

PRIMER ENCUENTRO NACIONAL DE INGENIEROS
DE SUELOS Y ESTRUCTURAS.

PROBLEMAS CONSTRUCTIVOS EN CIMENTACIONES PROFUNDAS

Presentado por: Ing. Roberto Galante H.

COL.
ESCUELA NACIONAL DE INGENIERIA

Septiembre de 1991

PROBLEMAS CONSTRUCTIVOS EN CIMENTACIONES PROFUNDAS

Presentado por: Ing. Roberto Galante H.

El concepto de tomar las cargas de la estructura y transmitir las a aquellas capas profundas del subsuelo cuyas características se estiman mejores a las superficiales, es la razón de la existencia misma de los pilotes.

Los pilotes son clasificados en dos categorías dependiendo si su construcción se ejecuta con o sin extracción de tierra.

Dentro del grupo de pilotes ejecutados con extracción de tierra se distinguen, por su mayor frecuencia de utilización, los pilotes pre-barrenados y fundidos "In-Situ", excavados bajo lodos bentoníticos.

PILOTES PRE-BARRENADOS.

a) Utilización.

Durante los primeros años, los pilotes pre-barrenados eran casi exclusivamente utilizados cuando era posible transmitir la carga a un estrato resistente capaz de garantizar su absorción por la punta, considerando la capacidad por fricción como un factor adicional de seguridad.

Mayor información y desarrollo en los estudios del comportamiento del suelo sometido a esfuerzo han permitido la

utilización del elemento "pilote pre-barrenado", aún en los terrenos blandos similares a los característicos de la Sabana de Santa Fe de Bogotá, revaluando la contribución de la fricción, al punto que son ya innumerables los proyectos cuya solución de cimentación se basó en la construcción de pilotes que transmiten la mayor parte de la carga únicamente por fricción, pues la capacidad por punta es proporcionalmente baja.

Es válido, en términos generales, afirmar que la capacidad real de carga de un pilote será la suma de su capacidad por punta más su capacidad por fricción, teniendo en cuenta, sin embargo, la no simultaneidad de las dos componentes, obligándonos a utilizar factores de seguridad diferentes, aplicables a cada uno de los sumandos de la ecuación.

b) Construcción

Los equipos de pilotaje de rotación básicamente consisten en un motor capaz de transmitir giro a una barra de perforación telescópica a la cual se acoplan las herramientas de excavación, montados sobre una pala-grúa o un camión. Su cada vez más frecuente utilización se debe al hecho que son capaces de ejecutar, únicamente cambiando herramientas, pilotes de diferentes diámetros (entre 0.50 y 2.20 metros), con ensanchamientos en sus bases de ser necesario (hasta 4.40 metros), y profundidades notables de excavación, logrando, por

lo tanto, el aprovechamiento óptimo de la capacidad portante del elemento pilote. La mayor o menor capacidad de un equipo de perforación de pilotes está relacionada con el torque generado y transmitido a la barra de perforación.

El equipo se ubicará en el punto de centro del pilote localizado topográficamente, tomando la precaución de dejar las referencias necesarias que nos permitan, en todo momento, su reubicación con el propósito de controlar la posición correcta de la excavación. La perforación del pilote se logra por la rotación de la barra de perforación en cuya extremidad se ha colocado la herramienta necesaria según el tipo de suelo a perforar. Una vez llenada la capacidad de la herramienta, se saca a la superficie para su descargue repitiéndose esta operación hasta alcanzar la profundidad y/o la capa portante señaladas. La penetración se logra por el efecto de la rotación de la herramienta equipada con dientes adecuados, presionada por el peso de la barra de perforación y por el empuje que gatos hidráulicos ejercen sobre la misma.

La estabilidad de la perforación se encomienda al lodo bentonítico, obtenido de mezclar bentonita en polvo con agua en la concentración necesaria de acuerdo con las características del subsuelo. El lodo bentonítico, de aspecto gelatinoso en reposo, tiene dentro de sus propiedades la tixotropía que, en terrenos limosos, arenosos o de gravas logra formar una película o "cake" sobre las paredes y fondo de la perforación. El "cake" formado no se altera durante el proceso continuo de

excavación ni disminuye su efecto de arco creado por sí mismo en el hueco. Esta propiedad junto con la impermeabilidad de la película, logran formar una barrera contra el ingreso de agua a través de las paredes del pilote. Terrenos limos-arcillosos requieren un lodo de muy baja densidad y viscosidad, propiedades que se obtienen con concentraciones de bentonita no mayores de diez kilogramos por cada metro cúbico de agua. Terrenos conformados por arenas y gravas pueden llegar a exigir muy altas concentraciones de bentonita (más de 50 Kilogramos por metro cúbico). En ocasiones y en presencia de terrenos arenosos sueltos, o en casos de pilotes ejecutados en río o en mar, la perforación debe ejecutarse enteramente entubada, valiéndose de otra clase de equipos adicionales al rotativo. Terminado el proceso de perforación se colocará el refuerzo del pilote y se colocará el concreto, que debe ser diseñado de forma tal que, garantizando la resistencia a compresión exigida, pueda colocarse con un asentamiento (Slump) no menor de quince centímetros y con tiempo de manejabilidad bastante largo. El concreto se colocará a través de una tubería estanca que tendrá una longitud ligeramente inferior a la del pilote y un diámetro interno por lo menos igual a ocho veces el tamaño máximo del agregado usado en la mezcla. La colocación del concreto deberá hacerse asegurándose que la punta del tubo "tremie" permanezca siempre dentro del concreto.

c) El lodo bentonítico.

La bentonita, arcilla de la familia de las motmorilonitas, de producción nacional de buena calidad, se presenta en polvo y en bultos de 50 kilogramos. La preparación del lodo se realiza agregando a un metro cúbico de agua el polvo de bentonita, lentamente, recirculándolo por medio de bombas centrifugas hasta que todos los grumos hayan desaparecido. El lodo mezclado se mantendrá en tanques por lo menos seis horas antes de su uso con el fin de mejorar sus propiedades tixotrópicas.

De un lodo bentonítico común debemos pretender lo siguiente :

-un peso específico variable entre 1.00 y 1.10 gr/cm³ que por ser un fluido ejercerá unas presiones sobre las paredes de la excavación en un modelo triangular.

-una viscosidad variable entre 27 y 55 segundos medidos con el cono Marsh, logrando minimizar en lo posible la decantación sobre el fondo de partículas de arena u otros finos perdidos durante la excavación.

-una tixotropía que nos garantiza la formación del "cake" y por tanto sea por las tensiones superficiales como también por la impermeabilidad del mismo, minimizar el ingreso al pilote de las aguas presentes en el subsuelo, evitando así el arrastre de materiales y su consecuente derrumbe.

En casos muy especiales y ante la presencia de fuerte subpresiones o terrenos que requieran un lodo con un peso específico mucho más alto para mantener su equilibrio, se usa agragar polvo de barita preferiblemente.

PROBLEMAS CONSTRUCTIVOS.

Descrito así brevemente el proceso de ejecución del pilote pre-barrenado, entraremos a detallar más específicamente algunas de las más notables dificultades que se presentan durante la construcción de los pilotes.

1-EL USO DEL EQUIPO.

a) Verticalidad, centro y cotas.

La superficie de apoyo del equipo de pilotaje debe poseer una mínima capacidad de soporte para garantizar su estabilidad y minimizar los asentamientos que se puedan producir causados por el peso y los esfuerzos generados durante la excavación. Si además, se procede a excavar los primeros metros lineales, que son aquellos que guiarán la perforación, controlando hasta donde posible la verticalidad de la barra de perforación, podemos afirmar que en términos generales las desviaciones con respecto a la vertical de un pilote estarán siempre en rangos considerados más que aceptables.

Apenas iniciada la excavación, el punto que indicaba el centro del pilote, localizado topográficamente con estacas visibles, desaparecerá. Esto nos obliga a colocar, previamente, las referencias necesarias que permitan rápidamente verificar la exactitud de la ubicación de la perforación, el

correcto posicionamiento de las camisas de protección y la canasta de refuerzo. Es importante, antes de iniciar la excavación, remover los obstáculos superficiales (cimientos de anteriores construcciones, raíces, etc.)

b) Derrumbes superficiales.

La colocación de un tubo, al iniciar o finalizar la excavación, con un diametro ligeramente mayor al especificado para el pilote, ubicado en base en la referencias previamente dispuestas, no solo servirá de protección para el personal de operaciones, sino que garantizará la colocación del acero de refuerzo en la cota y sitio deseados.

Esta camisa de revestimiento parcial del pilote (longitudes entre tres y seis metros normalmente) contribuye además a evitar derrumbes superficiales no controlables con el solo uso del lodo bentonítico. En casos especiales y en presencia de rellenos no naturales, construcciones vecinas apoyadas sobre capas de recebo, capas superficiales de gravas, niveles freáticos altos y flujos de agua y arenas, por ejemplo, la colocación de la camisa de revestimiento al inicio de la excavación toma gran importancia pues a ella se confía el mantenimiento de las condiciones de equilibrio del suelo superficial y la contención de posibles socavaciones bajo las estructuras vecinas. No obstante ésta precaución, en ocasiones más críticas, afortunadamente no muy frecuentes, en las que se

considere que el derreumbe superficial pueda llegar a comprometer la capa de sustentación de las estructuras vecinas, se deberá complementar el uso de la camisa de protección con medidas adicionales tales como rellenar nuevamente la excavación con mortero de fragüe acelerado y resistencia máxima igual a cincuenta kilos por centímetro cuadrado a las cuarenta y ocho horas. Veinticuatro horas más tarde excavar nuevamente el pilote .

c) La Herramienta.

Cada terreno a perforar requiere de una herramienta especial , que garantice la extracción de la mayor cantidad posible del material perforado, minimizando las pérdidas de finos que puedan ocurrir en el proceso de llevar hasta la superficie la herramienta ya llenada. Las pérdidas de material de excavación irán siempre a incrementar el peso específico del lodo especialmente el del fondo de la excavación, dificultando la colocación del material concreto.

Las herramientas de perforación, por lo tanto, deben poseer tapas especiales que eviten las pérdidas y ser ligeramente tronco-cónicas minimizando, con esta forma, la superficie de contacto entre la herramienta y las paredes de la excavación, pues de lo contrario, en el momento de pretender recuperar el balde de perforación, se creará una fuerza de succión contra las paredes de la excavación pues barra y herramineta

Trabajarán como el émbolo de un pistón, causando deformaciones y derrumbes en las paredes del pilote y la pérdida del material excavado. La forma cónica facilita el proceso de descarga de la herramienta acelerando el proceso de excavación.

2-EL CONCRETO

La colocación.

El "tremie" , formado por el ensamble de varios tramos de tubería, tendrá una longitud ligeramente menor que la longitud de excavación del pilote. Durante el proceso de fundida es imperativo que la tubería esté penetrada por lo menos dos o tres metros dentro del concreto que se está instalando. Al mismo tiempo, para disminuir la presión que el concreto ejerce sobre las paredes de la excavación, es necesario recuperar tramo por tramo el tremie instalado. Esta recuperación se efectúa determinando, lo mejor posible (recordemos que se mide bajo 10 metros de lodo) la cota del concreto en todo momento y así decidir que tramo es posible recuperar.

El éxito en la colocación del concreto está directamente relacionado con la continuidad en el suministro. Es claro que interrupciones prolongadas en el vaciado no solo formarán juntas sino que entorpecerá notablemente la colocación del resto de la mezcla. El concreto inicialmente colocado al iniciar su fragüe, incrementará su adherencia con el terreno formando una

capa de concreto medianamente endurecido. Al mismo tiempo, esta capa de mezcla que ha iniciado fragüe dificultará levantar el tremie esa pequeña cantidad que permite el descenso del concreto. Si la interrupción se repite entre viaje y viaje del camión mezclador, el pilote corre el riesgo de quedar cortado por las juntas formadas, o por la recuperación total del tremie por el temor de perderlo, o por la efectiva pérdida del tremie que queda atrapado por el fragüe del primer concreto colocado. El suministrador de la mezcla debe hacer propios los problemas causados por un despacho inadecuado pues comparte la responsabilidad que conlleva la ejecución del pilote.

La fluidez

El concreto tipo tremie, desde hace ya algunos años, es el único recomendable para el vaciado de un pilote. Este concreto debe poseer un asentamiento no menor a quince centímetros logrado con el uso de aditivos fluidificantes que garanticen la resistencia especificada. Al comportarse la mezcla fresca como un fluido y por poseer una mayor cabeza hidráulica, (peso específico alrededor de 1.80 ton/m³) logrará desplazar al lodo dentro del pilote en un proceso ascendente rellenando todos los vacíos creados durante la excavación, siempre y cuando el lodo posea un peso específico bajo.

Si por la presencia en el subsuelo de grandes capas de arenas sueltas y/o estratos de gravas en matriz arenosa, el lodo

bentonítico incrementa su peso específico a valores críticos (1.35 ton/m³), el reemplazo del lodo por el concreto fluidificado se entorpecerá creando, posiblemente, intrusiones del lodo dentro del concreto que no solo deterioran la resistencia de la mezcla, sino que podrían llegar a estrangular al pilote.

El procedimiento a seguir, detectada la contaminación del lodo usando toma muestras de fondo, es el de substituir toda la columna de lodo dentro del pilote, reemplazándolo por lodo fresco. Esta substitución debe realizarse del fondo hacia arriba, garantizando el mantenimiento de la misma cabeza hidráulica presente antes de iniciar la substitución. La verificación constante del peso específico del lodo proveniente del fondo de la excavación durante la fase de substitución, permite saber en que momento debemos suspender el proceso e iniciar el vaciado del pilote.

En terrenos arcillo-limosos como los tradicionalmente encontrados en la sabana de Bogotá, el lodo bentonítico utilizado se forma con bajas concentraciones de bentonita (entre 0 y 20 kilos por metro cúbico) pues, en presencia de solo agua agregada a la excavación, los limos arcillosos formarán, yá de por sí, un lodo apto a mantener estables la mayoría de las excavaciones.

Son más frecuente los problemas causados por pequeñas pérdidas del material excavado en estratos de material orgánico con abundante presencia de maderas en descomposición, que se

este porcentaje de exceso. La determinación previa de un parámetro que permita estimar, así sea en forma aproximada el comportamiento del subsuelo y su probable porcentaje de expansión, contribuiría enormemente no solo en la evaluación de los costos de la cimentación, sino que, conociendo de la causa real del problema, seguramente se podría buscar su solución.

I-CONCLUSIONES.

La construcción de pilotes barrenados y fundidos bajo lodo bentonítico lleva utilizándose muchos años, resolviéndose con éxito cimentaciones de grandes proyectos en diferentes tipos de terrenos, minimizando los problemas causados por asentamientos diferenciales, y disminuyendo los costos de mantenimiento de la estructura a lo largo de su vida útil. Además, las cimentaciones sobre pilotes no sufrirán alteraciones importante inducidas por las nuevas construcciones vecinas.

Como puede apreciarse, los problemas relacionados con la construcción de los pilotes barrenados, han venido resolviéndose poco a poco a lo largo de los muchos años de utilización, logrando, por lo tanto, un alto grado de confiabilidad en el sistema constructivo. Esto, sin embargo, no debe disminuir el compromiso que tenemos de buscar mejores técnicas, depurar las actuales, mejorar equipos, pero sobre todo, vincularnos más con nuestras universidades que deben ser, por excelencia, el punto de encuentro de todas las inquietudes.