



Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ingeniería

153

**Cajones de cimentación para pilas de mampostería  
como alternativa al uso de cilindros o pilotes**

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO CIVIL  
P R E S E N T A  
**Moisés Picazo Salazar**

MEXICO, D. F.

NOVIEMBRE 1984



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

CAJONES DE CIMENTACION PARA PILAS DE MAMPOSTERIA  
COMO ALTERNATIVA AL USO DE CILINDROS O PILOTES.

I n d i c e

Introducción	1
1.- Antecedentes	3
1.1.- Importancia del transporte por carretera, 3	
1.2.- Tipos de puentes mas usuales en carreteras, 4	
1.3.- Problemas comunes en cimentaciones, 8	
2.- Diferentes clases de cimentaciones en puentes	17
2.1.- Mampostería, 20	
2.2.- Cilindros de concreto, 24	
2.3.- Pilotes, 30	
3.- Cimentación para apoyos intermedios según tipo de suelo	34
3.1.- Socavación y hundimientos diferenciales, 34	
3.2.- Cimentación y técnicas de construcción según tipo de suelo, 39	
3.2.1.- Arenosos, 39	
3.2.2.- Arcillosos, 42	
3.2.3.- Areno-arcillosos, 43	
3.2.4.- Areno-limosos, 43	
3.3.- Suelos o combinación especial de éstos que originan problemas de socavación, 43	
4.- Cajones aplicados a cimentaciones de mampostería	47
4.1.- Generalidades, 47	
4.2.- Uso de cajones como alternativa al uso de cilindros o pilotes, 49	
4.3.- Pasos a seguir en la metodología propuesta, 52	
4.4.- Diseño, 59	
4.5.- Proceso constructivo e hincado, 66	
4.6.- Equipo y materiales necesarios, 70	
5.- Factibilidad económica del proyecto	73
5.1.- Costos de diversas alternativas, 73	
5.2.- Costo de la solución propuesta, 82	
5.3.- Análisis comparativo de costos, 89	
Conclusiones.	91
Bibliografía	93

## I N T R O D U C C I O N

En el presente trabajo se propone un método constructivo para pilas de mampostería como opción al uso de pilotes o cilindros y diferente al método tradicional con excavación a cielo abierto, ya que éste restringe su aplicación a cimentaciones no profundas, por el contrario con esta solución que se propone, se puede irrumpir en el campo de las cimentaciones poco profundas, hasta del orden de 10 mts., con un procedimiento tradicional de cimentaciones superficiales como es la mampostería.

Esta opción comprende la combinación de la excavación a cielo abierto con el hincado de cilindros. En este caso, hincando un cajón de sección igual a la de la pila, desplantando la mampostería desde el fondo del cajón hasta la altura requerida para dicha pila.

El nombre que se escogió para esta alternativa es de cajón mampostería ya que se propone usar un cajón de concreto colado en lugar de la obra; hincado de manera similar a la de los cilindros; relleno de mampostería y terminando la pila con la misma hasta la altura requerida.

Para hacer la exposición detallada de esta alternativa propuesta se escogió un método de lo general a lo particular, con el objeto de ir situando de manera más clara el problema que se plantea.

Así en el Capítulo 1 se cita la importancia que tiene el transporte por carretera y el papel que desempeñan las vías de comunicación como factor de integración del territorio nacional; se dan ejemplos de los puentes más comunes usados en carreteras y los problemas más frecuentes que se encuentran en este tipo de cimentaciones.

En el Capítulo 2 se analizan ya las cimentaciones para puentes como son: las de mampostería, los cilindros de concreto y los pilotes.

En el Capítulo 3 se plantea el problema de cimentación para -- apoyos intermedios o pilas, analizándolo desde el punto de vista del tipo de suelo o la combinación especial de éstos y los problemas que ello genera, fijando las condiciones en las que se pueda aplicar la solución propuesta y que se analizará en - el siguiente capítulo.

En el Capítulo 4 se hace una exposición detallada del método - propuesto, empezando con una breve introducción. Posteriormente se justifica el uso de los cajones de cimentación, para continuar con los pasos a seguir en la metodología propuesta; se hace el análisis desde el punto de vista de diseño; se exponen el proceso constructivo y la técnica de hincado; para finalmente detallar el equipo y materiales necesarios para llevar a cabo esta obra.

En el último capítulo, o sea el 5, se dá una última justificación desde el punto de vista económico, analizando la factibilidad del mismo y haciendo una comparación de costos con otras alternativas como pueden ser cilindros o mampostería común y - corriente.

## CAPITULO 1

### A N T E C E D E N T E S

#### 1.1.- Importancia del transporte por carretera

En el medio de la construcción de vías de comunicación, concretamente carreteras, es común tratar conceptos tales como: terracerías, pavimentos, obras de arte, puentes, cunetas, etc., encaminados hacia un fin, o sea, la realización de la carretera.

Las carreteras como medio de comunicación y transporte tienen una importancia evidente tanto económica como social y solo pequeñas regiones, poco desarrolladas, serían autosuficientes y no requerirían de estos medios de comunicación.

Como parte de la infraestructura de un sistema de transporte, las carreteras contribuyen al cumplimiento de los objetivos del mismo o sea desplazar de un lugar a otro bienes o personas, integrando las diferentes regiones y cumpliendo con el propósito del desarrollo regional y nacional.

La carretera como tal es el producto de una serie de estudios preliminares -- que se inician con el análisis de las diferentes alternativas de trazos aplicándose algunos criterios financiero-económicos como índice de rentabilidad o tasa interna de retorno. Para esto se deben recabar de manera previa, datos topográficos, geológicos hidrológicos, uso del suelo, obras planeadas y existentes, zona de influencia, reconocimientos físicos, fotointerpretación, etc. después de todos los estudios se planea y se consigue financiamiento, se concursa y se programa su realización en la que se pueden mencionar algunas fases; desmonte, desplante, cortes, obras de drenaje, puentes, pavimentación, señalamientos y obras complementarias.

Como se mencionó, en este tipo de obras, es común que se requiera construir puentes, llamando así a las estructuras que sirven para librar ríos o cañadas

y sin las cuales sería imposible lograr el objetivo final de la carretera,

### 1.2.- Tipos de puentes más usuales.

Existen muchos tipos de puentes y de hecho debe haber tantos como soluciones al problema particular de trazo que se tenga.

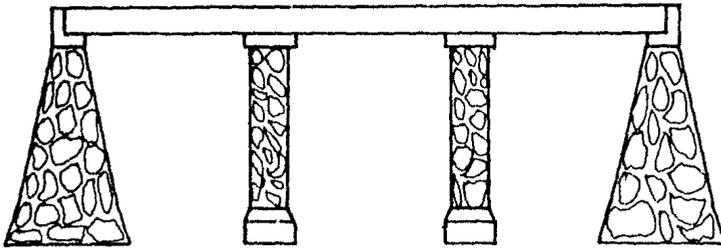
Para la solución de las diferentes condiciones que presenta un cruce de carretera en las situaciones mencionadas, hay proyectos tipo de alternativas conocidas y resueltas, para los casos fuera de éstos, el ingeniero está preparado para resilverlo en las mejores condiciones mediante una propuesta adecuada.

Entre algunos casos de proyectos tipo, podemos citar los siguientes:

Tipo 1.- Puentes con superestructura de concreto, subestructura de pilas de mampostería descansadas sobre cimentación de mampostería, desplantada en piso firme logrado a base de excavación a cielo abierto y estribos en las mismas condiciones.

Uso: Para cauces con materiales socavables, pudiendo ser arena, arcilla o materiales sueltos de relleno con poca profundidad y alta capacidad de carga -- del terreno firme en el que se pueda cimentar las pilas y los estribos.

Características: La excavación a cielo abierto es factible hasta la profundidad marcada en el proyecto para garantizar la estabilidad de las pilas -- normalmente poca profundidad-- de costo económico y de construcción rápida; esto implica que el suelo (arena muy seguramente) y el nivel de aguas freáticas -- permitan llevar a cabo la excavación. Es recomendable para cauces sin agua superficial en el estiaje. Ver figura 1.1.



Puente de estribo y pilas de mampostería. Cimentación de mampostería

Figura 1.1

Tipo 2.- Puentes con superestructura de concreto, subestructura de pilas de -- concreto descansadas sobre cimentación de cilindros de concreto hincados a base de colado y excavación en la parte interior del cilindro, a una profundidad tal que descansen en terreno firme o que por fricción permita soportar el peso que le corresponda de la estructura. Caballetes también de concreto sobre cilindros hincados.

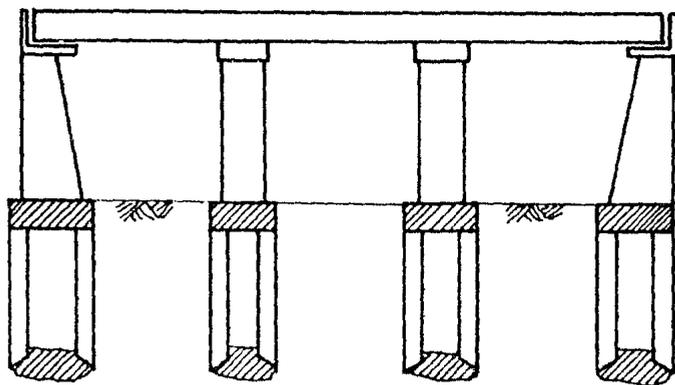
Uso: para cauces con un espesor considerable de arena y en donde una solución a base de pilas de mampostería requerirían una excavación tan profunda (para garantizar la estabilidad por concepto de socavación) que sería o muy costosa o imposible de realizar.

Características: Es una solución bastante cara, pero disminuye muy considerablemente el riesgo de colapso de la estructura.

El problema de excavación se traduce a extraer la arena del interior del cilindro, colado sobre superficie, para permitir el deslizamiento vertical del mismo.

Es necesario que el tipo de suelo sea arena y no importa que haya agua o no sobre el cauce. Para ello hay dos soluciones según se presente alguna de las si-

tuaciones mencionadas. Ver figura No. 1.2.



Puente de caballete y pilas de concreto. Cimentación de cilindros

Figura 1.2.

Tipo 3.- Puentes con superestructura de concreto, subestructura de placas de concreto (como pilas) y caballetes en los extremos, descansados sobre pilotes como infraestructura. Los pilotes pueden ser hincados con o sin excavación - previa, dependiendo del tipo de suelo

Uso: Es una solución para casos de puentes de claros no muy largos, para cauces con baja corriente en época de estiaje (para que permitan la colocación - del equipo de hincado y de perforación cuando haya necesidad).

Características: Son puentes de construcción muy rápida, económicos y muy seguros en cuanto a estabilidad, pues el riesgo de socavación en las avenidas - está totalmente controlado por la gran penetración que logran los pilotes.

Como ejemplo de aplicación de estos puentes, se pueden citar los siguientes - tipos de suelo, siendo diferente el procedimiento constructivo en cada caso:

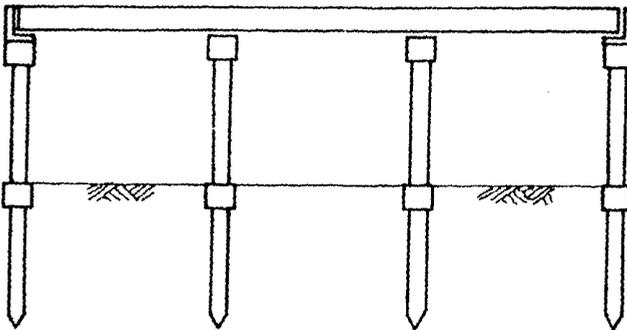
Suelo areno-arcilloso y agua en el cauce

Suelo areno-arcilloso y agua freática

Suelo limo-areno-arcilloso y agua en el cauce

### Suelo limo-areno-arcilloso y agua freática

Como se mencionó existe un procedimiento constructivo diferente, para cada uno de ellos, con la característica particular de que en los dos primeros se puede realizar el hincado sin perforación previa, mientras que en los dos últimos debe hacerse dicha perforación antes del hincado. Ver figura 1.3



Puente de apoyos a base de diafragmas y cimentación de pilotes

Figura 1.3

Tipo 4.- Puentes con superestructura de concreto, subestructura de pilas de concreto descansadas sobre infraestructura de cilindros de concreto y estribos de mampostería sobre suelo firme con excavación a cielo abierto.

Usos: Es un caso combinado entre los tipos 1 y 2 de puentes.

Características: Este tipo de puentes se utiliza cuando el manto de arena en la parte media del cauce es muy profundo y no sería posible garantizar la estabilidad del mismo mediante pilas de mampostería y bajo en los extremos de manera que permita el desplante a cielo abierto de los estribos.- Cuando se usan caballetes, descansados sobre cilindros de concreto, es porque en los extremos del cauce la profundidad del manto de arena es tan grande como la del centro.

Tipo 5.- Puentes con superestructura de concreto, subestructura de placas de concreto (equivalente a pilas) descansadas sobre pilotes de concreto y en los extremos, estribos de mampostería sobre suelo firme excavados a cielo abierto.

Características: Se usa como una combinación de los tipos 1 y 3 en situaciones en que el tipo de suelo a la mitad del cauce es tal que permite el hincado (con o sin perforación previa) y en los extremos se puede realizar la excavación a cielo abierto para desplantar la cimentación de mampostería sobre la que descansará el estribo.

Existen otros tipos de resolución de puentes, sin embargo, para el desarrollo del presente trabajo conviene situarnos precisamente dentro de los antes mencionados.

### 1.3.- Problemas comunes en cimentaciones.

Es frecuente encontrar tipos de suelo donde se pueda aplicar una solución por pilas de mampostería, o sea, donde el suelo no es tan firme como para permitir la perforación e hincado de pilotes o no es tan suave como para hincarlos sin perforación y entonces la solución es excavación a cielo abierto para desplantar pilas de mampostería.

Si se opta por ésta última solución en el campo de los hechos puede suceder lo siguiente:

- 1).- La excavación cerca de la superficie es muy fácil.
- 2).- La excavación más profunda se hace complicada porque el agua inunda la excavación, no se tiene estabilidad en los taludes y los materiales que se extraen del centro de la excavación son sustituidos de los taludes, que cada vez se van extendiendo en la horizontal y en los 360° del centro de la excavación.
- 3).- Si se desea llegar a la profundidad de proyecto es necesario usar ataguías, electrósomosis u otra solución que sería demasiado costosa.
- 4).- En el caso de optar por las ataguías se tendría que implementar el proceso (equipo, materiales y personal especializado y debidamente capacitado) que no está previsto y el conseguirlo ocasionaría atrasos considerables en las obras y perjuicios en las excavaciones ya hechas.

5).- Se puede tomar la decisión de desplantar a partir de la profundidad lograda a cielo abierto (menor generalmente a la del proyecto) con el riesgo de no tener la debida estabilidad en la estructura, por socavación o por asentamientos diferenciales.

Los problemas planteados anteriormente nos llevan a buscar una solución para la cimentación de mampostería en pilas y estribos que cumpla con los siguientes requisitos:

- 1).- Rápida
- 2).- Económica
- 3).- Que garantice la estabilidad de la estructura y su capacidad de carga
- 4).- Que utilice los recursos disponibles en una obra previamente proyectada y en proceso.
- 5).- Equitativa para el contratista y el beneficiario de la obra.

La solución a este tipo de problema se logrará al poder desplantar el cimiento a una profundidad mayor a la que la excavación a cielo abierto nos permite, logrando la profundidad requerida en el proyecto.

El planteamiento de esta situación y su solución nos daría la posibilidad de aplicarla al caso de puentes sobre cauces de arena muy profundos (y socavación grande) en donde la excavación para desplantar las pilas a la profundidad requerida resultaría imposible o muy costosa.

En esta forma se podrá usar esta solución en suelos arenosos evitando con ello el tener que optar por los cilindros de concreto, que es una solución demasiado costosa por el tipo de materiales requeridos, el equipo sofisticado, el personal técnico necesario y espesores de concreto muy reforzados.

Existe un caso más en el que la solución planteada podría adoptarse:

En ocasiones se opta por una solución con pilas de mampostería según los datos arrojados por los estudios geotécnicos pero como las brigadas que hacen el estudio se basan en perforaciones muestrales y todo estudio muestral tiene un cierto porcentaje de riesgo, puede suceder que se diagnostique que el lugar donde se desplante la estructura, tenga un determinado tipo de suelo cuan

do en realidad se trata de otro, aunque pueda ser muy similar. Puesta en marcha la obra se puede presentar dicha situación y es conveniente tener una solución adecuada para el caso y es la que se plantea en este trabajo la que se puede aplicar.

Por lo tanto se pretende desarrollar una solución que cumpla precisamente con los requerimientos mencionados en los cinco puntos anteriores.

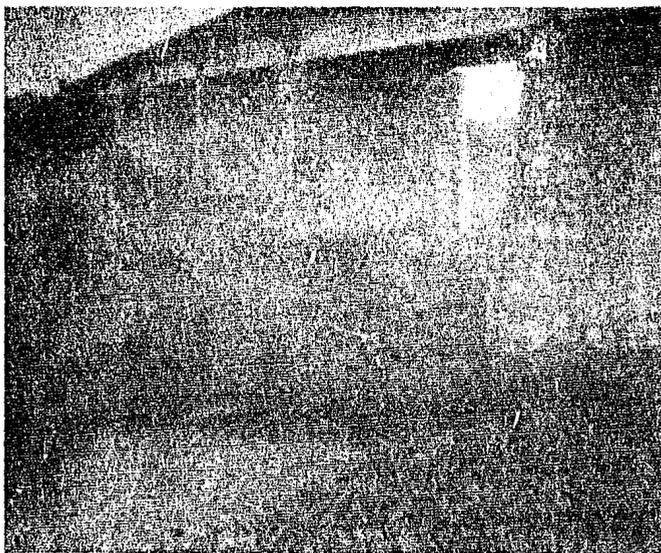
Cabría preguntarse en este momento qué tan frecuente resulta la presencia de este tipo de problemas, a quién beneficiaría fundamentalmente y en qué áreas de la República se aplicaría principalmente.

Se puede decir que el tipo de suelo a que hacemos referencia se presenta frecuentemente en zonas de inundación (costas, valles, lagunas), pero sería en zonas costeras donde se aplicaría este procedimiento. En cuanto a cauces arenosos se podría pensar en la mayoría de los ríos.

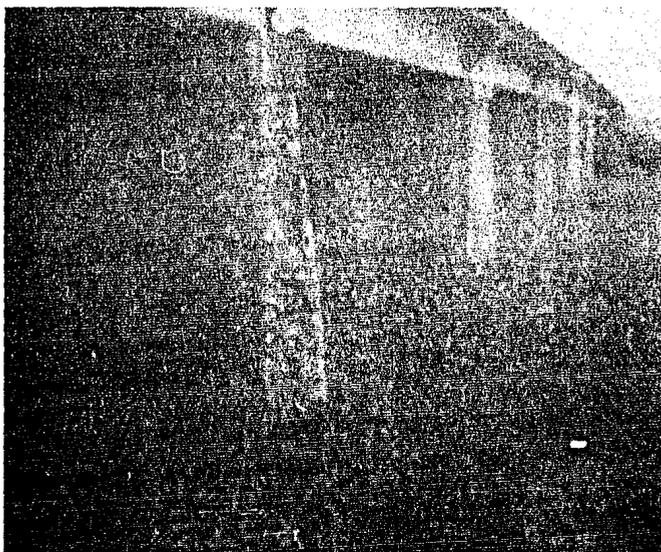
Los beneficiados serían las comunidades puesto que es el Gobierno Federal --- quien realiza estas obras con dinero de los contribuyentes.

PUENTE MONTEALTO

Km. 96 Carretera Acapulco-Zihuatanejo



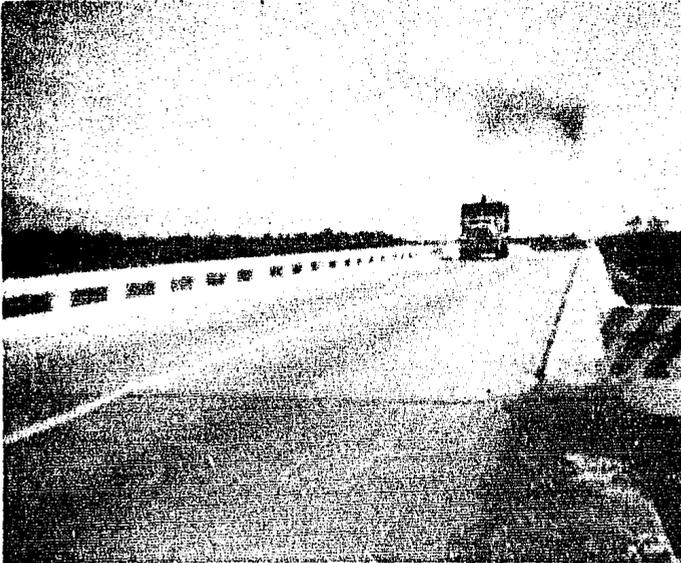
Costado Poniente



Costado oriente

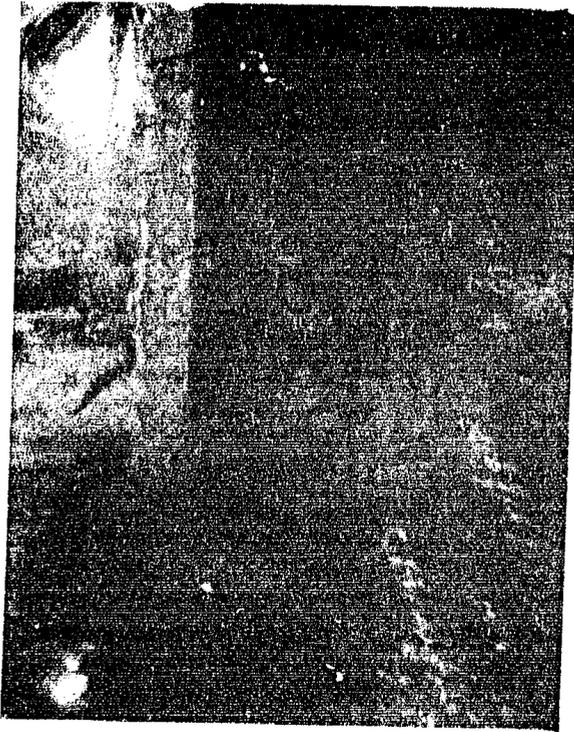
PUENTE MONTE ALTO

Km. 96 Carretera Acapulco-Zihuatanejo (Costado Superior)



PUENTE CAYACO Km 100 Carretera Acapulco-Zihuatanejo (Apoyo extremo)

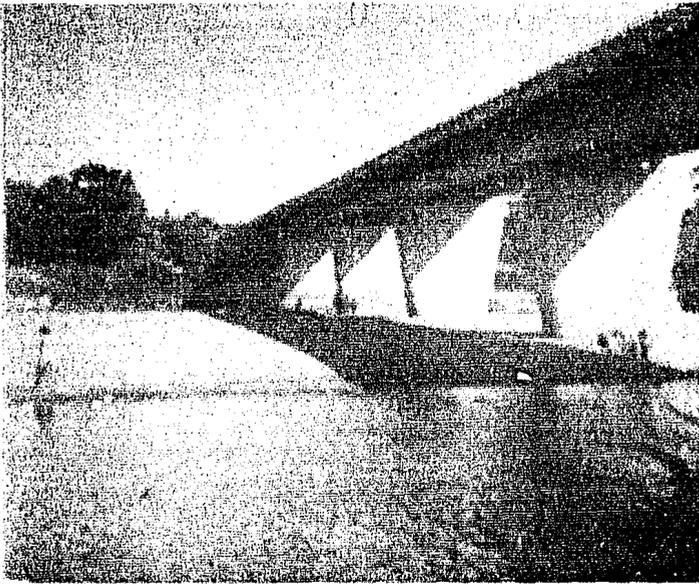
PUENTE CAYACO  
Km. 100 Carretera Acapulco-Zihuatanejo



Apoyo Intermedio

**PUENTE CAYACO****Km. 100 Carretera Acapulco-Zihuatanejo**

Apoyo Intermedio



PUENTE SAN LUIS

Km. 130 Carretera Acapulco-Zihuatanejo

## CAPITULO 2

### DIFERENTES TIPOS DE CIMENTACION EN PUENTES

Antes de iniciar el tema sobre los diferentes tipos de cimentación en puentes, definiremos lo que entenderemos por "cimentación" de la estructura que hemos llamado puente, que a su vez es común que se le divida en tres partes fundamentales, que son:

#### Superestructura.

Es la parte superior del puente y está constituida por la losa que permite la unión entre los extremos de un camino cortado, por ejemplo, por un río, cuenta además con banquetas y parapetos cuyo fin es permitir el paso en forma segura de peatones y vehículos.

#### Subestructura.

Es la parte inferior, inmediata a la superestructura y su función es sostener dicha superestructura y transmitir el peso de ésta a la parte inferior. La subestructura normalmente está formada por los llamados apoyos.

#### Infraestructura.

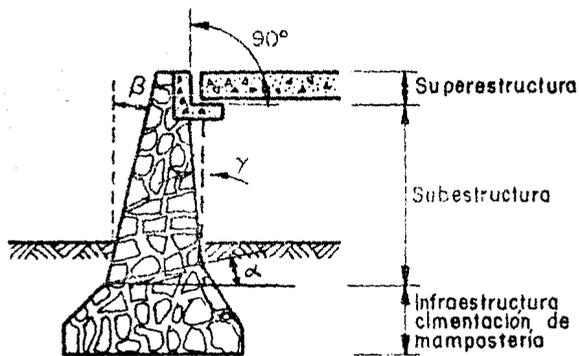
Es la parte inferior a la subestructura, se diseña con el objeto de que absorba el peso de toda la estructura (superestructura, subestructura y la propia infraestructura) y transmita al suelo las cargas de manera que no exceda la capacidad de carga del mismo, como se sabe todo suelo tiene una capacidad máxima de carga medida en  $\text{Kg}/\text{cm}^2$  que al excederse puede ocasionar el colapso de la estructura.

Dependiendo del tipo y forma de la infraestructura se podrá transmitir una mayor o menor carga al terreno, de ahí que, debidamente diseñada se podrá asegurar que la carga transmitida al suelo nunca será mayor a la capacidad-

de carga de éste. Otra función de la infraestructura es darle estabilidad al puente contra la socavación ocasionada por la corriente de los ríos.

Es común denominar a la infraestructura con el nombre de CIMENTACION, por lo que en el desarrollo de este trabajo y en particular para este capítulo nos referiremos siempre a la cimentación como sinónimo de infraestructura.

En las figuras 2.1 a 2.4 se pueden apreciar las diferentes componentes dependiendo de qué tipo de puente se trate.



Apoyo extremo, estribo

Figura 2.1

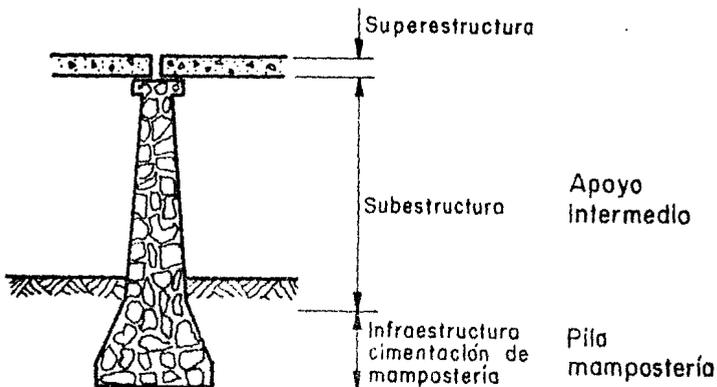


Figura 2.2

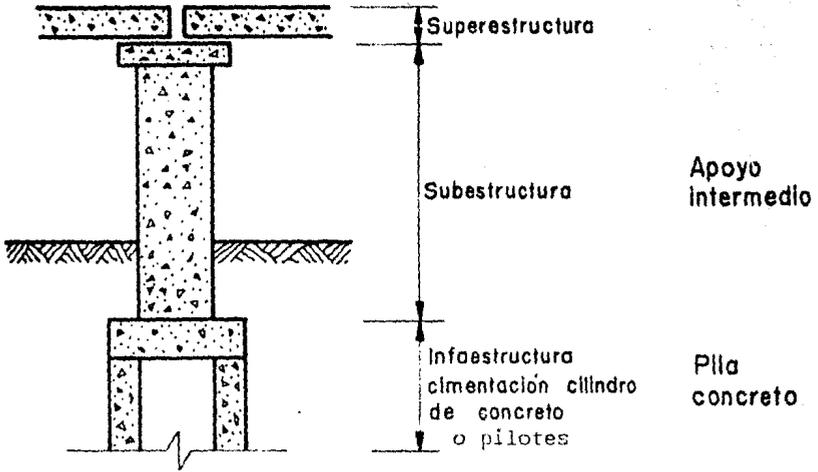


Figura 2.3

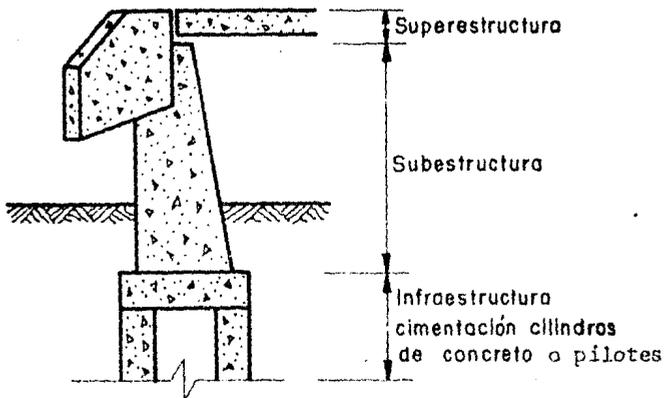


Figura 2.4

### 2.1.- Cimientos de mampostería.

El uso de los cimientos de mampostería es común en la actualidad y fué de hecho, con el que se inició históricamente la construcción de las estructuras aquí tratadas; en cuanto a costo se puede afirmar que es bastante bajo en comparación con otras infraestructuras. A diferencia de otros tipos de cimentaciones, en donde casi todo es mecanizado como lo veremos posteriormente, ésta requiere de una gran cantidad de mano de obra, por lo que para nuestro País resulta conveniente su uso. Dos aspectos que se deben tomar muy en cuenta para una obra de este tipo es que se debe disponer de tiempo y material suficiente.

Las características más importantes en esta clase de cimentación son las siguientes:

1).- El desplante debe hacerse a una determinada profundidad  $h$  con respecto al nivel natural del terreno, mediante excavación a cielo abierto y debe cumplir con las dos condiciones siguientes:

a).-  $h \geq 1.15 Kcv$

siendo:  $K =$  constante

b).-  $h \geq 1.50 f(z,p,n)$

$c =$  tipo de suelo

$v =$  velocidad de la corriente

$z =$  profundidad

$p =$  resistencia del suelo

$n =$  contenido de agua

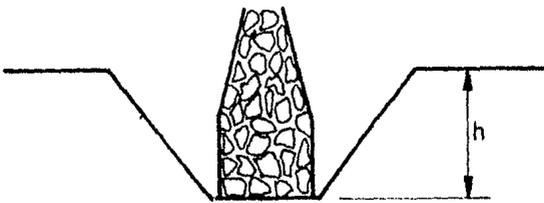


Figura 2.5

Una condición asegura la estabilidad contra la socavación y otra por la carga transmitida.

2).- Los materiales requeridos son muy comunes y por lo tanto se pueden ----

conseguir fácilmente.

Se requiere:

- 2.1).- Piedra quebrada, normalmente localizable en bancos cercanos a los lugares de la obra y de fácil acceso y operación para su corte.
- 2.2).- Arena, que se localiza en los lugares (ríos, arroyos, etc.)- en donde se construye la obra.
- 2.3).- Cemento, que se distribuye mediante concesionario prácticamente hasta en los lugares más apartados del País, y en su caso, se puede conseguir al mayoreo directamente de las plantas productoras a mejor precio aún cuando se cargue el precio del flete.
- 2.4).- Agua limpia que se puede encontrar en el lugar de la obra. (río, arroyo, etc.), o se acarrea con pipas a depósitos no contaminados.
- 2.5).- Mano de obra, que es fácil de encontrar en el lugar, o lugares cercanos a las obras por ser una actividad común en todo tipo de construcción, es decir de muy poca especialización y por lo consiguiente de gran disponibilidad.

3).- La maquinaria, equipo y personal para su operación es muy elemental se requiere:

- 3.1).- Para realizar la excavación:
  - 3.1.1).- Sistema de bombeo con un mínimo de una bomba y otra de repuesto con motor de combustión interna o eléctrica si se dispone de electricidad, con capacidad de acuerdo al volumen de agua a desalojar.
  - 3.1.2).- Una draga, para la extracción de los materiales de la excavación.
  - 3.1.3).- Un operador para la draga y una o dos personas más para el manejo de la bomba y la realización de algunos acomodos durante la excavación.
- 3.2).- Para la realización de la cimentación:
  - 3.2.1).- Plomada, hilos, cinta métrica, etc. para el trazo de la cimentación.

3.2.2).- Cuchara de albañil, pala, carretilla y botes alcoholeros - para elaborar la mezcla, la transportación de ésta, y la realización de la mampostería en la cimentación.

3.2.3).- Un oficial y un peón como pareja de trabajo y tantas parejas como se necesiten, dependiendo de la velocidad de avance que se requiera. No es recomendable asignar más de dos parejas por apoyo.

Como se puede constatar, son muy elementales los materiales, equipo y maquinaria requeridos para llevar a cabo este tipo de cimentación, por lo que resulta evidente el bajo costo que tiene la misma.

#### Alcances.

Los alcances de este tipo de obra los podemos resumir en los siguientes puntos:

- a).- Bajo costo
- b).- Uso intensivo de mano de obra  
(generadora de empleos)

#### Limitaciones.

Las limitaciones se pueden resumir como sigue:

- a).- El desplante debe hacerse mediante excavación a cielo abierto - lo cual no siempre es fácil, pues no todos los tipos de suelo lo permiten, el proceso de excavación es lento y no es factible en cualquier clase de corriente.
- b).- Debe mantenerse la estabilidad de los taludes en la excavación, mediante bombeo y apuntalamiento durante el desplante y elevación de la cimentación hasta el nivel natural del terreno.

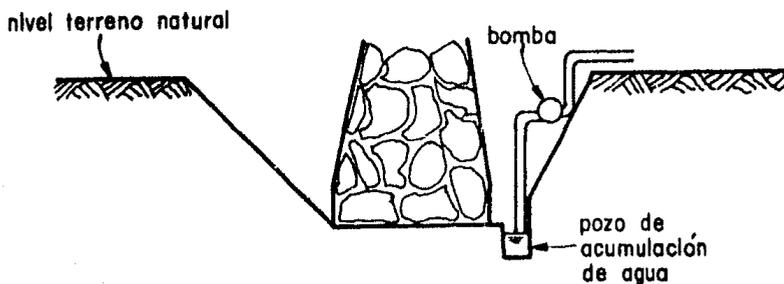


Figura 2.6

c).- Las profundidades que se pueden lograr en este tipo de cimentación no son muy grandes, por lo que su uso se restringe a los casos en donde las corrientes no ocasionen mucha socavación, y que el suelo tenga gran capacidad de carga, o sea, que a poca profundidad pueda resistir fuertes presiones.

Es decir, si a una profundidad  $h_1$  el suelo tiene una resistencia  $w_1$  y a una profundidad mayor  $h_2$ , tiene también una resistencia mayor  $w_2$  y para una  $h_3$  todavía mayor que  $h_2$  resulte una resistencia también mayor  $w_3$ , de manera que si  $h_3$  es la máxima profundidad que se puede lograr en la excavación a cielo abierto por el tipo de suelo y condiciones generales, sea  $w_3$  la máxima resistencia del suelo y por lo tanto lo más que se le pueda transmitir por el peso de la estructura, por lo que, si la estructura transmitiera mayor carga, este tipo de cimentación no sería la adecuada y tendría que recurrirse a otra solución. (ver figura 2.7)

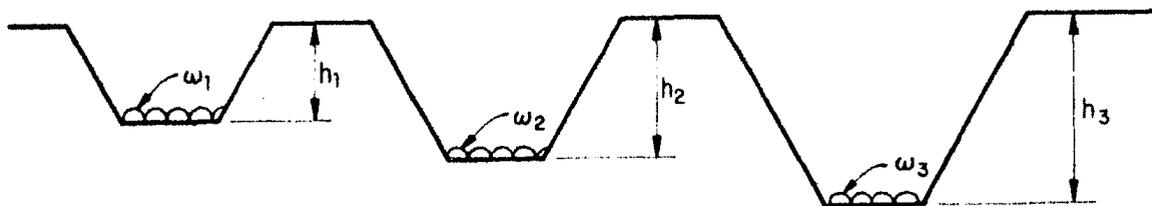


Figura 2.7

d).- El desplante propiamente dicho de la cimentación, es problemático - porque en el primer tendido de piedra junteada, resulta incómodo ha - cer el trabajo prácticamente en el lodo (agua en abundancia y suelo sumamente húmedo) por lo que es común tender primero una capa de -- concreto pobre o concreto cilópeo que sirva de plataforma de desplan - te a la mampostería. A esta primera capa se le podría llamar base - de la infraestructura.

Es importante hacer notar que si hubiera un método práctico, sencillo y económico que permitiera lograr excavaciones más profundas sin que se -- tuviera que recurrir a métodos como el de electrósmosis o al de ataguías que resultan sumamente costosos, podríamos realizar en forma económica - este mismo tipo de cimentación aún en los casos en que se tuvieran plan - teados otros, como son los que en los puntos 2.2 y 2.3 veremos, o sea, - los de cilindros de concreto o el de pilotes.

## 2.2.- Cimientos basados en cilindros de concreto.

### 2.2.1.- Generalidades,

La solución de cimentación con cilindros de concreto es aplicada especí - ficamente a suelos arenosos ya que el procedimiento de construcción se - basa en el hincado de piezas de cilindro construídas en superficie, las - que deben introducirse con fluidez y completamente verticales. Por tal - razón no es posible aplicar esta solución a suelos arenosos con boleos - porque éstos pueden constituir obstáculos en el hincado y ocasionar in-- clinaciones del cilindro. Tampoco se puede implementar en suelos arci-- llosos porque la fricción generada entre la arcilla y las paredes exte-- riores del cilindro es superior a la fuerza generada por el peso de éste, por lo que la introducción por peso propio no se podría llevar a cabo y - al usar otros aditamentos para el hincado no haría fluída su introducción. En suelos arcillo-limosos o limo-arcillosos también es difícil utilizar - esta solución por la razón expuesta para suelos arcillosos. Para suelos semi-duros tampoco es adecuado el uso de cilindros, ya que se dificulta - su introducción. en este caso lo ideal sería usar mampostería.

2.2.2.- Procedimiento constructivo.

El procedimiento constructivo para este tipo de cimentación es el siguiente:

Con base en el cruce de los ejes del puente y del apoyo para el que se va a construir el cimiento, o sea el punto por el que pase el eje del cilindro, se trazan las generatrices y directrices de las dos paredes del cilindro, este trazo se hace a nivel del terreno natural si no hay corriente y a nivel de corriente en caso de que la haya, colocando una plataforma flotante que permita lo anterior.

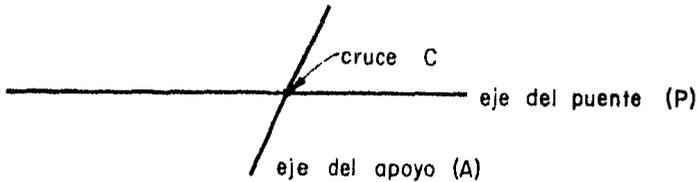


Figura 2.8

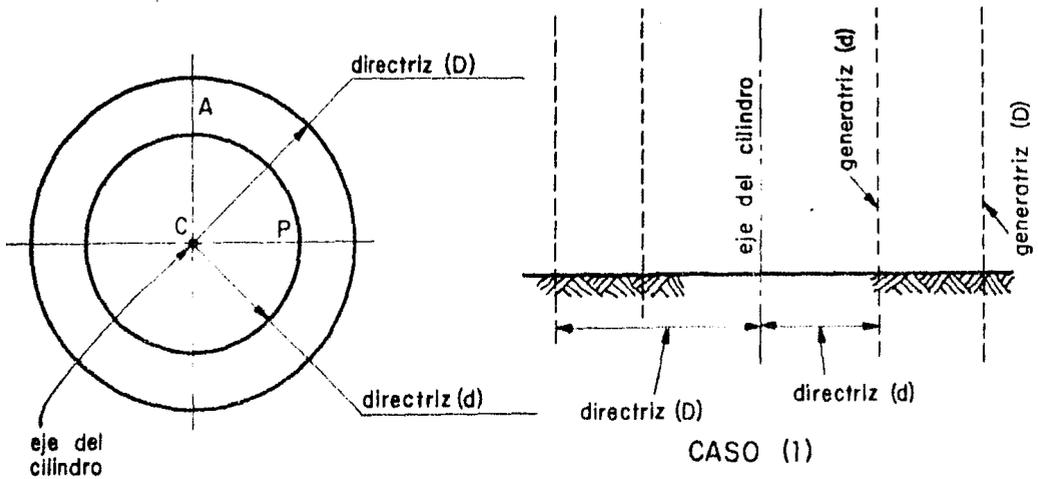
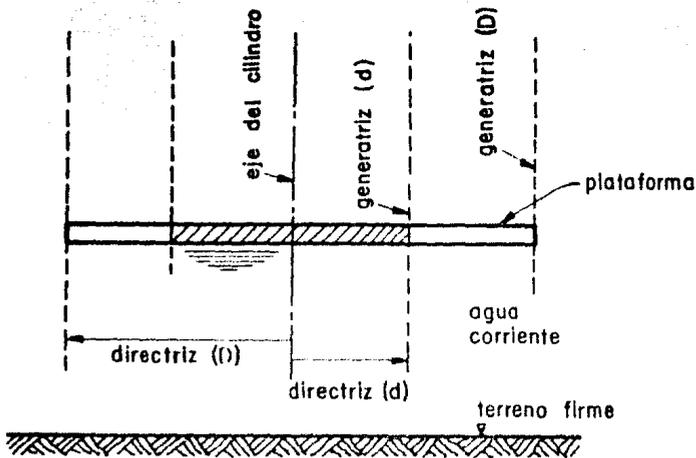


Figura 2.9



CASO (2)

Figura 2.10

El siguiente paso es moldear el cuerpo del cilindro, tomando en cuenta - eje, directrices y generatrices trazadas, con cimbra que puede ser de ma- dera o de acero, esta cimbra debe tener una altura de 1, 1.5 ó 2 m. (nor- malmente es de 2 m.); posteriormente se arma el acero de refuerzo; para- después colar el concreto. En esta primera colada deberá colocarse una- cuchilla en la parte inferior y la cara externa de la pared del cilindro misma que irá cortando el terreno durante el hincado facilitando la en- trada del cilindro.

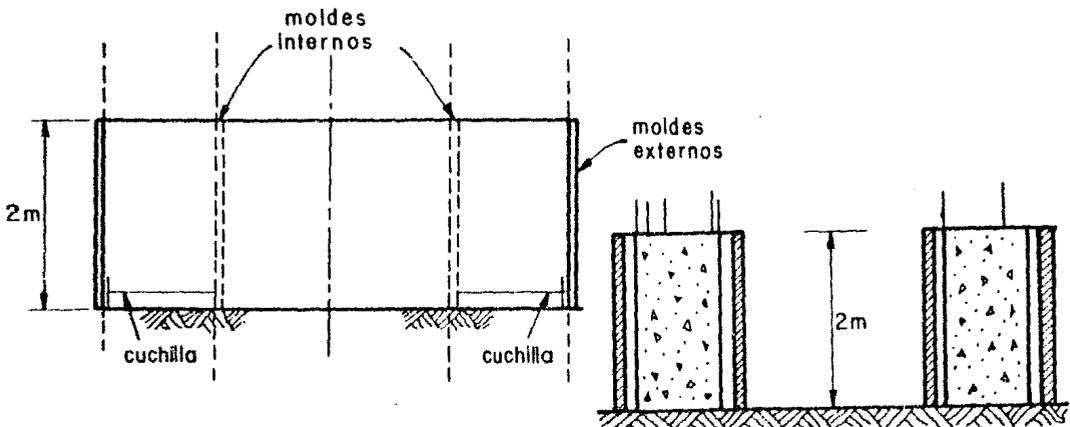


Figura 2.11

Veinticuatro horas después de colado el cilindro se pueden retirar las cimbras o moldes y proceder al hincado a las 36 hrs., aunque lo recomendable es a las 60 horas que es cuando el concreto alcanza una resistencia del 30% de su  $f'c$ . El hincado se hace mediante la excavación de la arena del interior del cilindro por medio de una draga; conforme se vaya extrayendo la arena, se irá quitando sustentación al cilindro y éste se irá introduciendo hasta la totalidad de la parte colada (ver figura 2.11)

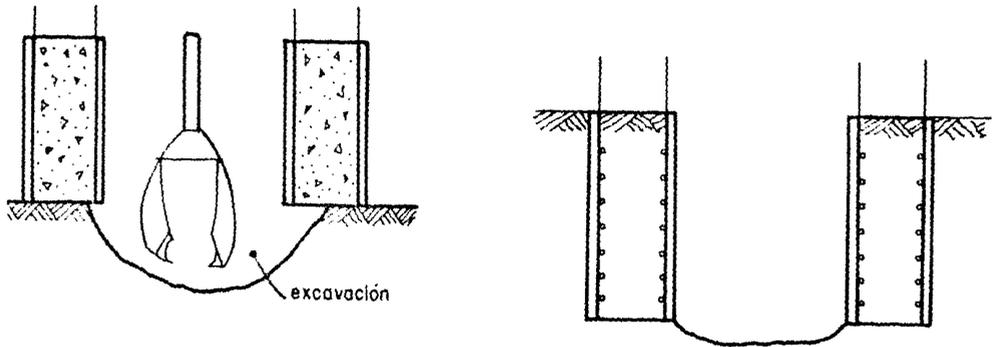


Figura 2.12

Hincado ese tramo, se verifica topográficamente que el centro del cilindro coincida con el centro del trazo y que su eje sea vertical.

Después de esto se cuela otra sección igual a la anterior y de la misma longitud, para lo cual se debe aprovechar los extremos de las varillas que debieron quedar libres en el colado anterior y que servirán como puntos de unión o anclaje para el colado posterior. Se procede ahora igual que en la primera parte para el hincado del cilindro verificando que no haya desplazamientos y/o inclinaciones, si por alguna causa se llegaran a dar estas fallas se harán las correcciones correspondientes durante el hincado de esta nueva sección.

Este proceso se repite tantas veces como sea necesario según la profundidad requerida en el proyecto.

Como ya habíamos indicado, esta solución es propia cuando la profundidad de socavación de las corrientes es muy grande, en donde la solución a base de cimentación de mampostería sería imposible por las dificultades en la excavación ya que las profundidades mínimas para las que se proyecta este tipo de cimentaciones es de 11 metros.

En estos casos también es importante la capacidad de sustentación que se da por la fricción generada entre las paredes del cilindro y la arena - que hace contacto con ellas, o bien por el apoyo directo entre el cilindro y suelo firme en combinación con la fricción, aunque no es común que se logre la introducción del cilindro hasta suelo firme, salvo en contadas ocasiones.

En los casos en que el colado de la primera parte del cilindro no se haga sobre superficie sólida por la existencia de corriente, el colado se hace sobre una plataforma flotante y las primeras partes se van introduciendo sin excavación, simplemente dejándolo caer poco a poco dentro del agua hasta tocar el lecho de la corriente, de ahí en adelante el procedimiento es el mismo que el anteriormente descrito.

#### Equipo necesario:

- Cimbra de madera o acero

En caso de ser de madera, esta se acondicionará en el campo.

En caso de ser de acero se deberá hacer u ordenar su fabricación con la debida anticipación.

- Draga

- Revolvedora de concreto de 1/2 a 1 saco de cemento.

#### Material:

- Grava, arena y agua de acuerdo a la resistencia requerida del concreto y según especificaciones de construcción.

- Cemento portland de tipo normal y marca conocida
- Acero de refuerzo en los diámetros requeridos y resistencia especificada. Este deberá ser previamente analizado por un laboratorio.
- Una plataforma flotante (en caso de existir corriente)

**Personal:**

- Un operador para la draga
- Oficiales y peones para realizar los colados
- Topógrafo para el trazo y verificación durante el hincado de cilindros.
- Operario de plataforma (en caso de existir corriente en el terreno donde se desplantará el cimiento)

Es notorio que esta cimentación para los apoyos, es mucho más cara que la de mampostería, pero en estas condiciones resulta evidentemente necesario.

En contraposición a lo caro de esta solución, está el alto grado de estabilidad que alcanza la estructura, pues por la profundidad a que se llega con el hincado de los cilindros, es prácticamente imposible que éstos puedan ser socavados y la resistencia lograda del suelo es mucho mayor a la demandada por la carga que deberá soportar.

Una vez terminado el hincado del cilindro, se cuele sobre agua un tapón inferior y posteriormente uno superior, sobre el que descansará el apoyo o subestructura correspondiente.

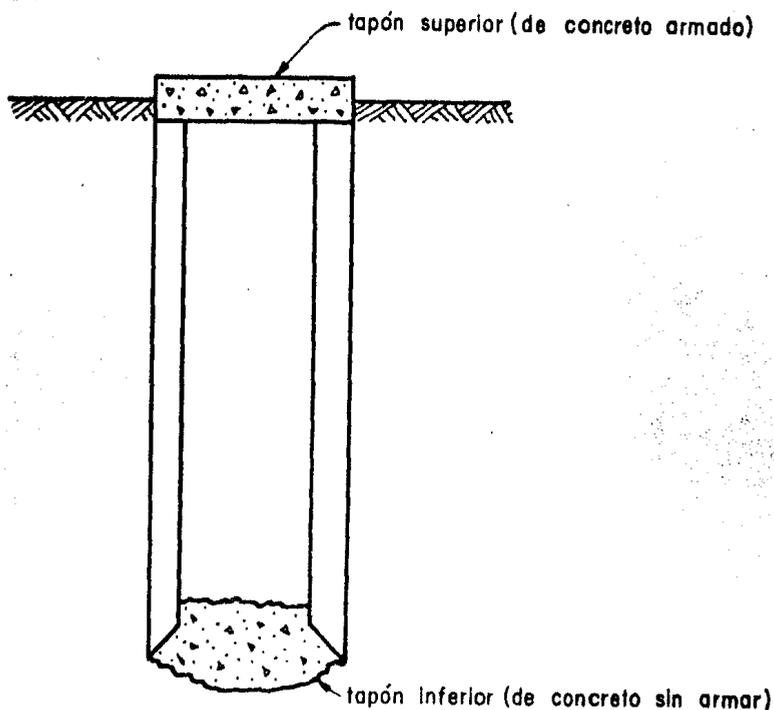


Figura 2.13

### 2.3.- Cimentación a base de pilotes de concreto.

Los pilotes se usan como cimentación en diferentes tipos de estructuras y su uso en puentes es bastante común.

Existen dos tipos de pilotes; los llamados de fricción y los de punta; la diferencia entre unos y otros es como sigue:

**Pilotes de fricción:** se usan en suelos con capas homogéneas de suelo o del mismo tipo y con una gran profundidad, donde la fricción generada entre suelo y superficie del pilote contrarresta la carga transmitida por la estructura.

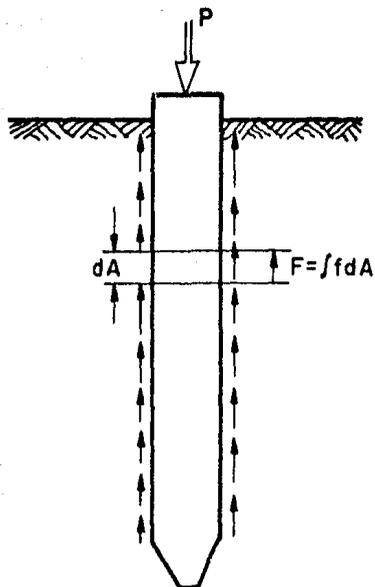


Figura 2.14

El pilote de punta tiene como función transmitir la carga recibida de la estructura hasta una capa de suelo resistente, que se encuentra a una cierta profundidad con respecto al terreno natural.

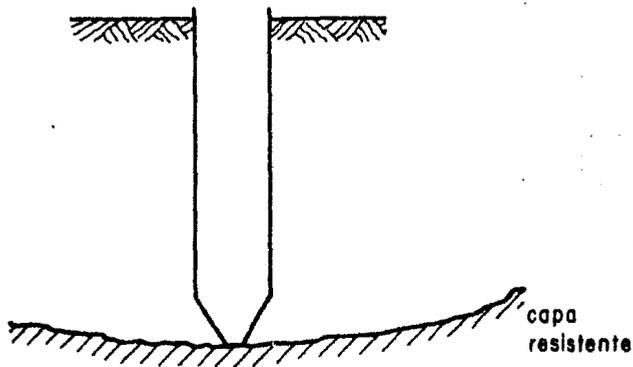


Figura 2.15

En cualquiera de estos dos tipos de pilotes se pueden presentar dos formas - de hincarlos: con perforación previa o sin ella.

El hincado se efectúa mediante golpeo sobre la cabeza del pilote. Para saber en qué momento el pilote está en condiciones de absorber una carga determinada se calcula previamente la penetración máxima que debe alcanzar ante un número dado de golpes.

**Equipo necesario:**

- Martillo de hincado.
- Motor de combustión para alzar el martillo
- Plataforma de apoyo
- Equipo motriz
- Grúa para elevar los pilotes.

**Materiales:**

- Cemento portland normal
- Arena
- Grava
- Agua
- Acero de refuerzo
- Moldes para colado de pilotes

Nota: El colado de pilotes debe hacerse por lo menos 28 días antes de su hincado con el objeto de que adquieran su resistencia normal.

**Personal:**

- Operador de la hincadora
- Oficial y peón para colado de pilotes.

La carga por cada pilote deberá estar perfectamente delimitada y el soporte de toda la estructura y cargas vivas se tomará por baterías de pilotes, en un número tal que sea suficiente para transmitir la carga total al suelo.

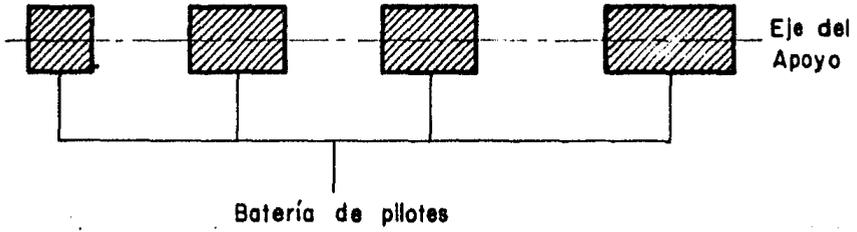


Figura 2.16

### Capítulo 3

#### CIMENTACION PARA APOYOS INTERMEDIOS SEGUN TIPO DE SUELO

##### 3.1.- Socavación y hundimientos diferenciales.

La socavación es un fenómeno que se define como la excavación que sufre el suelo que se encuentra en contacto con el agua de una corriente al aumentar la velocidad de ésta.

Bajo la corriente de agua normalmente se encuentra una capa de material suelto, producto de un deterioro continuo de la capa sólida o rocas. Esta capa es fácil de remover y esa remoción se puede dar con el aumento de la velocidad de la corriente y arrastrar los sólidos aguas abajo. El fenómeno se da de la siguiente manera:

La socavación es función directa de la velocidad de la corriente, ésta a su vez es función del manto de la corriente, el que a su vez es función directa de la avenida; finalmente la avenida es función directa de la precipitación.

Por lo tanto las socavaciones máximas se dan cuando las avenidas son máximas que a su vez son consecuencia de grandes precipitaciones sobre las cuencas que captan el agua.

De aquí que cuando se pretenda conocer el nivel de desplante de una estructura en el cauce de un río, sea necesario primero determinar cuál será la socavación máxima. Como la avenida máxima futura no se puede predecir con exactitud; ni cuando ocurrirá, es necesario realizar el análisis de las avenidas históricas máximas anuales y así obtener una estimación de la avenida máxima futura y su período de retorno. De esta forma se puede conocer la socavación máxima y el nivel de desplante adecuado para la cimentación.

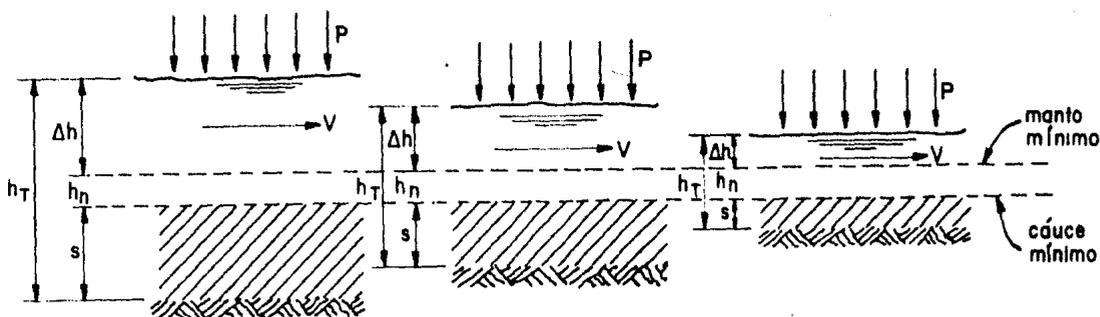


Figura 3.1

donde:

P = precipitación

v = velocidad

S = socavación sobre cauce mínimo

$h_n$  = manto mínimo

$h_r$  = manto total

$\Delta h$  = incremento del manto por las avenidas

$$S = f(v) = F(\Delta h) = f(p)$$

Cuando no hay manera de conocer las avenidas históricas, la estimación se realiza mediante el área de captación de la cuenca y la precipitación máxima en dicha área.

Se tienen ecuaciones en cada caso para calcular las socavaciones, que pueden ser empíricas o producto de investigación en laboratorio.

Por otro lado tampoco es conveniente que haya hundimientos diferenciales ya que inducen esfuerzos adicionales a los esfuerzos normales estimados por peso propio de la estructura y las cargas vivas.

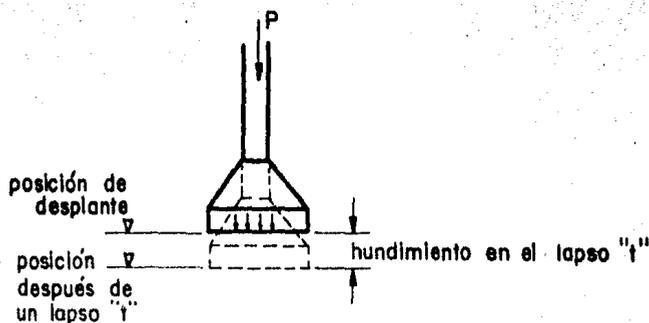


Figura 3.2

El hundimiento es común que se presente en todo suelo al que se le transmite una carga; para suelos gruesos el hundimiento se puede considerar inmediato y para suelos finos a largo plazo, en general podemos decir -- que es función del tiempo. El comportamiento de manera grafica sería:

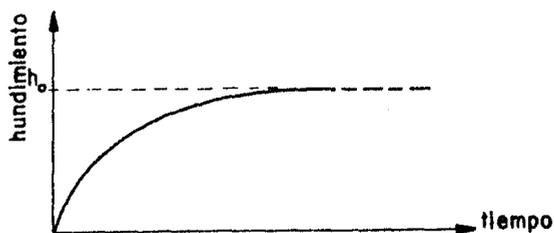


Figura 3.3

Como puede observarse es mayor el principio y cuando ha transcurrido mucho tiempo el hundimiento es menor y tiende a mantenerse en  $h_0$ , lo anterior se dá por la consolidación del suelo sobre el que descansa la cimentación.

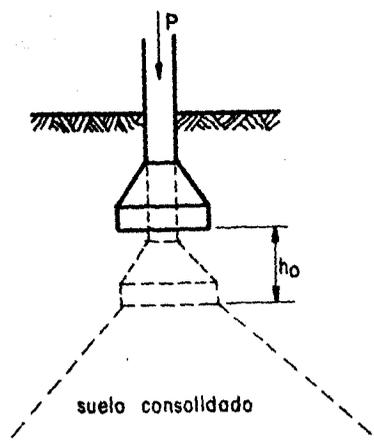


Figura 3.4

Una estructura que cuenta con varios apoyos para transmitir sus cargas vivas y muertas, presenta tales características que no es común que las cargas correspondientes a cada apoyo sean iguales, pero la cimentación se diseña de manera que la superficie de contacto transmita cargas iguales por unidad de superficie.

La variación en el tipo de suelo en cada apoyo y las diferentes cargas en los mismos inducen a hundimientos que no son iguales entre sí, a la diferencia total de dichos hundimientos de un apoyo a otro, es lo que se denomina "hundimientos diferenciales"

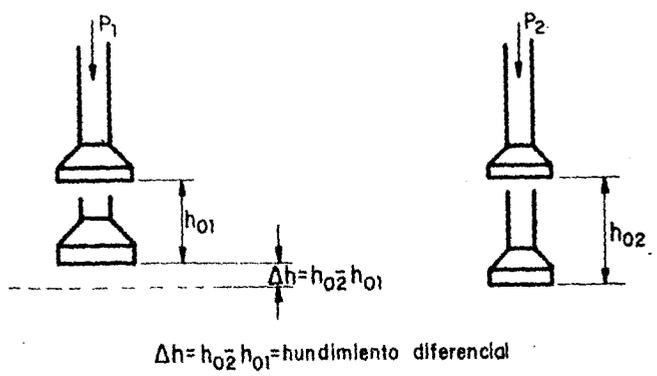


Figura 3.5

Es este hundimiento el que ocasiona esfuerzos adicionales en la estructura (sobre todo cuando se trata de superestructuras continuas) que en todos los casos deben evitarse.

Como no es posible impedir del todo este fenómeno, por lo menos es deseable disminuirlo al mínimo y sobre todo tenerlo muy en cuenta por la magnitud de los esfuerzos que ocasiona.

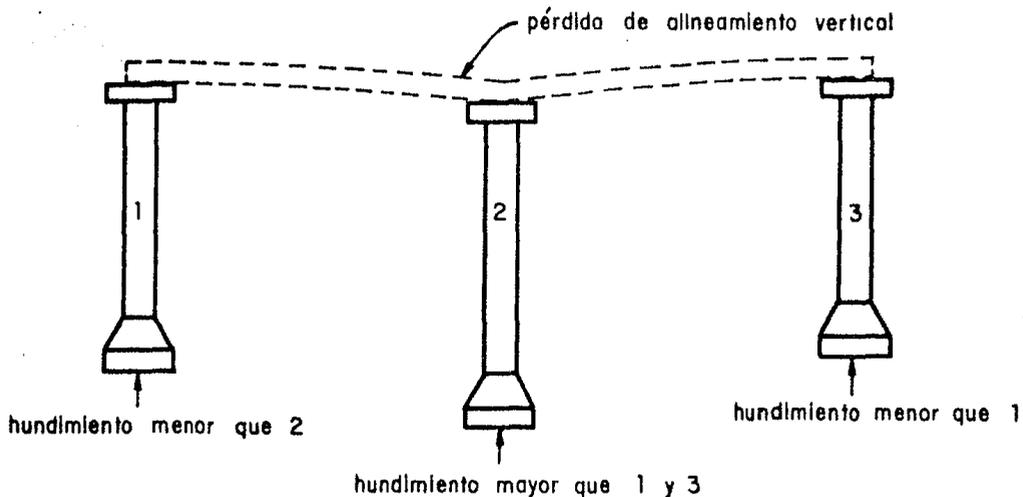


Figura 3.6

Por otro lado, es importante tener presente la configuración externa de la estructura y sus obras anexas, pues cuando estos hundimientos se dan ocasionan pérdida de alineamiento vertical y consecuentemente con ello, la incomodidad en el tránsito de vehículos.

Los terraplenes de acceso también pueden verse afectados con este fenómeno de hundimientos diferenciales, de hecho sufren asentamientos y casi siempre son diferentes de los asentamientos o hundimientos de la estructura, ocasionando problemas serios de circulación, teniendo que hacer servicio de mantenimiento permanente y costoso.

### 3.2.- Cimentación y técnicas de Construcción según tipo de Suelo.

La técnica de construcción y la solución para el tipo de cimentación depende fundamentalmente del tipo de suelo, el que tendrá mucho que ver en cuanto al costo de la obra.

#### 3.2.1.- Suelos Arenosos

Para suelos arenosos, se pueden recomendar dos tipos de cimentación de los ya vistos:

- Cilindros
- Mampostería.

El primero es muy caro, como ya se había comentado, pero es obligado -- cuando la socavación es muy elevada, ya que el procedimiento de construcción permite desplantar al cilindro a una profundidad cualquiera, incluso hasta la zona dura, es decir, penetrar toda la capa arenosa.

El segundo es muy económico, como también ya se había comentado en el capítulo anterior, por lo que es recomendable su uso, pero el proceso constructivo es una limitante, ya que no permite el desplante de la cimentación de mampostería mas que a profundidades limitadas, de tal modo que, si la socavación es mayor que la profundidad de desplante, fallaría la estructura.

Si se contara con un procedimiento constructivo y un método de cimentación que mejorara al de la mampostería tradicional, que permitiera desplantar a mayor profundidad, de modo que pudiera protegerse de la socavación, sería ideal el uso de la mampostería, pues nos evitaría recurrir a la solución de los cilindros que como ya se mencionó resulta muy cara.

Desde luego cabe aclarar, que la mampostería puede y de hecho se usa en suelos arenosos en dos casos:

- En mantos arenosos profundos, desplantando sobre la misma arena a la profundidad que se logre con los métodos tradicionales de construcción, pero siempre y cuando dicha profundidad sea mayor que la de socavación.

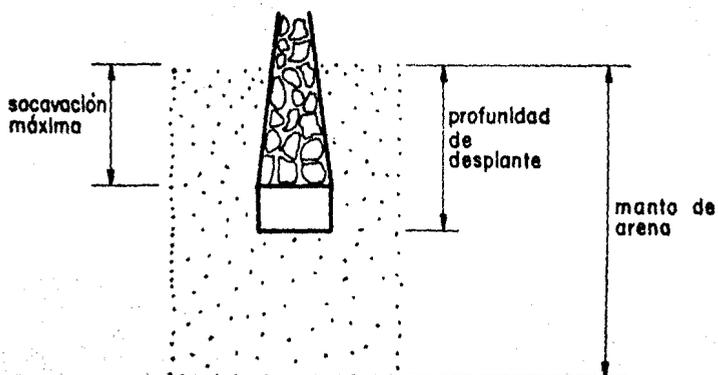


Figura 3.7

$$\text{Profundidad de desplante} = K (\text{socavación máxima})$$

donde  $K > 1$ , como factor de seguridad.

- En mantos arenosos poco profundos, desplantando sobre la capa de suelo resistente. La profundidad del manto arenoso en este caso no deberá ser mayor o cuando mucho igual a la profundidad de desplante y que se pueda llegar a ella sin problemas de excavación.

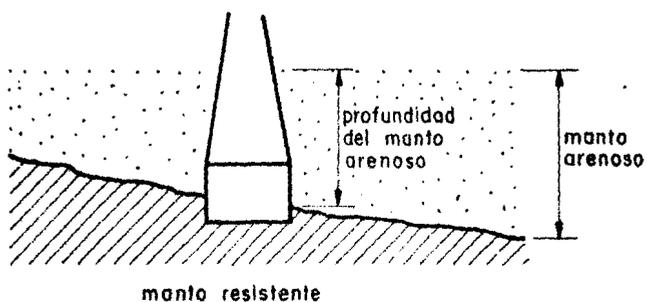


Figura 3.8

En este caso la socavación máxima resulta limitada a la profundidad del manto arenoso, por lo que con desplantar en el manto resistente resulta suficiente, en donde habría que hacer una caja de desplante para la cimentación de mampostería, por lo que podemos resumir lo siguiente:

Profundidad del manto arenoso  $\llcorner$  Socavación  $\llcorner$  Excavación  
 máxima permitida

Cuando hablamos de excavación permitida sin problemas para llevarla a cabo, nos referimos a aquella en la que se extrae el material mediante algún procedimiento constructivo que no requiera de técnicas especiales y que además el talud del material se mantenga por sí mismo, o sea, sin recurrir a ataguías o cualquier otro tipo de apoyo con los que se podría aumentar la profundidad permitida de excavación pero a un costo muy elevado.

Para mantener el talud natural del terreno, el costo de extracción por unidad excavada aumenta con la profundidad y el avance de la excavación disminuye con la misma, de manera que se llega a una profundidad mas allá de la cual no conviene continuar tanto por su alto costo, como por su lento avance.

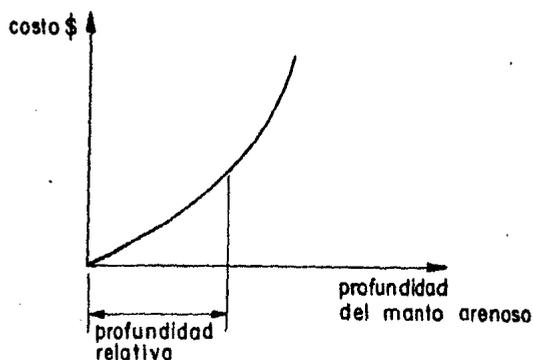


Figura 3.9

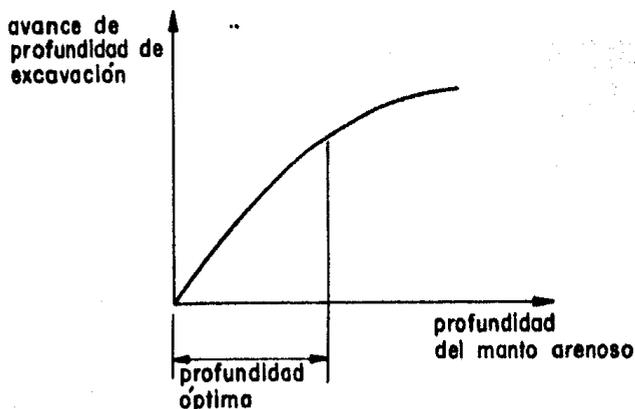


Figura 3.10

### 3.2.2.- SUELOS ARCILLOSOS

En suelos arcillosos las opciones para la elección del tipo de cimentación son:

- mampostería
- pilotes

En algunos casos se podría usar la cimentación a base de cilindros aunque en general resulta descartada esta solución por su alto costo. La excavación en este tipo de suelos, en términos de lo comentado anteriormente - a un costo bajo y con avance razonablemente rápido - es mejor que la de suelos arenosos, con lo que nos permite desplantar la mampostería del cimiento a una mayor profundidad, por lo que es más frecuente el uso de esta clase de cimentación cuando se tienen este tipo de suelos.

Una restricción importante en este caso, es la resistencia del suelo, problema que no se presenta en los suelos arenosos.

Si la resistencia en estos suelos, en la profundidad del desplante de la mampostería, no es suficiente para absorber la carga de las estructuras, -

se opta por la cimentación de pilotes, pues se evita la excavación y se aumenta considerablemente la resistencia.

### 3.2.3.- SUELOS ARENO-ARCILLOSOS

Son suelos en donde la profundidad de excavación a cielo abierto se ve reducida en comparación con los suelos arcillosos y por tanto también se ve reducida la profundidad de desplante de las pilas de mampostería.

Los casos de tipos de cimentación que se pueden usar son:

- mampostería
- pilotes
- cilindros

Como en el caso anterior, la cimentación con cilindros no es común en este tipo de suelo por su alto costo.

### 3.2.4.- SUELOS ARENO-LIMOSOS

Estos casos se reducen prácticamente a los del inciso 3.2.3, con la característica de que conforme los limos y arcilla empiezan a aparecer en cantidades proporcionalmente mayores que la arena, la posibilidad de excavación a mayor profundidad se reduce en función de esa modificación.

### 3.3.- SUELOS O COMBINACION ESPECIAL DE ESTOS, QUE ORIGINAN PROBLEMAS DE -- EXCAVACION.

Al realizar los sondeos para la determinación de los tipos de suelo y su perfil y pasarlo al plano que servirá de guía al constructor lo más probable es que no se conozca la localización exacta de la estructura y puede ocurrir que en el lugar de desplante de una pila el suelo no coincida con el resto del terreno y esto ocasiona problemas en la fase constructiva del proyecto en cuanto a técnicas de construcción a aplicar en esos puntos y la elección del tipo de cimentación.

Hay ocasiones en que cierto tipo de suelo mostrado en el perfil geotécnico,

permite realizar una excavación a una profundidad tal, que sea suficiente para contrarrestar tanto la socavación como la transmisión de cargas, y - se proyecte por ello una cimentación de mampostería con excavación a cielo abierto.

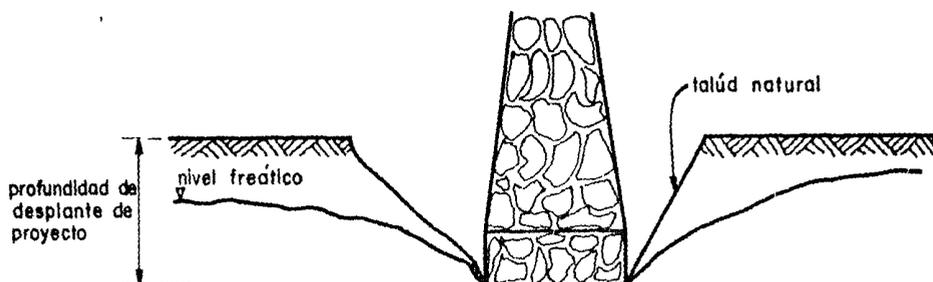


Figura 3.11

Puede suceder que el tipo de suelo, en el momento de realizar la excavación, no fué el mostrado en el plano y no se pueda alcanzar la profundidad del proyecto con talud natural.

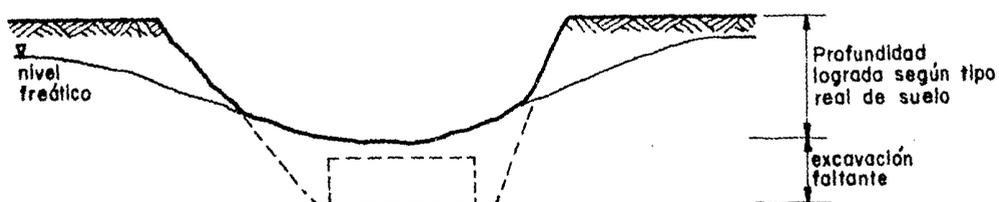


Figura 3.12

Continuar excavando significa ampliar la extensión en la superficie ya que el material que se extrae es en su mayor parte, el que se desliza de los costados.

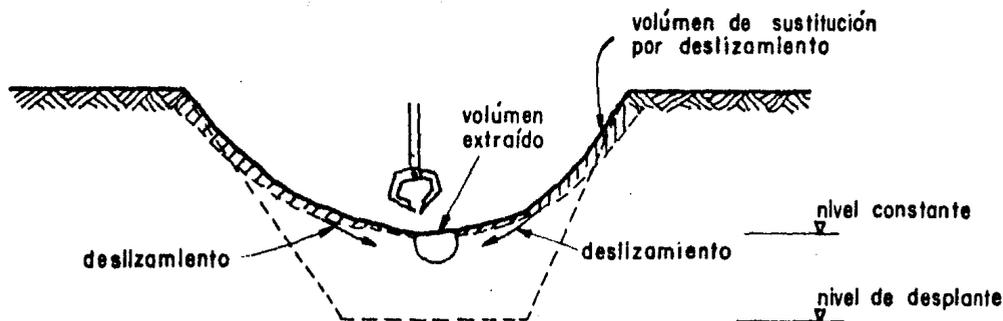


Figura 3.13

Por medio de ataguías podría lograrse la excavación hasta el nivel de desplante requerido de acuerdo con el proyecto, pero este procedimiento resultaría sumamente costoso al igual que el sistema de electrólisis.

Habría que pensar en un método constructivo que a bajo costo permitiera -- desplantar la mampostería a la profundidad deseada y cumplir con las especificaciones del proyecto. Otra solución sería cambiar el tipo de la cimentación y ya iniciada la obra no es aceptable por todos los pasos que se llevan a cabo y que toman demasiado tiempo.

En el siguiente capítulo se propone una solución a este caso y al de suelos arenosos, pues si se pudiera aumentar la profundidad de desplante de la cimentación a base de mampostería, se tendría la mejor solución al problema, tanto desde el punto de vista técnico como económico.

Otro caso en donde se puede aplicar esta solución es por ejemplo, en suelos arenosos con un tirante pequeño de agua corriente en donde ninguna excavación sería factible por la misma agua y el costo por bombeo la vuelve prohibitiva.

Concluyendo, se tienen tres casos específicos, que son frecuentes encontrar en la construcción de puentes: y en los que se pudiera aplicar la solución--

que se plantea en el capítulo 4:

- Suelos intermedios al areno-arcillo-limoso.
- Suelos arenosos con requerimientos de desplante profundo.
- Suelos arenosos con agua superficial corriente.

## CAPITULO 4

## CAJONES APLICADOS A CIMENTACIONES DE MAMPOSTERIA

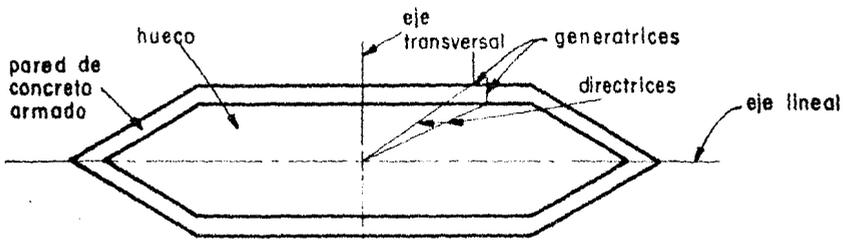
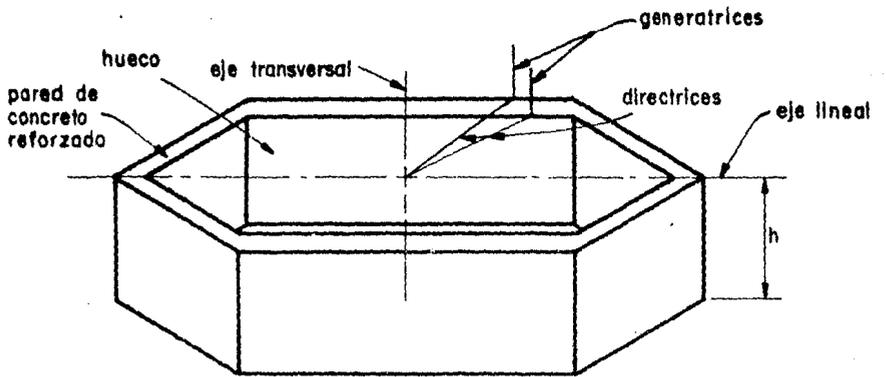
## 4.1.- Generalidades

Cajón desde el punto de vista geotécnico aplicado a cimentaciones de estructuras tiene una acepción determinada pero, para efectos de este trabajo tendrá un concepto distinto y lo definiremos como: un cuerpo hecho de concreto reforzado a manera de caja o brocal definida por una generatriz, la que a su vez quedará determinada por una directriz, que en planta nos defina una sección igual a la sección de la cimentación de mampostería que deseamos -- realizar, en este caso las cimentaciones para pilas de puentes.

Esta caja o brocal quedaría abierta por el lado de arriba y por el lado de abajo en lugar de tener aberturas laterales. La figura 4.1 ilustra lo que deseamos dar a entender por CAJON PARA CIMENTACIONES DE MAMPOSTERIA EN PILAS.

Se pueden distinguir cuatro aspectos característicos para esta caja o brocal:

- a).- El cajón es hueco, y el contorno lo define una pared de concreto armado, misma que deberá quedar diseñada en cuanto a espesor y refuerzo -- según las necesidades de estabilidad requeridas para el tipo de trabajo que desarrollará y para que soporte los esfuerzos a que será sometido, tanto en su construcción, como en el hincado y hasta que quedando formando parte de la cimentación. Esto implica que sufrirá un cambio de situación física que luego se explicará.
- b).- El cajón puede tomar la forma de una sección idéntica a la sección de la cimentación de mampostería para una pila cualquiera. Tanto las posibilidades de diseño físico como estructural permitan lo anterior.
- c).- La profundidad (h) del cajón puede ser o no igual a la profundidad de



sección transversal definida por la directriz que será igual a la sección transversal del cimiento de la pila de mampostería



vista lateral

Figura 4.1

diseño de la cimentación lo cual no afectará la pila, ya que se logrará la profundidad requerida, ya sea por el cajón o la combinación de cajón y mampostería cumpliendo con los requerimientos del puente. Dicha profundidad la analizaremos más adelante.

d).- Este cajón tiene las mismas características de un cilindro de concreto (de los usados para cimentación de pilas), con excepción de la directriz que en el caso de los cilindros es circular.

Esta última característica nos permite un grado de libertad que corresponde precisamente al desplazamiento vertical, igual que los cilindros, lo cual está muy de acuerdo con el uso que se pretende dar a estos cajones y que se explicará más adelante.

#### 4.2.- Uso de cajones como alternativa al uso de cilindros o pilotes.

Para desplantar pilas de mampostería se había mencionado dos casos en los que por razones económicas y/o de excavación se pasaba de una solución de cimentación a base de mampostería -solución bastante económica- a una solución de cimentación a base de cilindros o pilotes -dependiendo del tipo de suelo- lo que resultaba bastante costoso. También se había dejado entrever que si se dispusiera de una técnica que permitiera desplantar a mayor profundidad la cimentación a base de mampostería, que la lograda con excavación a cielo abierto, y que además fuera económica, sería una opción -- ideal porque se combinaría dos factores que nos permiten mantener bajo el costo de la obra:

- Excavación a cielo abierto hasta la profundidad económica para después alcanzar la profundidad de desplante, auxiliados con el cajón de concreto armado.
- Cimentación a base de mampostería que permita el desplante de pilas, -- también de mampostería.

En otras palabras, las cimentaciones las podemos clasificar en superficiales o poco profundas, y profundas, siendo las primeras aquéllas que se desplantan a cielo abierto y cuya profundidad económica es igual o menor a -- seis metros "en las que la profundidad de desplante no es mayor que un par

de veces el ancho del cimiento" (Mecánica de suelos Juárez Badillo y Rico Rodríguez) y las segundas aquellas que se desplantan mediante el uso de cilindros o pilotes a una profundidad mayor de seis metros y en las que se descarta la excavación a cielo abierto. (Cimentaciones profundas. Artículo Revista Facultad de Ingeniería Tomo IV año 1979 Ings. Zamora, Demeneghi y Puebla).

Con la propuesta de solución aquí tratada, se pretende irrumpir en el campo de las cimentaciones profundas pero mediante el uso de una cimentación no profunda como es la mampostería, desplantando las mismas a más de seis metros. Con excavación a cielo abierto se puede llegar a seis o menos metros -esto dependerá del tipo de suelo- y continuar hasta la profundidad de desplante requerida mediante este procedimiento.

En muchas ocasiones se presenta el problema de desplantar en tramos intermedios entre cimentaciones superficiales y profundas y generalmente se toma la decisión de resolver el problema con una cimentación profunda por facilidad y seguridad en detrimento de lo económico, en cambio con este procedimiento constructivo se cubrirían los tres aspectos antes mencionados.

Por lo tanto se trata de sustituir el uso de cilindros de concreto armado o pilotes, ambos para cimentaciones profundas, cuyo desplante va mas allá de los seis metros, por cimentaciones de mampostería. Esto tiene una trascendencia importante en el sentido de que la solución propuesta cumple con las características esenciales que se habían planteado al principio del presente trabajo:

- Económica
- Expedita
- Práctica
- Confiable

Cabe hacer mención en este momento que la opción que se presenta puede aplicarse a dos niveles en el campo de la Ingeniería:

- A nivel de proyecto
- A nivel de proceso constructivo.

A nivel de proyecto cuando intencionalmente y bajo las premisas del caso - se desee aplicar este procedimiento como solución de una cimentación profunda pero usando una cimentación tradicionalmente superficial como lo es la mampostería.

A nivel de procedimiento constructivo, cuando la obra ya se encuentra en -- pleno proceso de realización, y habiéndolo proyectado una cimentación superficial, la excavación a cielo abierto no permita llegar a la profundidad -- requerida, en esas circunstancias se presentan dos opciones:

- Cambio de proyecto: lo que puede resultar muy costoso por el tiempo que tendrían de retraso las obras y por el tiempo muerto de obreros y maquinaria y/o cambio de maquinaria, -- equipo, mano de obra especializada, etc.

- Continuar la excavación hasta la profundidad requerida:

En este caso se tendrá que aplicar un procedimiento especial de excavación y por lo consiguiente mucho -- más costoso, como ya se había mencionado.

Vale la pena hacer notar un aspecto que resulta muy importante y que es re conocido por los especialistas en construcción de puentes en cuanto al pro yecto en general y que se puede resumir como sigue:

"Las cimentaciones, en este tipo de estructuras, resultan ser siempre la -- parte más tardada para realizarse y normalmente la más costosa" por lo que toda idea sobre procesos que abaraten esta etapa en la construcción repercutirá en forma muy importante en el costo total de la obra.

Normalmente un camino cuenta con un determinado número de puentes, para te ner una idea de lo anterior mencionaremos los ejemplos siguientes:

En la reconstrucción de la carretera Acapulco-Zihuatanejo -240 Kms.- se -- construyeron y reconstruyeron 36 puentes aparte de los que se dejaron tal y como estaban que fueron 15, lo que nos dá un total de 51 puentes y en la construcción de la carretera Zihuatanejo-Playa Azul -125 Kms.- se construyeron 38 puentes. Cada seis años se construyen miles de kilómetros de ca-

minos por lo que resulta obvio que el ahorro que se logre en este renglón de la infraestructura para el transporte -o sea construcción de caminos--- incidirá de manera favorable en las inversiones que se hagan en el campo de las comunicaciones.

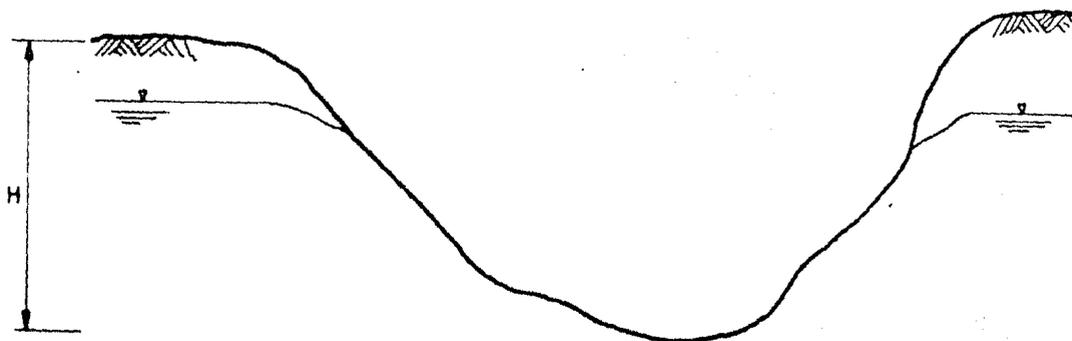
#### 4.3.- Pasos a seguir en la metodología propuesta.

La solución que se propone se puede resumir en los puntos siguientes:

a).- Excavar a cielo abierto hasta la profundidad permitida por el terreno de manera económica.

La profundidad anterior podrá ser menor de seis metros para los casos en que el desplante debe hacerse a seis o menos metros de profundidad

b).- Sobre la excavación anterior, estabilizar una superficie horizontal y seca, lo que implica formar un cárcamo para captación del agua debida a las filtraciones, y establecer el sistema de bombeo correspondiente. ver figuras 4.2 y 4.3



H= profundidad de excavación económica

Figura 4.2

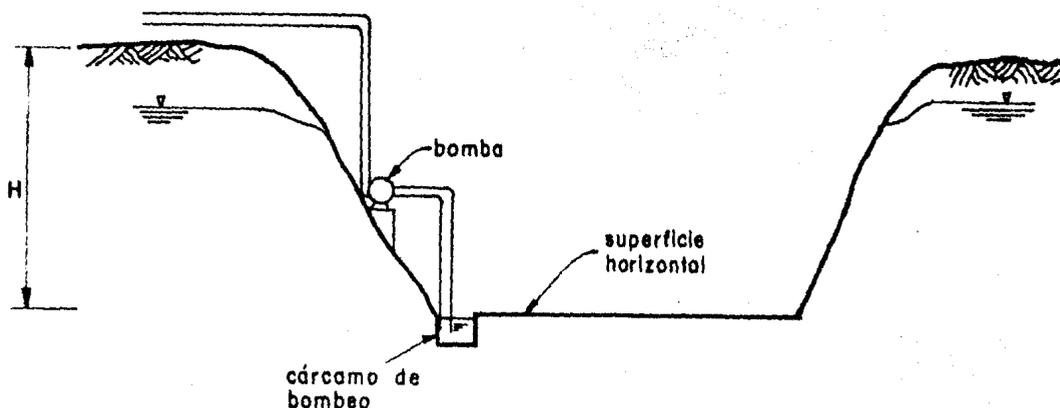


Figura 4.3

Es importante mencionar un caso particular, o sea cuando no se pueda realizar la excavación a cielo abierto a profundidad alguna, como sería el caso de suelos arenosos con agua corriente y superficial, con tirante menor a 50 cms.- (ver figura 4.4) aún así, sigue siendo aplicable este método, pues como se mencionó anteriormente sobre la superficie de agua se puede construir una platagorma para el armado y colado del cajón, bajarlo hasta el suelo arenoso e hincarlo.

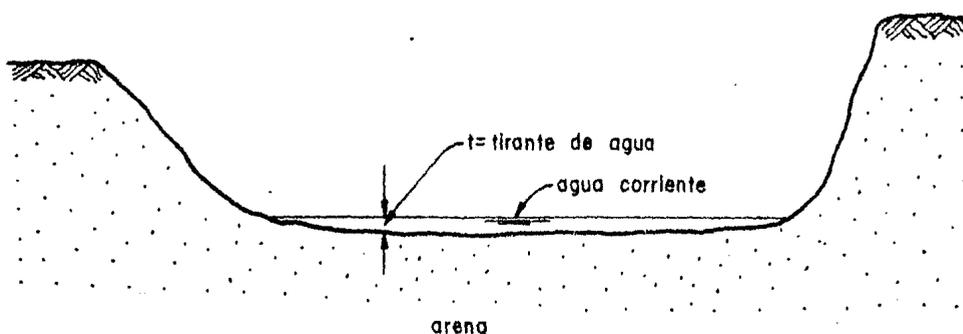


Figura 4.4

c).- Desplantar un cajón de cimentación de un metro de altura sobre la superficie anterior, y de la misma sección de la cimentación de la pila de mampostería, ver figura 4.5, no se recomienda más de un metro de colado, porque a menor altura, menor es el momento de inercia hacia el volteo o inclinación del cajón durante el hincado, por otro lado, si se cuela menos de un metro el proceso se vuelve poco eficiente por repetitivo.

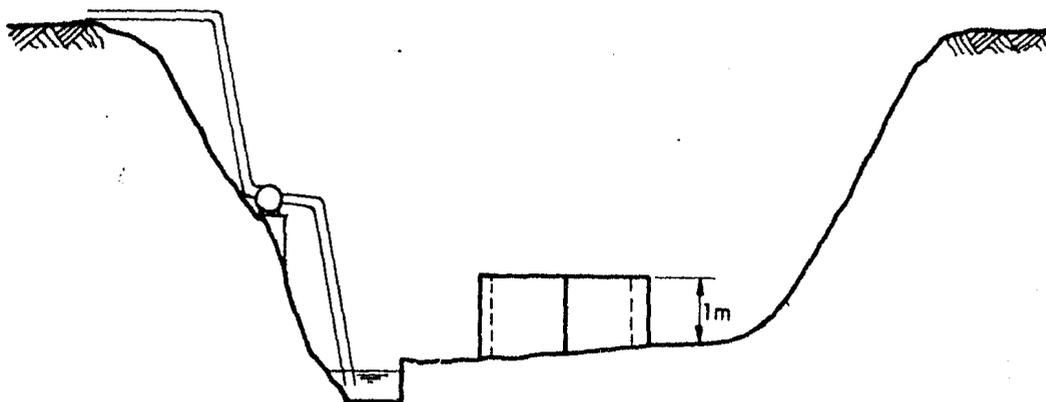


Figura 4.5

Este paso constará de varias etapas como son:

- formar la cimbra para colado
- armar el acero de refuerzo
- colar el concreto
- esperar por un 85% de fraguado del concreto
- descimbrar

d).- Hincar en el terreno mediante el mismo sistema de hincado de los cilindros el metro de cajón colado, hasta hacer coincidir la parte superior del cajón con la superficie del terreno, ver figura 4.6.

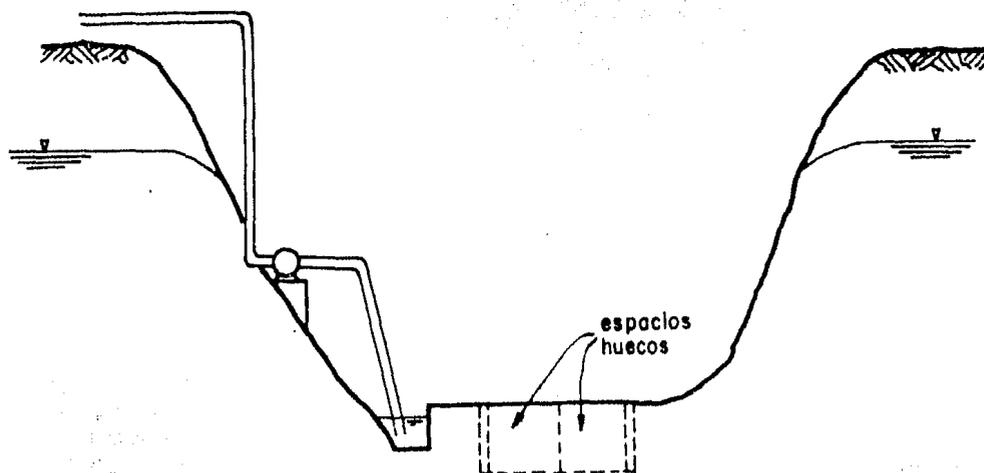
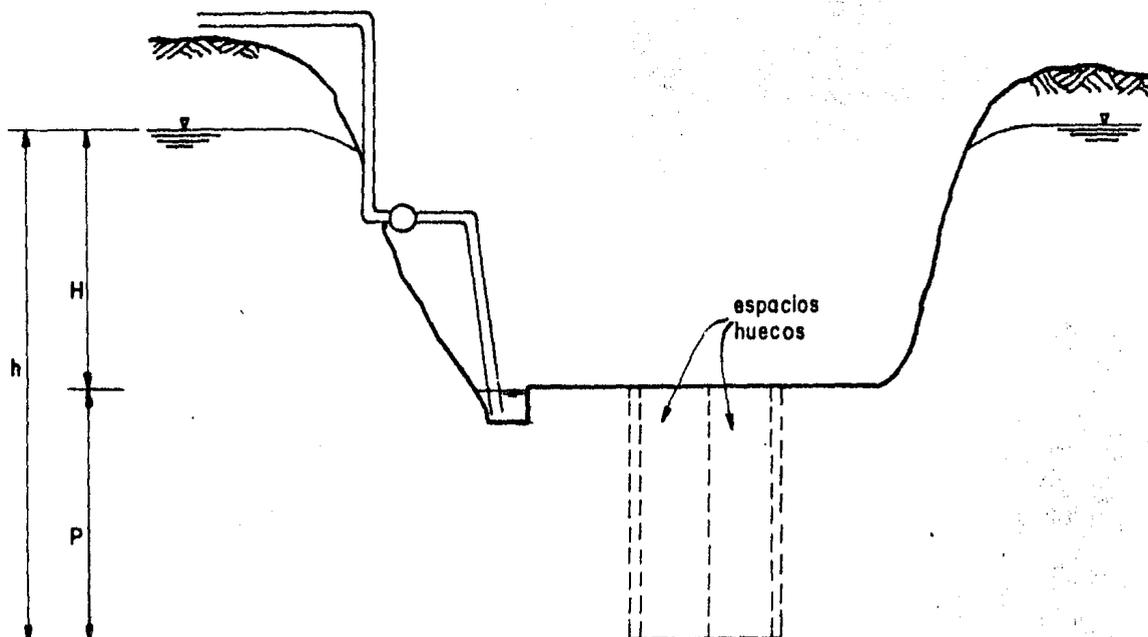


Figura 4.6

La excavación para el hincado del cajón, en lugar de hacerlo exclusivamente con draga, como es en el caso de los cilindros, puede también hacerse manualmente, por lo que es una buena opción de generación de empleos.

- e).- Se cuela otro metro de altura de cajón, para lo cual deberá hacerse una liga o junta constructiva entre la parte hincada y la nueva.
- f).- Se hinca este otro metro, una vez fraguado.
- g).- Así sucesivamente hasta lograr una penetración del cajón tanto como sea necesaria para llegar a un nivel igual al de desplante de la cimentación. Ver figura 4.7



$H$ =profundidad de excavación económica a cielo abierto  
 $P$ =penetración del cajón de cimentación  
 $h$ =profundidad de desplante de la cimentación

Figura 4.7

h).- Cambiar el bombeo del cárcamo al hueco del cajón de cimentación y -- bombear hasta sacarlo o bajar el agua hasta el nivel que sea posible  
 Ver figura 4.8

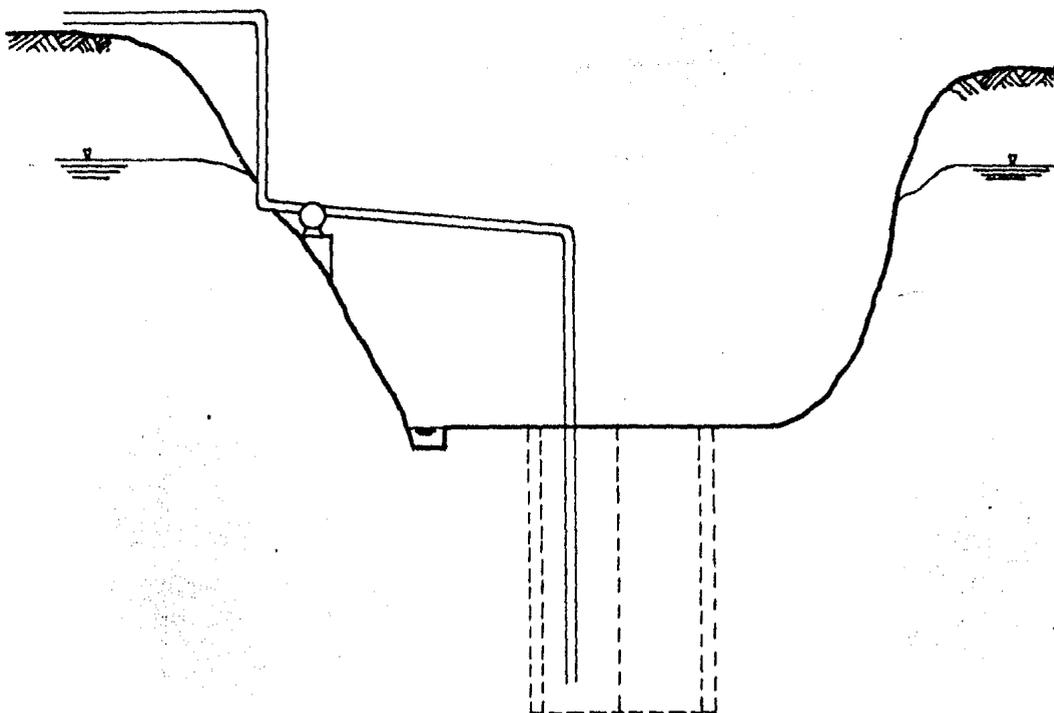


Figura 4.8

- i).- Rellenar de mampostería, juntada con mortero -según especificaciones- todos los espacios del cajón de cimentación si se pudo bombear hasta - secar los espacios vacíos, de lo contrario, colar con concreto cicló--peo bajo agua, un tapón inferior de 50 cms. de espesor y esperar a que frague para poder lograr el bombeo hasta el secado y llenar estos espacios de mampostería juntada con mortero. Seco el interior del cajón- se deberá cambiar el bombeo al cárcamo inicial.
- j).- A partir de este relleno continuar con la pila normal de mampostería - hasta una altura que coincida con el nivel del terreno natural, sin in terrumpir el bombeo desde el cárcamo inicial, evitando con ésto que se trabaje en el agua.  
ver figura 4.9

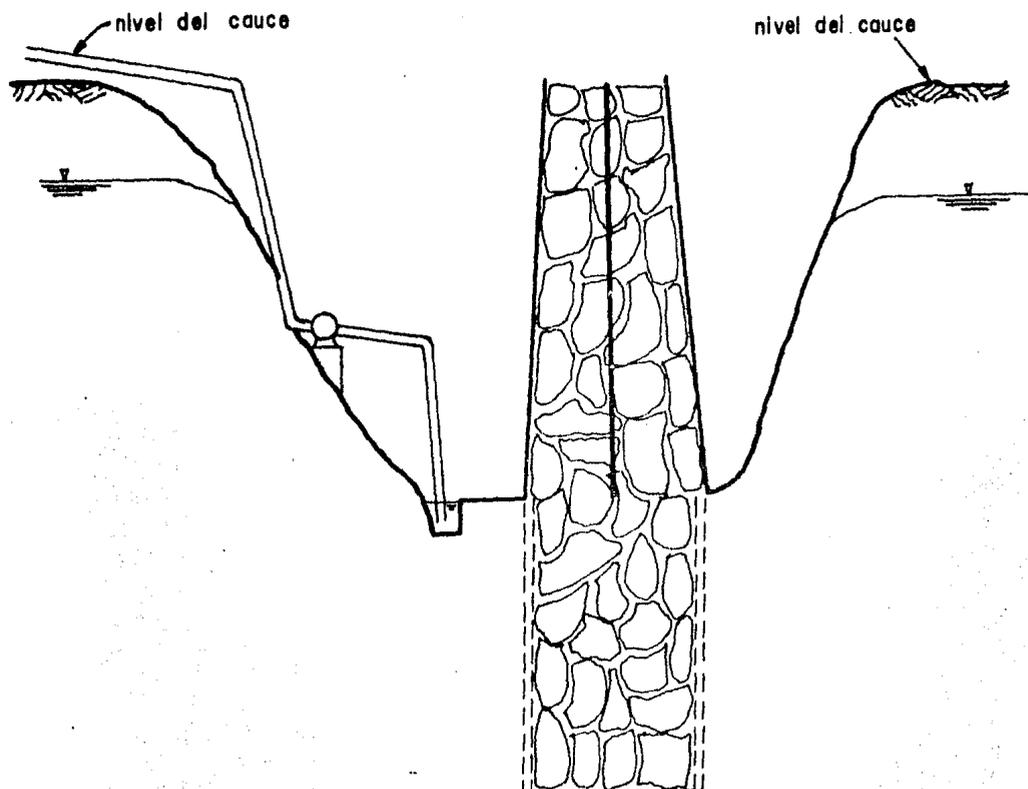


Figura 4.9

- k).- Retirar el sistema de bombeo
- l).- Rellenar el espacio de la excavación a cielo abierto.
- m).- Continuar con la construcción de la pila de mampostería.  
ver figura 4.10

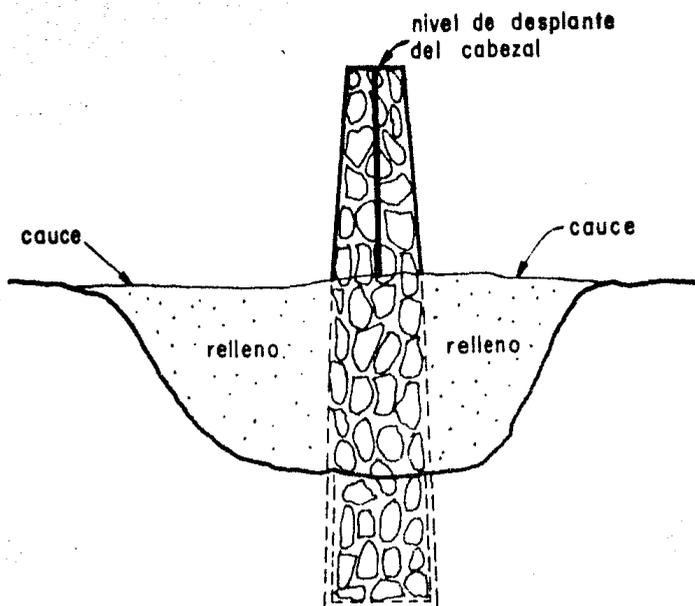


Figura 4.10

En estas condiciones, la cimentación comprende la parte de mampostería que se aloja en el cajón de cimentación, junto con éste naturalmente.

Como se podrá comprobar el costo del cajón y su hincado es mucho menor que el costo de la excavación adicional a cielo abierto, que sería necesario realizar en un tramo donde justamente ya no es económico, en el capítulo siguiente se justifica numéricamente lo anterior.

El uso de este tipo de cajones resulta aplicable solamente a los apoyos intermedios del puente, por la simetría que guarda el cajón respecto a sus dos ejes, lo cual facilita considerablemente el hincado, lo que no se presenta en los apoyos extremos -como es el caso de los estribos- en donde -- dada la forma de la sección horizontal, resulta mucho más complejo mantener el hincado perfectamente vertical.

#### 4.4.- Diseño.

El diseño de este tipo de cajón de cimentación debe comprender indefecti---

blemente los siguientes aspectos;

d.1).- La longitud o lado mayor del cajón.

En este punto se deben tomar en cuenta los momentos de flexión que se pueden presentar según las dos condiciones críticas que se ilustran en las figuras 4.11 y 4.12

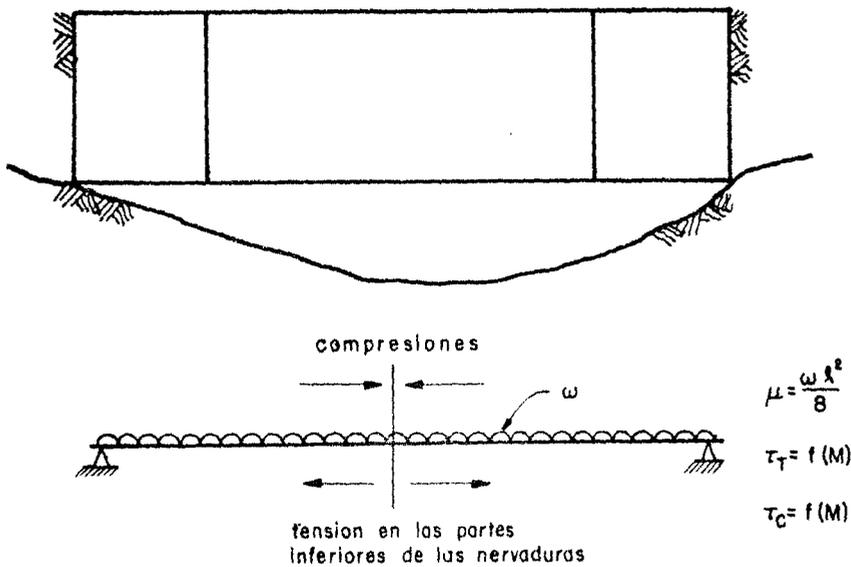


Figura 4.11

Puede existir el caso en el que, en el momento del hincado se extrae más material del centro que de los extremos y entonces el cajón queda apoyado en los dos extremos, funcionando como una viga libremente apoyada, presentándose flexión máxima en el centro del claro, ocasionando tensiones máximas en las superficies inferiores de ambas nervaduras del cajón y compresiones máximas en las fibras superiores de dichas nervaduras.

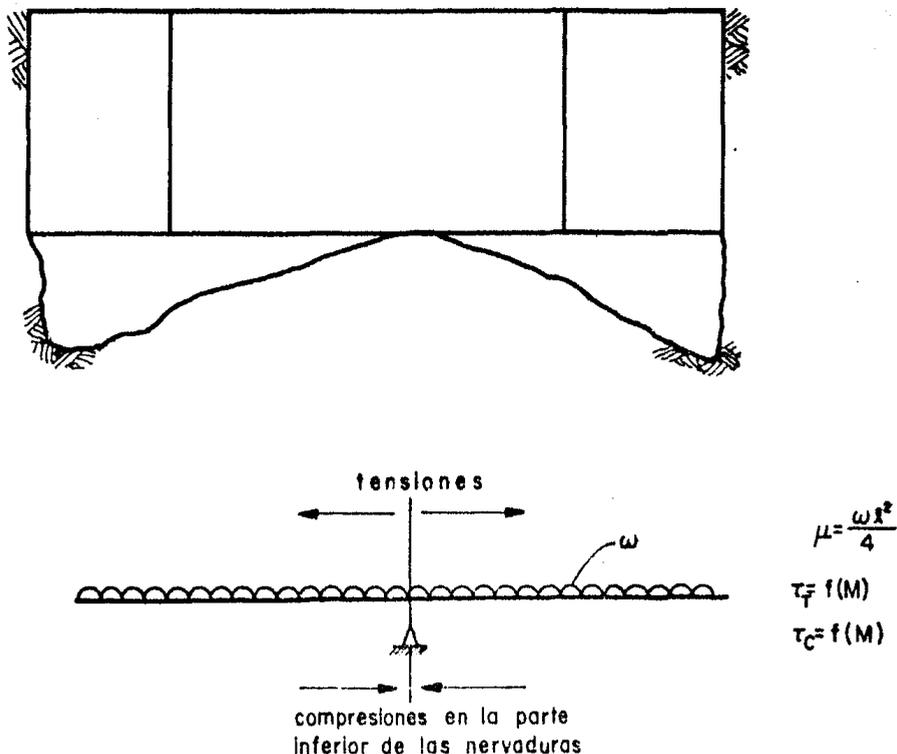


Figura 4.12

En otro caso, suponemos que durante el hincado se extrae mayor cantidad de material en los extremos del cajón, quedando soportado éste en un punto intermedio, por lo que funcionaría como viga apoyada en un solo punto al centro de ésta. La inestabilidad es aparente pues queda sujeto por los costados de la superficie donde se va hincando.

Aquí los esfuerzos máximos debidos a flexión se presentan en el centro del claro como en el caso anterior, pero ahora las tensiones máximas se darán en las superficies superiores de las nervaduras y las compresiones máximas en las fibras inferiores de las citadas nervaduras.

d.2).- Altura del hincado de la primera parte.

Para el diseño se debe tomar en cuenta la primera parte del hincado ya que es la condición mas crítica que se da en esta fase, pues en los hincados -

posteriores intervienen otros elementos que mejoran esta situación como son la mayor altura que disminuye la relación alto/largo, las paredes de la excavación, etc. Se debe tomar en cuenta que el cajón está formado -- por una pared cuyo espesor no será mayor de 30 cms. (en el cálculo debe -- considerarse así para evitar incrementos excesivos en el costo por concre -- to) y considerando que la parte a hincar consta de un metro, así como la -- longitud o lado mayor del cajón tiene una proporción de 9 a 1 (ver figura 4.13) resulta que esta pared quedará sujeta a grandes esfuerzos por momen -- tos de flexión debido a las dos causas siguientes:

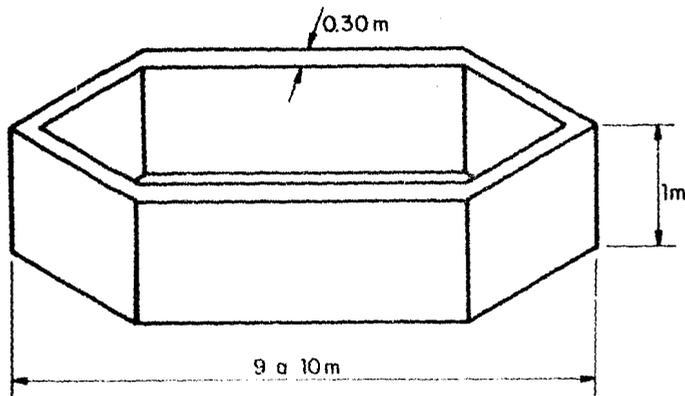


Figura 4.13

- Por la presión del suelo sobre la superficie externa de las mismas -- (ver figura 4.14)

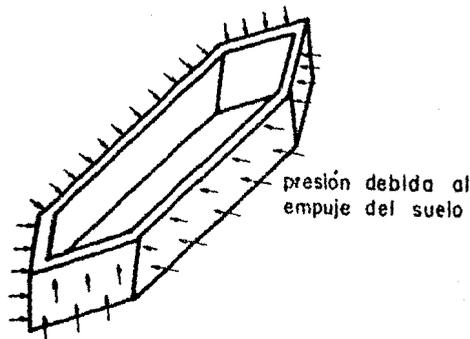


Figura 4.14

- Por el pandeo lateral que sufrirán estas paredes por efecto de la flexión de que hablamos en el punto anterior.

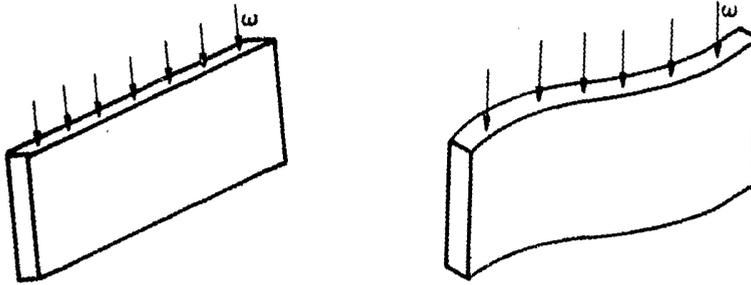


Figura 4.15

Estos efectos causarán tensiones y compresiones en las superficies del interior y del exterior de las paredes, lo que requerirá formar parrillas de refuerzo coincidentes con las superficies interior y exterior de dichas paredes.

Por mucho que se refuercen estas parrillas no es posible absorber estos esfuerzos tan grandes ya que dependen directamente de los momentos flexionantes, la solución será entonces reducir los momentos disminuyendo los esfuerzos. La reducción de estos momentos se puede lograr mediante la colocación de diafragmas transversales en el cajón, tal como se indica en la figura 4.16 y de esta manera reducir la longitud total libre.

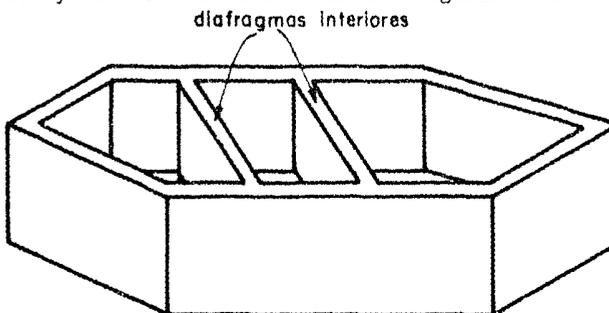


Figura 4.16

Los espacios dentro del cajón deberán calcularse de manera que permitan las maniobras de extracción de material durante el hincado.

Estos efectos se reducen conforme se va hincando el cajón por disminuirse la proporción alto-largo, por lo que no importa en el ultimo de los casos la altura final que se logre, ni su análisis estructural.

Por otra parte, el llenado de los huecos con mampostería, genera una presión que contrarresta el empuje del terreno en la superficie exterior del cajón, por lo que no resulta necesario un análisis estructural en estas condiciones.

d.3).- Apoyo irregular en la base durante el hincado.

En el momento del hincado se puede presentar el caso en que el apoyo en el suelo que sustenta al cajón sea perfectamente uniforme en toda la superficie inferior del mismo, esto ocurrirá desde luego solamente en el primer colado (o el colado de la primera parte del cajón). ver figura 4.17

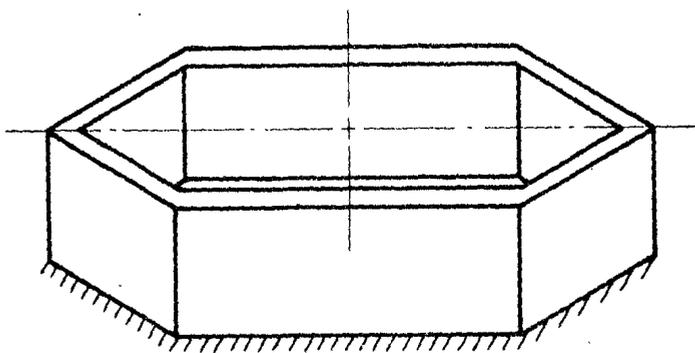


Figura 4.17

Se debe prever además y considerar los momentos de torsión que se pueden presentar según las condiciones críticas que se ilustran en la figura 4.18

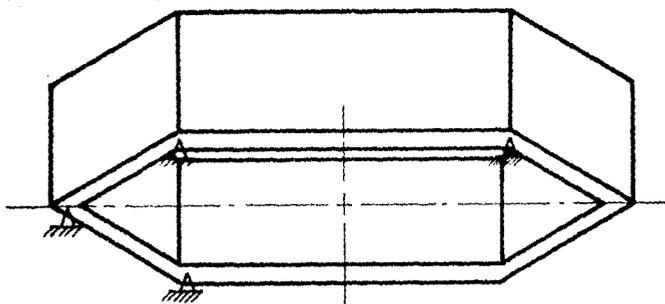


Figura 4.18

Otro caso puede ser cuando el apoyo en el suelo que sustenta el cajón es solo en algunos puntos o en parte de la superficie inferior del cajón, en cuya condición será la mas frecuente en la fase del hincado lo que inducirá torsiones intensas en las dos paredes del cajón por efecto de la deformación diferencial que se producirá por la falta de sustentación en alguno de los puntos del cajón o de la superficie del mismo, ver figura 4.19

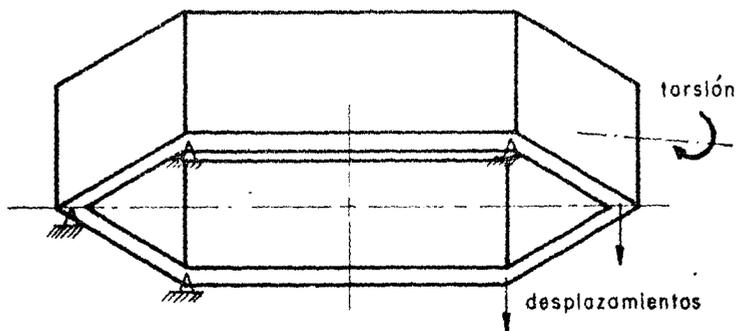


Figura 4.19

La condición anterior genera esfuerzos en las secciones internas, tal como se muestra en la figura 4.20

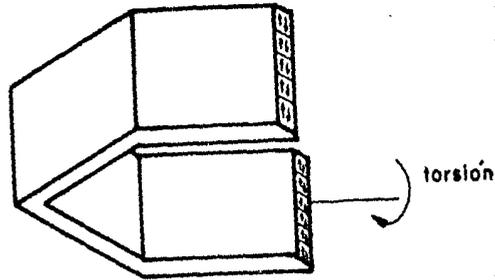


Figura 4.20

La situación mencionada genera esfuerzos cortantes longitudinales y --- transversales en las secciones de corte que se muestran en la figura anterior.

#### 4.5.- Proceso constructivo e hincado.

Hecha y conformada la superficie horizontal en la excavación a cielo --- abierto, se arma la cimbra interior del cajón, se procede al armado del acero de refuerzo según diseño estructural, finalmente se hace el armado de la cimbra exterior. La cimbra puede ser metálica o de madera. Ver figuras 4.21, 4.22, y 4.23

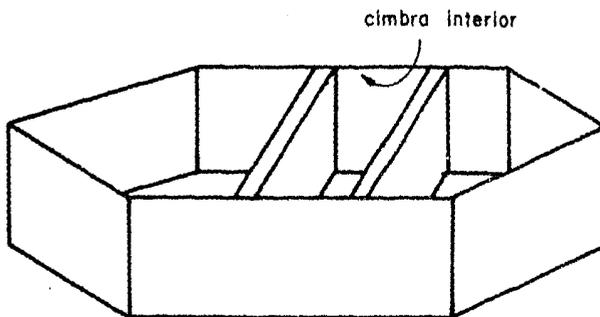


Figura 4.21

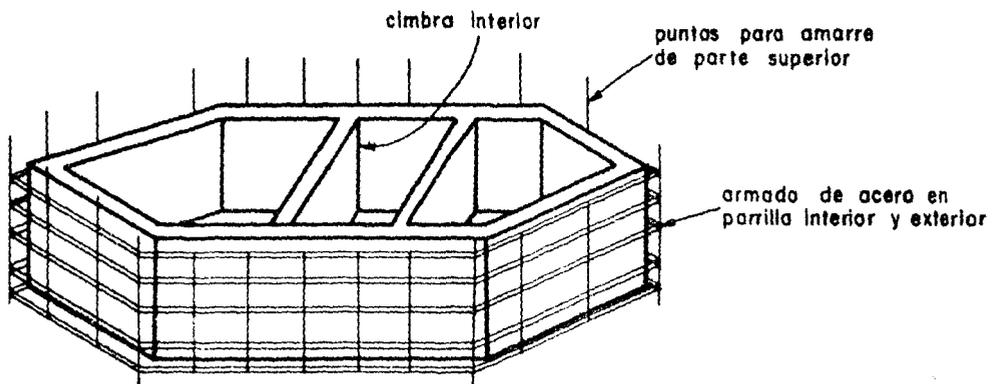


Figura 4.22

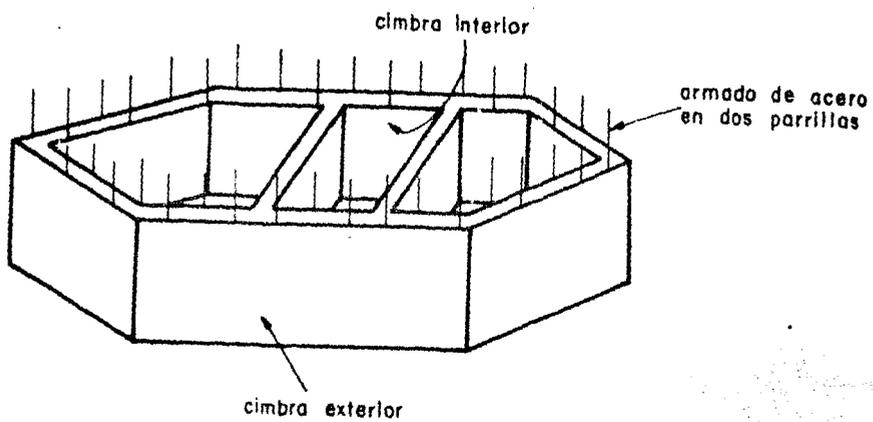


Figura 4.23

Una vez cimbrada y armada la primera parte del cajón, se coloca un canal o cajón para deslizamiento del concreto, con las siguientes dimensiones: 30 cms. de ancho por 15 de alto, con la longitud adecuada para hacer llegar el concreto de la superficie del cauce -terreno natural donde va el apoyo- hasta la cimbra antes mencionada. Ver figura 4.24

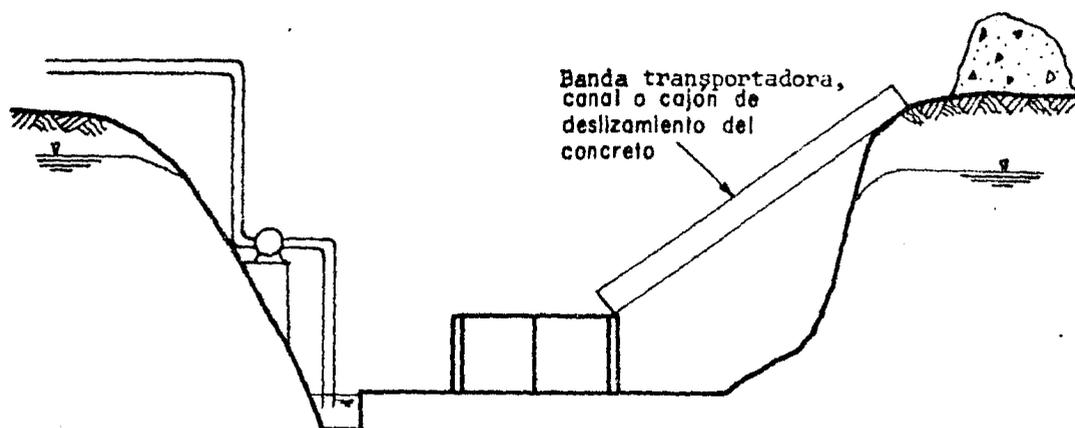


Figura 4.24

Lo anterior implica que la elaboración del concreto para el colado del cajón de cimentación se haga a nivel del terreno natural, el que se verá en el cajón de deslizamiento con pala, o se trasladará con banda transportadora.

A las veinticuatro horas de colada la parte, se procede a retirar la cimbra de ambos lados de las paredes y ocho horas después se deberá iniciar el hincado, mismo que se realizará de la siguiente manera:

Se debe extraer el material del interior del cajón en iguales cantidades a lo largo y ancho de los espacios huecos, para permitir la introducción vertical del mismo.

Es importante recalcar aquí que es mas controlable la introducción vertical del cajón que la de los cilindros por la razón de que en el primero-

es posible la extracción del material en diferentes zonas del mismo por sus dimensiones en su sección horizontal, cuestión imposible en el cilindro porque la extracción se realiza prácticamente en un solo punto.

La extracción se puede realizar con draga o a mano, haciendo en este caso un traspaleo de la excavación en tres niveles, o los necesarios hasta llegar a la superficie del terreno natural.

Durante el hincado se debe comprobar de manera periódica la verticalidad del mismo. mediante plomada de albañil.

Por medio de equipo topográfico, verificar que no haya desplazamiento horizontal, cotejando la posición del eje del puente con respecto al eje longitudinal del cajón, y el eje del apoyo con respecto al eje transversal del cajón.

Lo anterior debe hacerse tantas veces como partes se hayan colado e hincado del cajón para llegar al nivel de desplante.

Podría pensarse que la etapa de hincado sea más compleja que la del hincado de los cilindros, siendo la realidad precisamente lo contrario pues una sección como la del cajón presenta mayor estabilidad que la del cilindro y el razonamiento para explicarlo se podría ilustrar con un ejemplo muy sencillo, contestando la siguiente pregunta:

¿ Qué posición de un lápiz presenta mayor estabilidad;

a).- Cuando su contacto de soporte es una punta

b).- Cuando su contacto de soporte es todo un costado ?

Ver figura 4.25

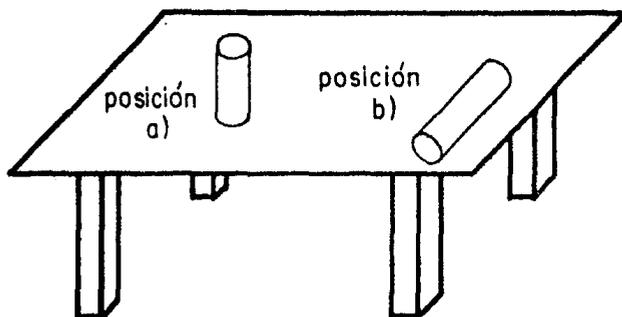


Figura 4.25

Obviamente la posición más estable es la b). En esto hay una gran similitud entre el cilindro y el cajón de cimentación, por lo que se puede aseverar que en el proceso de construcción e hincado del cajón existe una mayor estabilidad que en el caso de cilindros, motivo por lo que también podemos concluir que existen más probabilidades de inclinación de un cilindro que de un cajón de cimentación como el que se ha propuesto.

Además debido a las características geométricas del cajón, la capacidad de resistencia del suelo se puede aprovechar mejor que en el caso de los cilindros.

#### 4.6.- Equipo y materiales necesarios.

##### - Excavación económica a cielo abierto

###### . Equipo

Draga

Equipo de bombeo

###### . Material

Combustible para draga y bomba

###### . Personal

Un operador y un ayudante para draga

Un operador y un peón para bomba

##### - Colado del cajón de cimentación

###### . Equipo

Revolvedora con capacidad de un saco de cemento

Palas

Cucharas de albañil

. Materiales

Agua

Cemento portland normal

Aditivo para fraguado rápido

Arena

Grava

Madera

Acero de refuerzo

. Personal

Un oficial albañil

Peones de albañil

- Hincado del cajón

. Equipo

Draga (la misma de la excavación)

Equipo de bombeo

. Materiales

Combustible para draga y bomba

. Personal

Un operador y su ayudante para draga

Un operador y un peón para bomba

Un topógrafo y un peón para verificación.

En el caso de que se opte por una política de generación de empleos, en la zona de la obra, se puede sustituir el equipo de excavación por gente, debiéndose observar dos cosas importantes:

Si es determinante el tiempo de ejecución de las excavaciones y el hincado, entonces:

- Fijar el número de personas que son necesarias para sustituir al equipo en cuestión para que se extraiga el material en tiempo igual al estimado para el equipo.
- Si hay algún tiempo de holgura en los programas -ruta crítica- entonces, considerar el tiempo disponible y en función de ello disminuir el número

de personas a ocupar.

En uno de los casos se incrementa el número de beneficiados disminuyendo el tiempo de ocupación y en el otro sucede lo contrario, es decir, se disminuye el número de beneficiados y se incrementa el tiempo de ocupación, según lo -- que se pretenda socialmente, se escogerá uno u otro.

## CAPITULO 5

## FACTIBILIDAD ECONOMICA DEL PROYECTO

5.1.- Costo de diversas alternativas.

## 5.1.1.- Cilindros de concreto.

Para sustituir una cimentación de mampostería desplantada con excavación a cielo abierto a 8 m. de profundidad, para un suelo en el que se pueda adoptar la solución objeto de este trabajo, usando en su lugar cilindros de concreto armado colados en el lugar, se requeriría una profundidad de éstos de 12 metros aproximadamente. Recordemos que en este caso es la fricción que se genera entre la superficie de la pared externa del cilindro y el suelo en contacto con ésta lo que generará básicamente la resistencia de sustentación de la propia infraestructura, así como la subestructura y la superestructura, siendo esos 12 metros de longitud de cilindro los que generarán esa resistencia por fricción, equivalente a la de sustentación por mampostería, tomando como base esa longitud se determinarán los costos correspondientes.

El objeto de los siguientes cálculos es comparar los costos que se generarían al aplicar soluciones diferentes a la propuesta, como pueden ser mampostería o cilindros de concreto. El cálculo se hará en todos los casos solo para la cimentación hasta el nivel del terreno natural del cauce.

Calculemos el costo para un cilindro de 4 m. de diámetro y 0.80 m. de espesor que es un tamaño de uso muy común y un tramo del mismo de 2 mts. de altura, tramo de colado parcial, en el que intervienen los siguientes conceptos:

- 1.- Cuchilla de acero
- 2.- Cimbra (de madera)
- 3.- Mano de obra en cimbrado
- 4.- Acero
- 5.- Armado del acero

## 6.- Concreto

6.1.- Arena

6.2.- grava

6.3.- cemento

6.4.- agua

6.5.- aditivo

6.6.- mano de obra

6.7.- depreciación de maquinaria y equipo

### 1).- Costo de la cuchilla de acero

Se usará una cuchilla de acero con sección circular de diámetro igual al diámetro exterior del cilindro de concreto, y un espesor de 8 mm.

El peso y el costo aproximados de esta cuchilla son: 300 Kgs.- y \$60.00 por kg.

Los costos de soldadura son \$800.00 por metro de cordón y \$200.00 de mano de obra, por lo que el costo total será:

<u>Concepto</u>	<u>Precio</u>	<u>Dimensión</u>	<u>Costo</u>	<u>Especificación</u>
Acero	60.00/kg.	300 Kgs.	\$ 18,000.00	2,400 K/cm <sup>2</sup>
Soldadura	800.00/m.	25.12 m.	" 20,096.00	Normal
Mano de obra	200.00/m.	25.12 m.	" 5,024.00	Calificada

Costo total de la cuchilla: \$ 43,120.00

### 2).- Costo de la cimbra de madera

Se usará un tramo de 2 mts. con 6 posibles usos, de madera de 1" de espesor y 2" de ancho con una longitud de recorte de 2 m. para dar la altura que se pretende del tramo de colado.

Debido a que la venta de madera se hace normalmente por pie<sup>3</sup>, se puede hacer la transformación a m<sup>2</sup> por pulgada de espesor y el precio que resulta por m<sup>2</sup> es de \$660.00 El cálculo total de la madera a utilizarse se hará con la siguiente fórmula: -----  
 $2(2\pi r_e + 2\pi r_i)$  donde  $r_e$  es el radio hasta la superficie exterior del cilindro, mientras que  $r_i$  es el radio hasta la superfi

cie interior de la pared del cilindro, por lo que los valores que usaremos - serán los siguientes:  $\pi = 3.14$ ,  $r_e = 2$  m.  $r_i = 1.2$  m. por lo que el total - de madera será  $40.22 \text{ m}^2$  mas un 10% para barrotes y soportes que nos da  $44.24 \text{ m}^2$

<u>Concepto</u>	<u>Precio</u>	<u>Cantidad</u>	<u>Costo</u>	<u>Especificación</u>
Madera	\$ 660.00/m <sup>2</sup>	44.24 m <sup>2</sup>	\$29,198.40	Pino de 1"

### 3).- Costo de cimbrado.

Para cada tramo de dos metros el costo de cimbrado comprenderá los siguientes conceptos: colocación de los moldes de madera (cimbra) para colado; nivela---ción, alineamiento y amarre para consistencia de los mismos durante el colado. El costo por m<sup>2</sup> es de \$250.00

<u>Concepto</u>	<u>Precio</u>	<u>Cantidad</u>	<u>Costo</u>	<u>Especificación</u>
Cimbrado	\$250.00/m <sup>2</sup>	44.24 m <sup>2</sup>	\$11,060.00	Carpintero

### 4).- Costo de acero.

Se usará acero de refuerzo de 1" de diámetro, considerando parrillas con varillas verticales y horizontales distanciadas 30 cm. una de otra en ambos senti---dos tenemos:

<u>Concepto</u>	<u>Precio</u>	<u>Cantidad</u>	<u>Costo</u>	<u>Especificación</u>
Acero vert.	\$72.00/Kg.	80 Kg. ext.	\$ 5,760.00	
		50 Kg. int.	" 3,600.00	
Acero horiz.	\$72.00/Kg.	100 Kg. ext.	" 7,200.00	
		60 Kg. int.	" 4,320.00	

Costo total del acero: \$20,880.00

## 5.- Costo de armado de acero.

Este costo comprende la colocación y armado del acero, considerando su precio por  $m^2$  de parrilla, tanto exterior:e; como interior:i y será de - - - \$200.00 por  $m^2$

<u>Concepto</u>	<u>Precio</u>	<u>Cantidad</u>	<u>Costo</u>	<u>Especificación</u>
Parrilla ext.	\$200.00/ $m^2$	25.12 $m^2$	\$ 5,024.00	Parrilla 30 x 30 cm.
Parrilla int.	200.00/ $m^2$	15.10 $m^2$	3,020.00	Parrilla 30 x 30 cm.
Costo total del armado:			\$ 8,044.00	

## 6.- Concreto.

Para la elaboración del concreto, se requieren de insumos tales como: arena, grava, cemento, agua, aditivos, mano de obra y depreciación de la maquinaria y equipo, como la revolvedora, palas, cucharas, botes, etc. Tomando en cuenta que el precio por carro de 6  $m^3$  de arena cuesta \$ 3,800.00; el de grava - \$ 6,300.00; la tonelada de cemento a \$ 13,000.00, el aditivo por  $m^3$  tiene un costo de \$2,800.00, la mano de obra prorrateada a \$800.00 por  $m^3$ , por lo que el costo de un tramo de 2 m. de longitud de cilindro, según las especificaciones anotadas, es como se indica en el cuadro siguiente:

<u>Concepto</u>	<u>Precio</u>	<u>Cantidad</u>	<u>Costo</u>	<u>Especificación.</u>
Arena	\$ 633/ $m^3$	6.0 $m^3$	\$ 3,798.00	Cribada
Grava	1,050/ $m^3$	8.8 $m^3$	" 9,240.00	graduada 1/2" max.
Cemento	13,000/ton	0.5 ton.	" 6,500.00	Portland
Agua	110/ $m^3$	1.0 $m^3$	" 110.00	Limpia
Aditivos	2,800/ $m^3$	1.0 $m^3$	" 2,800.00	
M. de obra	150/hh	120 h.h.	"18,000.00	
Costo antes de depreciación:			\$40,448.00	
Depreciación 10%			" 4,044.80	
Costo total del concreto:			\$44,492.80	
			=====	

Nota: El proporcionamiento se ha dado de tal forma que se logre una resistencia de 250 Kg/ $cm^2$  a los 28 días de fraguado.

## 7.- Colado

Como la mano de obra anterior comprende solo la elaboración del concreto, es necesario calcular la parte correspondiente al colado, o sea, colocar la mezcla en el molde del cilindro, así como vibrado del mismo para lo cual se considerará un total de \$ 150/horas-hombre:

<u>Concepto</u>	<u>Precio</u>	<u>Cantidad</u>	<u>Costo</u>	<u>Especificación</u>
Colado	\$ 150.00/h-h	60 h-h	<u>9,000.00</u>	

## 8.- Descimbrado

El descimbrado puede realizarse 12 hs. después de hecho el colado, con un costo de \$ 150.00 por hora-hombre, considerando que para llevarlo a cabo se requieren 40 horas-hombre.

Por lo tanto:  $40 \text{ h-h} \times \$ 150.00/\text{h-h} = \underline{\$ 6,000.00}$

## 9.- Hincado

Los costos de hincado comprenden la máquina extractora del material en la parte interior del cilindro; el operador, un ayudante y los combustibles.

En el programa de hincado de los cilindros se debe considerar una ocupación permanente de operador, ayudante y máquina con objeto de evitar tiempos muertos y por lo consiguiente aumento de los costos, para ello debe diseñarse una ruta crítica para el hincado de todos los cilindros para que se puedan estar hincando unos mientras se están fraguando y descimbrando otros.

Tomando en cuenta lo anterior y los precios de \$ 3,500.00/operador-día; - - - \$1,200.00/ayudante - día y de \$ 50,000.00/día-máquina, donde el día será ---- igual a un turno de 8 horas, considerando además que en promedio una máquina hincará 1 m/día, el costo será:

<u>Concepto</u>	<u>Precio</u>	<u>Cantidad</u>	<u>Costo</u>	<u>Especificación</u>
Operador	\$3,500/día	2 días	\$ 7,000.00	Calificado
Ayudante	1,200/día	2 días	" 2,400.00	Obrero
Máquina	50,000/día	2 días	"100,000.00	Bucyros Erie
Combustible	27/lto.	200 lts.	" <u>5,400.00</u>	Diesel
Costo total hincado			\$114,800.00	

Como se mencionó anteriormente, se consideraron tramos de colado de 2 mts. - hasta completar los 12 m. del cilindro por lo que los costos 1), y 2) se dan una sola vez en el hincado total de un cilindro mientras que del 6) al 9) se toman 6 veces:

1).-	43,120.00
2).-	<u>29,198.40</u>
	<u>72,318.40</u>
3).-	11,060.00
4).-	8,044.00
5).-	20,880.00
6).-	44,492.80
7).-	9,000.00
8).-	6,000.00
9).-	<u>114,800.00</u>
	214,276.80

Por lo tanto  $214,276.80 \times 6 = 1'285,660.80$

y el costo total sumando la primera cantidad nos daría \$ 1'357,979.20

A esta suma habría que aumentar el costo del tapón inferior y el tapón superior que podríamos estimar en \$240,000.00 dando un total para la infraestructura de:

Costo total del cilindro: \$ 1'597,979.20

#### 5.1.2.- Cimentación de mampostería.

Con excavación a cielo abierto hasta la profundidad de desplante.

Procederemos ahora a determinar el costo de una cimentación de mampostería a 8 m. de profundidad, que equivaldría a los 12 m. de cilindro calculado anteriormente.

Como es sabido esta profundidad equivale ya a una cimentación profunda no obstante supondremos que la excavación se puede llevar a cabo a cielo abierto y sin usar ninguna otra técnica mas avanzada, aunque se debe aclarar que tal vez no convenga esta solución aún si las condiciones del suelo se prestaran para ello.

Por la experiencia que se tiene en este campo se ha llegado a una ecuación -- en función de la profundidad, que nos permite determinar de manera directa el costo de la excavación:

$$\text{Costo de excavación} = 6,143(\text{profundidad})^{2.3}$$

En esta ecuación, el costo está en pesos, la profundidad en metros y la constante en pesos/metro cuadrado.

Esta función se adapta para cada tipo de suelo modificando la constante.

Los costos que intervendrán en este tipo de cimentación son los siguientes:

- 1.- Excavación a cielo abierto
- 2.- Bombeo
- 3.- Plantilla
- 4.- Mampostería
  - 4.1.- piedra quebrada (con acarreo)
  - 4.2.- arena
  - 4.3.- cemento
  - 4.4.- calhidra
  - 4.5.- agua
  - 4.6.- mano de obra
  - 4.7.- depreciación de equipo y útiles
- 5.- Junteo
- 6.- Relleno de excavación excedente

Los costos de los conceptos anteriores serán como sigue:

1.- Excavación a cielo abierto

Aplicando la profundidad de 8 m. a la ecuación anteriormente vista:

$$\text{Costo de excavación} = 6143 \times 8^{2.3} = 6143 \times 119.43 =$$

$$\text{Costo de excavación} = \$ 733,647.51$$

## 2).- Bombeo

Debe mantenerse un bombeo permanente hasta en tanto no se complete la mampostería desde el desplante hasta el nivel freático (que es muy común que sea hasta el terreno natural) y posteriormente realizar el relleno de esa parte, lo que puede ser en el término de 8 días (con el personal adecuado en experiencia y número).

Si la bomba tiene un costo de renta de \$3,500.00/día; el combustible se consume a razón de 80 lts. de gasolina al día con un precio de \$ 40.00/lto.; aceite 1 lto./2 días a \$180.00/lto. tomando el día de 24 horas. - El operario de la bomba será prorrateado entre todo el personal ya que no es necesario que se dedique exclusivamente al cuidado de la misma, - en resumen se tiene:

<u>Concepto</u>	<u>Precio</u>	<u>Cantidad</u>	<u>Costo</u>	<u>Especificación</u>
Bomba	\$ 3,500/día	8 días	28,000.00	De 4" Ø salida
Gasolina	40/lto.	400 lts.	16,000.00	Nova
Aceite	180/lto.	4 lts.	720.00	# 30
Costo total de bombeo:			\$ 44,720.00	

## 3.- Plantilla

La plantilla comprende una capa de piedra bola y un tendido de mortero para formar una superficie seca, plana y resistente para el desplante de la mampostería.

<u>Concepto</u>	<u>Precio</u>	<u>Cantidad</u>	<u>Costo</u>	<u>Especificación</u>
Piedra	\$ 1,300/m <sup>3</sup>	2.5 m <sup>3</sup>	3,250.00	Piedra bola
arena	633/m <sup>3</sup>	1.4 m <sup>3</sup>	886.20	Cribada
cemento	13,000/ton.	0.1 ton	1,300.00	Portland normal
cal	7,000/ton.	0.2 ton.	1,400.00	hidratada
agua	110/m <sup>3</sup>	0.1 m <sup>3</sup>	11.00	limpia
mano de obra	150/h-h	30 h-h	4,500.00	obrero
Costo total de la plantilla:			\$11,347.00	

#### 4.- Mampostería.

Las dimensiones de la cimentación de la pila, dependen fundamentalmente de la altura total de la misma y ésta a su vez depende de la profundidad de desplante y de la altura de la razante del camino.

El primer dato, o sea la altura de la cimentación la hemos supuesto en 8 metros, el segundo lo podríamos estimar en una sección de  $1.5 \times 10$  m. o sea de  $15 \text{ m}^2$ , dando un volumen total de mampostería de  $15 \times 8 = 120 \text{ m}^3$

Los conceptos que formarán este costo son: piedra quebrada a razón de -- \$ 8,300.00 carro de  $6 \text{ m}^3$  puesto en obra, arena, cemento, cal, agua y mano de obra, esta última a razón de \$1,850.00/ $\text{m}^3$ . El costo de trazo --- (no de ubicación) de hilos para la pila queda incluido en los anteriores, haciendo los cálculos se tiene:

<u>Concepto</u>	<u>Precio</u>	<u>Cantidad</u>	<u>Costo</u>	<u>Especificación</u>
Piedra	\$ 1,382.20/ $\text{m}^3$	120 $\text{m}^3$	\$ 165,864.00	Quebrada
Arena	633/ $\text{m}^3$	24 $\text{m}^3$	" 15,192.00	Cribada
Cemento	13,000/ton	5 ton.	" 65,000.00	Portland normal
Cal	7,000/ton	10 ton	" 70,000.00	Hidratada
Agua	110/ $\text{m}^3$	15 $\text{m}^3$	" 1,650.00	Limpia
Mano de obra	2,600/ $\text{m}^3$	120 $\text{m}^3$	" <u>312,000.00</u>	Calificada
Costo total de la mampostería:			\$ 629,706.00	

En este caso la depreciación se considera nula.

#### 5.- Junteo

El junteo consiste en darle una terminación estética a la unión entre piedra y piedra, pero como esto se hace solo en la parte visible de la pila no se incluye este costo ya que la cimentación quedará completamente bajo tierra.

#### 6.- Relleno de la excavación excedente

Debido a que la excavación, en volumen, siempre es mayor al de la mampostería, por razones de talud para el sostenimiento del terreno natural, resulta evidente el relleno, la compactación y el costo que esto implica.

Este relleno dependerá del talud que se le haya dado al terreno durante la excavación y del tipo de suelo que se tenga, pero no es muy erróneo suponer que el relleno, de acuerdo con la experiencia, sea 50 veces el

volumen de la mampostería que se usó para la cimentación, por lo que:

$$\text{Volúmen de relleno} = 50 \times 120 \text{ m}^3 = 6,000 \text{ m}^3$$

Considerando un costo de relleno de \$ 10.00/m<sup>3</sup> y de compactación de --- \$20.00/m<sup>3</sup>, tenemos:

<u>Concepto</u>	<u>Precio</u>	<u>Cantidad</u>	<u>Precio</u>	<u>Especificación</u>
Relleno	\$10/m <sup>3</sup>	6,000 m <sup>3</sup>	60,000.00	Compactado al 80%
Compactación	20/m <sup>3</sup>	6,000 m <sup>3</sup>	<u>120,000.00</u>	
Costo total del relleno			\$ 180,000.00	

Con esta información podemos llegar al costo total de la cimentación de mampostería desplantada mediante excavación a cielo abierto:

1.-	\$ 733,647.57
2.-	" 44,720.00
3.-	" 11,347.20
4.-	" 629,706.00
5.-	" 0.00
6.-	" <u>180,000.00</u>

Costo total de la mampostería: \$1'599,420.77

O sea, que el costo de la cimentación de mampostería equivalente a la hecha con cilindros resulta ligeramente mayor, sin tomar en cuenta que el tiempo de ejecución de la pila de mampostería es mucho mayor que el tiempo de construcción con cilindro, lo que repercute también en el costo total.

Otro punto muy importante -y que ya se había mencionado anteriormente- es -- que se supuso que el terreno permite lograr la profundidad de desplante requerida, pero hay ocasiones en que el suelo no se presta para ello, pues no se puede lograr la estabilidad del talud para continuar con la excavación, - lo que implicaría incluir costos adicionales por ataguías, por ejemplo, lo - cual sin entrar mas en detalle, resultaría mucho mas caro en comparación con el costo de los cilindros.

#### 5.2.- Costo de la alternativa propuesta.

Cajón de cimentación combinado con mampostería

La alternativa propuesta -que fué tratada ampliamente en el capítulo 4- en -

esta fase consistiría en efectuar una excavación de 4 o 5 metros de profundidad -de los ocho que se pretende alcanzar- y a partir de ahí continuar con el hincado de un cajón de concreto, cuya forma deberá ser ya la de la pila. Esta alternativa incluye los siguientes conceptos y sus costos correspondientes:

- 1.- Excavación
- 2.- Bombeo
- 3.- Superficialización
- 4.- Cimbra
- 5.- Cimbrado
- 6.- Acero
- 7.- Armado de acero
- 8.- Concreto
- 9.- Colado
- 10.- Descimbrado
- 11.- Hincado
- 12.- Mampostería en el cajón
- 13.- Mampostería sobre el cajón  
(Depreciación de equipo y útiles)
- 14.- Junteo
- 15.- Relleno de excavación excedente

Haciendo un análisis detallado de los costos tenemos:

1).- Excavación.

Utilizando la función de costo de excavación, se tiene:

$$\text{Costo} = 6,143(\text{profundidad})^{2.3} = 6,143 \times 5^{2.3} =$$

$$\text{Costo de excavación a 5 mts.} = 248,892.34$$

2).- Bombeo

El tiempo de elaboración de la cimentación usando cajón, hincado del mismo y construcción de mampostería, se reduce en estas condiciones a la mitad del requerido si se hiciera exclusivamente con mampostería de ahí que se tenga: solo 4 días de bombeo en lugar de 8:

<u>Concepto</u>	<u>Precio</u>	<u>Cantidad</u>	<u>Costo</u>	<u>Especificación</u>
Bomba	\$ 3.500/día	4 días	14,000.00	De 4" $\emptyset$ salida
Gasolina	40 lts.	200 lts.	8,000.00	Nova
Aceite	180 lts.	2 lts.	<u>360.00</u>	# 30
Costo total de bombeo			\$ 22,360.00	

(Como se mencionó el costo del operador normalmente se carga a otros conceptos por emplearse fundamentalmente a otras actividades y se distraen de ellas para el cuidado de la bomba.

### 3).- Superficialización.

Consiste en lograr una superficie horizontal para que sirva de desplante al cajón de concreto con un costo total aproximado de \$ 3,000.00 considerando 6 peones durante un día a \$ 500.00 c/u.

Costo de superficialización \$ 3,000.00

### 4).- Cimbra

Se usará cimbra de madera, con ocupación máxima de 6 veces, para un metro de altura de cajón y 12.5 m. de longitud en la parte exterior y 11.5 m. en la interior por dos lados en cada parte.

<u>Concepto</u>	<u>Precio</u>	<u>Cantidad</u>	<u>Costo</u>	<u>Especificación</u>
Madera	\$ 660/m <sup>2</sup>	Ext. 25 m <sup>2</sup>	16,500.00	Pino de 1" espesor
		Int. 23 m <sup>2</sup>	<u>15,180.00</u>	Pino de 1" espesor
Costo total de cimbra			\$ 31,680.00	

### 5).- Cimbrado

Comprende la colocación de los moldes, nivelación alineamiento y amarre a razón de \$ 125.00 por metro cuadrado:

<u>Concepto</u>	<u>Precio</u>	<u>Cantidad</u>	<u>Costo</u>	<u>Especificación</u>
Cimbrado	\$125.00/m <sup>2</sup>	50 m <sup>2</sup>	<u>6,250.00</u>	
Costo total de cimbrado			\$ 6,250.00	

#### 6.- Acero

Al igual que en la cimbra, solo se estimará el acero de refuerzo para un metro de cajón, utilizándose varilla de 3/8" armado en parrilla con cuadrícula de 15 cms. con dos parrillas; una exterior y una interior al molde de la cimbra, acero de alta resistencia.

Como 1 m. de varilla de acero de 3/8" es igual a 0.500 Kgs. el costo estará dado como sigue:

<u>Concepto</u>	<u>Precio</u>	<u>Cantidad</u>	<u>Costo</u>	<u>Especificación</u>
Acero Vert.	\$ 72/Kg.	166 m. Par. Ext. 154 m. Par. Int.	11,520.00	$f_y = 4,200 \text{ K/cm}^2$
Acero Horiz.	72/Kg.	125 m.Parrilla E. 115 m.Parrilla I.	8,640.00	$f_y = 4,200 \text{ K/cm}^2$
Costo total acero de refuerzo			<u>\$20,160.00</u>	

#### 7.- Armado de Acero

El costo comprende: corte, colocación y armado del acero en el molde para el colado a razón de \$200.00 por metro cuadrado:

<u>Concepto</u>	<u>Precio</u>	<u>Cantidad</u>	<u>Costo</u>	<u>Especificación</u>
Parrilla Ext	\$ 200/m <sup>2</sup>	25 m <sup>2</sup>	5,000.00	Parrilla de 15x15
Parrilla Int.	200/m <sup>2</sup>	23 m <sup>2</sup>	<u>4,600.00</u>	" " "
Costo total de armado			\$9,600.00	

#### 8.- Concreto

El volumen de concreto corresponderá al cajón que alojará la mampostería, el cual tendrá las siguientes dimensiones : 1 m. de altura; longitud media de : - (25 + 23)/2 = 24 metros y 30 cms. de espesor por lo que el volumen de concreto

es =  $7.20 \text{ m}^3$ , tomando los costos ya mencionados, se tiene:

<u>Concepto</u>	<u>Precio</u>	<u>Cantidad</u>	<u>Costo</u>	<u>Especificación</u>
Arena	\$ 633/m <sup>3</sup>	3,000 m <sup>3</sup>	\$ 1,899.00	Cribada
Grava	1,050/m <sup>3</sup>	4,000 m <sup>3</sup>	4,200.00	Graduada
Cemento	13,000/ton.	0.350 ton	4,550.00	Portland normal
Agua	110/m <sup>3</sup>	0.200 m <sup>3</sup>	22.00	Limpia
Aditivos	1,400/lote	1 lote	1,400.00	
Mano de Obra	150/h-h	50 hrs.-h.	<u>7,500.00</u>	
Costo antes de depreciación			\$19,571.00	
Depreciación 10%			<u>1,957.10</u>	
Costo total de concreto			<u><u>\$21,528.10</u></u>	

#### 9.- Colado

El colado tiene un costo de \$150.00 hora-hombre, resultando:

<u>Concepto</u>	<u>Precio</u>	<u>Cantidad</u>	<u>Costo</u>	<u>Especificación</u>
Colado	150.00/h-h	30 hrs. hombre	<u>4,500.00</u>	Obrero
Costo total de colado			\$ <u><u>4,500.00</u></u>	

#### 10.- Descimbrado

Es el costo de retirar el molde que sirvió para el colado a razón de \$150.00-hora -hombre, calculado en 20 horas hombre:

$$\$ 150.00 / \text{hora-hombre} \times 20 \text{ h-h} = \underline{\underline{\$ 3,000.00}}$$

#### 11.- Hincado

Se consideran los mismos conceptos que en el hincado de cilindros, por ser similar, pero con una menor velocidad de avance, o sea, 0.75 m/día en lugar de - 1 m/día:

<u>Concepto</u>	<u>Precio</u>	<u>Cantidad</u>	<u>Costo</u>	<u>Especificación</u>
Operador	\$ 1,500/día	1.25/día	\$ 1,875.00	Calificado
Ayudante	800/día	1.25/día	1,000.00	Obrero
Banda transp.10,000/día		1.25/día	12,500.00	Transp.de banda
Combustible	27/lto.	100 lts.	<u>2,700.00</u>	Diesel
Costo total del hincado			<u>\$ 18,075.00</u>	

### 12.- Mampostería en el cajón.

Esta mampostería irá en la parte interior del cajón con sección de 10 m. de longitud por 1.5 m. de ancho; por los 3 m. de altura, por lo que el volumen de la mampostería será de  $45 \text{ m}^3$ , cuyo costo se desglosará como sigue:

<u>Concepto</u>	<u>Precio</u>	<u>Cantidad</u>	<u>Costo</u>	<u>Especificación</u>
Piedra	\$ 1,382/m <sup>2</sup>	45 m <sup>2</sup>	\$ 62,190.00	Quebrada
Arena	633/m <sup>2</sup>	7 m <sup>2</sup>	4,431.00	Cribada
Cemento	13,000/ton.	1.2 ton.	15,600.00	Portland normal
Cal	7,000/ton.	2.4 ton.	16,800.00	Hidratada
Agua	110/m <sup>3</sup>	5 m <sup>3</sup>	550.00	Limpia
Mano de obra	2,600/m <sup>3</sup>	45 m <sup>3</sup>	<u>117,000.00</u>	Calificada
Costo de mampostería en cajón			\$ 216,571.00	=====

### 13.- Mampostería arriba de cajón.

Considerando la diferencia entre el total de 8 m. de mampostería contra los 3- que se tienen, se deberán construir 5m. más con una sección de  $15 \text{ m}^2 \times 5 \text{ m. o - sea, } 75 \text{ m}^3$ :

<u>Concepto</u>	<u>Precio</u>	<u>Cantidad</u>	<u>Costo</u>	<u>Especificación</u>
Piedra	\$ 1,382/m <sup>3</sup>	75 m <sup>3</sup>	\$ 103,650.00	Quebrada
Arena	633/m <sup>3</sup>	17 m <sup>3</sup>	10,761.00	Cribada
Cemento	13,000/ton	3.8 ton	49,400.00	Portland normal
Cal	7,000/ton	7.6 ton	53,200.00	Hidratada
Agua	110/m <sup>3</sup>	10.0 m <sup>3</sup>	1,100.00	Limpia
mano de obra	2,600/m <sup>3</sup>	75 m <sup>3</sup>	<u>195,000.00</u>	Calificada
Costo total mampostería sobre cajón			\$413,111.00	=====

14.- Junteo

Al igual que en el caso anterior esta parte de mampostería quedará oculta, - tapada con material de relleno, por lo que no se grava con este costo la --- construcción de la pila.

15.- Relleno de la excavación excedente.

El concepto es el mismo de la cimentación de mampostería pura, variando únicamente el volumen, pues de acuerdo con la curva correspondiente éste se reduce a una sexta parte del caso anterior, de  $6,000 \text{ m}^3$  se reduce a  $1,000 \text{ m}^3$ .

<u>Concepto</u>	<u>Precio</u>	<u>Cantidad</u>	<u>Costo</u>	<u>Especificación</u>
Relleno	\$ 10.00/ $\text{m}^3$	1,000 $\text{m}^3$	10,000.00	Compactado al 80 %
Compactación	20.00/ $\text{m}^3$	1,000 $\text{m}^3$	<u>20,000.00</u>	
Costo total del relleno			\$ <u><u>30,000.00</u></u>	

Resumiendo los costos, tenemos lo siguiente:

Los costos 1), 2), 3) y 4) intervienen una sola vez:

1).-	\$ 248,892.34	
2).-	22,360.00	
3).-	3,000.00	
4).-	31,680.00	
	<u>305,932.34</u>	X 1 = \$ 305,932.34

Los costos 5), 6), 7), 8), 9), 10) y 11) intervienen 3 veces ya que el cajón debe hincarse 3 metros:

5).-	\$ 6,250.00	
6).-	20,160.00	
7).-	9,600.00	
8).-	21,528.10	
9).-	4,500.00	
10).-	3,000.00	
11).-	18,075.00	
	<u>83,113.10</u>	X 3 = \$ 249,339.30

Los costos 12), 13), 14) y 15) intervienen una sola vez:

12).-	216,571.00		
13).-	413,111.00		
14).-	0.00		
15).-	30,000.00		
	<u>659,682.00</u>	X 1	=
			<u>659,682.00</u>

Costo total de la alternativa cajón-mampostería: \$1'214,953.64

Como puede verse, la solución propuesta resulta la más económicamente conveniente, además ésta implica el empleo de personas mas que de maquinaria, respaldando aún más el uso de la misma.

### 5.3.- Análisis comparativo de costos.

Comparación de la alternativa propuesta -cajón-mampostería- vs. cilindro.

El costo de la cimentación a base de cilindros de \$1'597,979.20 resulta mayor que el costo del uso del cajón combinado con mampostería que es de ----- \$1'214,953.64, con la ventaja adicional de que no se requiere maquinaria muy sofisticada para llevar a cabo ésta última y si genera una mayor cantidad de empleos en la región donde se aplique ya que no se requiere mano de obra especializada para llevarla a cabo.

La razón de costos cajón-mampostería vs. cilindro nos dá lo siguiente:

$$\text{Razón de costo: } \frac{\$ 1'214,953.64}{\$ 1'597,979.20} = 0.76$$

O sea que porcentualmente la solución propuesta resulta 24 % más barata que si se usara cilindro.

Alternativa propuesta cajón-mampostería vs. mampostería :

Igual que en el caso anterior el costo de la mampostería que es de ----- \$ 1'599,120.77 resulta mayor que el costo del uso de cajón-mampostería.

Una de las ventajas adicionales que podemos mencionar de la alternativa propuesta contra la mampostería, es que la primera si permite la excavación hasta la profundidad requerida (en este caso 8 m) no importando que tipo de suelo o combinación de éstos se pueda tener como podría ser arenoso, arena-combinada con grava y boleas; combinación de limo y arcilla, de estos últimos con arena, etc.

Mientras que la mampostería pura, con excavación a cielo abierto es difícil que se pueda dar, tal como se supuso con esa profundidad. De lo contrario sería necesario utilizar otras técnicas de excavación que elevarían todavía mucho más el costo.

La razón de costos cajón-mampostería vs. mampostería nos da:

$$\begin{aligned} \text{Razón de costos} &= \frac{\$ 1'214,953.64}{\$ 1'599,420.77} = 0.76 \end{aligned}$$

Al igual que en el caso anterior porcentualmente la solución propuesta resulta 24% más baja en costo que si se usara solo mampostería con excavación a cielo abierto.

## C O N C L U S I O N E S

En la presente tésis se trató de abarcar el mayor número de temas o campos de la Ingeniería Civil como son: transporte, cimentación, geotecnia, construcción, diseño estructural, -- equipo de construcción, costos dentro de la construcción, -- etc.

Igualmente a lo largo de este trabajo se trató de justificar el método de solución propuesto para resolver las cimentaciones para apoyos intermedios en puentes, utilizando básicamente la mampostería, pero adicionándole un elemento auxiliar - para la construcción de la misma, como es el cajón de cimentación.

Esta combinación cajón-mampostería, como se planteó durante todo el desarrollo, aporta beneficios y hace muy conveniente su uso en diferentes aspectos como pueden ser:

Una buena y nueva opción para resolver un problema de cimentación poco profunda, del orden de 10 metros, utilizando un método de cimentación superficial como es la mampostería, alcanzando profundidades que con excavación a cielo abierto no serían posibles ni convenientes desde ningún punto de vista.

Constituye una solución favorable en la reducción de costos en proyectos donde se ha programado cimentación de mampostería, pero el desplante puede resultar costoso por la excavación.

Presenta una buena alternativa para la generación de empleos al usar mano de obra del lugar donde se realiza la obra. como sustituto de la maquinaria y equipo, lo que se traduce en beneficio social, ya que al optar por un sistema sofisticado de excavación, implicaría usar mas equipo que personal -el - que deberá ser calificado-, importación de tecnología, costos mayores, etc.

Contribuye a no detener el avance de la obra por falta de insumos, ya que se emplean materiales y personal que son comunes en cualquier obra.

Beneficia al contratante y al contratista, pues a uno le reduce el costo total de la obra y al otro el tiempo de realización, que también se traduce en ahorro de dinero.

Resuelve el problema de cimentación de puentes, sin necesidad de cambiar el proyecto, parar la obra, usar técnicas especializadas y costosas, al no tener exactamente el tipo de suelo previsto, ocasionando dificultades en el proceso de construcción, incremento de costos, tiempos de terminación mayores, etc.

En todos los capítulos se trató de justificar las técnicas o teorías usadas y solo en los temas que no eran el objetivo principal de este trabajo, no se entró en detalle, como por ejemplo, el análisis stratigráfico de suelos, diseño y cálculo de cilindros, resistencia de suelos y materiales, etc.

## B I B L I O G R A F I A

## MECANICA DE SUELOS

Tomos I, II y III

Juárez Badillo y Rico Rodríguez

Editorial Limusa.

## CONTRIBUCION AL ESTUDIO DE LA SOCAVACION LOCAL EN PILAS DE PUNTES

José Antonio Maza Alvarez y José Luis Sánchez Bribiesca

Instituto de Ingeniería.

## SOCAVACION EN CAUCES NATURALES

José Antonio Maza Alvarez

Instituto de Ingeniería

## FACTORES DE CONSISTENCIA DE COSTOS Y PRECIOS UNITARIOS

Apuntes. Departamento de Construcción

Facultad de Ingeniería.

## INTRODUCCION AL PROCESO CONSTRUCTIVO

Departamento de Construcción

Facultad de Ingeniería.

## CIMENTACIONES PROFUNDAS

Ing. Zamora, Demeneghi y Puebla

Revista Facultad de Ingeniería Tomo IV año 1979.

## SOBRE EL EMPLEO DE CORRELACIONES EN MECANICA DE SUELOS

Ing. A. Demeneghi Colina

Revista Fac. Ingeniería Num. 2 año 1982.

## METODOS PLANEAMIENTO Y EQUIPOS DE CONSTRUCCION

Robert Leroy Peurifoy

Edit. Diana Mex. 1978

## APUNTES DE DISEÑO DE CIMBRAS DE MADERA

Departamento de Construcción

Facultad de Ingeniería.