pérdidas en la eficiencia del martillo, pérdidas por impacto y pérdidas elásticas en la cachucha del hincado, en el pilote y en el suelo; la ecuación anterior representa condiciones en la cara superior de la cachucha de hincado sobre la cabeza del pilote, cuyos movimientos deben tomarse en cuenta, considerando esas circunstancias la ecuación anterior se transforma en la siguiente: ---  $W_r \cdot h = R_u (s + C)$  en la que  $C$  representa el movimiento elástico ---

promedio del pilote, de la cachucha y del suelo.

En la determinación de los esfuerzos en el campo, los términos  $C_1$ ,  $C_2$  y  $C_3$  no se calculan, pero la recuperación del pilote, medida en el pilote cerca de la cabeza se registra en la gráfica de la figura anterior; como la determinación de los esfuerzos en el pilote es casi solo necesaria cuando el hincado es difícil en cuyo caso el valor  $C_2 \uparrow C_3$  es grande, en estas condiciones se permite ya que quedara ligeramente dentro de la seguridad, hacer caso omiso del valor de  $C_1$  (compresión temporal en la cachucha), y medir  $C_2 \uparrow C_3$  para la determinación de los esfuerzos, cuando se trata de pilotes de madera es frecuente que no se use cachucha siendo por lo tanto  $C_1 = 0$ . Puede suprimirse también el término "e" que causa muy pequeño cambio en los resultados en el cálculo de los esfuerzos.

El procedimiento en el campo es medir sobre la gráfica la recuperación del pilote así como la penetración por golpe neta; la recuperación es como sabemos  $C_2 \uparrow C_3$ ; si el término  $0.50(C_1 \uparrow C_2 \uparrow C_3)$  de las fórmulas (A) y (A<sub>1</sub>) se reemplaza por  $B/2$  que es la mitad del retroceso observado que representa la compresión temporal media, y si  $e = 0$ , las fórmulas (A) y (A<sub>1</sub>) se transforman en las siguientes:

$$Ru = \frac{0.50 \cdot W_r \cdot h}{S \uparrow B/2} \times \frac{W_r}{W_r \uparrow W_p} \quad \text{Para martillos de gravedad, de simple acción y Diesel.}$$

$$Ru = \frac{12ef \cdot E_n}{S \uparrow B/2} \times \frac{W_r}{W_r \uparrow W_p} \quad \text{Para martillos de doble acción y de acción diferencial.}$$

En el caso de pilotes trabajando como columnas, en los que el valor de  $R_u$  es constante en toda la longitud del pilote sin importar que sea cónico, dividiendo  $R_u$  por el área de la punta del pilote se obtiene el esfuerzo máximo en ese punto.

Para los pilotes de fricción que resisten la fuerza de hincado parte por fricción y parte por resistencia de punta, el punto de mayor esfuerzo puede estar localizado en algún punto arriba de la punta; el esfuerzo en cualquier punto puede calcularse deduciendo de  $R_u$  la resistencia que se juzga que ha sido absorbida por fricción arriba de ese punto; las cantidades de fuerza que resiste la punta y la absorbida por los diferentes estratos puede juzgarse por el examen de un registro de hincado de toda la longitud, si existe alguna duda al seleccionar las cantidades correspondientes a cada uno de los conceptos, se suponen valores límites máximo y mínimo con la seguridad de que el valor real queda comprendido dentro de ellos, la fórmula para la determinación de los esfuerzos se transforma para pilotes de fricción o de fricción combinada con resistencia de punta, en la siguiente:

$$Ru = \frac{Ru - R_f}{A_p}$$

en la que  $A_p =$  área del pilote en cualquier punto que se considere.

Aunque la fórmula dinámica de hincado no es aplicable a pilotes hincados en suelos cohesivos o arcillosos para determinar la capacidad de carga permanente, dicha fórmula en cambio sí da la resistencia temporal a la fuerza aplicada para hincar en este tipo de terre-

no, este hecho es útil cuando se investigan los esfuerzos en el campo para lo cual son perfectamente aplicables las fórmulas; como la fuerza de hincado es generalmente varias veces mayor que la carga de trabajo del pilote, por este motivo durante el hincado es cuando se requiere calcular los esfuerzos, las fatigas en el pilote bajo la carga de trabajo fué ya considerada al proyectar los pilotes y con toda seguridad que estará dentro de los valores permisibles.

Los valores de la eficiencia dados con anterioridad intencionalmente se dieron bajos con el fin de tener la seguridad de que se obtendrá la energía esperada, cuando se investigan los esfuerzos durante el hincado los coeficientes deben tomarse tan altos como sea posible pero sin que resulten exagerados con el fin de tener la seguridad de que los esfuerzos no serán mayores que los que se esperan, -- por esta razón es conveniente añadir un 10% a todos los valores tabulados para la eficiencia cuando se usen las fórmulas de Hiley que se han modificado para el objeto.

Vamos a continuar con el problema propuesto, del cual nos apartamos un poco con motivo de detallar el procedimiento a seguir en los casos similares:

Aplicamos la fórmula correspondiente al martillo de simple acción de que nos estamos sirviendo

$$R_u = \frac{0.85 \times 5\,000 \times 36}{0.50 \uparrow 0.5 (0 \uparrow 0.75)} \times \frac{5\,000}{5\,000 \uparrow 1\,200}$$
$$= \frac{154\,000}{0.875} \times 0.81 = 144\,000 \text{ lb.}$$

$$p = \frac{144\,000 - 0}{63.5} = 2\,270 \text{ lb/pulg}^2$$

Suponiendo que el centro de resistencia al hincado está 2.5 --- pies arriba de la punta del pilote, calculamos los esfuerzos en ese punto:

Area transversal del pilote a la altura del centro de resistencia =  $A_p$

$$A_p = \left(8 + \frac{2.5}{40} \times 4\right)^2 \times \frac{3.1416}{4} = 53.2 \text{ pulg}^2$$

$$R_u = \frac{0.85 \times 5\,000 \times 36}{0.5 \uparrow 0.5 (0 \uparrow 0.75)} \times \frac{5\,000}{5\,000 \uparrow 1\,200} = \frac{154\,000}{0.875} \times 0.81 =$$
$$= 144\,000 \text{ lb.}$$

$$p = \frac{144\,000 - 72\,000}{53.2} = 1\,350 \text{ lb/pulg}^2$$

El valor anterior de  $R_u$  es el valor mayor para pilotes de estas dimensiones, debe dividirse por un factor de seguridad apropiado; si la longitud de hincado que se desea no puede obtenerse sin usar chiflón o si el hincado dá penetraciones por golpe menores que 0.5 pulgadas, debe de investigarse los esfuerzos del hincado más difícil.

Supongamos que la penetración final por golpe es solo de 0.2 pulgadas, al alcanzar la longitud de hincado deseada, a este caso corresponde la segunda de las gráficas incluídas antes, supongamos de nuevo que la arcilla no ofrece ninguna resistencia al hincado; el esfuerzo en el pilote a la altura de la capa de arena es:

$$R_u = \frac{154\ 000}{0.2 + 0.5(0 + 1.0)} \times 0.81 = 179\ 600\ \text{lb.}$$

$$p = \frac{179\ 600 - 0}{63.5} = 2\ 830\ \text{lb/pulg}^2$$

Este esfuerzo es aproximadamente el mismo que el del punto de fluencia de la madera usual para pilotes; el factor de seguridad recomendable en relación con el punto de fluencia es de 1.5 que es bajo pero que es satisfactorio para la mayoría de los casos.

El procedimiento seguido para los casos analizados, puede ser utilizado para una serie cualquiera de penetraciones por golpe y recuperaciones del pilote a fin de tomar todas las providencias necesarias con el fin de asegurar que los pilotes se hincarán con el máximo de seguridad y que se evitarán roturas en los mismos motivadas por imprevisión de alguno de los factores que intervienen durante el hincado.

## PRUEBAS DE CARGA SOBRE PILOTES.-

Las pruebas de carga en pilotes son de valor solo en los casos en que se llevan a cabo en suelos que se pueden probar completamente en tiempos cortos; las pruebas se llevan a cabo casi exclusivamente en terrenos no cohesivos, una prueba de carga sobre un pilote alojado dentro de terreno cohesivo, o que el inmediato subyacente lo sea, no puede alcanzar su asentamiento final sino después de que el terreno haya alcanzado su consolidación final, para la cual se requiere un periodo más o menos largo, que puede ser de varios años, en esta clase de terreno el asentamiento de un área pequeña cargada como la de un pilote aislado, puede suceder que no guarde ninguna relación con el de este mismo pilote pero ya considerándolo como formando parte de un grupo numeroso. Las pruebas de carga son solo satisfactorias cuando se hacen sobre terrenos en que el agua puede escapar de los vacíos con facilidad, pueden ejecutarse sobre pilotes que transmiten la carga a través de terreno cohesivo a un material no cohesivo, tomando las precauciones necesarias para evitar en los resultados la intervención de los efectos de la primera capa.

Con el objeto de obtener de las pruebas de carga informaciones de verdadera utilidad, se deben llevar hasta una capaz de sobrepasar la capacidad de carga, cuando es posible, con lo que se obtienen los valores de la resistencia debidos a la fricción superficial y a la de punta.

Uno de los factores de mayor importancia y que a menudo conducen a resultados erróneos de las pruebas de carga, en un pilote aislado, es el tiempo que dura la carga para la prueba y del cual se hace caso omiso, comunmente se acostumbra en esta clase de pruebas, aplicar una carga entre 150 y 200 por ciento la de proyecto, dejándola permanecer entre 24 y 48 horas sobre el pilote, si este sufre un asentamiento que no exceda un máximo especificado, se considera que la prueba ha sido satisfactoria; los resultados obtenidos en estas condiciones pueden variar mucho de los resultados obtenidos para ese mismo pilote aislado probado en las mismas condiciones, si la prueba se hubiera llevado a cabo antes o después de como fué realmente, esto quiere decir que las condiciones de los suelos pueden variar ampliamente antes o después de la prueba de carga, de acuerdo con el tipo de suelo y de acuerdo con el tiempo que se haya dejado pasar entre la terminación del hincado y la ejecución de la prueba.

Si los pilotes se hincan en un suelo permeable de partículas gruesas y saturado, las pruebas de carga no deben ejecutarse sino hasta que hayan transcurrido varios días después de terminar el hincado, ya que en suelos de esta clase las pérdidas en resistencia en ocasiones llegan al 40 por ciento de la observada durante el hincado, en las siguientes 24 horas a la terminación de aquel; si los pilotes están alojados en arenas sumergidas de granos finos de tamaño uniforme, y que estos estén tan sueltos que la percusión del hincado la transforme temporalmente en movediza, en estas condiciones, el hincado será fácil, pero cuando esta condición cesa, al terminar el golpe, el estrato será capaz de soportar una carga estática mucho mayor que la indicada por la resistencia al hincado, la verdadera capacidad de carga de este pilote solo podrá definirse mediante una prueba de carga.

Si los pilotes están alojados en un material impermeable que se levante durante el hincado, el "amarre" del suelo con el pilote puede aumentar en las siguientes semanas al hincado, dando como resultado --

que la capacidad de carga aumenta varias veces la indicada durante el hincado, en este caso, lo mejor es iniciar las pruebas de carga tan pronto como sea posible después de terminar el hincado para que posteriormente se puedan obtener resultados de rehincado, o de ser posible, obtener dichos resultados simultáneamente con la prueba de carga en los pilotes de prueba adyacentes; en muchos casos los suelos en que se hincan los pilotes participan de una mezcla de las características antes enumeradas, en tales casos se debe proceder de inmediato a la ejecución de las pruebas; utilizando estas pruebas de carga combinadas con algunas de extracción se puede determinar el valor de la fricción superficial independiente de la resistencia de punta mediante una comparación de la capacidad de carga con la fuerza total empleada para la extracción; para la mejor realización y control de las pruebas de carga es conveniente que en las inmediaciones del pilote que se prueba se haga un sondeo para poder desde el hincado hacer comparaciones de las resistencias alcanzadas al perforar alguna capa determinada del corte geológico que revele el sondeo en el lugar.

El movimiento de la cabeza de un pilote es causado por la deformación del pilote mismo y la del terreno, siendo en ambos de carácter elástico, además interviene la deformación plástica del terreno, siendo esta última la que causa el asentamiento de las estructuras y del cual se desea siempre que sea nulo o lo más pequeño posible, para evitar el número de inconvenientes que acarrea; el valor de este asentamiento es el que se trata de obtener con las pruebas de carga por considerarse de mayor importancia ese valor, que el valor total del asentamiento total de la cabeza del pilote debida a la acción de la carga de prueba.

Procediendo por ciclos de carga y descarga sucesivos en las pruebas, puede determinarse si la carga en turno está siendo soportada por el estrato escogido para el objeto, o si el centro de resistencia se encuentra localizado en una posición más alta que el supuesto; retirando la carga del pilote varias veces durante el proceso de incrementarla, y observando cada vez la recuperación del pilote se puede determinar la curva correspondiente a la deformación plástica. Los puntos donde la recuperación del pilote referida horizontalmente hasta intersectarse con el eje de asentamientos y de ahí hasta encontrar a la carga correspondiente que se retiró, uniendo los puntos así obtenidos por una curva continua se obtiene la gráfica de las deformaciones plásticas, como puede verse en la figura No. 32, en la que se muestra la combinación de las tres gráficas a que nos hemos referido, dicha curva es la de mayor significación y de ella se debe obtener la carga de trabajo y el factor de seguridad que se deberá usar, con ella queda determinada la capacidad de carga final del pilote, restando los valores de esta curva de los correspondientes al movimiento total, se puede trazar la curva de la deformación elástica, la que puede compararse con la deformación elástica teórica conforme a la ley de Hooke que se representa en la gráfica por una recta; observando las diferencias entre la deformación elástica real con la teórica correspondiente, puede observarse el descenso gradual del centro de resistencia con el aumento de las cargas aplicadas y así mismo puede determinarse si la carga está realmente llegando al estrato del suelo en que se desea apoyarla, que es el mismo que se desea probar con la carga aplicada.

Como los pilotes se han diseñado para desempeñar una función definida y no se hincan al azar, es conveniente que, para cumplir -

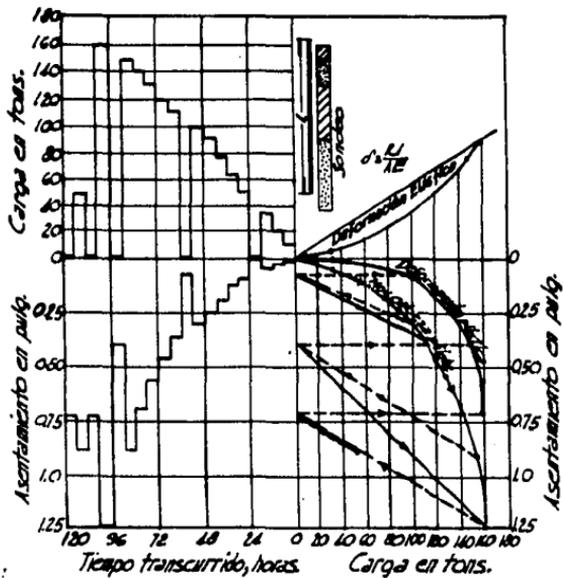


Fig. Nº 32.- Diagrama de prueba de carga en que se muestra la relación entre: carga, asentamiento y tiempo.

UNIVERSIDAD NAL. AUTONOMA
ESCUELA NACIONAL DE INGENIEROS
TESIS PROFESIONAL
ROBERTO LIRA MEZA
1954

con su misión que es la de transmitir la carga a un estrato determinado, conozcamos la distribución de la carga a los varios estratos del terreno por lo menos en forma aproximada.

Comparando la gráfica de la deformación elástica descrita antes con la de la deformación elástica teórica, si las cargas estuvieran contrarrestadas en el centro de resistencia colocado en la penetración deseada, puede observarse si las cargas están realmente siendo soportadas a la altura de ese centro o si hay alguno que resulte en una posición más alta; si la gráfica real tiene ordenadas más pequeñas que la teórica en cualquier punto, esto indica que los estratos superiores no elegidos para soportar cargas permanentes, están soportando algo de carga, por lo menos temporalmente; con el aumento de la carga de prueba, las ordenadas de la curva elástica real pueden aumentar y ocasionalmente llegar a ser iguales a las de la curva elástica teórica.

La deformación elástica teórica en el caso de pilotes trabajando de punta puede calcularse libre del efecto de la fricción mediante la fórmula  $\delta = PL/AE$  que será una recta, y para otras condiciones, la deformación elástica teórica del pilote puede calcularse suponiendo la localización del centro de resistencia y considerando "1" como la distancia desde este punto; sustituyendo "5" en la fórmula de la deformación elástica, por las leídas en la curva que se obtiene de la carga por ciclos de carga y descarga, pueden obtenerse diversos valores de "1" que muestran la localización del centro de resistencia correspondiente a la carga respectiva.

Mediante el hincado de pilotes de prueba a diferentes profundidades en un material con capacidad de carga, sobre el cual se apoyan materiales pobres o mediante el rehincado del pilote de prueba a una penetración mayor y haciendo una nueva prueba y comparando la diferencia resultante en las pruebas, tanto en lo que se refiere al aumento de la carga como al aumento en la longitud hincada, puede obtenerse el valor de la fricción superficial unitaria que se puede aplicar a la superficie lateral total del pilote en toda la longitud hincada dentro del estrato bueno para soportar cargas; los efectos de los estratos superiores y el de la punta, siendo constantes y comunes en ambas pruebas, quedan eliminados; aprovechando el hecho anterior puede determinarse el valor de la fricción en cualquiera de los estratos superiores para tomarlos en consideración en las pruebas en el hincado de pilotes.

La capacidad de carga debida a la resistencia de punta puede probarse por separado hincando un pilote de tubo con el extremo inferior cerrado, con una camisa exterior provistos de una placa común para cerrar el extremo inferior, cargando el tubo inferior se obtiene el valor de la resistencia de punta, extrayendo la camisa se puede obtener el valor de la fricción superficial.

Un dispositivo de prueba para determinar el asentamiento de un pilote se puede observar en la figura No. 33 y consiste en una especie de lumbrera de acceso a un túnel que se extiende bajo la punta del pilote, en esta se coloca el extremo de un brazo registrador que permite medir el movimiento de la punta del pilote, así como el hundimiento de la cabeza del mismo por efecto de las cargas; este tipo de prueba es útil solamente en suelos que permitan la construcción de un túnel con seguridad sin el peligro de derrumbes.

Para determinar la distribución de la carga que trasmite el pilote al suelo se puede usar el siguiente procedimiento: que puede usarse con cualquier tipo de pilote con las modificaciones pertinentes, en caso de pilotes de concreto precolados se ahoga un tubo dentro del pilote al construirlo, a fin de fijarlo en su posición se le provee de anclas; en el interior, este tubo lleva escalones en varios puntos predeterminados sobre los cuales descansarán las bases de unas varillas de acero, las extremidades de estas varillas se mueven con el punto del pilote correspondiente al escalón sobre el cual descansa la varilla, esta puede moverse libremente en el interior del tubo, en la extremidad superior de las varillas se coloca en cada una de ellas un extensómetro que medirá su movimiento, los extensómetros están soportados independientemente del pilote y deben estar graduados a manera de medir movimientos de un centésimo de pulgada, la carga que soporta el pilote en cualquier punto puede determinarse suponiendo valores apropiados a "E" de la fórmula que expresa la ley de Hooke.

Utilizando tubos puede también determinarse el movimiento relativo del suelo y el pilote, añadiendo a lo descrito en el párrafo anterior otro dispositivo para medir el movimiento del suelo; esto se puede hacer hincando en el terreno tubos de  $3/4"$  a las elevaciones requeridas, dentro del tubo, una varilla de  $1/4"$  descansa sobre el fondo de una copa metálica que va unida al extremo del tubo al hincarse pero que se desprende de este al extraerlo, dentro del tubo se vierte aceite pesado para prevenir la entrada del suelo y del agua y con el fin adicional de mantener bien lubricada la varilla, en estas condiciones el tubo se extrae unos 15 centímetros, dejando la copa alojada en el terreno; la varilla se puede mover libremente dentro del tubo, y los movimientos del terreno dentro del cual se encuentra alojada la copa pueden medirse con un extensómetro fijado contra la cabeza de la varilla.

Con el sistema antes citado para la determinación de la distribución de cargas al terreno se ha llegado a comprobar que para que la carga deje sentir sus efectos en la punta del pilote, es necesario que la misma sea bastante considerable.

Es de una importancia capital que el estrato que se prueba sea el elegido para soportar las cargas permanentes ya que una prueba a corto plazo de no conducirla con cautela puede dar lugar a que el estrato probado sea uno diferente al que se desea, dando lugar a confusiones peligrosas; como esta clase de pruebas no dá tiempo a las cargas para consolidar a las capas superiores lo suficiente para alcanzar el estrato inferior que soportará las cargas permanentes tales pruebas de carga a corto plazo pueden simular ciertas condiciones de carga viva tales como las debidas a cargas rodantes, empuje de viento o cargas de impacto, resultando de mayor utilidad que para la determinación de los valores para carga permanente.

Los incrementos aplicados a la carga de prueba deben aplicarse en forma lenta, gradual a fin de que la carga aplicada sea de carácter estático y no dinámica, porque resultan efectos diferentes al aplicar por ejemplo, un incremento de 10 toneladas en 60 minutos que este mismo incremento aplicado bruscamente mediante un gato hidráulico.

Cuando se retiran las cargas al terminar una prueba, es conve-

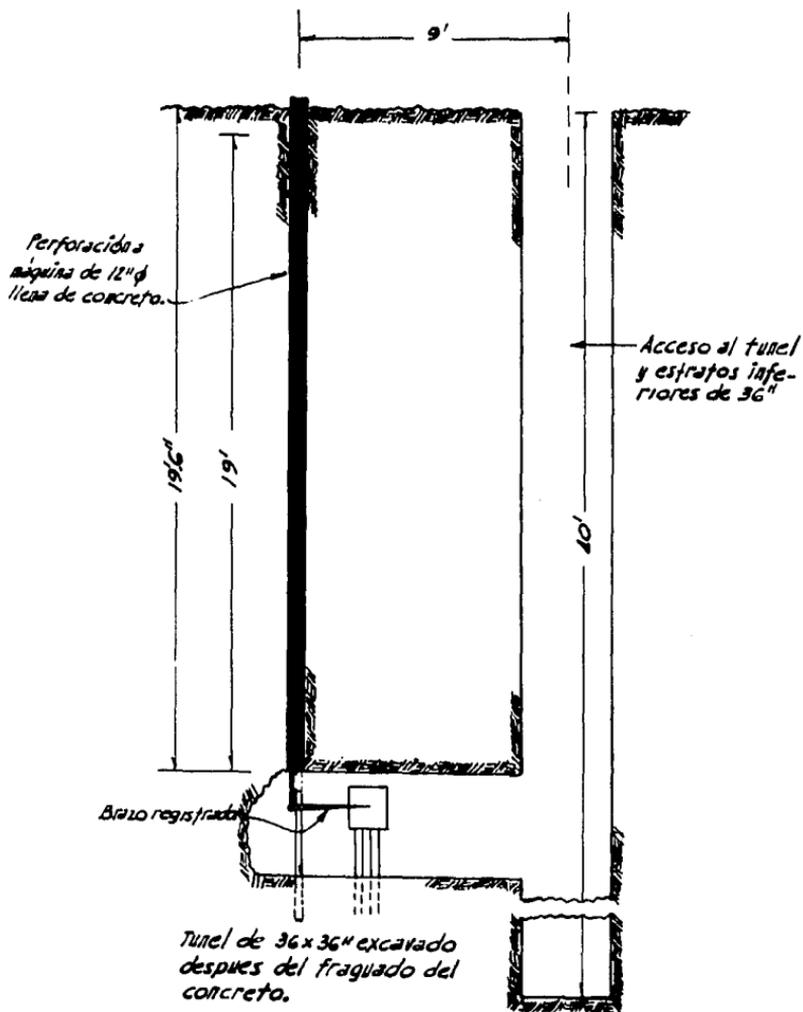


Fig. N<sup>o</sup> 33.- Dispositivo para determinar humedades en pilotes de concreto colados en el lugar.

UNIVERSIDAD NAL. AUTONOMA

ESCUELA NACIONAL DE INGENIEROS

TESIS PROFESIONAL

ROBERTO LIRA MEZA

1954

niente continuar las lecturas de los asentamientos por lo menos durante un período igual al empleado en la carga, por ser estas de importancia en muchos suelos para la determinación de las elasticidades relativas del pilote y el suelo.

Debe recordarse que los pilotes en grupos no tienen por capacidad de carga la suma de los valores individuales de cada pilote, a menos que sean pilotes trabajando de punta, por lo que hay que tomar en consideración la reducción que sufre el valor de la capacidad de carga en relación con la observada al probar un pilote aislado; la reducción en un grupo depende de la separación a que se encuentren entre sí y se debe a la superposición de los bulbos de presión, esta superposición es de mayor importancia según sea la distancia entre los pilotes, si ésta es bastante amplia, la capacidad del grupo puede llegar a ser la suma de las capacidades de los pilotes que lo forman sin ninguna reducción en relación con la capacidad de carga observada en un pilote; la separación entre pilotes se acostumbra dar a base de máximos y mínimos según varios códigos de especificaciones y mediante fórmulas empíricas; la tendencia es usar los valores mínimos a fin de mantener los cimientos lo más pequeños posible; si se usa un espaciamiento apropiado, tomando en consideración la longitud, el tamaño, la textura superficial de los pilotes y las características del suelo, las cargas se pueden soportar con el peligro mínimo de asentamiento; un espaciamiento amplio, permite a las puntas de los últimos pilotes hincados en un grupo llegar a la profundidad deseada con menor dificultad, en tanto que con espaciamientos pequeños se observa que los últimos pilotes hincados encuentran gran dificultad en llegar a la profundidad proyectada dando lugar en ocasiones a que haya que aceptar pilotes en condiciones inferiores en cuanto a longitud de hincado.

Cuando se hincan camisas para pilotes colados en el lugar, los espaciamientos pequeños dan lugar a la colisión de las mismas cuando al encontrarse vacías se hincan otras en la vecindad, esto se debe a las fuerzas horizontales que produce el desplazamiento del terreno al avanzar el pilote, algunas veces la falla de las camisas viene después de que se han llenado de concreto sin que se note en el exterior dando lugar a pilotes defectuosos, la falla es más remota cuando los pilotes se llenan de concreto antes de hincar los de la vecindad, porque la presión interior del concreto fresco ayuda a contrarrestar la exterior debida al terreno que se ha desalojado, sin embargo algunos códigos especifican que no debe llenarse ninguna camisa antes de que se hayan hincado todos los pilotes que se encuentran dentro de un área de 1.50 metros de radio con el objeto de poder inspeccionar el interior de las camisas antes de llenarlas; aquí solo diremos que es de recomendarse un espaciamiento mínimo de 2.5 veces el diámetro del pilote de centro a centro; para pilotes trabajando por fricción, para las dimensiones usuales de pilotes es suficiente con una distancia entre centros de 1.0 a 1.5 metros con lo que se logra un trabajo eficiente del grupo en relación con la capacidad para un pilote aislado.

**MÉTODOS PARA LA EJECUCION DE PRUEBAS DE CARGA.**- Hay innumerables dispositivos para efectuar pruebas de carga así como para pruebas de extracción de pilotes, aquí vamos a describir algunos para dar idea de la variedad de aparatos que se pueden diseñar según las posibilidades y las condiciones de cada caso.

Las cargas de prueba pueden aplicarse por los siguientes métodos:

- 1.- Por carga directa de una plataforma sobre la cual se colocan grandes cargas.
- 2.- Por carga directa de una plataforma sobre la cual se colocan tanques de agua que se llenan a voluntad.
- 3.- Por carga de una plataforma transmitida al pilote mediante el uso de un gato.
- 4.- Por medio de la carga de una estructura ya existente transmitida al pilote mediante un gato.
- 5.- Por medio de un marco anclado a pilotes adyacentes previamente hincados cuya resistencia a la extracción se aplica por medio de un gato al pilote cuya resistencia se quiere medir.
- 6.- Por la aplicación de la carga mediante un brazo en cantiliver para reducir la carga necesaria en la prueba.

La mejor explicación de cada uno de los procedimientos se dá -- con las figuras que se incluyen, con las cuales resulta obvia toda explicación fuera de la que se anota al pie de las figuras de referencia.

La carga directa que se usa para las pruebas puede lograrse con pedacería de hierro viejo, tierra, sacos de arena, bloques de concreto, tanques de agua, varilla de refuerzo, viguetas, etc.

Cuando se usa hierro viejo, viguetas o rieles resulta incómodo-reinstalar la carga cuando se requieren cargas repetidas en el mismo pilote. En estos casos resulta más ventajoso el uso de tanques de agua que se pueden llenar y vaciar con suma facilidad.

En las cargas provenientes de plataformas existe peligro al no fijar en forma apropiada dicha plataforma, en las esquinas de éstas deben colocarse soportes que prevengan la desviación de la carga o compensen los movimientos del terreno, se recomienda usar gatos en esos puntos, los cuales no se deben retirar sino hasta que la carga ha sido totalmente colocada y balanceada, los gatos se retiran poco a poco; los gatos que se usan comunmente para la ejecución de pruebas de carga son gatos hidráulicos o gatos operados por gas a presión, la ventaja de los gatos es que permite que las cargas se pueden aplicar y retirar con mucha facilidad y rapidez a voluntad, permitiendo la rápida determinación de los asentamientos netos del pilote o movimientos del suelo después de que ha venido la recuperación.

Para la determinación de las cargas de trabajo que se deben elegir de los resultados de una prueba de carga se siguen reglas arbitrarias o empíricas que se recomiendan en algunas especificaciones que pueden servir como criterio en los resultados de las pruebas, algunas de estas reglas toman en cuenta las deformaciones plásticas y las elásticas; algunas gráficas de pruebas muestran el punto de falla o el asentamiento total o el asentamiento plástico en forma tan evidente que cualquier regla sale sobrando, en otros casos las curvas cambian de pendiente en forma tan gradual que resulta difícil la localización del punto de falla, a tal grado que la aplicación de las reglas es labor de varios ingenieros bastante experimentados, a continuación se dan algunas de las reglas que más se usan:

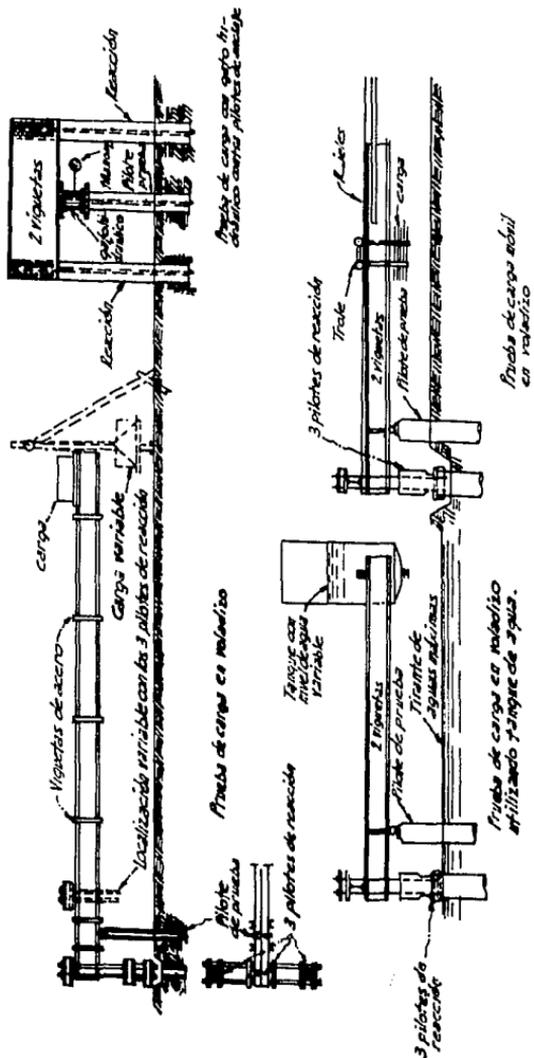


Fig. N° 34.- Dispositivos para pruebas de carga.

UNIVERSIDAD NAL. AUTONOMA
ESCUELA NACIONAL DE INGENIEROS
TESIS PROFESIONAL
ROBERTO LIRA MEZA
1954



a).- Observar el punto en el que la carga de prueba causa un asentamiento neto total de 0.5", el cual debe permanecer constante durante 48 horas, la carga que lo causa se divide por un factor de seguridad 2.

b).- Observar el punto en el que no habiendo ocurrido ningún asentamiento durante 24 horas, su asentamiento total, incluyendo la deformación elástica del pilote, no sea mayor de 0.005" por millar de libras de la carga de prueba, la carga se divide por un factor de seguridad 2.

c).- Observar el punto al cual el asentamiento neto, después de la recuperación, sea de 0.25".

d).- Observar el punto en el que la curva de la deformación sequebra con brusquedad, la carga se divide por un factor de seguridad de 1.5.

e).- La prueba se hará a un 200 por ciento de la carga propuesta y se considera insatisfactoria si después de permanecer 24 horas, el asentamiento neto total después de la recuperación es mayor de 0.005" por cada mil libras de carga aplicada.

f).- Observar el punto al cual el asentamiento total comience a exceder 0.015" por cada mil libras de carga adicional, la carga se divide por un factor de seguridad de 2 para cargas estáticas y de 3 para cargas vibratorias.

g).- Trazar tangentes en las porciones superior e inferior de la curva y observar la carga en la intersección de ambas tangentes y dividirla por un coeficiente de seguridad de 1.5 ó 2.

h).- Observar el punto en el cual la pendiente de la curva de asentamientos totales es cuatro veces mayor que el punto correspondiente sobre la curva de deformaciones elásticas del pilote, esta carga se divide por un factor de seguridad conveniente.

i).- Observar el punto en el cual, después de 24 horas, el hundimiento total, no exceda de 0.005" por cada 1000 libras de la carga de prueba, la carga se divide por un factor de seguridad 2.

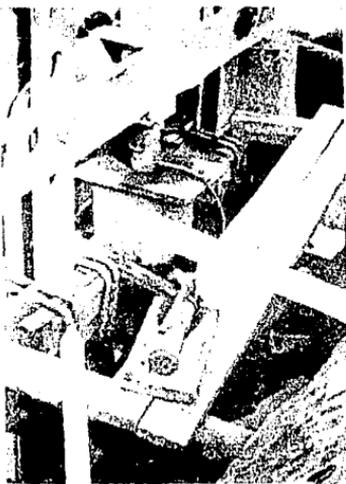
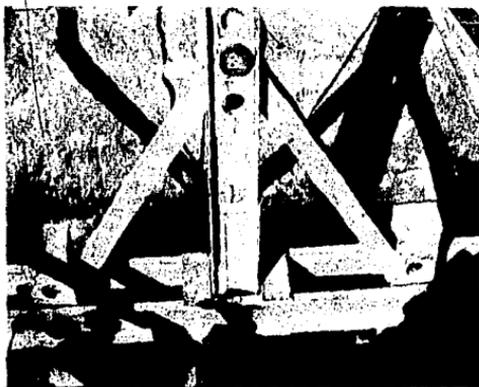
j).- Tomar dos tercios de la carga de prueba máxima, en el caso de que el asentamiento no sea excesivo y en la cual la carga y el hundimiento sean proporcionales; cuando la prueba se haya llevado hasta la falla, se toman dos tercios de la mayor carga a la que el hundimiento no haya sido excesivo y la que el asentamiento y la carga sean proporcionales.

k).- La carga de seguridad se considerará como el 50 por ciento de la que a las 48 horas de aplicada, cause un asentamiento permanente de 0.25" o menor.

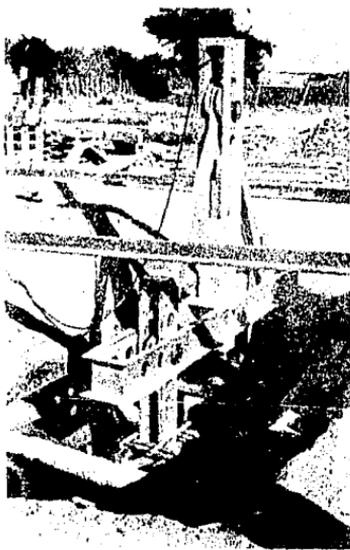
l).- Se permitirá una carga de seguridad de la mitad de la capacidad de carga si durante la prueba, la carga aplicada no produce cambio en el hundimiento y si el total de éste no es mayor de 0.005" multiplicado por el número de miles de libras de la carga aplicada para la prueba.



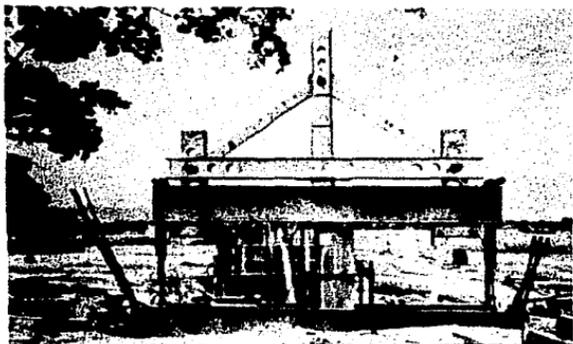
Rotura de las cabezas de los pilotes hincados a 2.50 metros bajo la superficie del terreno para instalar el marco para la prueba de carga en el pilote central.



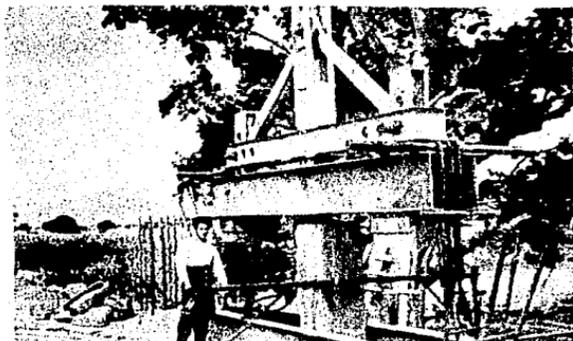
Varillas de anclaje iguales con las del pilote.



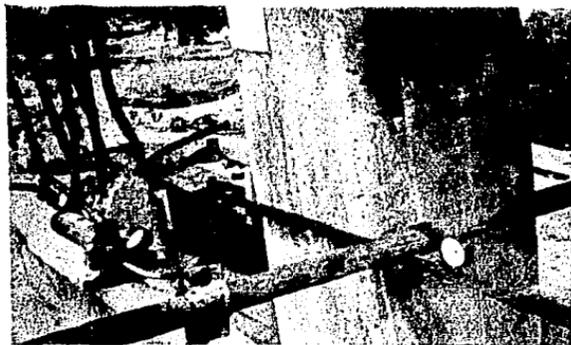
Detalles de una prueba de carga con un gato hidráulico apoyado en un marco especial instalado en un caballete con pilotes espaciados 1.25 m de centro a centro.



El mismo marco de las fotografías anteriores utilizado para probar pilotes con separación mayor que la máxima permitida por la abertura del marco.



Nótese la forma en que se transmitió el jalón a los pilotes de anclaje mediante el uso de viguetas de 20" de peralte y flechas de acero en los extremos.



Extensómetro para medir los movimientos del pilote, obsérvese la bomba del gato.



Otro aparato para medir hundimientos, el papel fijo al costado del pilote no utilizó para nivelaciones con nivel fijo.

m).- Observar la carga a la que se produce un incremento en el asentamiento que resulte desproporcionado al incremento de carga, -- aplicándole un factor de seguridad de 2.

n).- Observar la carga soportada sin exceder un hundimiento permanente total de 0.25" en 48 horas y dividirla por un factor de seguridad de 2.

Como puede verse, casi todas las reglas se basan en fijar un asentamiento permisible máximo que no debe aumentar en un período de terminado de tiempo para una carga fija, esta carga que se considera que es realmente la capacidad de carga final del pilote, se afecta de un factor de seguridad más o menos arbitrario con el cual queda fija la carga de seguridad, cuando las pruebas revelan que no se ha llegado a la capacidad de carga final, se procede a desmantelarla para proceder al rehincado, para lograr una longitud de hincado mayor que permita alcanzar la capacidad de carga deseada, desde que se procede a desmontar la carga hasta iniciar el rehincado, pueden transcurrir varias semanas, como en el caso de pilotes de concreto a los que hay que añadir longitud adicional y que hay que esperar a que esta adquiera edad suficiente que permita golpearlo sin peligro de dañarlo por motivo de la resistencia del concreto, vemos así la gran importancia que tiene el que los estudios previos se hagan con sumo cuidado a fin de evitar contratiempos costosos y retrasos en una obra con programa fijo, especialmente en el caso en que las pruebas de carga no se hicieron previamente a la iniciación del hincado de pilotes definitivos, con pilotes hincados ex-profeso, sino que la comprobación de las capacidades de carga se efectúan sobre los pilotes definitivos de los cuales ya se tienen hincados un número más o menos grande, a los cuales habrá que rehincar en caso de que las pruebas no hayan sido satisfactorias, también se puede ver la importancia que tiene el usar una fórmula de hincado apropiada y la de registrar el mayor número posible de datos que sirvan para corregir la fórmula que se use a fin de aproximar en lo posible la teoría con las observaciones prácticas.

## BIBLIOGRAFIA.

Soil Mechanics. . . . . Dimitri P. Krynine.

Piling for Foudations . . . . . R. R. Minikin.

Pile Foudations . . . . . Robert D. Chellis.

### Especificaciones:

American Society of Civil Engineers.

American Railway Engineering Association.

American Society for Testing Materials.

Canadian Engineering Standards Association.

Portland Cement Association.

Apuntes de Estructuras de Concreto . . . . . Ing. Alberto Muñoz C.

Apuntes de Procedimientos de Construcción. . Ing. Alberto Barocio.

Apuntes de Procedimientos de Construcción. . Ing. A. Fernández Varela.

Articulos publicados en diversas Revistas Técnicas Norteamericanas.

Libreta de notas personales de observaciones en el campo.

Boletines de la McKiernan-Terry y Vulcan Iron Works.