

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA

—“DISEÑO DE CIMENTACIONES SOBRE PILOTES”



Guatemala, Agosto de 1976.

**JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERIA DE LA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

Decano: Ing. Raúl Molina
Vocal Primero: Ing. Julio Campos Bonilla
Vocal Segundo: Ing. Roberto Barrios Morataya
Vocal Tercero: Ing. Leonel Aguilar Girón
Vocal Cuarto: Br. Jorge Guzmán
Vocal Quinto: Br. Felipe Berganza

**TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN
GENERAL PRIVADO**

Decano: Ing. Hugo Quan Má
Examinador: Ing. Raúl Molina
Examinador: Ing. Manuel Castillo Barajas
Examinador: Ing. Jacinto Quan Chu
Secretario: Ing. José Luis Terrón

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que la Ley de la Universidad de San Carlos establece, presento a vuestra consideración mi trabajo de tesis titulado:

“DISEÑO DE CIMENTACIONES SOBRE PILOTES”

Tema que me fué asignado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería.

DEDICATORIA

A mis padres:

Raúl León Cam
Alma Seis Lee de León

A mis hermanos y cuñados:

Dora y David
María del Carmen y Jorge Lucio
Irma Yolanda y René
Alberto y Ana Junny

A:

María Rosario Díaz Regalado

A mis amigos

RECONOCIMIENTO

Al Ing. Rolando Chichilla C.

Por su valiosa asesoría en el
desarrollo del presente trabajo.

INDICE

DISEÑO DE CIMENTACIONES SOBRE PILOTES

INTRODUCCION

CAPITULO I. FINALIDAD DEL USO DE PILOTES

- A. Objetivos Fundamentales del Uso de Pilotes
- B. Funciones de los Pilotes

CAPITULO II. TIPOS DE PILOTES

- A. Clasificación de Tipos de Pilotes por su Forma de Interacción con el suelo
 - A.1 Pilotes de Fricción
 - A.2 Pilotes de Punta
 - A.3 Pilotes Mixtos
- B. Clasificación de Tipos de Pilotes por el Material con que estan Construídos
 - B.1 Pilotes de Madera
 - B.2 Pilotes de Concreto Fundidos en el Lugar
 - B.3 Pilotes de Concreto Prefabricados
 - B.4 Pilotes de Acero
 - B.5 Pilares de Fundación

CAPITULO III. PASOS A SEGUIR EN EL PROYECTO DE FUNDACIONES SOBRE PILOTES

CAPITULO IV. SELECCION DEL TIPO DE PILOTE

CAPITULO V. DETERMINACION DE CAPACIDAD SOPORTE EN PILOTES

CAPITULO VI. ARREGLOS DE PILOTES EN GRUPOS Y EFECTOS DEL ESPACIAMIENTO DE LOS MISMOS

- A. Arreglos de Pilotes en Grupo
- B. Efectos del Espaciamento entre Pilotes

CAPITULO VII. DISEÑO DE CIMENTACIONES SOBRE PILOTES

- A. Excentricidad con Respecto a un Eje
- B. Excentricidad con Respecto a dos Ejes
 - B.1 Método de Superposición
 - B.2 Método Gráfico
- C. Ejemplos de Diseño
 - Ejem. 1. Carga Axial
 - Ejem. 2. Carga Axial y Momento en Dos Sentidos
 - Ejem. 3. Cimiento Combinado

BIBLIOGRAFIA

INTRODUCCION

Las condiciones de los estratos superiores del suelo no siempre ofrecen la posibilidad del uso de una cimentación poco profunda en las estructuras de las obras de ingeniería. En tales casos es preciso buscar estratos de apoyo mas resistentes a mayores profundidades. Muchas veces estos estratos no se encuentran a niveles económicamente factibles y por consiguiente, es preciso hacer uso de los estratos blandos y poco resistentes con que se cuenta, compensando esta inconveniencia con elementos de cimentación que distribuyan la carga en un área mayor de suelo.

Cuando económicamente sea factible hacer uso de los estratos inferiores, será preciso hacer uso de elementos que sean capaces de transmitir las cargas de las estructuras a los estratos adecuados que provean una capacidad soporte que les permita ser estables, seguras y permanentes. Generalmente los elementos usados para llevar a cabo esta función son los pilotes.

La necesidad del uso de los pilotes para una cimentación puede a veces ser evidente, o puede ser el resultado del estudio de suelos de los distintos estratos. Los pilotes generalmente son asociados con dificultades de cimentación y con condiciones desfavorables de los estratos superiores.

Muchas veces los estratos superiores del suelo de regiones en desarrollo (industrial, turístico, etc.) no ofrecen posibilidades de construir obras apoyadas en cimentaciones poco profundas que reflejen dicho desarrollo, y será necesario recurrir a cimentaciones profundas. Debido a la poca experiencia que se tiene en éstos tipos de trabajo, el ingeniero con frecuencia requiere de un panorama general de los pasos a seguir en el proyecto de cimentaciones sobre pilotes.

El propósito de este trabajo es el de presentar, tanto al profesional como al estudiante, un panorama general de la importancia y pasos a seguir en el proyecto de cimentaciones

sobre pilotes, así como los tipos mas comunes y las formas de obtener la capacidad soporte de los mismos.

Asimismo, señalar las diferencias básicas con respecto al diseño de cimentaciones comunes, y desarrollar a manera de ilustración el diseño de diversos casos de cimentaciones sobre pilotes.

CAPITULO I

FINALIDAD DEL USO DE PILOTES.

A. Objetivos Fundamentales del Uso de Pilotes

El objetivo fundamental del uso de pilotes es el de proporcionar una cimentación adecuada para una estructura cuando el suelo situado inmediatamente por debajo de la misma no le proporcione la suficiente capacidad soporte. El otro objetivo fundamental del uso de pilotes es el de eliminar los asentamientos debidos a la consolidación de materiales.

B. Funciones de los Pilotes.

Las funciones de los pilotes son variadas, pero generalmente se hace un uso efectivo de ellos de cualquiera de las maneras siguientes:

- 1o. Para transmitir las cargas de una estructura a través de un estrato superior blando, hasta un estrato de suelo firme, que garantice el apoyo adecuado (Pilotes de Punta).
- 2o. Para transmitir la carga en toda su longitud (Pilotes de Fricción).
- 3o. Para transmitir la carga a través de un estrato superior blando hasta un estrato de suelo resistente, en donde se produzca la fricción suelo-pilote (Pilotes Mixtos).
- 4o. Para compactar suelos.
- 5o. Para proporcionar el debido anclaje lateral a ciertas estructuras o resistir las fuerzas laterales que se ejerzan sobre ellas.

- 6o. Para proporcionar anclaje a estructuras sujetas a subpresiones, momentos de volteo o cualquier efecto que trate de levantar la estructura (Pilotes de tensión).
- 7o. Para alcanzar con la cimentación profundidades ya no sujetas a erosión, socavaciones u otros efectos nocivos.
- 8o. Para proteger estructuras marítimas, tales como muelles y atracaderos contra el impacto de barcos u objetos flotantes.

A menos que los pilotes sirvan para uno de los propósitos anteriormente mencionados, éstos no deberán ser usados. Se tiene la creencia de que los pilotes nunca son dañinos, pero esto no es completamente cierto. Los pilotes pueden no tener importancia alguna en ciertos casos, pero bajo ciertas condiciones su uso puede ser muy perjudicial. Por ejemplo, en el caso de una capa delgada de arcilla firme que yace sobre un estrato de arcilla blanda, el estudio de suelos podrá mostrar que la arcilla firme tenga un valor adecuado de capacidad soporte, y podrá actuar como un manto de distribución sobre la arcilla blanda extendiendo la carga. Con el hincamiento de pilotes se podría destruir esta ventaja y de este modo disminuiría la presión unitaria sobre la arcilla blanda, con el resultado de tener asentamientos mayores en los estratos blandos que están debajo. Además el asentamiento total podría agravarse por el acarreo de la arcilla firme de encima debido a la acción del hincamiento de los pilotes.

Obviamente los pilotes serán usados cuando las condiciones del estrato superior no sean convenientes para el uso de una cimentación poco profunda, o cuando no sea ni económico ni preferible edificar la estructura en la posición en que estaría si los pilotes no fuesen usados.

CAPITULO II

TIPOS DE PILOTES

Los pilotes pueden clasificarse de acuerdo con:

- a) Su forma de interacción con el suelo, y
- b) Por el material con que están contruidos

A. Clasificación de Tipos de Pilotes por su forma de interacción con el Suelo.

Los pilotes pueden dividirse en tres clases en función de la forma como transmiten su carga al suelo:

- A.1 Pilotes de Fricción
- A.2 Pilotes de Punta
- A.3 Pilotes Mixtos

A.1 Pilotes de Fricción

Esta clase de pilotes transfieren al suelo su carga por fricción en todo lo largo, y de acuerdo con el tipo de suelo que atraviesan se dividen en:

- a) Pilotes de fricción en suelos de granos gruesos muy permeables: Estos pilotes transfieren al suelo la mayor parte de su carga por fricción lateral. El hincamiento en grupos, con una distancia pequeña entre pilotes, reduce grandemente la porosidad y la compresibilidad del suelo situado dentro y alrededor de los grupos. Por ello, los pilotes de ésta clase se denominan a veces pilotes de compactación.

b) Pilotes de fricción en suelos de granos muy finos de baja permeabilidad: Estos pilotes transmiten su carga al suelo por fricción lateral, pero sin llegar a compactar el terreno en forma perceptible. Las cimentaciones sobre pilotes de éste tipo se denominan comúnmente cimentaciones sobre pilotes flotantes.

Cuando se hinca un pilote en arena muy densa, el rechazo suele alcanzarse rápidamente a una profundidad reducida, mientras que en arena suelta pueden hincarse pilotes hasta gran profundidad sin lograr una resistencia adecuada.

En toda arena, tanto la fricción lateral por unidad de superficie de contacto como la resistencia de punta aumentan con la profundidad.

Se ha observado a veces que la capacidad de carga de pilotes en arena disminuye visiblemente durante los dos o tres primeros días después de hincados. Aunque es un fenómeno eventual, no debe olvidarse que puede producirse. Probablemente, aunque no se sabe con seguridad, se deba a un estado temporal de tensiones, desarrolladas durante el hincamiento, en las arenas que rodea la punta del pilote. Este estado de tensiones es el que origina un aumento temporal de la resistencia de punta.

Para pilotes hincados en arcilla, la fricción lateral por unidad de área de contacto es más o menos independiente de la profundidad de penetración y del método usado para colocar el pilote, pues depende casi exclusivamente de las propiedades de la arcilla.

A.2 Pilotes de Punta

Esta clase de pilotes transmiten su carga a un estrato firme situado a una profundidad considerable por debajo de la base de la estructura. Sin embargo se ha demostrado que una parte considerable de la carga es resistida por fricción lateral, al menos temporalmente. Si los pilotes atraviesan un suelo muy

compresible, como arcilla o limo blando, la presión transferida al suelo por fricción lateral lo consolida gradualmente, y como consecuencia, el pilote tiene tendencia a asentarse. Sólo el suelo en donde está la punta resiste dicha tendencia, de modo que a medida que pasa el tiempo, la presión aumenta sobre la punta del pilote. Este proceso continúa hasta que la mayor parte de la carga que actúa sobre el pilote es resistida por la punta del mismo.

A.3 Pilotes Mixtos

Esta clase de pilotes aprovechan a la vez los dos efectos: resistencia por fricción lateral y resistencia de punta.

B. Clasificación de Tipos de Pilotes por el Material con que están contruídos.

De acuerdo con el material con que están contruídos los pilotes pueden clasificarse en:

- B.1 Pilotes de Madera
- B.2 Pilotes de Concreto Fundidos en el Lugar
- B.3 Pilotes de Concreto Prefabricados
- B.4 Pilotes de Acero
- B.5 Pilares de Fundación

B.1 Pilotes de Madera

Los árboles constituyen un recurso renovable y pueden sembrarse en cualquier parte del mundo. Sin embargo, un árbol que sea conveniente para usarse como un pilote largo puede requerir de 75 a 100 años (o más) para crecer. Por otro lado, es difícil obtener pilotes de madera que sean lo suficientemente largos y rectos.

Los pilotes de madera son relativamente livianos y fáciles de manejar, y puesto que flotan, la transportación de los mismos puede ser económica y fácil en el caso de estructuras cercanas a ríos.

En hincamientos duros el extremo del pilote puede ser aplastado cuando atraviere o entre en un estrato de grava gruesa. La falta de rectitud de los mismos puede causar que se deflecten en el momento del hincamiento.

Es muy fácil acortar un pilote de madera que no penetrará la longitud prevista. Por el contrario, cuando el pilote sea demasiado corto, el problema se complica, aunque se podrá continuar el pilote con otra pieza de madera colocada en el tope del pilote ya hincado. Esta extensión podrá ser hecha de concreto o bien de madera.

Los pilotes de madera son buenos como pilotes de fricción; sin embargo no son muy deseables como pilotes resistentes de punta porque el esfuerzo de compresión de la madera es relativamente pequeño y la punta de los extremos es también pequeña. Regularmente, un pilote de madera no deberá de soportar más de 30 a 40 toneladas aún bajo las mejores condiciones.

La durabilidad de los pilotes de madera es uno de los problemas más graves. La utilidad de los pilotes puede ser destruída por hongos, por algas marinas y por acciones mecánicas.

B.2 Pilotes de Concreto Fundidos en el Lugar

La variedad de éstos tipos de pilotes pueden dividirse en dos clases:

- a) Los que tienen un cascarón metálico que es hincado y dejado en la tierra, y luego son llenados con concreto, y

b) los que tienen un cascarón metálico que es removido después o durante el llenado con concreto.

Los cascarones metálicos generalmente están disponibles, y el concreto puede obtenerse o hacerse en cualquier lugar.

Los cascarones metálicos livianos pueden ser fácilmente transportados, inclusive en forma de pedazos cortos que posteriormente pueden ser soldados.

Los cascarones metálicos son tan livianos y fuertes que su manejo en el campo es relativamente rápido. Las operaciones del concreto son también simples y eficientes.

El hincamiento de estos pilotes es generalmente simple y confiable. Los cascarones delgados pueden ser dañados por rocas, grava e hincamientos duros.

En lo que respecta al ajuste de la longitud, éstos pilotes tienen una gran ventaja. El exceso de la longitud de los cascarones puede ser cortado, y las extensiones pueden ser soldadas. El concreto puede depositarse hasta la elevación que se desee, y puede usarse refuerzo en el concreto.

En muchos casos la resistencia de éstos pilotes es excelente, si el suelo permite su desarrollo. El concreto es el principal material de soporte. El peso de éstos pilotes es grande y debe ser considerado en las cargas aplicadas al pilote.

Estos pilotes son durables debido al concreto, a no ser que el suelo contenga ácidos.

B.3 Pilotes de Concreto Prefabricados

Estos tipos de pilotes están fuertemente reforzados como las columnas y diseñados para resistir los esfuerzos y choques que puedan suceder en el campo de operaciones.

Estos pilotes pueden fabricarse con acero o con cables pretensados como refuerzo en concretos de 5,000 a 6,000 lbs/pulg². Pueden usualmente hincarse con topes planos y pueden hacerse de sección cuadrada u octogonal y refuerzo en espiral.

Los pilotes prefabricados son muy pesados y por ello su transportación es cara, excepto cuando pueda efectuarse por lanchones o barcas. Los pilotes deben fabricarse en o cerca al lugar cuando se trate de un trabajo grande. El costo del transporte puede ser una gran desventaja si van a ser usados pocos pilotes.

Una de las desventajas de estos pilotes es la dificultad de ajustarse a la longitud requerida. Si el pilote tiene que acortarse, es muy difícil de hacerlo. Aún cuando se acorte, el tope del mismo pareciera que estuviera fallado. Si por el contrario, el pilote fuera muy corto, es difícil de extenderlos a modo de obtener un empalme seguro y efectivo con el pilote original. Esta característica es especialmente mala cuando los pilotes atraviesan aire o agua y sirven como columnas que pueden estar sujetas a esfuerzos laterales. Cuando no sea posible estimar la longitud precisa de los pilotes es deseable que éstos sean mas cortos; que las barras del refuerzo longitudinal se dejen fuera la longitud apropiada para efectuar los empalmes; que se use una extensión especial que es diseñada para que se ajuste a las barras durante el hincamiento, y luego fundir sobre ellos cualquier extensión reforzada que sea necesaria.

Los pilotes prefabricados, especialmente los que tienen una sección constante, pueden ser columnas excelentes, y pueden también ser buenos pilotes de fricción. Una posible ventaja de gran valor es que los pilotes prefabricados pueden someterse a cargas pesadas inmediatamente después de hincados.

En general, éste tipo de pilote es bastante durable.

B.4 Pilotes de Acero

Dentro de esta clasificación de pilotes están incluidos aquellos que dependen principalmente del acero para resistir cargas longitudinales y transversales. Los cascarones metálicos utilizados en los pilotes fundidos en el lugar resistirán cierta carga. Si dichos cascarones son diseñados para resistir la mayor carga, entonces éstos pilotes serán clasificados como pilotes de acero. Sin embargo, éste nombre es usado generalmente para denotar pilotes de acero de perfil H y aquellos en los que un miembro de acero es la parte principal, ya sea que esté en concreto o no.

Entre las ventajas de los pilotes de acero se encuentran su gran resistencia como columnas, el alto esfuerzo unitario del metal en sí, las grandes longitudes que pueden ser usadas, la capacidad de los pilotes de atravesar obstáculos y penetrar dentro de los estratos inferiores, y su resistencia como vigas.

Pilotes de acero largos y pesados pueden transportarse por agua o tren, sin embargo esto es igualmente de caro. Pueden soldarse varias piezas cortas en el campo para obtener miembros largos de ser necesario.

Estos pilotes son tan fuertes como las columnas que generalmente resistirán cualquier fuerza o impacto que les sea aplicado durante el hincamiento.

B.5 Pilares de Fundación

Los pilares de fundación son columnas de forma prismática o cilíndrica que básicamente tienen la misma función que desempeñan los pilotes o conjunto de pilotes.

Los pilares de fundación, al igual que los pilotes resistentes de punta, tienen como función transferir las cargas a un estrato firme que está situado debajo de estratos blandos.

Puesto que los pilares de fundación y los pilotes sirven para el mismo propósito, se hace difícil señalar una diferencia neta entre ambos. Por ejemplo, los pilotes de concreto fundidos en el lugar, después de efectuar el agujero en el terreno, bien podrían denominarse pilares de fundación de pequeño diámetro, pues se construyen siguiendo procedimientos similares a los usados para instalar grandes pilares.

Una diferencia básica que podría señalarse entre los pilotes y los pilares de fundación es el método utilizado para instalarlos en el terreno. El método de construcción dependerá principalmente de las condiciones del subsuelo.

Los métodos más comunes para construir los pilares de fundación se dividen en dos clases: excavación de pozos abiertos vaciados en sitio, y descenso de cajones o cilindros premoldeados. El cajón o cilindro es un elemento hueco que va descendiendo por su propio peso a medida que desde su interior se excava el suelo hasta alcanzar el nivel deseado.

CAPITULO III

PASOS A SEGUIR EN EL PROYECTO DE FUNDACIONES SOBRE PILOTES.

Para el proyecto inicial de una fundación sobre pilotes se requiere:

- 1o. Un perfil del suelo que muestre los resultados de las perforaciones efectuadas para tal objeto. Regularmente, la información proporcionada por el perfil del suelo es suficiente para determinar si la cimentación será hecha sobre pilotes de fricción, sobre pilotes de punta que atraviesan un estrato blando y se apoyan en uno firme, o sobre pilotes flotantes.
- 2o. Estimar la longitud y el tipo de pilote a utilizar. Cuando son pilotes resistentes de punta, la estimación de la longitud necesaria suele ser bastante exacta. Sin embargo, cuando son pilotes resistentes por fricción, la estimación no suele ser lo suficientemente precisa.
- 3o. Luego de haberse elegido en forma tentativa el tipo y longitud de los pilotes, se calcula o determina a través de ensayos de carga, la capacidad máxima de carga de un pilote. Luego éste valor se divide por un coeficiente de seguridad, para obtener finalmente la "carga admisible" por pilote. A continuación puede calcularse el número necesario de pilotes, dividiendo el peso total de la estructura por la "carga admisible" por pilote.
- 4o. Una vez ha sido determinado el número de pilotes, se procede a seleccionar su espaciamiento. Por razones prácticas, el distanciamiento entre ejes de pilotes no debe ser menor de 2.5 veces su diámetro. Si la separación es menor que la indicada, el levantamiento del suelo suele ser excesivo, con el resultado de que el hincamiento de un pilote nuevo puede llegar a desplazar o a levantar los pilotes adyacentes. Por otra parte, es conveniente que los pilotes no estén distanciados mas de 4 veces su diámetro, pues aumenta el costo de la zapata sin que ésto beneficie materialmente a la cimentación.

5o. Una vez determinado el número de pilotes, estos se disponen en filas paralelas, formando cuadrados o tréboles. (Véase arreglos de pilotes en Figuras 6.3 y 6.4).

6o. El último paso a seguir es el cálculo y diseño de la zapata que forma el cabezal de los pilotes. El cálculo de los momentos flectores y esfuerzos de corte generalmente son efectuados suponiendo que cada pilote soporta la misma carga. Tanto los análisis teóricos como ensayos prácticos han demostrado que esta hipótesis se halla comúnmente alejada de la verdad. En efecto, si los estratos son razonablemente horizontales y los pilotes en sus extremos no se hallan apoyados sobre roca, la carga por pilote en un grupo que soporta un cabezal rígido aumenta del centro hacia los bordes.

7o. Es importante considerar las fuerzas laterales así como las cargas excéntricas ya que éstas aumentan considerablemente el esfuerzo en los pilotes. Estructuras tales como muelles, muros y puentes frecuentemente están sometidas a fuerzas laterales que producirán flexión en los pilotes a no ser que se usen pilotes inclinados.

CAPITULO IV

SELECCION DEL TIPO DE PILOTE

En el proyecto de cimentaciones sobre pilotes, una de las primeras decisiones es la que concierne al tipo de pilotes a usar. Varios tipos pueden ser usados, pero el problema está en seleccionar cuál es el mejor.

Cada caso es un problema específico: una estructura dada con sus cargas y dimensiones, en un sitio particular, será soportada sobre el suelo que allí exista. Conociendo estas condiciones, ¿cómo se puede determinar el mejor tipo de pilote a usar?

Factores que pueden influenciar la decisión del tipo de pilote a usar son los siguientes:

1. Longitud requerida.
2. Valor resistente deseado por pilote.
3. Accesibilidad del sitio.
4. Equipo para el manejo de los pilotes.
5. Materiales disponibles o fácilmente accesibles.
6. Elevación del nivel freático con respecto a los cabezales de los pilotes.
7. Comparación de costos.
8. Experiencia con construcciones usadas en estructuras similares.
9. Facilidad de instalación.

10. Rapidez con que los pilotes puedan ser conseguidos.
11. Rapidez de instalación.
12. Pilotes mas convenientes de acuerdo con los métodos y condiciones de hincamiento.
13. Posibilidad de daño en los pilotes después de hincados.
14. Adaptabilidad para variar la longitud si fuese necesario.
15. Facilidad de incrementar el número de pilotes de ser necesario.
16. Disponibilidad de un contratista con equipo capaz para instalar cierto tipo de pilote.
17. Conveniencia de utilizar servicios y productos de un contratista particular por razones de empleo y por las experiencias favorables de su trabajo en el pasado.
18. Hincamiento sobre o debajo del nivel freático.
19. Flexibilidad o resistencia a flexión requerida.
20. Efectividad del pilote como columna, cuando sea pilote resistente de punta.
21. Area del extremo o punta del pilote cuando este sea resistente de punta.
22. Resistencia del pilote a hincamientos duros cuando esto sea necesario.
23. Tipo de pilotes previamente usados si el nuevo trabajo es una extensión de una estructura anterior.
24. Perturbación mínima del suelo cuando ello sea un factor.

25. Presencia de ácidos o de otros materiales en el suelo que pudiesen dañar ciertos tipos de pilotes.

Cuando un tipo de pilote sea seleccionado después de la consideración de varias proposiciones, habrán muchos argumentos para llegar a tomar una decisión. Cada contratista cree en su producto, y asegurarán que sus pilotes soportarán la carga especificada. Un juicio basado únicamente sobre el precio puede no ser aconsejable.

Cada tipo de pilote tiene sus ventajas especiales para ciertos usos. Si esto no fuese así, la competencia eliminaría a muchos de ellos. Por otro lado, un contratista comprometido en un trabajo de cimentación usualmente instala varios tipos de pilotes en el curso de su trabajo, cosa que puede hacer rápidamente.

Es deseable que el ingeniero decida por sí mismo de antemano, qué tipo de pilote es el mejor, obteniendo consultoría en esta materia cuando lo requiera. Después de esto, la competencia se asegura a través del deseo de los contratistas por obtener el trabajo.

Costo Relativo de Pilotes.

Los costos probables y razonables forman parte de una fase de la ingeniería, y deben considerarse a la par de las ventajas técnicas que ofrezcan los diversos tipos convenientes y posibles de pilotes. La vida probable de los pilotes puede ser relacionada con la vida económica de la estructura.

El costo unitario por unidad de longitud de varios tipos de pilotes puede ser desorientador. Una discusión indicará las razones, así como los factores de selección de las comparaciones deseadas.

El costo de comparación realmente requerido es el costo por unidad de carga soportada por toda la sub-estructura,

incluyendo los pilotes, excavación, inyección, concreto, refuerzo y otros aspectos necesarios. Las dimensiones de las secciones de los pilotes o el peralte de los cimientos varían con el número y cargas de trabajo de los pilotes. El costo de otros elementos de la cimentación que no sean los pilotes puede ser estimado de diseños preliminares.

El costo de los pilotes incluye la renta de equipo para su manipulación y personal, costo del equipo de manipulación en y fuera del lugar, combustible, herramientas, renta de equipo auxiliar, costo del material de los pilotes, puntal y cabezal de los pilotes, empalmes, hincado de pilotes a través de obstrucciones, re-hincamiento para pruebas por sobre cargas, tiempo en reparaciones y mantenimiento, impuestos, obligaciones y cambio de moneda debido a materiales importados, seguros, sobrecargos y ganancias.

La parte del costo debida al equipo para el hincamiento de los pilotes varía mucho con el número y la longitud de los mismos. El costo de los equipos de manipulación tiene un amplio rango, dependiendo de la capacidad para tratar pilotes leves o pesados, cortos o largos.

La accesibilidad al sitio afecta tanto el costo del equipo como el de los pilotes. En un lugar en el que gran número de pilotes espaciados muy cerca vayan a ser hincados, puede ser conveniente el desvío de una línea férrea.

El costo del hincamiento por pie líneal de los pilotes se encuentra afectado materialmente por la longitud de los mismos, ya que una considerable parte del tiempo se consume en la colocación de los pilotes en la guía, y por ello es que a menos colocaciones para una cimentación dada, más económico será el hincamiento por pie. El costo unitario depende también de lo dificultoso del hincamiento, y el número total de golpes dependerá de la velocidad y dimensión del martillo, de la energía por golpe, y del esfuerzo permisible en el pilote. Los pilotes pueden pasar dentro de un estrato de agua, hundiéndose bastante bajo el peso del martillo, o requerir bastantes golpes por pie. Se

necesitará tiempo para lograr solventar las obstrucciones, aunque otros métodos de hincamiento sean usados.

Los costos unitarios serán menores en trabajos grandes que requieran varios equipos debido a que los gastos extras podrán ser repartidos entre mas equipos y pilotes. Dependiendo de las condiciones podrán hincarse de 6 a 30 pilotes por tanda. Un rango común para condiciones medias podrá ser de 16 a 20 pilotes.

La disponibilidad de los pilotes o el material para su construcción afectan el costo. Si en un lugar necesitaran pilotes de madera de cierta longitud, y no se tiene disponibilidad de ellos, el costo de la obtención de los mismos se verá afectado por otros factores además del propio costo del pilote. El índice de los costos varía regularmente año con año. Los costos varían considerablemente, incluso con el lugar.

Es evidente de que no existen precios unitarios estándar para tipos de pilotes. Podrán ser hechas estimaciones comparativas aproximadas de la evaluación de los distintos costos. Podrán obtenerse valores mas aproximados consultando a los contratistas. A veces es imposible decir de las estimaciones preliminares cuál de los varios tipos de pilotes será el mas económico.

CAPITULO V

DETERMINACION DE CAPACIDAD SOPORTE EN PILOTES

Los pilotes pueden ser hincados a golpes, a presión o fundidos en el lugar en una excavación realizada previamente a la construcción del pilote. Para los pilotes hincados a golpes existen tres tipos principales de martinets de hincado: El de caída libre, de poco uso por su lentitud, consiste simplemente en una masa guiada, que se eleva por medio de una polea y se deja caer desde una altura determinada; el de vapor de acción sencilla, que utiliza la energía del vapor para levantar la masa golpeante, para después dejarla caer por acción exclusivamente gravitacional; y el de vapor de doble efecto, en el que la energía del vapor eleva la masa y la impulsa y acelera en su caída.

La determinación del valor de la capacidad soporte permitida en un tipo particular de pilote, que será usado bajo las condiciones específicas existentes de un lugar, es una materia que además de importante es incierta.

Se han usado fórmulas y criterios para calcular la capacidad de carga en pilotes las cuales pueden agruparse en tres clases principales: fórmulas dinámicas, fórmulas empíricas y pruebas de carga.

Las fórmulas dinámicas obtienen la capacidad de carga del terreno a partir de la energía comunicada al pilote por el impacto del martillo de hincamiento. Estas fórmulas provienen de un principio común: La energía del impacto, cuantificada multiplicando el peso del martillo golpeante por su altura de caída libre, es igual al trabajo efectuado durante la penetración de la punta del pilote en el impacto, por una fuerza que representa la resistencia dinámica del suelo al pilote y que se supone igual a la carga estática que el pilote puede soportar.

A partir del principio anterior, diferentes investigadores han ido complicando las fórmulas a usar, al tratar de tomar en

cuenta las pérdidas de energía que se tienen durante el hincamiento, por rebote del martillo, deformación del pilote, vibraciones, etc.

La aplicación de las fórmulas dinámicas está generalmente destinada a los pilotes de punta hincados a golpe. Las fórmulas podrán ser utilizadas en el caso de estratos poco cohesivos, tales como arena, grava o estratos permeables. En éstos estratos la resistencia actuante mientras el pilote es hincado, guarda una relación estrecha y razonable con la resistencia actuante en un pilote que soporte carga estática.

En el caso de hincamiento de pilotes en materiales plásticos, como arcilla suelta, la relación entre la resistencia temporal al hincamiento y la resistencia permanente a la carga aplicada en el pilote es incierta. En materiales de ésta clase, la fricción que actúa durante el hincamiento es mucho menor que la fricción que ocurre después de un período de tiempo, pero la resistencia a un golpe dinámico es mayor que la resistencia a una carga estática soportada por un período largo. Este fenómeno es causado porque para que el pilote penetre se requiere que el agua en los vacíos de la arcilla escape. Este proceso requiere un tiempo considerable y no puede cumplirse con un golpe repentino. Esta inhabilidad del agua para escapar rápidamente a través de la arcilla causa que ésta esté presente en la superficie del pilote durante el hincamiento, lubricando así la superficie. Después del hincamiento, el exceso de presión hidrostática en la arcilla irá disminuyendo gradualmente, y éste material se pegará mas al pilote, incrementando la fricción en el mismo con el resultado que más carga será soportada por fricción y menos por punta.

El criterio para un uso seguro de las fórmulas dinámicas es que el rehincamiento después de un descanso no difiera demasiado de la última resistencia ocurrida durante el hincamiento original. Algunos códigos limitan el uso de las fórmulas dinámicas para suelos en los que la resistencia dinámica al rehincamiento, después de 24 horas de reposo, muestre un incremento no mayor del 25o/o.

Las fórmulas empíricas obtienen la capacidad de carga del pilote por experiencias locales.

Las fórmulas empíricas tienen el inconveniente general de su localismo. Muchas veces se elaboran sin bases racionales sólidas y, por ello, están sujetas a numerosas incertidumbres que hacen necesario aplicarles un coeficiente de seguridad superior a lo que es normal, lo que conduce a cimentaciones antieconómicas. Una buena parte de éstas fórmulas tienen como base criterios dinámicos; otras son simples recetas que tratan de recoger experiencias locales interpretadas con un carácter totalmente burdo.

Generalmente el mejor método para estimar la capacidad de carga de un pilote individual en un cierto lugar, es el realizar una prueba de carga a escala natural en ese lugar. El inconveniente de las pruebas de carga estriba en su costo y en el tiempo requerido para realizarlas; estas razones hacen que en numerosas obras de poca magnitud no se ejecuten. En obras de importancia, sin embargo, no es buen criterio evitar las pruebas de carga en nombre del costo o del tiempo y, por lo menos deben hacerse algunas pruebas en lugares representativos de las distintas condiciones prevalecientes; la elección correcta de tales lugares es, desde luego, de fundamental importancia, define el éxito del programa de pruebas y suele requerir bastante experiencia. El lugar apropiado para efectuar una prueba de carga no siempre es aquel en que el terreno presenta condiciones más críticas, pues debe contarse también con la magnitud de las cargas en cada pilote, con el número de pilotes que se colocarán en cada zona y con las consecuencias derivadas de la falla de un pilote.

Con una prueba de carga puede obtenerse información sobre los aspectos siguientes:

- a) La capacidad de carga última (carga para la cual el asentamiento del pilote aumenta en forma continua sin mayor incremento de carga) por punta de un pilote. Una prueba de carga bien ejecutada da valores bastante satisfactorios en la capacidad de carga por punta, ya sea que se apoye en arena o arcilla dura.

b) La capacidad de carga de un pilote por fricción lateral. El resultado de una prueba de carga da la resistencia lateral por fricción o adherencia cuando la capacidad de carga por punta es despreciable, como suele ser el caso de pilotes hincados en arcilla blanda.

c) El asentamiento total del pilote bajo la carga. Esta información es bastante confiable cuando la punta del pilote se apoye en suelos no compresibles. En cambio, los asentamientos obtenidos en la prueba de pilotes de fricción colocados en arcillas blandas no representan los asentamientos que se tendrían en un pilote cargado a largo plazo. La razón es que en éstos casos, los fenómenos de compresibilidad están muy ligados al tiempo, y los períodos de prueba no son de ningún modo representativos de los tiempos de vida de los pilotes.

La tabla IV-1 dá una escala general de valores que pueden servir en la determinación del valor de la capacidad soporte de pilotes y en la comparación de tipos de pilotes. Los datos pueden ser utilizados únicamente para diseños preliminares.

Deben realizarse pruebas cuando ésto pueda llevarse a cabo.

En trabajos pequeños, donde pequeños grupos de pilotes son usados en lugares amplios o donde las condiciones del suelo varían considerablemente, puede ser excesivamente costoso hacer las pruebas adecuadas. Valores de capacidad soporte conservadores serán entonces usados en el diseño, y ésto se podrá comparar con los datos adicionales que se obtengan durante el hincamiento de los pilotes.

TABLA IV-I. VALORES ESTIMADOS DE CAPACIDAD SOPORTE DE PILOTES INDIVIDUALES
(CARGAS POR PILOTE, EN TONS. TODOS LOS PILOTES SON DE 50 A 60 PIES DE LARGO)

TIPO DE ACCION	SUELO	TIPO DE PILOTE												
		MADERA	CONCRETO PREFABRICADO		CONCRETO FUNDIDO EN EL LUGAR CON CARGAS				TUBOS DE ACERO Y CONCRETO		PILOTES DE PERFIL H 14"			
			12" CUADRADO	18" OCTOGONAL	FORMA DE PUNTA	12" CILINDRICO	18" CILINDRICO	TIPO DE FONDO DE BOTÓN	12"	18"				
DE FUNTA	FIAMA, ARENA FINA	20-25	20-30	25-35	25	15-30	15	15-30	15-30	25-30	25-30	18"	25-30	
	ARENA GRAVESA	20-30	25-35	30-40	25-30	30-35	25-30	30-35	30-35	30-35	30-35	18"	30-35	
	ARENA Y PIEDRA	20-30	30-40	40-50	30-40	35-40	25-35	35-40	35-40	35-40	35-40	18"	35-40	
	ESTRATO DURO			45-50		40-50	35	40-50	40-50	40-50	40-50	18"	40-50	
	ROCA DESINTEGRADA					40-50	35	40-50	40-50	40-50	40-50	18"	40-50	
	ROCA MADRE					40-60	35	40-60	40-60	40-60	18"	40-60	70-100	
DE FREGGION	LIMO COMPACTO	15	12		15									
	ARCILLA BLANDA (SUAVE)	15-20	15-18		15-20		15-20							
	ARCILLA MEDIA	20-25	20-25	20-25	20-25	20-25	20-25	20-25	20-25	20-25	20-25	18"	25-30	
	ARCILLA DURA	20-25	25-30	30-35	25-30	30-35	25-30	25-30	25-30	25-30	25-30	18"	30-35	
	ARENA FINA (CONFINADA)	25-35	25-30	30-35	25-30	30-35	25-30	25-30	25-30	25-30	25-30	18"	35-40	

CAPITULO VI

ARREGLOS DE PILOTES EN GRUPOS Y EFECTOS DEL ESPACIAMIENTO DE LOS MISMOS.

A. Arreglos de Pilotes en Grupo

La teoría y las pruebas han demostrado que el valor soporte total de un grupo de pilotes, particularmente en arcilla, podrá ser menor que el producto del valor soporte de un pilote individual multiplicado por el número de pilotes en el grupo. La reducción en el valor soporte por pilote dependerá de la dimensión y forma del grupo de pilotes, de la medida, espaciamiento y longitud de los mismos. No ocurrirá ninguna reducción debido al agrupamiento de pilotes cuando éstos sean pilotes de punta. Cuando sean grupos de pilotes mixtos, solo la porción del valor soporte debido a la fricción se verá reducida.

La razón por la cual el valor soporte de un grupo de pilotes es menor que la suma de la capacidad soporte de cada uno de los pilotes se ilustra en las figuras 6.1.a y 6.ab, que muestran como las zonas de presión se extienden con la longitud y se traslapan.

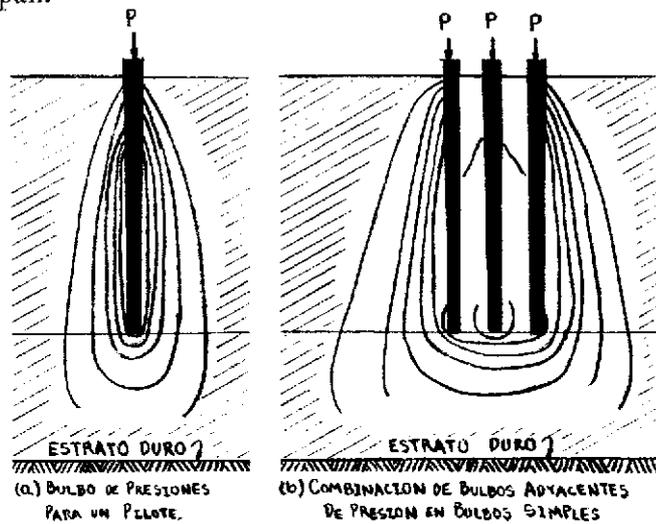


FIGURA 6.1.

Se ha demostrado con modelos de prueba que aún en separaciones de 4 diámetros existe un traslape de las zonas de presión y una reducción en la capacidad soporte. La Geotechnic Commission of the Swedish State Railways efectuó pruebas en arcilla en el año de 1930, con pilotes de 15 mt. de largo con 30 cm en la cabeza y 15 cm en la punta, resultando que los pilotes individuales soportaban 19.2 ton; los pilotes separados 0.7 mt soportaban 12 tn; y los pilotes separados 1.2 mt soportaban 18.5 tons. Estas pruebas indican que un espaciamiento de al menos un 10o/o de la longitud era requerido para eliminar la acción de grupo.

Existen diversas fórmulas para calcular la reducción del valor soporte en pilotes, algunas de las cuales podrán ser consultadas en Pile Foundations, Robert D. Chellis, pags. 136-142.

El espaciamiento y arreglo de los pilotes en un grupo tiene fundamental importancia en las propiedades mecánicas (área que forma el grupo de pilotes, momentos de inercia) del cimiento.

Existen diversos factores que deben considerarse cuando se planee la localización o el arreglo de un número de pilotes de un grupo. Algunos de ellos son:

1. Los pilotes resistentes de punta podrán ser colocados tan cerca como sea factible de hincarlos, siempre y cuando el estrato sobre el que se apoyen sea capaz de soportar las cargas.
2. Será poco prudente intentar hincar pilotes más cerca que dos veces el diámetro de los mismos, o un mínimo de 2.5 pies. Para pilotes de concreto fundidos en el lugar es preferible un mínimo de 3' a 3'6". Bajo ciertas condiciones puede ser posible hincar pilotes de acero tipo H mas cerca de lo estipulado anteriormente, pero esta posibilidad deberá ser investigada antes de llevarse a cabo.
3. Puesto que generalmente existen dificultades para hincar los pilotes en el lugar exacto que indican los planos, el

diseño deberá ser hecho de tal modo que la existencia de pequeñas variaciones en su localización no sea perjudicial. Por ejemplo, asúmase que la carga de una columna es soportada por dos pilotes, como se muestra en la Fig. 6.2.(a). La columna debe estar en la posición mostrada. Ahora asúmase que los pilotes cuando se hincaron quedaron como se muestra en (b). La excentricidad de la columna con respecto a los pilotes es indeseable. Hubiese sido mejor que se diseñara sobre un grupo de tres pilotes, como se muestra en (c). Luego, si los pilotes no hubiesen sido colocados exactamente y si se colocaron como se indica en (d), el resultado no sería tan perjudicial. De nuevo, si el grupo de dos pilotes fuesen hincados como en (e), el pilote "G" deberá soportar casi toda la carga porque el pilote "F" no podrá ofrecer mucha resistencia sin causar una inclinación de la zapata y probablemente un momento dañino en la columna.

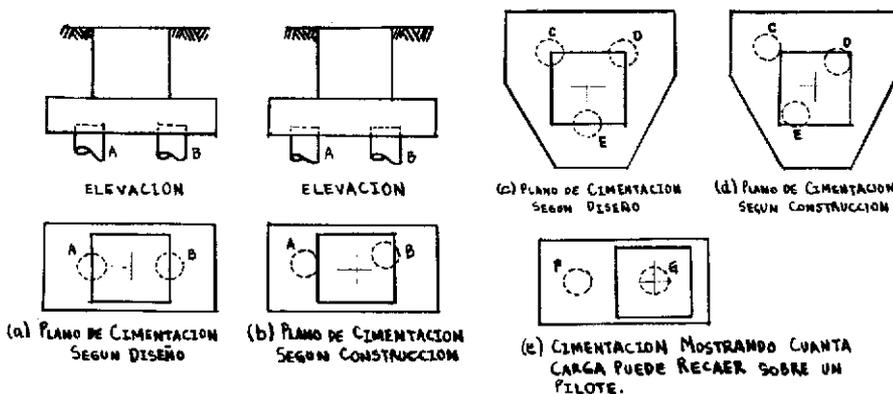


Figura 6. 2.

Ilustración de pequeños Cimientos sobre pilotes, mostrando posibles efectos debido a la inexactitud del hincamiento de los Pilotes.

4. Es deseable un espaciamento razonable de los pilotes para obtener una estabilidad adecuada que resista las fuerzas de volteo.

5. Los pilotes colocados muy cerca pueden reducir las dimensiones de los cimientos y el refuerzo necesitado en ellos. Esto es básicamente importante cuando el número de pilotes es grande.

6. Si el número de pilotes en un grupo o área es grande, es deseable hincar los pilotes en líneas "rectas" antes que en arreglos escalonados. Sin embargo, ésto no es aplicable en zapatas aisladas como se muestra en las figuras 6.3 y 6.4, donde ciertos esquemas muestran algunos arreglos.

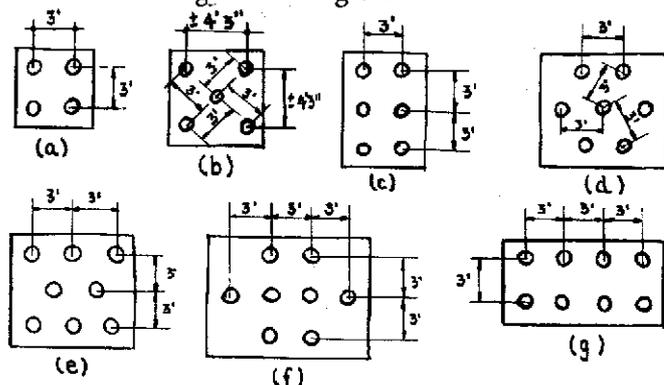


Figura 6.3

Arreglos de Pilotes para Zapatas Aisladas

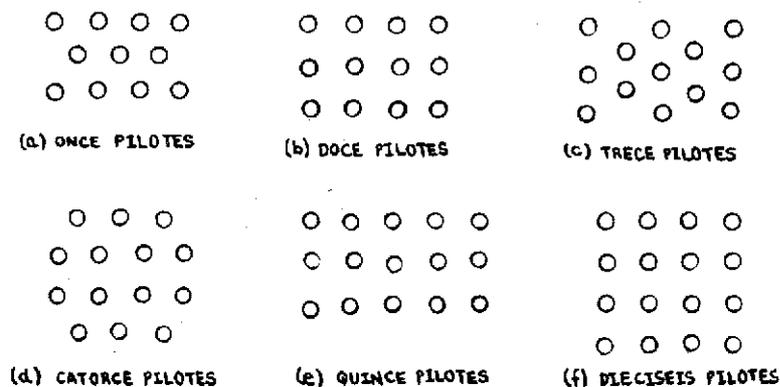


Figura 6.4

Arreglo de Grupos de Pilotes para Cimientos Grandes.

Será suficiente usar una sola fila de pilotes bajo el centro de una cimentación de paredes, como se muestra en la Fig. 6.5, (a), excepto por la posibilidad de inclinación de los pilotes cuando éstos no se encuentren en la posición correcta; un arreglo como el de (b) o (c) será mas estable. Cuando exista una tendencia de volteo lateral, el cimientto de la pared podrá tener un arreglo de pilotes como en (d), pero un plano como el de (c) o (e) puede ser mejor.

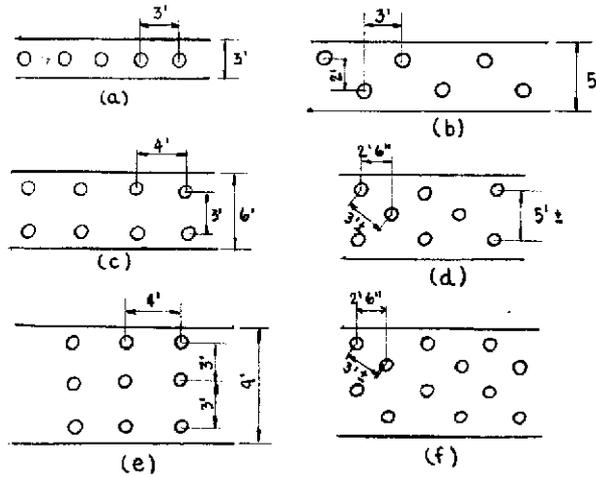


Figura 6. 5

Arreglo de Pilotes para Cimientos de Paredes.

7. Cuando los pilotes de concreto fundidos en el lugar vayan a ser hincados, es deseable usar una separación lo suficientemente amplia para asegurar de que no se producirán daños en cascarones vacíos adyacentes o en el concreto vaciado aún no fraguado adecuadamente.

B. Efectos del Espaciamiento entre Pilotes.

Si se usa la separación adecuada entre pilotes, teniendo en cuenta su longitud, medida, forma y textura, así como las características del suelo, las cargas podrán ser soportadas con

poco peligro de asentamiento. Una separación amplia entre pilotes reducirá materialmente la posibilidad de que éstos se eleven o se salgan, así como la posibilidad de que sean triturados los cascarones delgados de pilotes fundidos en el lugar. Una separación amplia incluso permitirá que los pilotes de un grupo que sean hincados de último alcancen la firmeza deseada, pues es frecuente notar que en el caso de espaciamientos cortos, los pilotes hincados de último no son capaces de obtener una firmeza aceptable.

Frecuentemente las elevaciones de las puntas de los pilotes se seleccionan para obtener una resistencia de punta y de fricción de un estrato escogido, cuyas propiedades le permitirán soportar las cargas sin producir fallas o asentamientos excesivos.

En el incamamiento de pilotes a través de suelos relativamente incompresibles, se originan grandes fuerzas horizontales que pueden dañar los pilotes ya hincados si estos se encontraran estrechamente espaciados. Por ello, se recomienda una distancia mínima en la separación centro a centro de pilotes de 2.5 veces el diámetro de los mismos. Una ventaja de los pilotes fundidos en el lugar es que pueden ser, y frecuentemente son, inspeccionados antes de fundirse. Es una buena regla requerir que ningún cascarón metálico sea fundido hasta que todos los cascorones en un radio de 5' hallan sido hincados.

Se pretende que el concreto fresco de los pilotes en contacto directo con la tierra, es menos compresible que esta última, y que por lo tanto, los pilotes no son estrechados en su sección debido al hincamiento de pilotes adyacentes. Sin embargo, han sido reportadas ciertas tendencias hacia reducciones en diámetro. Un mayor peligro que el de las separaciones estrechas para éste tipo de pilotes, será el de un desplazamiento lateral de una sección del pilote en dos casos en que exista un estrato relativamente incompresible entre los estratos compresibles, no obstante que éste tipo de pilote habrá sido una mala selección para dichas condiciones.

Una separación de 3.5' a 5' a centros es la recomendada para pilotes de fricción. Esto implicará un cimientado mayor, un incremento en la capacidad de resistencia individual de los pilotes, y facilidad de alcanzar la calidad deseada.

Es preferible empezar el hincamiento de los pilotes del centro del grupo hacia afuera, evitando de esta manera gran parte de la compactación del centro. El empezar de afuera hace mas y mas difícil el hincamiento de los pilotes y resulta además, un grupo con una resistencia no uniforme.

Los espaciamientos estrechos dan como resultado un límite perimetral menor para un grupo dado, y frecuentemente ocurrirán asentamientos mucho mas rápidos de los que sucederían con un grupo que esté dentro de un área mayor conteniendo el mismo número de pilotes. Esto indicará que es mala economía amontonar los pilotes. Un chequeo rápido que puede ser aplicado a grupos de pilotes de fricción es asegurar de que el perímetro del área que ocupa el grupo de pilotes no sea menor que la suma de los perímetros de cada uno de los pilotes, asegurando así tanto valor de corte en el suelo alrededor del grupo como en el suelo alrededor de los pilotes.

Efecto de la longitud de los pilotes: La manera usual de contrarrestar la reducción del valor soporte por el efecto de grupo en pilotes, es la de proveer más pilotes, reduciendo así las cargas de trabajo en cada uno de los pilotes del grupo por debajo del valor soporte de los pilotes individualmente, y procurando mantener un factor uniforme de seguridad. Sin embargo, para cualquier zapata dada, el área del suelo a corte en el perímetro limitante del grupo puede ser incrementado usando pilotes mas largos reduciendo de ésta manera el valor unitario de corte. Al mismo tiempo, al efectuar penetraciones mas profundas se producirán esfuerzos unitarios menores en los estratos inferiores debido a la mayor distribución horizontal de la carga. Existe también la posibilidad de que los pilotes mas largos penetren en mejores estratos. Así pues, parece ser ventajoso utilizar pocos pilotes pero que sean largos, que estén espaciados a grandes distancias y que tengan una carga mayor por pilotes que son de

fricción sólo en su parte inferior, con la parte superior actuando como una columna, ya que la dimensión añadida en el extremo del pilote será mucho menor que la dimensión requerida para hincar pilotes adicionales.

CAPITULO VII

DISEÑO DE CIMENTACIONES SOBRE PILOTES

El diseño de cimentación sobre pilotes difiere poco del diseño de cimentaciones apoyadas directamente sobre el terreno, excepto por ciertas consideraciones mencionadas a continuación.

“El cálculo de los momentos y cortantes para zapatas apoyadas sobre pilotes, puede basarse en la suposición de que la reacción de cualquier pilote está concentrada en el centro del mismo”. (15.2.3 ACI 318-17).

El diseño de cimentaciones sobre pilotes difiere básicamente del diseño de cimentaciones comunes en que las reacciones de cada pilote actúan como cargas puntuales en el cimiento en contraposición a la reacción distribuída del suelo sobre los cimientos comunes apoyadas directamente sobre el terreno.

“En el cálculo del cortante externo en cualquier sección en una zapata soportada sobre pilotes, deberá suponerse que la reacción total de cualquier pilote cuyo centro se localice a $d_p/2$ (d_p diámetro del pilote en la base de la zapata), o más afuera de la sección, produce cortante en esa sección. La reacción de cualquier pilote, cuyo centro se localice a d_p o más cerca de la sección, deberá suponerse que no produce cortante en esa sección. Para posiciones intermedias del centro del pilote, la parte de la reacción del pilote que debe suponerse que produce cortante en la sección deberá basarse en una interpolación lineal entre el valor total en $d_p/2$ fuera de la sección y el valor cero correspondiente a $d_p/2$ dentro de la sección”. (15.5.5 ACI 318-17)

Un pilote de 12” de diámetro en la base de la zapata, que tenga su centro localizado al menos a 6” fuera de la sección crítica contribuye con toda su carga a la sección crítica. Si el centro del pilote se halla localizado 6” adentro de la sección

crítica, no contribuye con ninguna carga a la sección crítica. Refiriéndose a la figura 7.1, una ecuación puede deducirse para éstas condiciones:

$$0 \leq P' = P(x + 6)/12 \leq P \quad (\text{Form. 7.1})$$

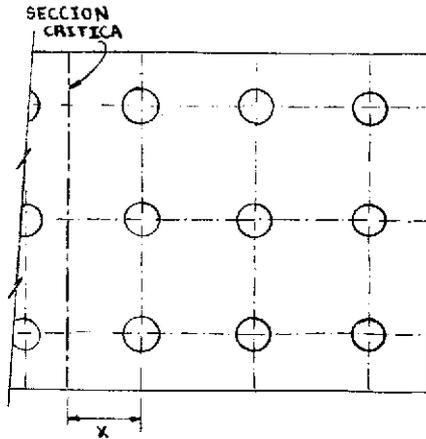


FIGURA 7.1.

donde,

P: carga en el pilote

P': La proporción de la carga P del pilote que contribuye a la sección crítica.

x: la distancia del centro del pilote a la sección crítica en pulgadas. x será positivo cuando el centro del pilote esté fuera de la sección crítica, y negativo cuando se halle dentro de la sección crítica.

Cuando $x \geq 6$, $P' = P$; y cuando $x = 0$, $P' = P/2$. Cuando $x \leq -6$, $P' = \text{cero}$.

“Las zapatas apoyadas sobre pilotes no deben hacerse de concreto no reforzado.” (15.7.3 ACI 318-17)

Las dimensiones mínimas, dadas por el código ACI 318-71, para cimientos sobre pilotes se muestran en la figura 7.2

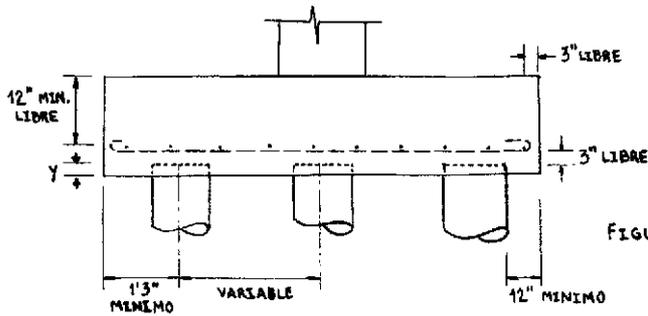


FIGURA 7.2.

El valor "y" del pilote dentro del cimiento será de 4" a 6" para pilotes de madera, y de 6" a 12" para pilotes de concreto o de metal. Para pilotes muy cargados, el mayor valor será aplicado.

Cuando la resultante de la carga de un cimiento coincida con el centro de gravedad de los pilotes, la reacción en cada uno de los pilotes será de igual magnitud (e igual a la carga total dividida entre el número de pilotes).

Sin embargo, podrán existir cargas excéntricas debido a cargas verticales en cimentaciones soportadas por pilotes verticales a causa de las limitaciones en espacio, a cambios en cargas causadas por cargas transitorias o alteraciones estructurales, o por cargas temporales durante el período de construcción. Las cargas en cada uno de los pilotes podrán obtenerse por los métodos siguientes.

A. Excentricidad con respecto a un eje (Fig. 7.3)

Cuando la excentricidad sea con respecto a un sólo eje,

$$R_p = \frac{P}{n} \pm \frac{P x_o x_n}{I_g} \quad (\text{FORMULA 7.2.})$$

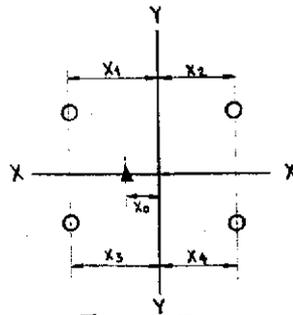


Figura 7.3

Excentricidad con respecto a un Eje.

donde,

- R_p : carga en cualquier pilote, en lbs.;
- P : resultante de todas las cargas verticales del grupo de pilotes, en lbs;
- n : número de pilotes en el cimiento;
- x_o : distancia del centro de gravedad de las cargas aplicadas al centro de gravedad del grupo de pilotes, en pies;
- x_n : distancia del centro de gravedad del grupo de pilotes a la fila del pilote, medido paralelamente a x_o , en pies (x_1, x_2, x_3 , etc.); y
- I_g : momento de inercia del grupo de pilotes, con respecto al eje normal a la dirección de la excentricidad.

Para obtener I_g :

$$I_g = Ax_1^2 + Ax_2^2 + \dots + Ax_n^2 \quad (\text{FORMULA 7.3.})$$

donde x_1, x_2, \dots, x_n son las distancias del centro de gravedad del grupo de pilotes a la fila de cada pilote, medido paralelamente a x_o , en pies. Debido a que todos los pilotes en el grupo se asumen como idénticos, "A" puede tomarse como la unidad en cada caso.

B. Excentricidad con respecto a dos ejes.

Cuando la excentricidad sea con respecto a dos ejes, la carga individual de cada pilote puede ser calculado por el método de superposición o por el método gráfico.

B.1. Método de Superposición (Fig. 7.4)

La carga individual de cada pilote puede ser determinado mediante el cálculo por separado del efecto de la excentricidad por el método anterior, y luego sumar algebraicamente los resultados. La fórmula en éste caso sería:

$$R_p = \frac{P}{n} \pm \frac{P x_o x_n}{I_y} \pm \frac{P y_o y_n}{I_x} \quad (\text{FORMULA 7.4.})$$

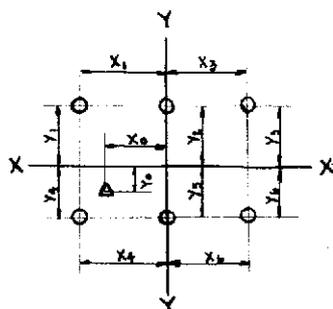


Figura 7. 4

Excentricidad con respecto a dos Ejes. Método de Superposición.

donde,

y_o : distancia del centro de gravedad de las cargas aplicadas al centro de gravedad del grupo de pilotes, en pies:

y_n : distancia del centro de gravedad del grupo de pilotes a la fila del pilote, medido paralelamente a y_o , en pies (y_1, y_2 , etc.)

I_y : momento de inercia del grupo de pilotes, con respecto al eje x_o ,

I_x : momento de inercia del grupo de pilotes, con respecto al eje y_0 .

Para obtener I_y y I_x , usar:

$$I_y = Ax_1^2 + Ax_2^2 + \dots + Ax_n^2 \quad (\text{FORM. 7.5.})$$

$$I_x = Ay_1^2 + Ay_2^2 + \dots + Ay_n^2 \quad (\text{FORM. 7.6})$$

En éstas fórmulas x_1, x_2, \dots, x_n y y_1, y_2, \dots, y_n son las distancias del centro de gravedad del grupo de pilotes a la fila de cada pilote, medido paralelamente a x_0 y y_0 respectivamente.

B.2 Método Gráfico (Fig. 7.5)

Se determina matemáticamente la posición del eje neutro, después se plotea y luego se miden a escala los brazos de momento de los pilotes a partir de dicho eje.

La intersección en los ejes X y Y, que determinan la localización del eje neutro, pueden ser obtenidos con las fórmulas siguientes:

$$Ox = \frac{I_x}{n y_0} \quad (\text{en pies}) \qquad OY = \frac{I_y}{n x_0} \quad (\text{en pies})$$

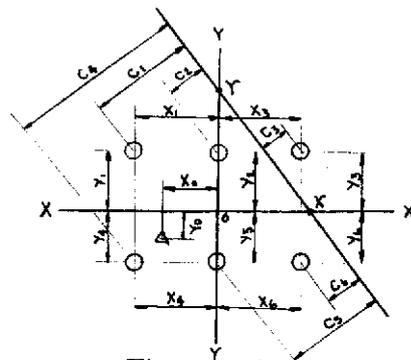


Figura 7.5
Método Gráfico

Se definen los términos siguientes:

- c: distancia del centro de gravedad del grupo de pilotes al eje neutro, medido perpendicularmente al eje neutro, en pies; y
- c_n : distancia del eje neutro a cualquier pilote, medido perpendicularmente al eje neutro, en pies (c_1, c_2 , etc.)

Después de medir a escala los valores c_1, c_2 etc., la carga en cada pilote se determina mediante la fórmula siguiente:

$$R_p = \frac{c_n}{c} \times \frac{P}{n}$$

Los valores en los dos lados del eje neutro tienen signos opuestos, siempre que el Eje neutro no quede fuera del grupo. Es decir, los pilotes de un lado estará en compresión y los otros en tensión.

EJEMPLO I. Diseñar un cimiento sobre pilotes para soportar una columna cuadrada de 20" de lado sujeta a una carga muerta de 200 Kips y una carga viva de 230 Kips (Ambas en cargas de trabajo). Las pruebas efectuadas sobre pilotes recomiendan una carga última de 70 Kips por pilote y una carga de trabajo de 40 Kips por pilote. Especificaciones de materiales $f'_c = 3,000$ psi; $f_y = 40,000$ psi y diametro de los pilotes = 12 pulgadas.

a) Asumiendo que el peso del cimiento es el 10o/o de la carga total, el número de pilotes requerido sera:

$$N = \frac{1.1(200 + 230)}{40} = 11.8 \text{ pilotes}$$

Probar con 12 pilotes (Figura 7.6 a)

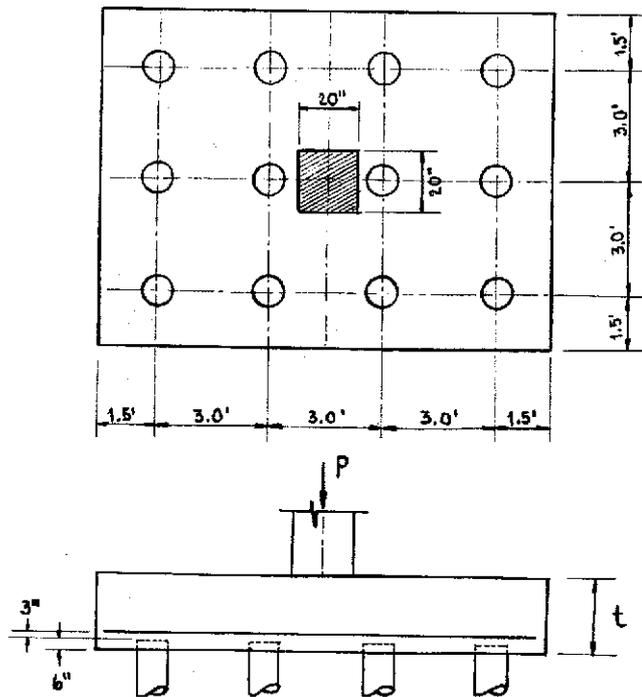


FIGURA 7.6.a.

b) Para el diseño del cimiento, de acuerdo con el código ACI 318-71, las cargas últimas son:

$$W_u = 1.4(200) + 1.7(230) = 671 \text{ Kips.}$$

Carga última por pilote:

$$P_u = W_u/N = 671/12 = 55.92 \text{ Kips/pilote} < \text{Carga última permisible} = 70 \text{ Kips/pilote.}$$

c) El corte punzonante alrededor de un pilote frecuentemente gobierna la determinación del peralte del cimiento, excepto en los casos en que las cargas sean pequeñas.

Asumiendo que el peralte (d) del cimiento es de 18" el corte punzonante alrededor de cualquiera de los pilotes será:

De acuerdo con la sección 11.10.2 (Codigo ACI 318-71), el perímetro de corte para un pilote es: (Figura 7.6.b)

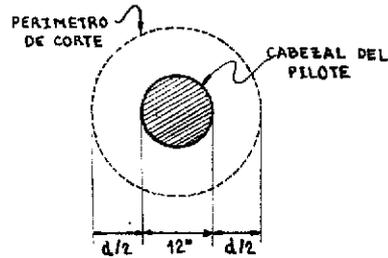


FIGURA 7.6.b.

$$b_o = \pi(12'' + d'') = \pi(12 + 18) = 94.25''$$

Y el esfuerzo de corte según 11.10.3 (ACI 318-71) será:

$$v_u = \frac{V_u}{\phi b_o d} = \frac{55.920 \times 1000}{0.85 \times 94.25'' \times 18''} = 38.78 \text{ Psi}$$

El esfuerzo de corte punzonante permisible del concreto es: $v_c = 4 \sqrt{f'_c} = 219.09 \text{ Psi}$. Con lo cual el peralte asumido es satisfactorio.

d) El corte punzonante alrededor de la columna (figura 7.6.c) se calculará asumiendo varillas de refuerzo No. 7, así como una separación mínima de 3" entre el tope del pilote y el refuerzo, y un empotramiento de 6" del pilote dentro del cimiento.

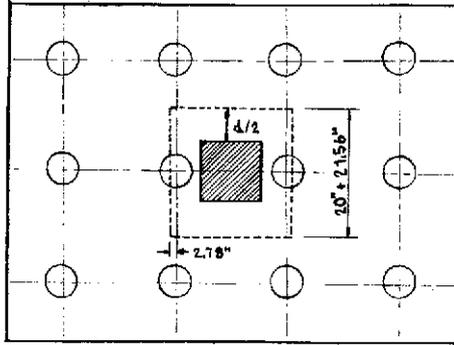


FIGURA 7.6.c. SECCION CRITICA DE CORTE PUNZONANTE

El peralte total requerido es:

$$t = 18'' + 3'' + 6'' + 0.44'' = 27.44''$$

Por razones prácticas se usará $t = 28''$. Esto implica que $d = 28'' - 9.44'' = 18.56''$.

De acuerdo con 11.10.2, el perímetro de corte es:

$$b_o = 4(20'' + 18.56'') = 154.24''$$

El corte total actuante será igual a la carga de los 10 pilotes que se encuentran fuera de la sección crítica más cierta proporción de carga de los dos pilotes cuyos centros están dentro de la sección crítica (Formula 7.1).

$$V_u = 10 \times 55.92 + 2(55.92)(6'' - 1.28'')/12 = 559.2 + 43.99 = 603.19 \text{ Kips.}$$

El esfuerzo de corte será igual a:

$$v_u = \frac{V_u}{\phi b d} = \frac{603.19 \times 1000}{0.85 \times 154.24'' \times 18.56} = 247.89 \text{ psi} > v_c = 219.09 \text{ psi}$$

∴ El peralte debe ser aumentado.

El peralte necesario será :

$$\frac{603.19 \times 1000}{0.85 \times 154.24 \times d} = 219.09 \text{ psi} \quad \therefore d = 21.0''$$

Con $d = 21.0''$ el peralte total es: $t = 21.0'' + 6'' + 0.44'' = 30.44''$

Por razones prácticas probar $t = 31.0''$

Por consiguiente, $d = 31.0'' - 3'' - 6'' - 0.44'' = 21.56''$ y
 $b_o = 4(20 + 21.56) = 166.24''$

El nuevo corte total actuante es:

$$V_u = 10 \times 55.92 + 2(55.92)(6 - 2.78) / 12 = 559.2 + 30.01 = 589.21 \text{ kips.}$$

Esfuerzo de corte:

$$\mathcal{V}_u = \frac{589.21 \times 1000}{0.85 \times 166.24 \times 21.56} = 193.40 \text{ psi} < 219.09 \text{ psi o.k}$$

e) La sección crítica para el corte flexionante se localiza a una distancia "d" a partir de la cara de la columna (sección 11.2.2), como se observa en la figura 7.6.d.

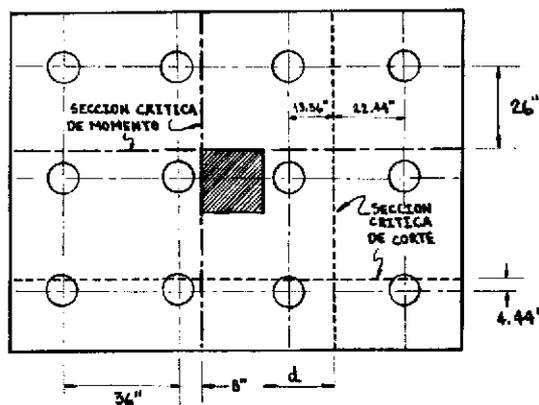


FIGURA 7.6.d. SECCIONES CRÍTICAS DE CORTE Y MOMENTO

El corte flexionante en el lado corto es causado por los tres pilotes que se hallan fuera de la sección crítica. Los pilotes que se encuentran dentro de la sección no contribuyen al corte pues sus centros se localizan a más de 6" de la sección crítica.

Corte Flexionante:

$$V = 3 \times 55.92 = 167.76 \text{ Kips}$$

Esfuerzo de Corte:

$$v_u = \frac{167.76 \times 1000}{0.85 (8.5 \times 12) (21.56)} = 89.75 \text{ PSI} < v_c = 109.54 \text{ Psi o.k}$$

El esfuerzo de corte admisible en el concreto según 11.4.1 (Aci 318-71) es:

$$v_c = 2 \sqrt{f_c} = 109.54 \text{ psi}$$

En el lado largo, el corte es causado por una parte de la reacción de los pilotes pues los centros de éstos no se encuentran a más de 6" de la sección crítica.

$$V = 3(55.92) (6'' + 4.44'')/12 = 145.95 \text{ kip}$$

Esfuerzo de Corte:

$$v_u = \frac{145.95 \times 1000}{0.85(11.5 \times 12)21.56} = 57.71 \text{ Psi} < v_c = 109.54 \text{ psi o.k}$$

f) El momento de flexión para el diseño de la zapata de acuerdo con 15.4.2.a (Aci 318-71) es el momento que actúa en el rostro de la columna.

El momento en el sentido largo es causado por las dos filas de pilotes que se encuentran a un lado de la cara de la columna (Fig. 7.6.d)

$$M = 3(55.92) (8/12) + 3(55.92) (44/12) = 111.84 + 615.12$$

$$M = 726.96 \text{ Kip} \cdot \text{pie}$$

Sustituyendo en la ecuación:

$$M_u = \phi f_y b d^2 (1 - 0.59 \phi f_y / f_c')$$

Los valores correspondientes de $M_u = 726.96 \times 12$; $f_y = 40 \text{ ksi}$ $f_c' = 3 \text{ ksi}$,
 $b = 108''$, $d = 21.56''$

Se obtiene: $\phi = 0.0050$ $A_s = \phi b d = 11.70 \text{ pulg.}^2$

Usar 20 varillas No.7 ($A_s = 12.0 \text{ pulg.}^2$)

El momento en el sentido corto es :

$$M = 4(55.92) (26/12) = 484.64 \text{ kip} \cdot \text{pie}$$

El área de acero necesaria es:

$$\phi = 0.0025 \quad A_s = 7.64 \text{ pulg.}^2.$$

Algunos autores recomiendan que se use el ϕ min:

$$\phi_{\text{min.}} = 200/f_y = 0.0050 \quad A_s = 15.52 \text{ pulg.}^2$$

Usar 26 Varillas No.7.

La longitud de desarrollo necesaria para varillas No.7, según 12.51.a es:

$$L_d = 0.0004 \times d_b \times f_y = 14.0''$$

La distancia del rostro de la columna al centro del pilote es:

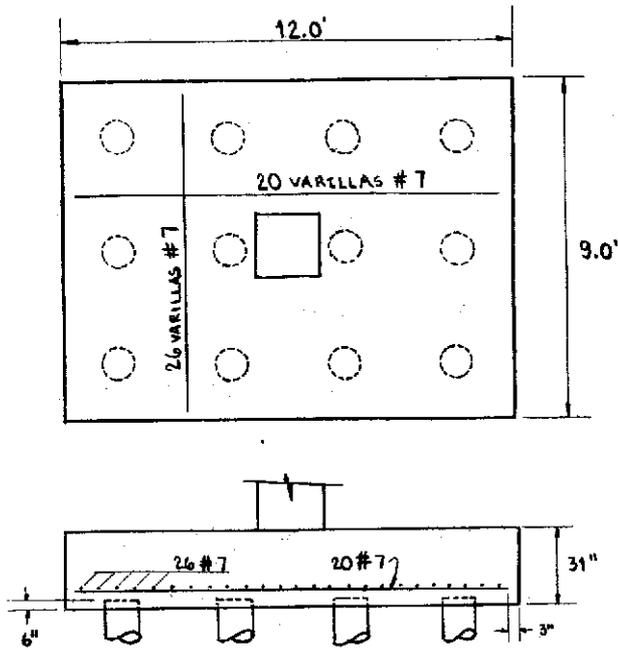
$$\begin{aligned} \text{Sentido largo: } 44.0'' &> L_d = 14.0'' \text{ o.k.} \\ \text{Sentido corto: } 26.0'' &> L_d = 14.0'' \text{ o.k.} \end{aligned}$$

Por consiguiente, la adherencia es adecuada.

g) Por último, se chequeará el peso del cemento.

$$W = 12' \times 9' \times 31''/12 \times 0.150 = 41.85 \text{ kips} < 43 \text{ kips.}$$

El peso asumido fue el 100/o de las cargas $0.1 (200 + 230) = 43.0 \text{ Kips}$.



Ejemplo II. Diseñar un cimiento sobre pilotes para soportar una columna de 20''x30'' sujeta a los valores siguientes de carga y momento obtenidos del analisis de carga vertical y sismo : (los valores entre parentesis corresponden a cargas ultimas)

	P (kips)	Mx (kip-pie)	My (kip-pie)
Carga Vertical	350 (520)	12 (18)	0
(CV+S) x-x	409 (603)	55 (78)	0
(CV+S) y-y	396 (585)	12 (18)	61 (85).

Los estudios efectuados recomiendan una capacidad soporte de trabajo de 25 ton/pilote. Especificaciones de materiales: $f'_c = 3,000$ psi; $f_y = 40,000$ psi y diametro de los pilotes = 12".

a) Asumiendo un peso de zapata de 4 Kips/ pilote se tiene una capacidad soporte neta de: $25 \text{ ton.} \times 2 = 46 \text{ Kip/pilote}$, y el número de pilotes necesarios será:

$$N = \frac{350}{46} = 7.61 \text{ pilotes.}$$

Probar con 8 pilotes (Figura 7.7.a)

b) Los momentos de inercia equivalentes del grupo de pilotes con respecto al centro de gravedad del grupo (eje x-x y y-y) se obtendrán sustituyendo en las formulas 7.6 y 7.5 los valores correspondientes, aplicando un valor unitario para "A", pues el área de los cabezales de los pilotes es la misma:

$$\begin{aligned} \bar{I}_{x-x} &= 2 \times 2 \times 3.0^2 + 2 \times 1 \times 1.5^2 = 40.5 \text{ pie}^2 \\ \bar{I}_{y-y} &= 2 \times 3 \times 3.0^2 = 54.0 \text{ pie}^2 \end{aligned}$$

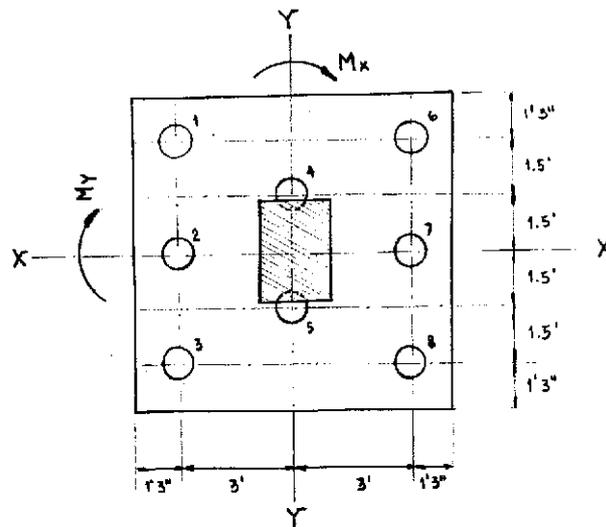


FIGURA 7.7.a.

c) Con la aplicación de la formula 7.4 se obtendrá la carga en cada pilote y se chequeará si los pilotes mas cargados sobrepasan la capacidad soporte permisible.

C.1 Carga Vertical (Los pilotes 6,7 y 8 son los mas cargados):

$$P6 = P7 = P8 = R_{pmax} = \frac{350 + 8 \times 4}{8} + \frac{12 \times 3}{54} = 47.75 + 0.67$$

$$= 48.42 \text{Kips} < 50 \text{ Kips/pilote. O.K.}$$

C.2. (CV+S) x-x

Capacidad soporte por sismo = Capacidad soporte por carga Vertical + 30o/o
 = 50x1.3 = 65.0 kips/pilote

$$P6 = P7 = P8 = R_{pmax} = \frac{409 + 4 \times 8}{8} + \frac{55 \times 3}{54} = 55.13 + 3.06$$

$$= 58.19 \text{ Kips} < 65.0 \text{ Kisp/Pilote}$$

C.3. (CV+S) y-y

$$P6 = R_{pmax} = \frac{396 + 4 \times 8}{8} + \frac{12 \times 3}{54} + \frac{61 \times 3}{40.5} = 53.5 + 0.67 + 4.52 =$$

$$= 58.69 \text{ kip} < 65.0 \text{ kip/pilote.}$$

Los resultados anteriores indican que el número y separación seleccionados no provocarán que ningun pilote sobrepase la capacidad soporte permisible en ellos.

Sustituyendo en la formula 7.4 los valores de carga y momento ultimos se obtendrán las cargas últimas en los pilotes para el diseño del cimiento.

PILOTE	1	2	3	4	5	6	7	8
Carga Vertical	64.0 k	64.0 k	64.0 k	65.0 k	65.0 k	66.0 k	66.0 k	66.0 k
(CV+S) x-x	71.04 k	71.04 k	71.04 k	75.38 k	75.38 k	79.71 k	79.71 k	79.71 k
(CV+S) y-y	78.42 k	72.13 k	65.83 k	76.27 k	69.98 k	80.42 k	74.13 k	67.83 k

d) El corte punzonante alrededor de los pilotes debe chequearse. Puede observarse en el cuadro que el pilote 6 para la condición de (CV+S)y-y es el pilote mas cargado entre todos y cada una de las condiciones de carga.

De acuerdo con la sección 11.10.2 (ACI 318-71) el perímetro de corte para un pilote (Asumiendo $d = 18''$) es:

$$b_o = \pi(12 + d) = \pi(12 + 18) = 94.25''$$

Siendo el esfuerzo de corte punzonante, según 11.10.3 (ACI 318-71):

$$v_u = \frac{V_u}{\phi b_o d} = \frac{80.42 \times 1000}{0.85 \times 94.25 \times 18} = 55.77 \text{ psi}$$

El esfuerzo de corte punzonante permisible del concreto es $v_c = 4 \sqrt{f'_c} = 219.09 \text{ psi}$ con lo cual el peralte asumido es satisfactorio.

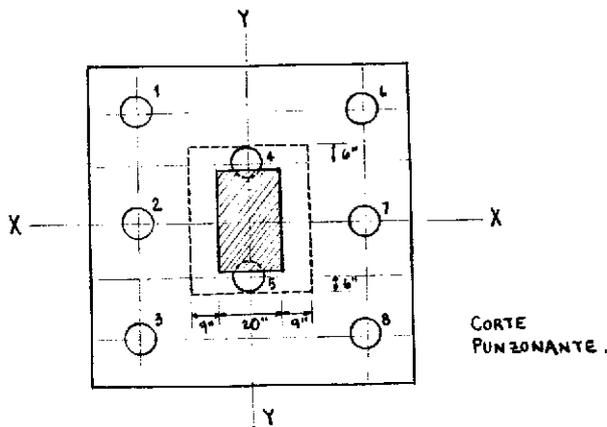


FIGURA 7.7.b.

e) El corte punzonante alrededor de la columna esta ocasionado por los pilotes que se hallan fuera de la sección crítica, la cual se localiza según la sección 11.10.2 del código ACI 318-71 a una distancia $d/2$ a partir del rostro de la columna.

Observe en la fig. 7.7.b que los centroides de los pilotes 4 y 5 se encuentran 6" dentro de la sección crítica y por consiguiente (formula 7.1) no contribuyen al corte.

El perímetro de corte es:

$$b_o = 2(20'' + 18'' + 30'' + 18'') = 172.0''$$

e.1. Para la condición de carga vertical el corte actuante es: $V_u = 3 \times 64.0 + 3 \times 66.0 = 390.0$ Kips

Y el esfuerzo de corte:

$$\mathcal{V}_u = \frac{V_u}{\phi b_o d} = \frac{390 \times 1000}{0.85 \times 172 \times 18} = 148.20 \text{ psi} < \mathcal{V}_c = 4 \sqrt{f'_c} = 219.0 \text{ Psi.}$$

e.2. (CV+S) x-x

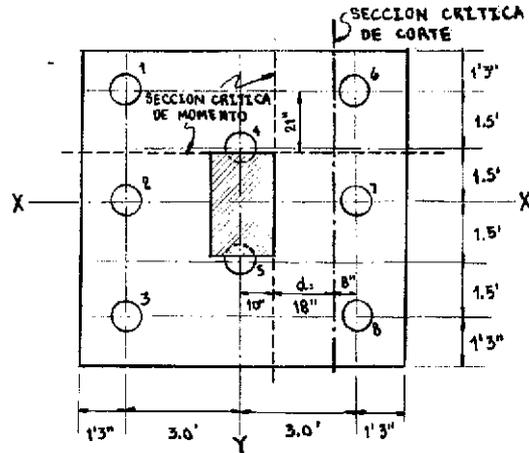
$$V_u = 3 \times 71.04 + 3 \times 79.71 = 452.25 \text{ kips.}$$

$$\mathcal{V}_u = \frac{452.25 \times 1000}{0.85 \times 172 \times 18} = 171.85 \text{ psi} < \mathcal{V}_c = 219.09 \text{ psi o.k.}$$

e.3. (CV+S) y-y

$$V_u = 78.42 + 72.13 + 65.83 + 80.42 + 74.13 + 67.83 = 438.76 \text{ kips.}$$

$$\mathcal{V}_u = \frac{438.76 \times 1000}{0.85 \times 172 \times 18} = 166.73 \text{ Psi} < \mathcal{V}_c = 219.09 \text{ psi o.k.}$$



SECCIONES CRÍTICAS DE CORTE Y MOMENTO

FIGURA 7.7.C.

f) La sección crítica para el corte de flexión se localiza a una distancia "d" a partir de la cara de la columna (sección 11.2.2), como se observa en la figura 7.7.c.

El corte mas grande es producido por los pilotes 6, 7 y 8 cuyos centros se localizan a mas de 6" de la sección crítica y por lo tanto contribuyen con toda su carga al corte; se puede observar en el cuadro de cargas de los pilotes que para la condición de (CV + S) x-x los pilotes 6, 7 y 8 son los que se hallan con mayor carga y por lo tanto se chequeará el corte flexionante para esta condición:

$$\mathcal{V}_u = \frac{V_u}{\phi b d} = \frac{3 \times 79.71 \times 1000}{0.85 (8.5 \times 12) 18} = 153.23 \text{ Psi.}$$

De acuerdo con la sección 11.4.1 (ACI 318-71), el esfuerzo de corte admisible en el concreto es:

$$\mathcal{V}_c = 2 \sqrt{f'_c} = 109.54 \text{ Psi} < \mathcal{V}_u = 153.23 \text{ Psi}$$

∴ El peralte debe ser incrementado.

Igualando V_u con V_c

$$\frac{239.13 \times 1000}{0.85 (8.5 \times 12) d} = 109.54 \quad \therefore d = 25.18''$$

Suponiendo que varillas No. 7 serán usadas como refuerzo, así como una separación de 3'' entre el tope del pilote y el refuerzo, y un empotramiento de 6'' del pilote dentro del cimiento, el peralte total del cimiento será

$$t = 25.18'' + 3'' + 6'' + 0.44'' = 34.62''$$

Por razones prácticas úsese $t = 35''$. El peralte efectivo será entonces igual a :

$$d = t - 3'' - 6'' - 0.44'' = 25.56''$$

NOTA. Véase que con el nuevo peralte ($d = 25.56''$) la sección crítica cae dentro del área de los pilotes y por consiguiente estos solo contribuirán con cierta proporción al corte. Debido a la falta de exactitud en el hincamiento de los pilotes, como se señala en el capítulo VI, se considerará que los pilotes contribuyen con la totalidad de sus cargas al corte.

$$V_u = \frac{V_u}{\phi b d} = \frac{239.13 \times 1000}{0.85 (8.5 \times 12) (25.56)} = 107.91 \text{ Psi} < V_c = 109.54 \text{ Psi.}$$

g) De acuerdo con la sección 15.4.2.a (ACI 318-71), el momento de flexión para el diseño de la zapata es el momento que actúa en el rostro de la columna, Figura 7.7.c

Al igual que el corte de flexión, el momento de flexión máximo es producido en el rostro del lado largo (M_x) de la columna por los pilotes 6, 7 y 8 para la condición de $(CV+S)_x-x$

$$M_u = 3(79.71 \text{ Kip}) (26''/12) = 518.12 \text{ Kip-pie}$$

Sustituyendo en la ecuación $M_u = \phi f_y b d^2 (1 - 0.59 \phi f_y / f_c)$, los valores correspondientes de $M_u = 518.12 \times 12 \text{ KIP-PULG.}$; $f_y = 40 \text{ ksi}$, $f_c = 3 \text{ Ksi}$, $b = 8.5 \times 12$, $d = 25.56''$ y resolviendo para ϕ :

$$\phi = 0.0026 \quad A_s = 6.90 \text{ Pulg}^2$$

Algunos Autores recomiendan que se use el ϕ_{\min} :

$$\phi_{\min} = 200/f_y = 0.0050 \quad A_s = 13.03 \text{ Pulg}^2$$

Usar 22 varillas No. 7 ($A_s = 13.2 \text{ Pulg}^2$)

El momento en el rostro del lado corto de la columna (M_y) es causado por los pilotes 1 y 6. Se puede observar en el cuadro que la carga en estos pilotes es mayor para la condición de (CV+S)y-y. Por razones practicas se usará el valor del pilote 6 para el cálculo del momento de flexión.

$$M_u = 2(80.42 \text{ Kip}) (21/12) = 281.47 \text{ Kip-pie}$$

El área de acero necesaria es:

$$\phi = 0.0014 \quad A_s = 3.71 \text{ pulg.}^2$$

Usando $\phi_{\min} = 200/f_y$, se tiene que: $A_s = 13.03 \text{ pulg.}^2$

Usar 22 Varillas No. 7.

De acuerdo con la sección 12.5. a la longitud de desarrollo necesaria para varillas No. 7 es:

$$L_d = 0.0004 d_b f_y = 14.0''$$

La distancia entre el rostro de la columna y el centro del pilote es:

Sentido x-x : $26'' > Ld = 14''$ O.K.

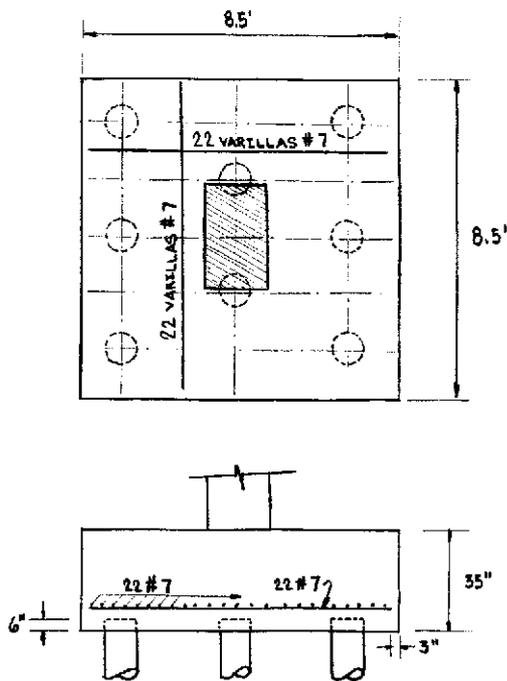
y-y : $21'' > Ld = 14''$ O.K.

h) Chequear peso asumido del cemento:

$$W = 8.5' \times 8.5' \left(\frac{35}{12}\right) \times 0.150 = 31.61 \text{ Kips}$$

$$\text{Peso por pilote : } \frac{31.61 \text{ k}}{8 \text{ pilotes}} = 3.95 \text{ kip/pilote} < 4 \text{ kip/pilote} \quad \text{o.k.}$$

Armado del cemento:



Ejemplo No. 3. Diseñar la cimentación sobre pilotes de dos columnas de 18" x 18", que se hallan en el lindero de un terreno, figura 7.8.a y que se encuentran sometidas a las cargas siguientes (valores de carga última entre parentesis):

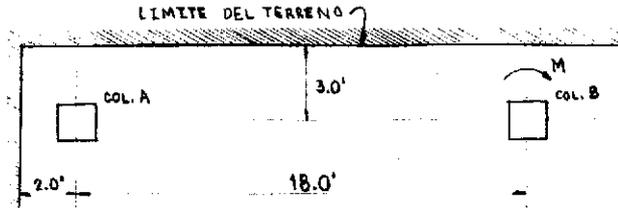


FIGURA 7.8.a.

Columna "A" $P = 150 \text{ kip (220 k)}$
 $M = -15 \text{ k-p (-20 k-pie)}$

Columna "B" $P = 240 \text{ kip (360 k)}$
 $M = 2.5 \text{ k-pie (4 k-p)}$

Capacidad soporte por pilote: 20 Ton.

Especificación de materiales: $f'_c = 4,000 \text{ psi}$,
 $f_y = 60,000 \text{ psi}$ y diámetro de los pilotes = 12".

Si se pensara en usar cimientos individuales se tendría una excentricidad en la carga de la columna "A", que produciría un momento de flexión que podría provocar la falla de algún pilote. Por otro lado si se usaran mas pilotes para el cimiento de la columna "A", el centro de gravedad del grupo de pilotes se alejaría aun mas del centroide de la columna, teniendo por consecuencia una excentricidad cada vez mayor; por ello se diseñará un cimiento combinado que una las dos columnas.

a) Asumiendo un peso de 4 Kip/Pilote para el cimiento, se tiene una capacidad soporte neta:

$$20 \text{ ton.} \times 2 - 4 = 36 \text{ Kips/Pilote}$$

Y el número tentativo necesario de pilotes será igual a :

$$N = (150 + 240)/36 = 10.83 \text{ Pilotes.}$$

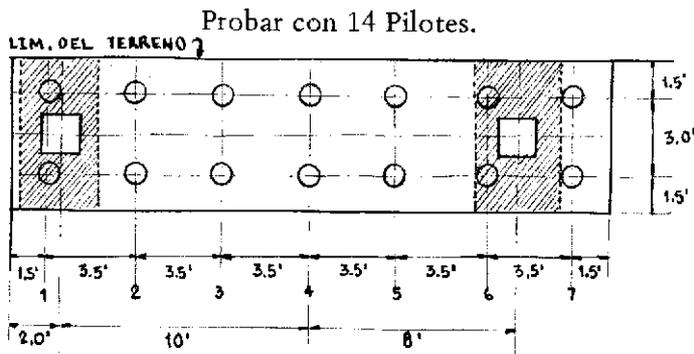


FIGURA 7.8.b.

b) El centro de gravedad del grupo de pilotes se localiza en el eje que pasa por la fila 4.

Momento de Inercia equivalente del grupo de pilotes, aplicando la fórmula 7.3

$$I = 2 \times 2 \times 10.5^2 + 2 \times 2 \times 7^2 + 2 \times 2 \times 3.5^2 = 686.0 \text{ pie}^2$$

c) La resultante de las cargas con respecto al centro de gravedad del grupo de pilotes es:

$$P = 150 + 240 = 390 \text{ Kips}$$

$$M = 240 \times 8' - 150 \times 10 + 2.5 - 15 = 407.50 \text{ Kip-Pie.}$$

La fila 7 de pilotes será la fila mas cargada, y su valor se obtiene con la aplicación de la formula 7.2 :

$$R_{P_{mx}} = \frac{390}{14} + \frac{407.5 \times 10.5}{686} = 27.86 + 6.24 =$$

$$34.09 \text{ kip/pilote} < 36 \text{ kip/pil. o.k.}$$

Para el diseño del cimiento se obtendrá las cargas últimas en los pilotes sustituyendo en la formula 7.2 los valores de la resultante de las cargas últimas con respecto al centro de gravedad del grupo de pilotes:

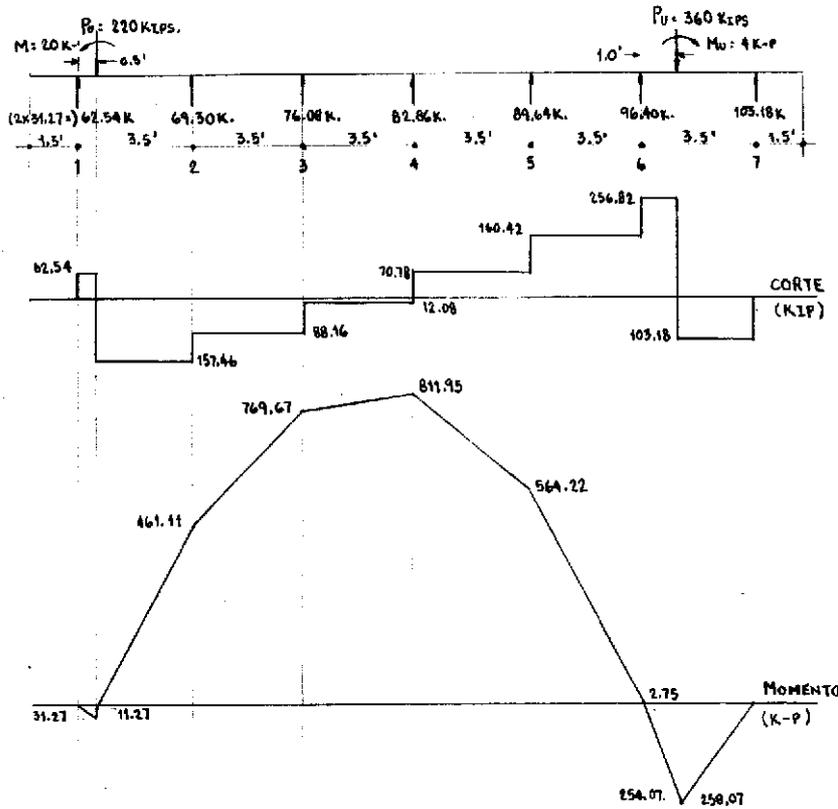
$$P_u = 220 + 360 = 580 \text{ Kips.}$$

$$M_u = 360 \times 8 - 220 \times 10 + 4 - 20 = 664 \text{ kip-pie}$$

Cargas últimas en los pilotes:

Fila 1:	31.27 kip/pilote	Fila 5:	44.82 kip/pilote
Fila 2:	34.65 kip/pilote	Fila 6:	48.20 kip/pilote
Fila 3:	38.04 kip/pilote	Fila 7:	51.59 kip/pilote
Fila 4:	41.43 kip/pilote		

d) Los diagramas de corte y momento para el diseño del cimiento son:



e) La sección crítica del corte de flexión se localiza a una distancia "d" a partir de la cara de la columna (sección 11.2.2 ACI 318-71)

Observese en el diagrama de corte que el corte a la izquierda de la cara de la columna "B" es el mayor. Asumiendo "d" = 18 :

$$V_u = 160.42 \text{ Kips}$$

$$V_u = \frac{V_u}{\phi b d} = \frac{160.42 \times 1000}{0.85 (5.5 \times 12)(18)} = 158.86 \text{ psi}$$

Esfuerzo permisible de corte en el concreto $V_c = 2 \sqrt{f_c} = 126.49 \text{ Psi} < 158.86 \text{ Psi}$

∴ El peralte debe aumentarse

Igualando V_u y V_c y resolviendo para 'd' se obtiene que d = 22.61". Peralte Total Necesario t = 22.61" + 6" + 3" + 0.50 = 32.11"

(Varillas No.8). por razones prácticas usar t = 33.0"

Con t = 33" el peralte efectivo es: d = 33" - 9" - 0.5" = 23.50"

Chequeando nuevamente el corte :

$$V_u = \frac{160.42 \times 1000}{0.85 \times 5.5 \times 12 \times 23.50} = 121.68 \text{ psi} < V_c = 126.49 \text{ psi O.K}$$

f) Para el diseño por flexión se calcularán las áreas de refuerzo necesarias para cada uno de los valores de momento del diagrama, aplicando la fórmula.

$$M_u = \phi f_y b d^2 (1 - 0.59 \rho f_y / f_c)$$

En donde: $\phi = 0.9$, $f'_c = 4$ ksi, $b = 66''$, $d = 23.50''$ y $f_y = 60$ KSI

Así, el refuerzo para:

$$M_u = 811.95 \text{ K-P} \quad A_s = 8.02 \text{ Pulg.}^2$$

$$M_u = 769.67 \text{ K-P} \quad A_s = 7.59 \text{ Pulg.}^2$$

$$M_u = 564.22 \text{ K-P} \quad A_s = 5.49 \text{ Pulg.}^2$$

$$M_u = 461.11 \text{ K-P} \quad A_s = 4.46 \text{ Pulg.}^2$$

$$M_u = 258.07 \text{ K-P} \quad A_s = 2.47 \text{ Pulg.}^2$$

Aplicando un $f_{\min} = 200/f_y$, $A_{s\min} = 5.18 \text{ Pulg.}^2$

9) Longitud de desarrollo necesaria para varillas No. 9, de acuerdo con la sección 12.5.a (Aci 318-71)

$$L_d = 0.0004 (1.128) (60,000) = 27.07''$$

Y la sección 12.5.b indica que L_d se multiplique por 1.4 cuando el refuerzo se localice en la parte superior:

$$L_d = 1.4 \times 27.07'' = 37.90'' = 3.16'$$

Puede observarse en la figura 7.8.d que existen 4 pies entre el punto del momento máximo y el final del lado derecho del baston, con lo cual se proporciona la debida longitud de desarrollo.

h) Diseño de viga transversal debajo de las columnas:

El ancho de estas vigas transversales se consideran como: ancho de la columna mas medio ancho de la columna a cada lado, o mas la mitad del peralte a cada lado, el que sea menor.

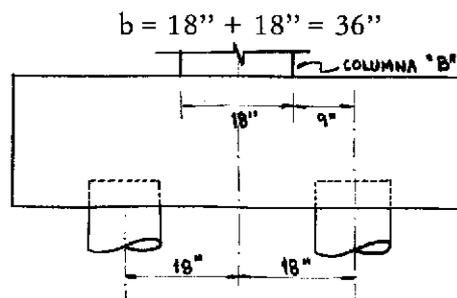


FIGURA 7.8.c.

En la figura 7.8.b, se muestra en la parte achurada el ancho de la viga transversal. Puede notarse que la carga de la columna recae unicamente sobre dos pilotes, así:

$$R_p = 360/2 = 180 \text{ Kips.}$$

De acuerdo con la Fig. 7.8.c el momento en el rostro de la columna es:

$$M_u = 180 (9/12) = 135 \text{ K-P}$$

El refuerzo necesario con $b = 36''$ y $d = 23.50''$

Es: $A_s = 1.29 \text{ Pulg.}^2$

Si se usara un $f_{\min} = 200/f_y$, $A_{s\min.} = 2.83 \text{ Pulg.}^2$

Usar 9 No.5

Armado final del cimientto :

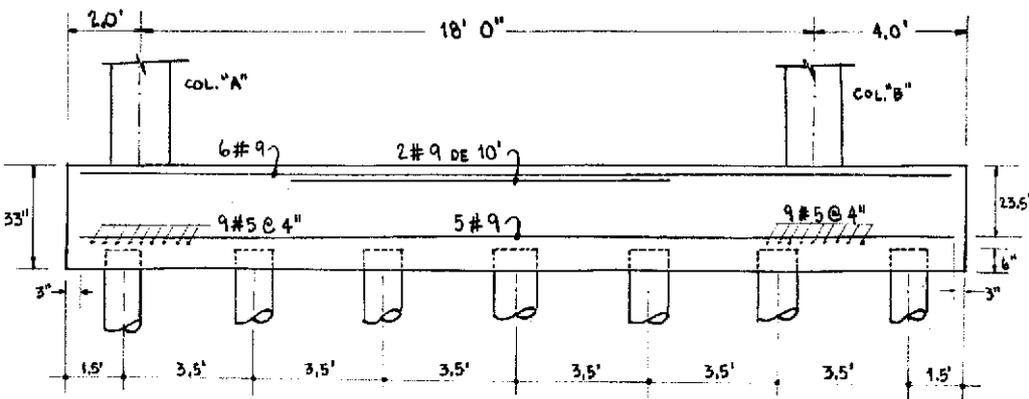
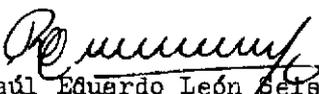


FIGURA 7.8.d.

BIBLIOGRAFIA

1. Chellis, Robert D.
PILE FOUNDATIONS
McGrawHill Book Company, Inc. 1962.
2. Dunham, Clarence W.
FOUNDATIONS OF STRUCTURES
McGraw Hill Book Company, Inc. 1962.
3. Terzaghi, Karl; Peck, Ralph
MECANICA DE SUELOS EN LA INGENIERIA
PRACTICA
Segunda Edición. Editorial "El Ateneo". Buenos Aires
4. Juarez Badillo, E.; Ricor, Alfonso
MECANICA DE SUELOS. TOMO II:
TEORIA Y APLICACIONES DE LA MECANICA DE
SUELOS
Revista "Ingeniería", México 1967.
5. ACI Committee 318
BUILDING CODE REQUIEREMENTS FOR
REINFORCED CONCRETE (ACI 318-71)
American Concrete Institute, Detroit, Michigan.
6. ACI Committee 318
COMENTARY ON BUILDING CODE
REQUIEREMENTS FOR REINFORCED
CONCRETE (ACI 318-71)
American Concrete Institute, Detroit, Michigan
7. Everard, Noel; Tanner, John.
THEORY AND PROBLEMS OF REINFORCED
CONCRETE DESIGN
Schaum Publishing Co., New York

8. Ferguson, Phil M.
REINFORCED CONCRETE FUNDAMENTALS
John Wiley & Sons, Inc.
9. ACI Committee 340
"DESIGN HANDBOOK" IN ACCORDANCE WITH
STRENGTH DESIGN
METHOD OF ACI 318-71
Publication SP-17 (73). American Concrete Institute,
Detroit
10. REGLAMENTO DE LAS CONSTRUCCIONES DE
CONCRETO REFORZADO
(ACI 318-71) Y COMENTARIOS.
Traducción al Español de las referencias 5 y 6.
Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, S.A.
11. Winter, Urquhart, O'Rourke y Nilson
DESIGN OF CONCRETE STRUCTURES
Seven Edition, McGraw Hill Book Company, Inc.
12. FOUNDATION ENGINEERING
Edited By Leonards, G.A.
McGraw Hill Book Company, Inc. 1962.
13. FOUNDATIONS, ABUTMENTS AND FOOTINGS
Hool, George; Kinne, W.S.
McGraw Hill Book Company, Inc. 1943
14. DESIGN MANUAL: SOIL MECHANICS,
FOUNDATIONS AND EARTH
STRUCTURES
Department of the Navy Bureau of Yards and Docks.
Washington 25, D.C.


Raúl Eduardo León Seis

Vo. Bo.



(f) Ing. Rolando Chinchilla Castañeda

Asesor

Vo. Bo.



(f) Ing. Manuel Castillo Bazañas
Director de Escuela de Ingeniería Civil

Imprimase


(f) Ing. Raúl Molina
DECANO