

**PILAS DE CIMENTACIÓN O CAISSON**

**LUIS MIGUEL OSPINA BARRERA**

**UNIVERSIDAD DEL QUINDIO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
TECNOLOGÍA EN OBRAS CIVILES**

**ARMENIA**

**2006**

**PILAS DE CIMENTACIÓN O CAISSON**

**LUIS MIGUEL OSPINA BARRERA**

**Trabajo de grado para optar al título de  
TECNÓLOGO EN OBRAS CIVILES**

**Asesor: Ingeniero LUIS CARLOS PANESSO HERRERA**

**UNIVERSIDAD DEL QUINDIO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
TECNOLOGÍA EN OBRAS CIVILES**

**ARMENIA**

**2006**



## NOTA DE ACEPTACIÓN

---

**JURADO**

---

**JURADO**

---

**JURADO**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco de antemano a las directivas y docentes de la Universidad del Quindío por el inmenso aporte a mi formación tecnológica

Al Asesor de Tesis, Ingeniero Luis Carlos Panesso Herrera por su decidida e importante colaboración

Al Maestro de Obra Alfonso Ospina, mi padre, quien aportó con su amplia experiencia para enriquecer esta monografía.

Al Tecnólogo en Obras Civiles Carlos Moreno, por su apoyo y contribución significativa al desarrollo de esta monografía.

A todas las personas que de una u otra manera hicieron posible la realización de esta monografía.

## **DEDICATORIA**

A mi madre, Rosa Amelia Barrera por su dedicación permanente y su cariño, a mi padre Alfonso Ospina por sus enseñanzas y experiencia, a mi novia Yurany Escobar por su compañía y amor.

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
1. PROBLEMA	3
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	3
1.3. JUSTIFICACIÓN	4
1.4. OBJETIVOS	5
3.1. OBJETIVO GENERAL	5
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
2. MARCO DE ANTECEDENTES	6
5. PILAS DE CIMENTACIÓN	8
5.1. GENERALIDADES	8
5.1.1. Definición.	8
5.1.2. Ventajas Y Desventajas	9
5.1.3. Tipo de suelo	11
5.2. TIPOS DE PILAS PERFORADAS O CAISSON	15
5.2.1. Pilas Rectas	15
5.2.2. Pilas Acampanadas	16
5.2.3. Pilas Pata de Elefante	17
5.3. CONSTRUCCIÓN	18
5.3.1. Métodos de construcción	18
5.3.2. Construcción en perforaciones excavadas y en perforaciones cilíndricas	20
5.3.3. Excavación	20
5.3.4. Formación de campanas	22
5.3.5. Refuerzo	24
5.3.6. Colocado del concreto	26

5.3.7. Curado	30
5.3.8. Agregados	32
6. MÉTODO DE CONSTRUCCIÓN MANUAL DE PILAS DE CIMENTACIÓN O CAISSON TIPO PATA DE ELEFANTE	34
6.1. LOCALIZACIÓN Y REPLANTEO	36
6.2. MORTERO DE PROTECCIÓN	38
6.3. FORMALETA PARA LOS ANILLOS	41
6.4. REFUERZO DE LOS ANILLOS.	42
6.5. PERFORACIÓN DEL AGUJERO	44
6.6. REFUERZO DEL CAISSON O PILA	56
6.7. FUNDICIÓN DE LA PILA CAISSON	59
7. EJEMPLOS Y FOTOGRAFÍAS DE CIMENTACIONES CON PILAS O CAISSON	63
7.1. EDIFICIO ALCIDES ARÉVALO	63
7.2. OBRA CONCESIONARIO RENAULT CALLE 17 CON CARRERA 14	70
7.3. EDIFICIO ALQUITRABE	78
8. DISEÑO Y CAPACIDADES DE CARGA	81
8.1. CONSIDERACIONES DE DISEÑO.	81
8.2. ESTIMACIÓN PARA LA CAPACIDAD DE CARGA	83
8.3. CAPACIDAD DE CARGA BASADO EN EL ASENTAMIENTO	81
9. ORGANIZACIÓN DEL PROGRAMA DE SALUD OCUPACIONAL	94
9.1. OBLIGACIONES DEL PATRÓN	94
9.2. OBLIGACIONES DE LOS TRABAJADORES	96
9.3. CAMPAMENTOS PROVISIONALES	97
9.4. LAS EXCAVACIONES	97

9.5. ANDAMIOS	100
9.6. MEDIDAS PARA DISMINUIR ALTURA DE LIBRE CAÍDA	101
9.7. DE LAS HERRAMIENTAS MANUALES	102
9.8. CASCOS DE SEGURIDAD.	102
9.9. OTROS ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL	103
9.10. PRIMEROS AUXILIOS.	104
9.11. TÚNELES Y TRABAJOS SUBTERRÁNEOS.	104
9.12. EVALUACIÓN DE RIESGOS	107
9.13. FASES DE LA EVALUACIÓN DE RIESGOS	109
9.14. TÉCNICAS ANALÍTICAS DE PREVENCIÓN DE ACCIDENTES	109
9.15. INSPECCIONES DE SEGURIDAD	111
10. CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO	112
10.1 ANÁLISIS UNITARIOS	113
CONCLUSIONES	114
RECOMENDACIONES	115
GLOSARIO	116
BIBLIOGRAFÍA	119



## LISTA DE GRÁFICOS

❖ Figura 1. Pilas Rectas	15
❖ Figura 2. Pilas Acampanadas	16
❖ Figura 3. Pilotes rectos	16
❖ Figura 4. Pilas pata de elefante	17
❖ Figura 5. Corte transversal	17
❖ Figura 6. Campana	19
❖ Figura 7 Pila Perforada Grow	19
❖ Figura 8. Columna para soporte de carga	23
❖ Figura 9. Localización y replanteo	36
❖ Figura 10. hiladeros	37
❖ Figura 11. Troncos piramidales	49
❖ Figura 12. Vista en planta	50
❖ Figura 13 Vista superior	52
❖ Figura No. 14 Vista Campana	55
❖ Figura No. 15 Castillo	57
❖ Figura No. 16 Amarres	57
❖ Figura No. 17. Empotramiento	82
❖ Figura No. 18. Capacidad de Carga	84
❖ Figura No. 19 Capacidad última de carga de pila perforada o caisson con campana.	85
❖ Figura No. 20. Carga lateral	89
❖ Figura No. 21 Pila perforada con campana	90
❖ Figura No. 22 Pila perforada sin campana	92
❖ Figura No. 23 Triángulo de estimación de riesgos	110

## LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Foto No. 1 Oficial y ayudante formaleteando, para fundir el mortero	38
Foto No. 2. Todo listo para fundir el mortero incluso la garrucha	39
Foto No. 3 Garrucha que se utiliza para extraer el material	40
Foto No. 4 Oficial y ayudantes vaciando el mortero	41
Foto No. 5 formaletas para los anillos en concreto	42
Foto No. 6 Castillo para un anillo, armado y listo para introducirlo en la excavación	43
Foto No. 7. Castillo para anillo	43
Foto No. 8. Excavado del primer metro de la pila o caisson	44
Foto No. 9 Formaleta lista para vaciar el anillo	45
Foto No. 10 Trabajador desformaleteando anillo para continuar excavación	46
Foto No. 11. Anillo después de vaciado	47
Foto No. 12 Oficial ubicando el castillo para el anillo	48
Foto No. 13. Segundo tramo de anillo	48
Foto No. 14 Hilos y ejes	51
Foto No. 15 Tubo de la motobomba	52
Foto No. 16 Motobomba	53
Foto No. 17. Ducto del aire	54
Foto No. 18 Excavación terminada	55
Foto No. 19 Caisson listo para ser fundido	56
Foto No. 20. Oficiales de herrería armando las últimas varillas del castillo	58
Foto No. 21 Oficial chequeando las distancias del hierro	59
Foto No. 22 Bomba de premezclados fundiendo una pila	60

Foto No. 23 Tubería de premezclados, dentro de la pila o caisson lista para empezar a fundir la pila o caisson	61
Foto No. 24. Oficial chequeando el nivel donde debe llegar el concreto del caisson	62
Foto No. 25 Oficial vibrando el concreto, ya llegando al nivel indicado	62
Foto No. 26. Planta cimentación	63
Foto No. 27. Primeros Caisson perforados	64
Foto No. 28. Andamios para sostener castillos de columnas	65
Foto No. 29. Caisson con sus anillos terminados	66
Foto No. 30. Castillo para Caisson	67
Foto No. 31. Nudo de cimentación.	68
Foto No. 32. Castillo para columna	69
Foto No. 33 Planta de cimentación	70
Foto No. 34. Anillo en concreto	71
Foto No. 35 Oficial saliendo de Caisson	72
Foto No. 36. Formaleta en madera para anillo de Caisson	72
Foto No. 37 Caisson perforado sin anillos	73
Foto No. 38 Caisson perforado con anillos en concreto	74
Foto No. 39. Castillo para Caisson	74
Foto No. 40 Sacando el agua para iniciar la excavación.	75
Foto No. 41 Retirando material sobrante	76
Foto No. 42 Andamio para retiro de material	77
Foto No. 43 caisson terminado listo para hacer el enlace, con la viga de cimentación y el dado donde empíezala columna.	78
Foto No. 44. Desformaleteo de anillo	80
Foto No. 45. Vaciado de anillo	80

## INTRODUCCIÓN

Debido a que el suelo, como soporte de todas las estructuras, además de absorber y disipar los efectos generados por las cargas gravitacionales, es el agente transmisor de la excitación sísmica desde su origen hasta la superficie, se ha diseñado de manera algo empírica y por experiencia constructiva, un sistema de cimentación llamado “sistema de pilotes”, “pilas de cimentación” o “caisson”, sin embargo, existe muy poca información respecto a los métodos más sencillos para construir de manera segura la cimentación.

Una pila o caisson es un miembro estructural subterráneo que tiene la misma función que cumple una zapata, es decir, transmitir la carga a un estrato capaz de soportarla sin peligro de que falle y de que sufra un asentamiento excesivo. Para construir pilas de cimentaciones o caisson existen métodos diversos de los cuales se hablarán en la presente monografía, métodos que utilizan en algunas ocasiones maquinarias como perforadoras montadas en orugas y con barrenas que excavan el agujero hasta el nivel de desplante de la cimentación y luego se construye la pila sobre el mismo. También se construyen pilas de cimentación o caisson haciendo perforaciones entibadas con madera y anillos metálicos. Para construir pilas de cimentación o caisson se deben conocer muy bien sus ventajas y desventajas y sus sistemas de construcción para determinar cuál puede beneficiar más al proyecto planeado.

La información recolectada para esta monografía se tomó de la experiencia personal obtenida en diferentes obras como Edificio Alquitrabe ubicado en el barrio Pinares de Pereira, Centro Comercial Alcides Arévalo, Concesionario Renault y el puente de la Autopista del Café entre Pereira y Chinchiná. Así mismo de la experiencia y conocimientos de los profesionales en construcción: Ingeniero Civil Alberto Delgado, Técnico Constructor Alfonso Ospina, Estudiante último semestre Ingeniería Civil Andrés Mauricio Ospina, y Tecnólogo en Obras Civiles Carlos Moreno.

## **1. PROBLEMA**

### **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Las pilas de cimentación o caisson son procesos importantes en ciertas construcciones, sobre todo aquellas de magnitudes significativas, que requieren, por las condiciones del terreno, que se lleve a cabo un tratamiento especial. Sin embargo no existe una literatura específica que sirva de método o manual para los constructores, ya que lo que se conoce de este sistema deriva de la experiencia constructiva recolectada por años.

El no establecerse una teoría clara al respecto, hace que no se siga un patrón igual en todas las construcciones sino que se haga la pila de acuerdo a las condiciones del terreno, a las exigencias de la obra y al conocimiento del personal que la ejecuta

Se hace indispensable un manual que sirva de base a los tecnólogos, maestros constructores para la elaboración de esta técnica

### **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

No existe una teoría unificada sobre construcción de caisson, sino que esta surge de la experiencia y empirismo de quienes han trabajado esta técnica

## **2. JUSTIFICACIÓN**

Se hace necesaria para la presente monografía, el estudio y la aplicación de un método muy práctico para la construcción de una cimentación con pilas o caisson.

Se pretende con esta monografía, brindar a cualquier investigador, estudiante e incluso al tecnólogo en obras civiles o ingeniero, una guía muy completa de la manera en que se puede desarrollar la construcción de una pila de cimentación o caisson con herramientas manuales y personal de construcción, sin utilizar maquinaria, pues esta no es muy común en el medio y además es muy costosa.

Se brinda información de las diferentes clases de pilas de cimentación o caisson, cómo trabajan y cómo se comporta en diferentes terrenos, además algunas consideraciones de diseño trabajadas por ingenieros, tecnólogos, maestros y oficiales de construcción

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. OBJETIVO GENERAL**

El objetivo principal es dar una idea clara de construir una pila o caisson desde el inicio hasta fundirla en concreto. Dando paso a paso información de herramientas utilizadas, materiales y cuadrillas de trabajo.

#### **3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Definir el término Pila de cimentación o Caisson
- Establecer la manera en que se construyen en nuestro medio las pilas de cimentación o caisson
- Establecer el diseño y las capacidades de carga que tienen estas pilas o caisson
- Mostrar gráficamente y con material fotográfico algunas obras en las cuales se ha llevado a cabo este proceso
- Referenciar algunas de las recomendaciones dentro del programa de Salud Ocupacional con respecto a la construcción de estas pilas de cimentación.

#### 4. MARCO DE ANTECEDENTES

En Colombia no se conocen textos específicos sobre Construcción de Caisson, sin embargo si existen algunas obras americanas al respecto como el libro Caissons and Cofferdams de R.E. White escrito en 1962 y publicado por la McGraw Hill.

Las grandes obras del mundo que contemplan este sistema han dado oportunidad a libros de gran trascendencia para la ingeniería civil.

Las pilas para puentes ocupan un lugar prominente en la literatura especializada. Quizá el mejor relato sobre el hincado de un cajón con cámara de aire comprimido, escrito para público formado por personas que no son técnicas, pero completamente riguroso se encuentra en el libro de D. E. Sreinman Tite .BuddeTs of the Bridge (1945), New York, Harcourt, 457 pp., cap. XVIII, "Dawn in the Caissons." El capítulo es parte de la historia de los Roeblings y estructuras tan famosas como el Puente Brooklyn.

El uso de cajones para dragado a cielo abierto, completado por las campanas de aire comprimido, usadas por primera vez en el San Francisco Bay Bridge, se describen en el libro de L. XV. Riggs (1966), 'Tagus River Bridge Tower Piers,

Los diferentes tipos de cimentaciones considerados y adoptados para un proyecto particular se estudian en el artículo de A. Hedefine y L. G. Silano (1968), 'Newport Bridge Foundations,

El tratado más completo sobre pilas de cimentación es *Drailed Pier Foundation* por R. J. Wnodwarri, W. S. Garéner. y D. M. Greer, New York, McGraw-Hill, 1973. Una excelente descripción de las técnicas ordinarias usadas en la construcción de pilas de cimentación, con un estudio sobre muchos problemas prácticos y sus consecuencias, se da en los capítulos 1 y 11 de *BehavzoT of Axially Loaded Drailed Shafás isa Beaunzont Clay*, por M. W. ONeill y L.C. Reese, Informe de Investigación 89-8, parte 1a. Estado del Arte, Centro de investigación de Caminos, La Universidad de Texas en Austin. Dic. de 1970. Especificaciones modernas que se refieren a detalles de diseño y de construcción vienen, en "Suggested Desigu and Construction Procedures for Pier Foundations,' por 1. Schousboe, *ACIJournai*, Agosto de 1972, No. 8, Proc. Vol. 69 pp. 461-480. Se describen problemas típicos en arcillas blandas, especialmente del área de Chicago, en el artículo de C. N. Baker, Jr., y F. Khan (1971), "Caisson Construction Problema and Correction in Chicago,"

Es todo el antecedente encontrado con respecto a la teoría de este tipo construcciones.

## 5. PILAS DE CIMENTACIÓN

### 5.1. GENERALIDADES

**5.1.1. Definición.** En la ingeniería el término pila de cimentación o caisson tiene dos significados, de acuerdo con sus usos. Una pila o caisson es un miembro estructural subterráneo que cumple la misma función de una zapata: transmitir la carga a un estrato capaz de soportarla.

Sin embargo, al contrario de una zapata, la profundidad de la cimentación, el ancho y todo su tamaño son diferentes. Su segundo uso, generalmente es el apoyo de concreto o de mampostería para la superestructura de un puente. Usualmente, la pila sobresale de la superficie del terreno, comúnmente se prolonga a través de una masa de aguas máximas, de acuerdo a esta definición la pila es una estructura que debe estar apoyada en una cimentación adecuada.

No existe una diferencia entre las pilas de cimentación y los pilotes, excepto por su tamaño.

Los términos: cajón, pila, pilote perforado, se usan a menudo en forma general en cimentaciones. Todas se refieren a pilotes colados con o sin refuerzo de acero y con o sin campana.

Para evitar confusiones, se usa el término pila o caisson perforado para un agujero barrenado o excavado hasta el fondo de la cimentación de una estructura, que luego se funde en concreto. De acuerdo con las condiciones

del terreno se usan revestimientos en concreto o entibados con madera, pueden ser con guadua y teleras.

En Kansas City desde 1890, se construyeron pilas de cimentación o caisson con profundidades mayores de 15 m y de 1,40 de diámetro que atravesaron material de relleno y arcilla hasta una caliza; se construyeron en perforaciones hechas con herramientas mecánicas y entibadas

En el siguiente medio siglo, se hicieron intentos semejantes, pero en la actualidad la mayor parte de las pilas o caisson que pasan por suelos cohesivos se excavan por medio de máquinas montadas en camiones o en orugas, equipadas con barrenas rotatorias provistas de cuchillas para evitar que el suelo alrededor del agujero se desplome durante la construcción. El diámetro de la pila debe ser suficientemente grande para que una persona pueda entrar a inspeccionar.

**5.1.2. Ventajas Y Desventajas** El uso de cimentaciones con pilas perforadoras tiene varias ventajas:

- Se usa una sola pila en vez de un grupo de pilotes.
- La construcción de pilas perforadas en depósitos de arena densa y grava es más fácil que enterrar pilotes.
- Las pilas perforadas se construyen antes de terminar las operaciones de nivelación.

- Cuando los pilotes son clavados a golpe de martillo, la ubicación del terreno ocasiona daños a estructuras cercanas, problema que se evita con pilas perforadas.
- Los pilotes fijados en suelos arcillosos producen levantamiento del terreno y ocasiona que pilotes ya empotrados se muevan lateralmente, lo que no ocurre durante la construcción de pilas perforadas.
- No se tiene ruido de martilleo durante la construcción de pilas perforadas, tal como pasa en el clavado de pilotes.
- Como la base de una pila perforada se amplía, ésta proporciona una gran resistencia a cargas de levantamiento.
- La superficie sobre la cual la base de la pila perforada se construye, se puede inspeccionar visualmente.
- La construcción de pilas perforadas utiliza generalmente equipo móvil, que bajo condiciones apropiadas del suelo, resulta más económico que los métodos usados para la construcción de cimentaciones de pilote.
- Las pilas de cimentación tienen alta resistencia a cargas laterales.

Existen también varias desventajas en el uso de pilas de cimentación: La operación de colado puede demorarse por mal tiempo y siempre requiere de una cuidadosa supervisión. Además, como en el caso de cortes apuntalados, las excavaciones profundas para pilas perforadas inducen

pérdidas considerables de terreno y ocasionan daños a las estructuras cercanas.

### **5.1.3. Tipo de suelo**

**Investigaciones del sitio.** El objetivo de la mayor parte de las investigaciones del lugar donde se realizará el proyecto, radica en obtener información sobre las condiciones en la superficie y en el suelo que se requiere para el diseño y construcción, en este caso de la cimentación, así como para determinar los posibles riesgos que se puedan presentar tales como:

- Deslizamientos
- Hundimientos
- Licuación

La investigación del terreno es un proceso que consta de:

- Recopilación de los datos disponibles
- Investigaciones de campo y laboratorio
- Identificación de las propiedades del suelo
- Diseño y construcción.

Con frecuencia se complementan las perforaciones con sondeos y hoyos de prueba.

**Perforaciones de Exploración.** Los métodos de perforación usuales que se emplean en la exploración, consisten en perforaciones: rotatoria, con broca, y por percusión, o alguna combinación de éstas. En el suelo las perforaciones profundas se realizan casi siempre con técnicas de

perforación rotatoria, que consisten en hacer circular repetidas veces un fluido denso en la perforación para mantener su estabilidad. La perforación con broca, con brocas de tallo hueco para facilitar la obtención de muestras se utiliza mucho y es un método económico para perforaciones de profundidad baja o intermedia.

En la perforación por percusión, por lo general se entierra un cilindro metálico para profundizar en la perforación. Con frecuencia se utiliza agua circulante o cucharones de extracción para remover el suelo del cilindro. Este método se emplea en lugares de acceso difícil, donde se requiere equipo portátil relativamente ligero. A menudo se incluye una perforadora rotatoria diseñada para obtener muestras de roca.

**Muestras de Suelo.** Por lo general estas se obtienen con un muestreador de tubo partido o al hincar por medios mecánicos o hidráulicos un tubo de muestreador de pared delgada (Shelby) que casi siempre es de 2 pulgadas de diámetro exterior (OD) y se clava 18 pulgadas por medio de un martillo de 140 Lb que se deja caer desde una altura de 30 pulgadas. La cantidad de golpes necesarios para penetrar las últimas 12 pulgadas del hincado constituyen el valor de la resistencia a la penetración estándar (SPT). El tubo muestreador Shelby que se utiliza para obtener muestras inalteradas, generalmente es un tubo de acero sin costura de calibres 12 a 16 y 3 pulgadas de OD nominal (ASTMD 1597) En suelos que son blandos o difíciles de muestrear, se utiliza un pistón muestreador estacionario que se clava un tubo Shelby ya sea en forma hidráulica (presión de bomba) o por el sistema de taladro. La perforación rotatoria de núcleos se usa para extraer muestras de núcleos de rocas y de suelos cohesivos duros que no se pueden penetrar con las técnicas convencionales de muestreo.

Casi siempre se obtienen núcleos de roca con taladros de diamante que extraen muestras con diámetros desde 7/8 pulgadas (4X) hasta 2 1/8 (NX). En arcillas duras y rocas blandas también se pueden obtener muestras inalteradas de 3 a 6 pulgadas OD por medio de la perforación rotatoria con un muestreador Dennison o Pitcher.

Se pueden utilizar las pruebas en una gran variedad de circunstancias para mejorar la definición de las condiciones, obtener datos de las propiedades del suelo y varios parámetros de análisis empírico y aplicaciones de diseño.

**Control de las Condiciones del Agua Freática.** El control de los niveles del agua en el subsuelo es una parte integral de las operaciones de perforación y muestreo. Es usual que se requieran mediciones del agua freática durante la perforación y por lo menos 12 horas después de ésta. Con frecuencia se instalan tubos permanentes en las perforaciones de prueba para obtener observaciones a largo plazo, que por lo común son tubos de diámetros pequeños perforados en el fondo.

Si se habla de pilas de cimentación o caisson es muy importante el tipo de suelo. En arcillas duras, en las arenas cementadas sobre el nivel freático, y en roca blanda, las perforaciones pueden ejecutarse rápidamente y esperarse que sus paredes se sostengan sin apoyo, hasta que se cuele el concreto. Las campanas pueden labrarse fácilmente. Sin embargo, en cualesquiera otras condiciones, deben tomarse medidas para estabilizar las paredes. Estas condiciones incluyen en orden creciente de dificultad de construcción, suelos relativamente impermeables que contengan capas o lentes de material sin cohesión, con agua, que tienda a fluir a la perforación; arcillas y limos que puedan influir hacia la misma y la mayor parte de los

materiales granulares húmedos con suficiente cohesión pueden proporcionar apoyo a las paredes de la perforación, pero con acumulaciones de materiales gruesos menos cohesivos; suelos sin cohesión, perfectamente secos situados arriba del nivel freático y suelos sin cohesión abajo del nivel del agua freática. En todos los tipos de suelos, las condiciones para la estabilidad de las campanas son menos favorables que para los muros de la perforación.

El programa de exploración del subsuelo puede requerir varias etapas antes de completar el proyecto final de una cimentación de pilas o caisson. Los sondeos iniciales deben permitir hacer un estudio detallado de la estratigrafía, dando atención especial a la presencia de mantos sin cohesión o lentes de cantos, boleo, o zonas cementadas, y a la posición del nivel freático. La entrada del agua freática a cualquier nivel en un sondeo que se estuviese desarrollando en seco, o el derrumbe de las paredes del agujero, merecen especial atención. Los sondeos preliminares deben proporcionar suficiente información para poder decidir si resulta adecuada la construcción de las pilas o caisson y para determinar su profundidad y dimensiones probables.

Si se adoptan tentativamente las pilas para usarse en la obra, deberán hacerse más sondeos para definir los problemas de construcción que puedan encontrarse. Las condiciones del agua freática cerca de la base de las pilas, o en la vecindad de las campanas propuestas, deben explorarse cuidadosamente, utilizando técnicas como la de llenar con agua los agujeros cuando llega a profundidades críticas, y observar la rapidez con que baja su nivel. Cuando menos algunos de los sondeos deben convertirse en pozos de observación.

Finalmente, en trabajos grandes o potencialmente difíciles, pueden convenir excavar una o más perforaciones definitivas de pila o caisson, con el equipo que se vaya a utilizar en el trabajo. La movilidad de los equipos de perforación modernos, permite utilizar este procedimiento fácil y económicamente. Las perforaciones de prueba facilitan la preparación de especificaciones realistas y el dar a los ingenieros una idea clara del trabajo que se va ejecutar. Si aún en esta tardía etapa del proyecto los resultados demuestran que las condiciones son desfavorables, puede cambiarse el tipo de cimentación antes de hacer los documentos finales del contrato.

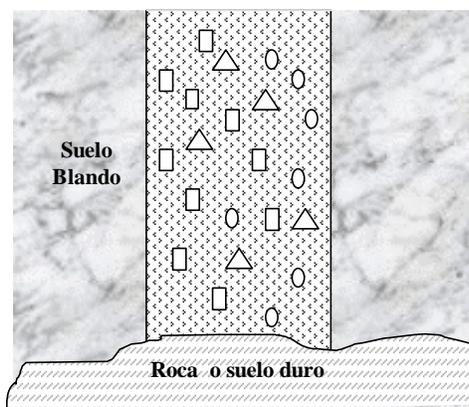
## 5.2. TIPOS DE PILAS PERFORADAS O CAISSON

Las pilas perforadas o caisson se clasifican de acuerdo con la manera en que se diseñan para transferir la carga estructural al subsuelo, así:

- Pilas Rectas
- Pilas Acampanadas
- Pilas Tipo Pata de Elefante

**5.2.1. Pilas Rectas** En la figura se muestra una pila perforada o caisson recta, extendida a través de la capa superior de suelo pobre y su punta descansa sobre un estrato de suelo o roca con capacidad de carga.

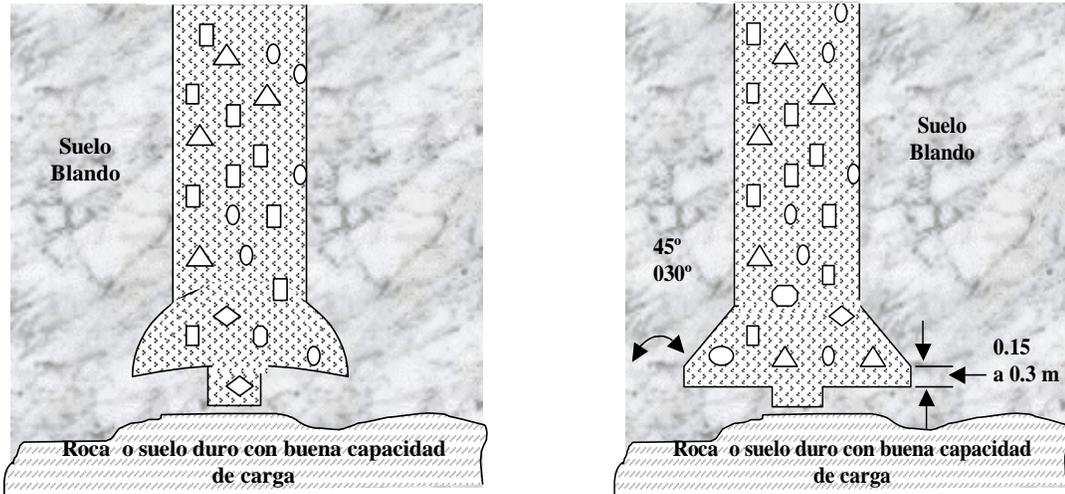
Figura 1. Pilas Rectas



Fuente: imagen propia

## 5.2.2. Pilas Acampanadas

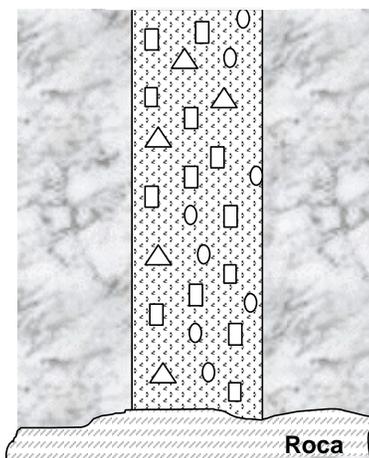
Figura 2. Pilas Acampanadas



Fuente: imagen propia

En las figuras anteriores se muestra pilas o caisson acampanados. Consisten en una pila recta con una campana en el fondo que descansa sobre un suelo resistente. La campana se construye con forma de domo o de escarpio. Para campanas de escarpio, las herramientas o cortadores comercialmente disponibles forman ángulos de  $30^{\circ}$  a  $45^{\circ}$  con la vertical

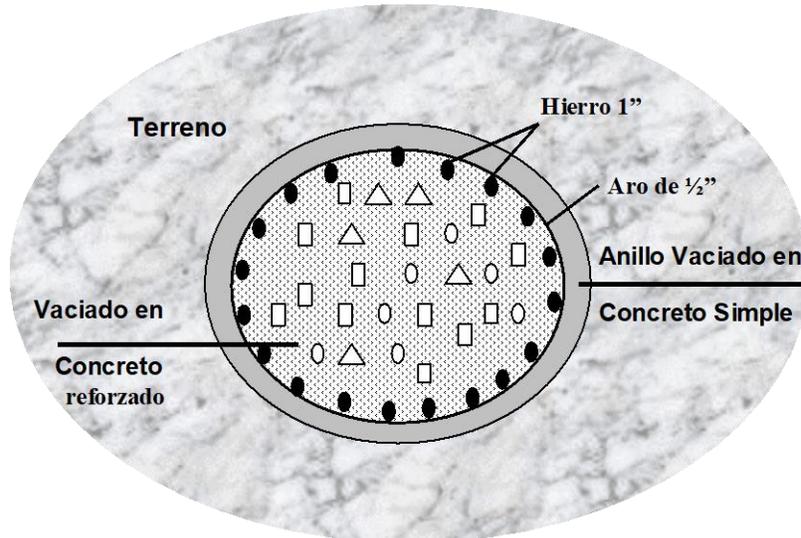
Figura 3. Pilotes rectos



Los pilotes rectos también se extienden hasta un estrato de roca en el cálculo de la capacidad de carga de tales pilas, el esfuerzo cortante y el de carga desarrollados a lo largo del perímetro de la pila y en la interfaz con la roca deben tomarse en consideración.

**5.2.3. Pilas Pata de Elefante** En la figura siguiente se tiene la vista superior de la pila o caisson tipo Pata de Elefante.

Figura 4. Pilas pata de elefante



Fuente: imagen propia

En la siguiente ilustración se ve un corte transversal de una pila o caisson tipo Pata de Elefante

Figura 5. Corte transversal



Fuente: imagen propia

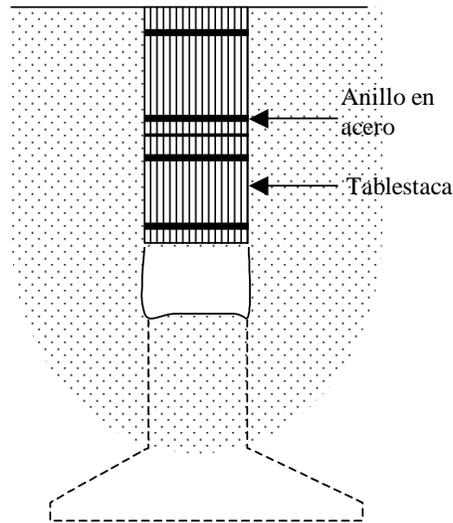
## 5.3. CONSTRUCCIÓN

**5.3.1. Métodos de construcción** Los métodos para construir pilas se dividen en dos grupos principales: En uno, se excava un agujero hasta el nivel de la cimentación y se construye la pila dentro del mismo, los lados de la excavación deben reformarse y apuntalarse para evitar derrumbamiento. Estas perforaciones se dicen reforzadas o entibadas, lo que depende si el entibado se forma con forros metálicos cilíndricos, o sea de tableros o de tablestacas. Algunas veces se estabiliza la perforación por medio de un líquido espeso en vez de entibado. Si la superficie del terreno está debajo del agua, la estructura que encierra el terreno que va a ocupar la pila se llama ataguía. Bajo la protección de la ataguía se hace la excavación hasta el nivel deseado y se construye la pila.

El otro método para la construcción de pilas es utilizando cajones. Los cajones son cajas o cilindros que se empotran hasta su posición y constituyen la parte exterior de la pila de cimentación terminada. Para facilitar el clavado, el borde del cajón está provisto de una cuchilla; el material que está dentro del cajón se extrae por dragado, a través de la abertura en su extremo superior o excavando a mano.

**Método Chicago.** Uno de los métodos más viejos de construcción de pilas perforadas es el Método Chicago. Para éste se excavan manualmente agujeros circulares con diámetros de 1.1 m o mayores a profundidades de 0.6 – 1.8 m. Los lados del agujero excavado se forran entonces con tablones verticales, mantenidos firmemente en su posición por dos anillos circulares de acero. Después de colocar los anillos, la excavación se continúa por otros 0.6 – 1.8 m. Cuando se alcanza la profundidad deseada, se procede a excavar la campana. Cuando se termina la excavación, el agujero se rellena con concreto.

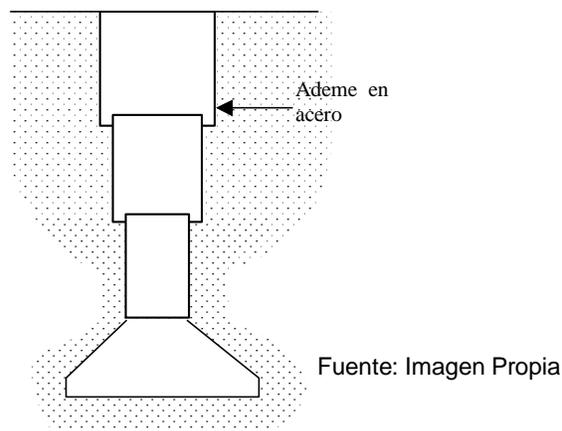
Figura 6. Campana



Fuente: Imagen Propia

**Método Gow.** En el método Gow de construcción, el agujero se excava a mano. Se usan forros metálicos telescópicos para mantener el barreno. Los forros son retirados uno a la vez conforme avanza el colado. El diámetro mínimo de una pila perforada Gow, es aproximadamente de 1.22 m. Cualquier sección del forro es aproximadamente de 50 mm menor en diámetro que la sección inmediatamente arriba de ella. Pilas de hasta 30 m se logran con este método.

Figura 7 Pila Perforada Gow



Fuente: Imagen Propia

**5.3.2. Construcción en perforaciones excavadas y en perforaciones cilíndricas.** En otro tiempo se usaron perforaciones excavadas a mano con entibado de madera y todavía pueden usarse con ventaja, especialmente en las cimentaciones. El método mejor conocido se originó en Chicago en 1892. Es particularmente adecuado para arcillas sin inclusiones de agua. En el método Chicago se hace una perforación circular de cuando menos un metro de diámetro, a mano, con una profundidad que varía de 0.5 a 2 m, lo que depende de la consistencia de la arcilla. Se estiban luego las paredes del agujero con tablas verticales, conocidas como forro. El forro se mantiene en el sitio por medio de dos anillos circulares de acero. Luego se continúa la excavación, hasta que se instalan otras tablas de forro y anillos. Luego se continúa la excavación, cuando el agujero llega al estrato en el que se van a apoyar las cimentaciones para aumentar el área de apoyo. Los anillos y tablas del forro se dejan en su lugar cuando el agujero se llena de concreto.

**5.3.3. Excavación.** Si los agujeros se mantienen abiertos y permanecen secos hasta que se ha terminado de colar en el concreto, la cimentación puede construirse rápida y económicamente. De otra manera, deben tomarse medidas para mantenerlos abiertos. En algunos casos, el terreno puede convertirse, de material potencialmente inestable, en estable desaguándolo o inyectándolo. Si por ejemplo la inestabilidad de las paredes se debe a zonas permeables sin cohesión, puede ser posible drenar todo el emplazamiento de la obra haciendo descender el nivel del agua freática a uno inferior al del fondo de las perforaciones. Luego estas pueden excavar en seco y el ademe puede ya no ser necesario. Si solamente hay unas cuentas de estas zonas y sus posiciones están bien definidas, algunas veces pueden estabilizarse con inyecciones antes de perforar, aunque la

posibilidad de que las inyecciones antes de perforar, resulten incompletas, introduce gran incertidumbre en el procedimiento.

El método más usado para perforar cuerpos de pila, que de otra manera serían inestables, consisten en el uso de lodos semejantes al de perforación, el líquido espeso impide la entrada del agua y de los materiales adyacentes.

Detalles como la presencia de cantos o boleos que interfiera con la perforación, la presencia o falta de la ligera cohesión necesaria para evitar el derrumbe de las paredes de la perforación o de la campana, o de la concentración de filtraciones pequeñas en zonas permeables ocasionales, pueden tener un efecto decisivo en las posibilidades de formar una pila de manera satisfactoria y económica.

El agua freática influye muy especialmente en la determinación de la dificultad y por lo tanto en el costo de la construcción de la pila. Las filtraciones, aún en pequeñas cantidades, pueden requerir lodos de sostenimiento o entibados, para permitir el avance de la perforación sin derrumbes.

**Recomendaciones para tener una buena excavación.** Esta depende mucho de las condiciones del subsuelo en el lugar. Cuanto mayor sea la probabilidad de que se presenten estas dificultades, menor es la justificación para usar las pilas. Por otra parte, cuando no son probables estas dificultades, las cimentaciones de pilas pueden resultar extremadamente satisfactorias y económicas. Además de la naturaleza de las condiciones del suelo, la pericia del contratista y la clase de equipo

tienen una gran influencia en el éxito del trabajo. Con buenas técnicas se hacen más rápidamente las excavaciones y menor es la probabilidad de que aparezcan defectos.

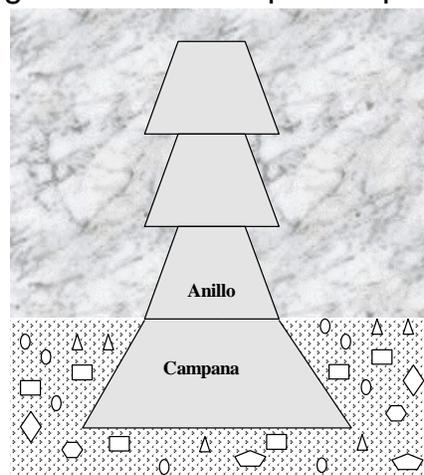
Las malas técnicas pueden producir malos resultados, aún cuando las condiciones del suelo sean relativamente buenas. En contraste con el equipo adecuado, el equipo muy ligero o de insuficiente potencia para afrontar las condiciones del suelo pueden ser la causa de una excavación más lenta, de mayores dificultades con el agua subterránea y derrumbes, mayor costo y de pilas defectuosas.

**Uso de lodos.** El lodo es un líquido espeso que impide la entrada de agua y de materiales adyacentes. Según sea las circunstancias, el lodo puede usarse solo en combinación con entibados. Un caso podría ser que se encuentre un terreno seco hasta una zona de derrumbes. Antes de penetrar en esta zona, se llena con tierra, bentonita y agua, en tales proporciones, que se forme un líquido espeso, viscoso, que se mezcla haciendo girar la barrena, subiéndola y bajándola simultáneamente. Cuando el líquido adquiere la consistencia adecuada, se atraviesa la zona sin cohesión en la forma usual, por medio de la barrena. El lodo estabiliza las paredes del agujero impidiendo la entrada de agua subterránea e imparte suficiente cohesión al suelo que se perfora para permitir extraerlo con la barrena. Al ir profundizando el agujero, se añade lodo para mantener su superficie cerca del nivel del terreno. Cuando se ha pasado el manto que se derrumba se entiba. Luego se saca el lodo del agujero y se sigue perforando en seco.

**5.3.4. Formación de campanas.** No debe intentarse formar campanas para la ampliación de la base de las pilas, a menos que el suelo sea lo

suficientemente cohesivo para permitir que el techo no se derrumbe durante el tiempo entre la excavación, la limpieza del fondo y el colado del concreto dentro de la propia campana. Por la dificultad de satisfacer esta condición, en muchos lugares es preferible prolongar la pila recta hasta encajarla suficientemente en los materiales firmes para que pueda soportar la carga por fricción lateral. Las campanas pueden excavarse a mano, pero generalmente se forman conectando un cucharón especial a la cabeza a la giratoria, en lugar de la barrena helicoidal. En comparación con el tiempo requerido para la perforación, el de la formación de la campana es bastante largo. Como la tendencia de cualquier excavación sin apoyo es licuarse o caerse con el tiempo, las condiciones para formar un agujero con campana debe ser generalmente más favorables que cuando solamente se hace la perforación. Si la campana se derrumba, la perforación deberá profundizarse a un nivel en el que pueda formar otra, o a otra profundidad mayor, suficiente como para que puedan soportar las cargas sin ampliación. Si las condiciones del suelo no permiten utilizar estas alternativas, deberá modificarse el proyecto de cimentación. En algunos casos, como alternativa, se hacen dos pilas que se unen para soportar la carga de la columna.

Figura 8. Columna para soporte de carga



Fuente: Imagen Propia

**5.3.5. Refuerzo.** Las estructuras de concreto estructural requieren del uso del acero de refuerzo o concreto reforzado. El refuerzo lo constituyen barras de diferente diámetro y corrugaciones a lo largo de su longitud. Las barras de acero son el producto de una aleación de hierro de carbono con aproximadamente 2% de carbono, silicio, manganeso, fósforo y azufre. La producción del acero se consigue en el mercado en longitudes de 6.00 ó 12.00 m. De las propiedades del refuerzo merece destacarse para fines estructurales la resistencia a los esfuerzos de tensión y la capacidad de deformarse en el rango inelástico, es decir, su ductibilidad.

El despiece, corte y doblado del refuerzo contenido en los planos constructivos, corresponde a la labor del diseñador de la estructura según las características propias de la edificación, derivadas de la condición sísmica del lugar y del grado de desempeño de la estructura. El concreto estructural requiere del acero para en conjunto suministrar la capacidad que le imponen los requerimientos de resistencia.

Para garantizar que el acero y el concreto que lo rodea posean idéntica deformación, las varillas deben desarrollar los esfuerzos de adherencia que se consiguen mediante la superficie rugosa conseguida por las corrugaciones.

**Separación de las varillas.** La distancia libre entre barras paralelas colocadas en una fila (o capa), no debe ser menor que el diámetro de la  $d_b$  de la barra, no menor de 25 mm ni menor de 1.33 veces el tamaño máximo del agregado grueso.

Cuando se coloque dos o más filas (capas) de barras, las barras superiores deben colocarse directamente encima de las inferiores, y la separación libre entre filas no debe ser menor de 25 mm. La especificación de distancia libre entre barras, debe cumplir también en la separación libre entre un empalme por traslapo y otros empalmes u otras barras.

En columnas con estribos o refuerzos con espiral, la distancia libre entre barras longitudinales debe ser mayor o igual a  $1.5 d_b$  40 mm o 1.33 veces el tamaño máximo del agregado grueso.

**Recubrimientos y soportes del refuerzo.** El concreto reforzado se fabrica al vaciar el concreto en las formaletas donde previamente se ha colocado y amarrado el refuerzo. La mezcla se compacta y densifica mediante el uso de vibradores con lo cual se garantiza la no presencia de cavernas u hormigueros. Uno de los mecanismos más importantes que se crea en este proceso es la formación de una película que envuelve al refuerzo y recibe el nombre de capa pasivadora, con lo cual se va un medio de naturaleza alcalina para impedir su oxidación.

Para proteger el refuerzo contra la eventual agresión del medio ambiente se requiere que el concreto tenga los recubrimientos apropiados de acuerdo con las condiciones de exposición. Bien se sabe que este recubrimiento resulta involucrado dentro del proceso del diseño y debe cumplirse en la obra.

El recubrimiento es variable, dependiendo de diversos factores: tipo de elemento, verticalidad, horizontalidad, climas o microclimas del lugar, condiciones de reposición, acabados, etc. Para el caso de los cimientos es

muy importante conocer el Ph del suelo ante los nuevos conocimientos que hoy se tienen sobre su efecto en las estructuras de concreto.

En ambientes corrosivos u otras condiciones severas de exposición la protección del concreto debe aumentarse convenientemente, para lo cual debe tenerse en cuenta la impermeabilización del concreto; de lo contrario debe proporcionarse otro tipo de protección.

En los elementos de concreto abuzardado cuya superficie exterior se pica o abuzarda por razones estéticas, los recubrimientos dados enseguida deben aumentarse en 1 cm en aquellas caras que se repiquen. Esto no cumple para los caisson ya que estos son subterráneos.

Dada la importancia que tienen los recubrimientos sobre la durabilidad de las estructuras, se requiere el uso de soportes que garanticen, no solo el espesor del recubrimiento sino la posición del refuerzo. Se comprende que no es buena práctica colocar como soportes piedras o pedazos de ladrillos y menos de madera. Para el refuerzo de la pila o caisson, en la obra se debe dar un sitio adecuado, libre de humedad, barro y si es posible de lluvia y separaciones de acuerdo a dimensiones y largos o mejor a un de acuerdo a las pilas, según su diámetro.

El refuerzo de la pila o caisson es un sistema de castillos circulares, con varillas paralelas con diámetros de acuerdo a la necesidad y flejes circulares o espirales con separación de acuerdo a la necesidad.

**5.3.6. Colocado del concreto.** En seco, normalmente se deja caer libremente el concreto desde la superficie del terreno. Esto puede causar

una segregación perjudicial del cemento y el agregado, si el concreto cae contra los lados de la excavación; por lo tanto, si el diámetro es pequeño usualmente se coloca un tubo vertical corto como guía en el centro de la perforación donde se introduce el concreto. Usualmente, solo se requiere vibración en los 2 ó 3 m superiores de la perforación, en los que el impacto del concreto al caer es inefectivo. El refuerzo puede introducirse dándole la forma de una armadura cilíndrica por la cual puede caer el concreto libremente.

La presencia de unos centímetros de agua en el fondo de la perforación de la campana, excepto que esté localizada en un pequeño sumidero, puede reducir apreciablemente la resistencia del concreto. Algunas veces se colocan sacos de cemento en el fondo para que absorban el exceso de agua antes de colar el concreto, más de 5 cm de agua, pueden causar la segregación del concreto. El agua sube arriba del concreto y el resto del mismo debe atravesarla. Es probable que ocurra una separación casi completa del cemento y los agregados, cuando la profundidad del agua sea de 15 cms o más. Por lo tanto, si es posible deberán taparse todas las fuentes del agua que puedan entrar.

Si no puede impedirse la entrada de agua, pero si el agua no sube más de 6 mm, puede excavarse cerca del centro un cárcamo de pequeña sección transversal, comparada con la base, y disminuirse el agua por bombeo. Con el concreto listo se saca la bomba tan rápidamente como sea posible y se introduce en la perforación una cantidad sustancial de concreto. Si las filtraciones son demasiado grandes para que se pueda colar en seco, puede permitirse que el nivel de agua suba libremente hasta que llegue al equilibrio, siempre que el agua no transporte una cantidad perjudicial de

material suelto a la perforación. Después que se han tapado las filtraciones el concreto debe colarse.

**Verificación de la dosificación del concreto.** Bien sea de dosificación volumétrica o una dosificación ponderal (pesadas), es bastante fácil verificar si la composición prescrita se ha realizado adecuadamente. Se trata sobre todo de asegurar que los diferentes componentes del hormigón se añadan en las proporciones deseadas.

**Dosificación volumétrica.** Cuando las amasadas se preparan a partir de volúmenes se utilizan frecuentemente reglas muy simples para la dosificación como la de “dos carretillas o baldes por una o a uno” que corresponde a la dosificación “800 / 400”, es decir, 800 litros de grava y 400 litros de arena por metro cúbico de hormigón. La amasada o cochada conocida en el medio se compone en este caso de dos carretillas de grava y una de arena para un saco de cemento. Es bien conocido que esta forma de operar puede dar y da en numerosos casos, resultados aceptables. Pero la relación grava / arena así obtenida es alta para una buena manejabilidad del hormigón. Además, considerando la diversidad de recipientes, la forma de llenarlos y el esponjamiento de la arena en función de la humedad, se puede deducir fácilmente que la dosificación real de cemento varía en proporciones no despreciables.

El método de verificación consiste, en este caso, en la medida exacta del volumen con ayuda de recipientes adecuados y de la misma medida, o hacer marcas de referencia en las carretillas y luego enrasar con la regla si es necesario.

**Amasado (preparación del concreto).** La eficacia del amasado es importante, depende del tipo de amasadora (concretadora) y el tiempo de amasado. El tiempo de amasado varía, en media, desde 45 segundos para las amasadoras eficaces a 2, 3 ó 4 minutos para los hormigueros tradicionales de eje inclinado.

Importa, en todos los casos, que los componentes del hormigón se mezclen íntimamente, sobre todo los granos del cemento con el agua, a fin de facilitar su hidratación y obtener una mejor manejabilidad. El control se asegura cumpliendo con el tiempo mínimo requerido para el amasado, y que en todos los casos, la mezcla se homogeneiza al máximo, se vigilará el desgaste de los diferentes elementos de la amasadora.

**Transporte.** El hormigón preparado se transporta en mayor parte de los casos en camión especial, que permite conservar una homogeneidad satisfactoria hasta el momento mismo de la puesta en obra. Pero el transporte dentro de la obra, sobre todo cuando se efectúa con máquinas sobre ruedas, puede comprometer la homogeneidad del hormigón aún con tiempo de transporte muy corto. Afortunadamente, se produce una nueva mezcla en el momento del vaciado en el caisson o pila.

### **Consejos prácticos para el vaciado del concreto de pilas de cimentación o caisson**

- Consistencia: En la mayor parte de los casos, un asentamiento en el cono de 8 a 10 cm es óptimo para el hormigón vibrado.

- Rapidez de descarga: El hormigón deberá ser vertido rápidamente a fin de evitar que el agua sea más rápida y se produzca una segregación de los materiales. Es preciso vigilar, sin embargo, que no se sobrepase una cierta altura de la capa a vibrar, según las dificultades y profundidad que se vaya vaciando, la altura de la capa deberá estar entre 30 y 80 cms.
- Enriquecimiento de la primera amasada: El hormigón de la primera tolva que desciende al fondo, pierde una buena parte de sus elementos finos en los roces con los anillos y el refuerzo; es necesario enriquecer por tanto la primera amasada en cemento y en arena (10% sobre cada uno de los dos componentes es una cantidad razonable)
- Utilización de un tubo: Para profundidades como la que se presentan en la mayoría de los caisson, el mejor resultado se obtiene con la utilización de un tubo; esto evita que el hormigón se abra en cascada al chocar con los anillos y el refuerzo. El tubo se mantiene ligeramente sumergido en el hormigón
- Tiempo de vibración: Debe ser suficiente para evitar los nidos de grava, no debe ser excesivo, ya que el concreto baja y golpea ligeramente en el fondo de la pila.

**5.3.7. Curado.** El concreto se endurece por la interacción del cemento y el agua, y mientras más prolongado sea el período en que el agua esté presente, mejor será la calidad del concreto. El curado, se refiere al proceso de mantener húmedo el concreto, proceso que es preferible efectuarlo por 28 días, durante este tiempo el concreto adquiere mayor parte de su

resistencia. Después de este período, el aumento de la resistencia es lento. Entre los métodos que hay para el curado del concreto, están los siguientes:

- Cubrirlo tan pronto como sea posible con hojas impermeables amarradas en los bordes.
- Cubrir la superficie con arena húmeda, sacos o aserrín, mantenerlos húmedos constantemente.
- Rociado continuo con agua; el rociado debe ser fino, para que no se dañe la superficie.
- Inundación; o sea, amontonar arena en la periferia y llenado con agua.
- Rociado de la superficie con una membrana selladora.

Entre las ventajas del curado se tiene:

- Eliminación de las grietas superficiales.
- Mayor resistencia final.
- Mayor resistencia a la abrasión.
- Menor probabilidad de que se forme polvo sobre la superficie del concreto.
- Un aumento en la impermeabilidad.
- Una mayor resistencia a los elementos climatológicos; mayor durabilidad.

El concreto para fundir la pila o caisson se deberá colar tan cerca como sea posible de su posición final, ya que esto ayudará a llenar la pila más rápido y no se dará ventajas al nivel del agua; no se le debe añadir demasiada agua ya que en la pila el concreto dentro de la pila adquiere un nivel de agua alto. Es imposible posterior al vaciado mantener rociando la pila de agua, pero de esto en la mayoría de los casos se encarga la humedad del

terreno. En la parte superior de la pila se deben tener los cuidados mencionados anteriormente.

**Cuidados posteriores.** Se debe mantener húmedo el concreto, como se mencionó anteriormente. El hierro limpio y libre de contaminantes o pequeños derrumbes de tierra, ya que la parte superior de la pila, es el empalme o nudo donde nace la columna.

**Remate del proceso.** El proceso constructivo de la pila o caisson termina cuando se llega al nivel estipulado en el estudio de suelos y determinado en los planos, en esta parte de la pila sobresale el refuerzo para el traslapo de la columna. Esta parte se le conoce como dado. Es de suma importancia hacer los traslapos bien y la formaleta, y en el momento del vaciado asegurarse de que el dado esté libre de cualquier objeto o sustancia contaminante como agua sucia o barro. El vibrado debe ser riguroso pero no excesivo en esta parte, alguien capacitado y responsable debe asegurarse de esto, ya que por la cantidad de refuerzo presenta dificultad.

**5.3.8. Agregados** El término agregado se refiere a las arenas, gravas, piedra triturada, etc., que se mezclan con el cemento y el agua para producir el concreto, puesto que, por lo general, cuando menos el 85 por ciento de la mayor parte de los concretos consisten de agregados, es esencial que se seleccione el material correcto.

A continuación se indican algunas de las propiedades que deberán tener los agregados para la producción del concreto para pilas o caisson.

- La limpieza es esencial ya que cualquier polvo, arcillas u otras impurezas podrían impedir la cohesión apropiada de los materiales. Las arenas y las gravas deberán mantenerse limpias y se deberá cuidar el exceso de polvo que tiene la piedra triturada. Se deberán almacenar en un lugar apropiado en la construcción y lo más cerca posible del colado de concreto para agilizar la producción de éste.
- La resistencia a la comprensión del agregado deberá ser cuando menos igual a la de la pasta de cemento que une a las partículas.
- Los agregados deberán ser duraderos y no estar sujetos a ninguna forma de contracción, hinchazón o descomposición.
- No deberán estar presentes impurezas orgánicas, su inclusión afecta el fraguado y endurecimiento del concreto.
- Debido a su contenido salino, las gravas y arenas marinas promueven la formación de eflorescencia en el material acabado, además causan la corrosión del acero de refuerzo.

## **6. MÉTODO DE CONSTRUCCIÓN MANUAL DE PILAS DE CIMENTACIÓN O CAISSON TIPO PATA DE ELEFANTE**

Es necesario abordar la forma de construir una pila de cimentación caisson, sin utilizar equipos de construcción de gran envergadura y tamaño, que resultarían demasiado costosos y difíciles de conseguir. Con herramientas manuales y formaletas muy prácticas y concreto hecho en obra, se puede construir pilas de cimentación o caisson de gran profundidad. Se muestran en este capítulo fotografías de las obras adelantadas en el Puente Autopista del Café, obra realizada en Junio de 2004, donde se utilizó esta técnica.

Con una muy buena organización en la obra, pericia del contratista y buen funcionamiento de personal, este sistema puede resultar muy práctico y con muy buenos resultados. Para el uso de este sistema se deben tener en cuenta algunas especificaciones como:

- Al personal antes de iniciar sus labores en la construcción, se le debe dar una capacitación explicando lo básico de este sistema constructivo para tales pilas o caisson. La capacitación debe estar a cargo de una persona, que cuente con los conocimientos necesarios y una buena experiencia en el tema constructivo de seguridad y en cuanto a las normas para prevenir accidentes.
- Temas como el manejo de aguas son sumamente importantes, ya que de la evacuación de aguas depende el rendimiento del personal. Esta agua que sale de las excavaciones y su intensidad depende del nivel

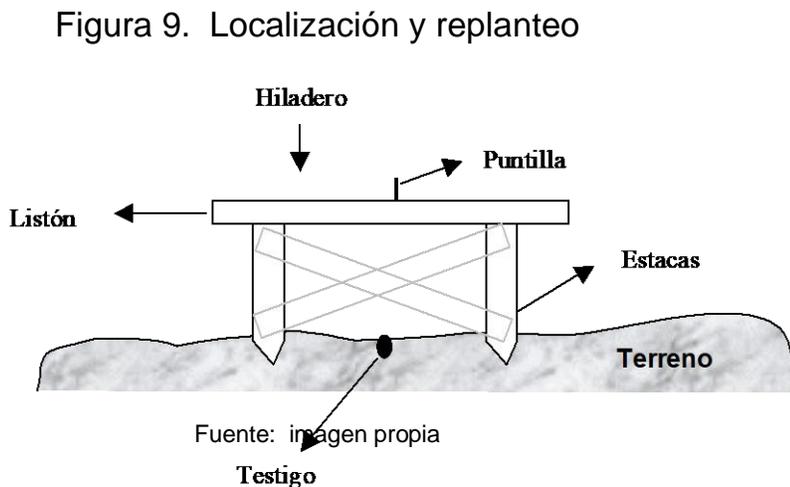
freático, se debe evacuar por medio de motobombas sumergibles y tener una persona capacitada para el manejo de las instalaciones eléctricas. En cada pila o caisson debe haber una motobomba, extrayendo el agua para que el obrero pueda excavar constantemente.

- En cada perforación se maneja un grupo de trabajo de dos personas, una excavando y otra en la parte superior.
- Se debe tener un grupo de formaleteros que de acuerdo a la dimensión de la construcción será grande o pequeño. A medida que las excavaciones van avanzando, estos van fromaleteando los respectivos anillos.
- El vaciado de los anillos debe estar a cargo de un oficial que evite la segregación de los materiales.
- A medida que las pilas o caisson vayan llegando a su nivel, se debe tener organizada una cuadrilla de herreros, entre oficiales y ayudantes para el armado de los castillos.
- Muy importante antes de iniciar las excavaciones, tener la persona que traza y marca cada pila o caisson, esta debe tener muy buenos conocimientos del tema y de interpretación de planos, debe tener un ayudante y le corresponde estar pendiente constantemente de hilos y niveles en toda la construcción de las pilas o caisson.
- La perforación de las pilas o caisson en la obra, se pueden desarrollar simultáneamente o por tramos de acuerdo al tamaño de la obra o como

se haya acordado inicialmente en el contrato y de acuerdo a lo que las circunstancias lo permitan, tales como: herramientas, materiales, personal.

## 6.1. LOCALIZACIÓN Y REPLANTEO

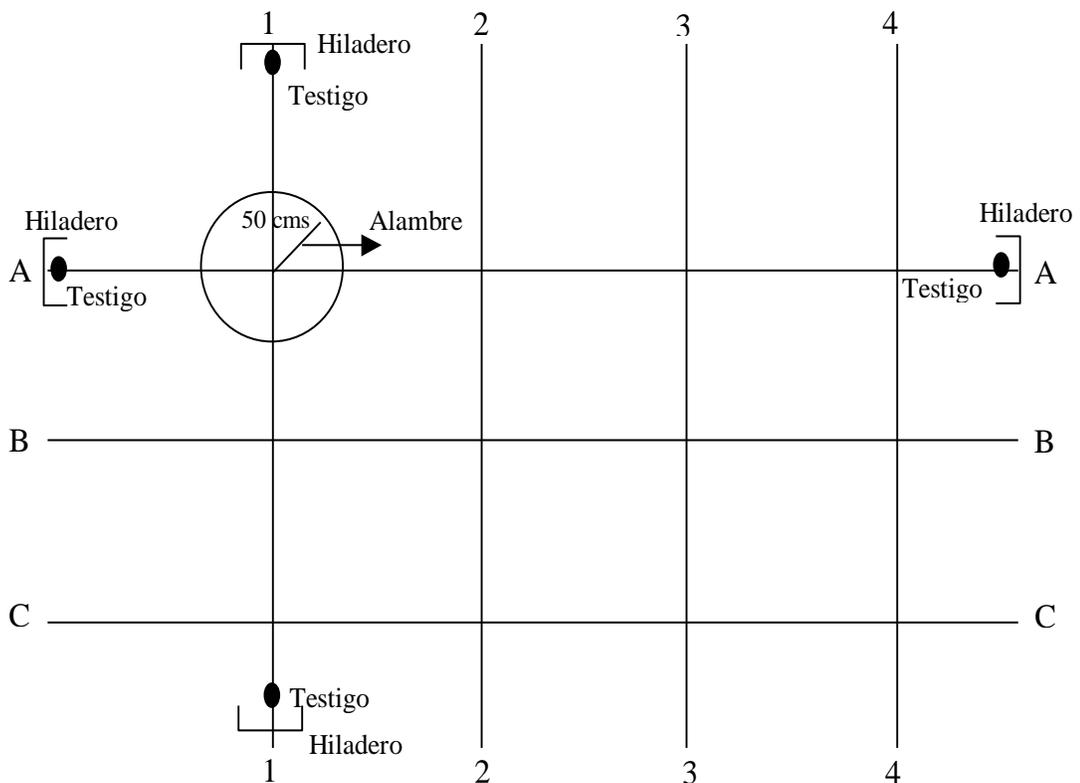
La localización de cada pila o caisson se debe hacer en base a los planos. Después del descapote, y que el topógrafo haya localizado los ejes del terreno según los planos, se deben hacer hiladeros, éstos puede ser en guadua o madera, preferiblemente en listón, por medio de estacas clavadas en el terreno.



El hiladero se hace sobre el testigo que deja el topógrafo, el cual se debe localizar sobre el listón que se clava sobre las estacas, este punto se sube con una plomada de punto y se marca sobre el listón y allí se clava la puntilla para asegurar los hilos, el listón debe quedar a nivel, para eso se utiliza un nivel de mano.

Este procedimiento se debe hacer en todos los testigos que deja el topógrafo. En este momento en la obra se deben tener todos los hiladeros. Se localiza una pila o caisson de 1 metro de diámetro, se va a los planos y se localiza según estos, el caisson o pila 1 – A o se busca ubicación en los hiladeros correspondientes al 1 y el A, se aseguran hilos, estos deben ser de terlenca, en las puntillas que están clavadas en los hiladeros 1 y A se ubican en el cruce de los hilos con una plomada de punto, se baja el punto al terreno, se clava una estaca, se repite el procedimiento para ubicar el punto exacto en la estaca; allí se clava una puntilla, en la que se amarra un alambre, en este caso la pila o caisson es de 1 metro, entonces el alambre debe tener 50 cms de largo para radiar en el terreno el diámetro de la pila o caisson.

Figura 10. hiladeros



Fuente: imagen propia

## 6.2. MORTERO DE PROTECCIÓN

Al tener localizado el caisson o pila se prosigue a vaciar el mortero de seguridad, para prevenir accidentes durante la excavación y tener mayor comodidad para los trabajadores.

Este mortero es de 2500 psi y se funde alrededor del trazo de la boca de la pila o caisson, solo dejando este espacio sin concreto para iniciar la excavación. Esta parte se debe mantener libre de objetos que puedan caer en la excavación y procurar mantener el mortero lo más limpio posible de pantano para evitar resbalones.

Foto 1 Oficial y ayudante formaletando, para fundir el mortero



Además de la formaleta para el mortero, antes de vaciar el solao se debe clavar unas guaduas en el terreno, una a cada lado del caisson o pila, bien plomadas, para la garrucha, la cual facilita el trabajo.

Esta garrucha cuenta con un carretel de madera, el cual lleva un buje en el medio por el cual pasa una varilla de 1", que también atraviesa las guaduas, la garrucha además de aligerar la retirada del material, brinda seguridad ya que el trabajador tiene mayor agarre y seguridad del balde. Este balde va amarrado al lazo que se va envolviendo y desenvolviendo a medida que sube y baja el balde.

Foto No. 2. Todo listo para fundir el mortero incluso la garrucha



En la fotografía se observa la garrucha; ésta consta del carretel con listones clavados como agarraderas para el trabajador y el carretel con la manila con la cual se amarra el balde para retirar el material sobrante. Este balde por lo regular es de un cuñete de pintura, se le modifica la manilla por una de hierro por lo regular de 3/8 o de 1/4 que van asegurados al balde para mayor resistencia.

Foto No. 3 Garrucha que se utiliza para extraer el material



Al vaciar el mortero se debe tener mucho cuidado en dejar bien demarcado la boca de la pila o caisson, también que las guadas de la garrucha no se muevan.

Foto No. 4 Oficial y ayudantes vaciando el mortero



### **6.3. FORMAleta PARA LOS ANILLOS**

La formaleta para los anillos circulares consta de cuatro partes, las cuales se unen dentro de al excavación, por medio de tornillos o amarradas con alambre. Se les debe untar separol con grasa para impedir que el concreto quede adherido a esta en el momento de desformaletear. Estas formaletas vienen en diferentes tamaños, tanto en diámetro como en altura.

Foto No. 5 formaletas para los anillos en concreto



Algunas tapas que se utilizan para vaciar estos anillos cuando se encuentran a gran profundidad.

#### **6.4. REFUERZO DE LOS ANILLOS.**

El hierro de los anillos va circular, con flejes e igual separación para el hierro vertical. Este castillo se debe armar afuera para mayor facilidad e introducirse luego en la excavación.

Foto No. 6 Castillo para un anillo, armado y listo para introducirlo en la excavación



Foto No. 7. Castillo para anillo



En esta fotografía se muestra que se ha excavado el primer tramo y el castillo se introdujo en la excavación para determinar cuales son sus medidas ya que es más ligero formaletear antes y después de ubicada la formaleta introducir el castillo. Se puede observar que el castillo de la fotografía anterior llevaba más refuerzo esto se debe que este irá a más profundidad donde soportará más presión.

### **6.5. PERFORACIÓN DEL AGUJERO**

Al tener el mortero de seguridad ya fraguado se prosigue con la excavación del agujero, en este primer metro el trabajador va retirando el material sin dificultades y lo puede hacer directamente a un bugui para ser retirado. En este primer metro no se presentan problemas de humedad y se avanza con mucha rapidez. Se debe excavar un metro exacto ya que esta es la altura de al formaleta.

Foto No. 8. Excavado del primer metro de la pila o caisson



Foto No. 9 Formaleta lista para vaciar el anillo



La formaleta se arma dentro del agujero, esta debe ser ubicada y centrada de acuerdo a los ejes. Después de centrarla en el agujero se debe apuntalar con estacas clavadas en el terreno, esto en su parte inferior y en la parte superior con trabillas como se observa en la fotografía.

Al tener la formaleta lista se prosigue al vaciado del anillo este se hace con un concreto resistente, el concreto debe irse vaciando suave y parejo alrededor de la formaleta, para que la presión del concreto y la caída de este no descuadren la formaleta y pierda su forma circular. A medida que se va avanzando en el vaciado del concreto se debe ir chuzando el concreto

con una varilla de  $\frac{1}{2}$  para reemplazar el vibrador ya que este no se utiliza porque es demasiado fuerte para la formaleta.

Foto No. 10 Trabajador desformaletando anillo para continuar excavación



Al día siguiente se debe desformaletar el anillo con mucho cuidado de no dañar las formaletas, estas se van sacando una por una y se retiran para limpiarlas y untarles el separol o grasa con ACPM. Según lo estén haciendo en la obra. Ya se tiene un metro de caisson o anillo y se inicia nuevamente la excavación de otro metro igual que el anterior, de aquí en adelante el proceso constructivo es repetitivo, solo que se dificulta por la profundidad y el nivel freático.

Foto No. 11. Anillo después de vaciado



Cuando se va profundizando en la excavación solo puede trabajar uno solo y debe ubicar el castillo del anillo, la formaleta y todo lo que necesite con mucha dificultad por lo estrecho.

Se debe evitar tener herramientas y materiales alrededor del caisson o pila como lo están haciendo los trabajadores en la fotografía, porque esto puede ocasionar accidentes.

Foto No. 12 Oficial ubicando el castillo para el anillo



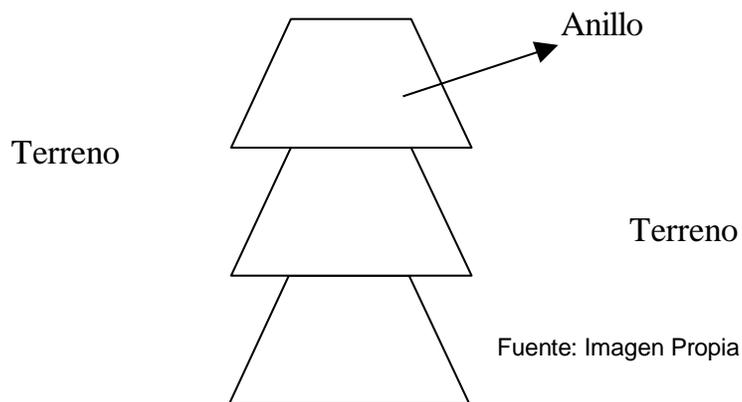
Foto No. 13. Segundo tramo de anillo



Se observa el segundo anillo vaciado y es vaciado igual al perímetro solo que hay que tener cuidado con el segregado del concreto. Es importante resaltar que la formaleta utilizada en este caso es de mayor diámetro en su parte superior que en la inferior, por esto a medida que se va profundizando, entre cada anillo va quedando una pestaña, esto se conoce en el medio como pata de elefante y evita asentamientos de los anillos ya que no van apoyados uno del otro, sino en el terreno.

A medida que se avanza en la excavación se van formando troncos piramidales o patas de elefante como se conocen comúnmente.

Figura 11. Troncos piramidales

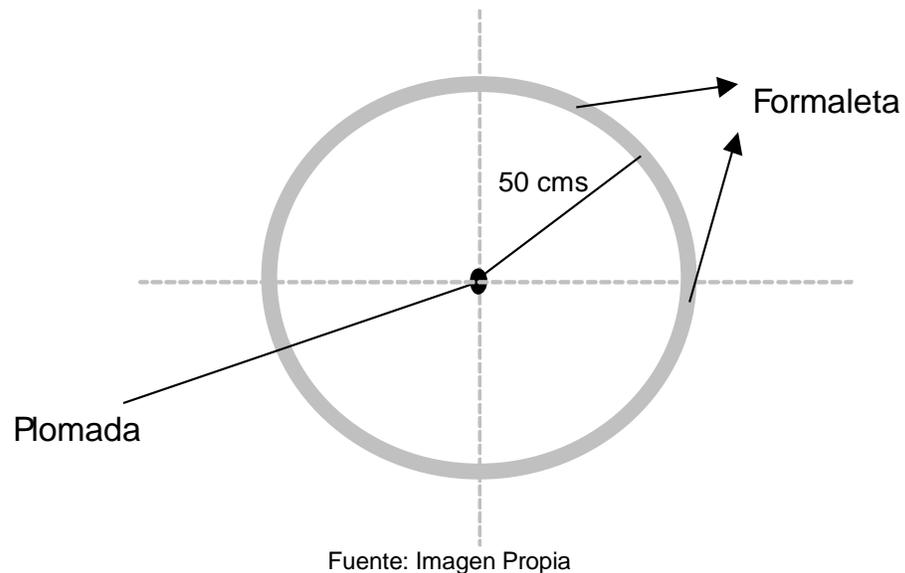


En la figura se muestra la forma que van tomando los anillos a lo largo de la excavación, en la parte superior el anillo tiene noventa centímetros y la parte inferior un metro, esto para el ejemplo que se toma al principio, ya que las formaletas vienen de diferentes medidas de acuerdo a la necesidad de la cimentación.

El proceso constructivo de la pila o caisson también depende para un buen desarrollo técnico en ir profundizando completamente con un plomo perfecto

ya que cualquier desviación presentaría problemas. Esto se logra con templar los hilos cada metro cuando se vaya a formaletear y como al inicio de la excavación y se prosigue a chequear cada punto de la formaleta.

Figura 12. Vista en planta



En la figura anterior se tiene una vista en planta; lo sombreado es la formaleta, el punto en el centro es la plomada, de este punto con un metro se chequea a cada punto de la formaleta 50 cms; de esta forma queda perfectamente centrada la formaleta y por supuesto el anillo en concreto.

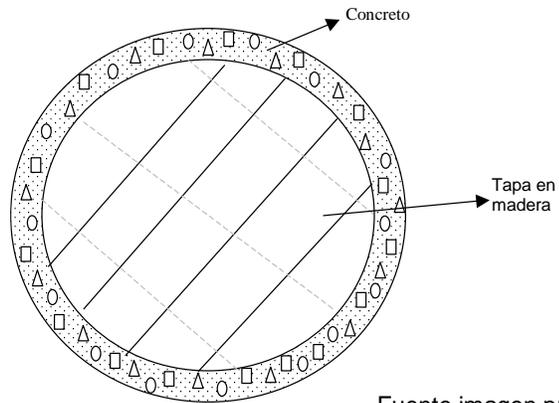
En la fotografía siguiente se observan los hilos de los ejes y como se cruzan, este cruce es el punto que se baja con la plomada de punto a toda la excavación.

Foto No. 14 Hilos y ejes



La fundida de los anillos se dificulta mucho cuando se alcanzan profundidades considerables se debe ingeniar una forma para llevar el concreto a esta profundidad sin que haya segregación de los materiales, en este caso se utilizó un tubo de 6" de PVC, por este se baja el concreto suavemente hasta una tapa circular de madera donde se descarga el concreto y un trabajador lo distribuye entre la formaleta y las paredes. La tapa en madera tiene el mismo diámetro de la formaleta y va apoyada sobre esta.

Figura 13 Vista superior .



Fuente imagen propia

A medida que se profundiza, el rendimiento merma demasiado por la subida de material sobrante, el vaciado de los anillos, la subida y bajada de las formaletas, etc.

Foto No. 15 Tubo de la motobomba



Una de las dificultades más grandes que se presenta es el nivel freático, ya que a mayor profundidad, va brotando más agua, de manera que se debe utilizar una moto – bomba sumergible, el trabajador debe tener esta moto – bomba constantemente y a medida que el agujero se vaya llenando de agua debe avisarle a su compañero que la prenda o la apague cuando evacue el agua. De manera que aparte de las herramientas, el trabajador debe tener este equipo constantemente, esto aumenta más la incomodidad.

Foto No. 16 Motobomba



En algunos casos la profundidad requiere que los trabajadores requieran de un sistema para llevar aire a la profundidad.

Foto No. 17. Ducto del aire



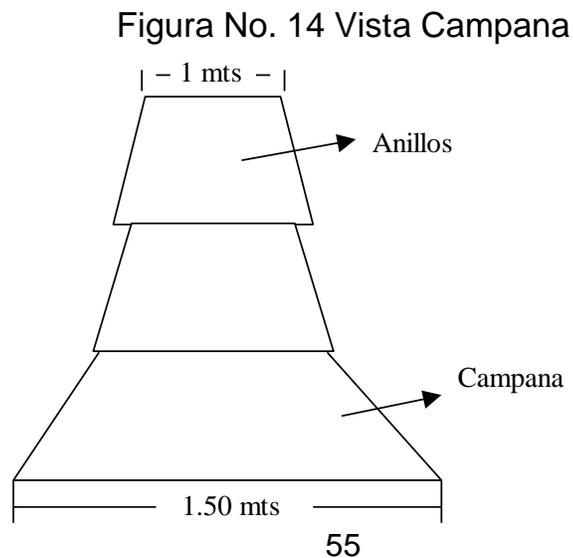
Sistema para suministrar aire en el interior del caisson, debido a la profundidad el aire del caisson es escaso para evitar desmayos de los obreros después de los 10 metros se debe poner un compresor a inyectar aire dentro del caisson.

Cuando se encuentra terreno firme o según la profundidad que haya determinado el estudio de suelos se da por terminada la excavación de anillos.

Foto No. 18 Excavación terminada



Para terminar la excavación se debe hacer la campana; esta inicia con el mismo diámetro del anillo y va hacia abajo con mayor diámetro en este caso la campana tenía 1.5 mts.



## 6.6. REFUERZO DEL CAISSON O PILA

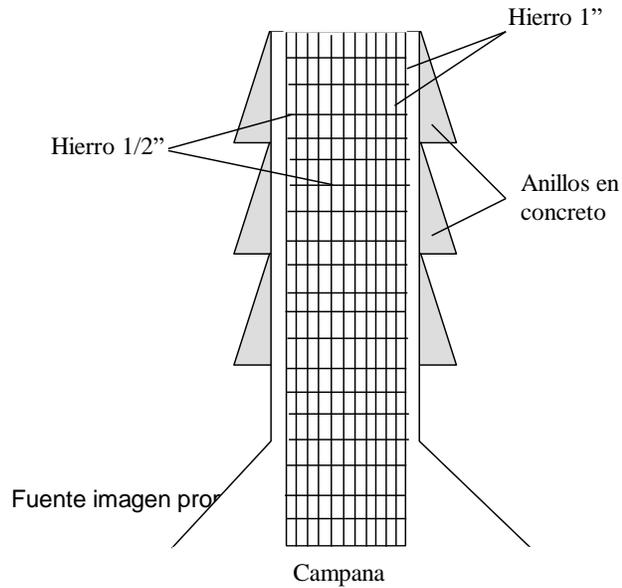
Al concluir completamente la excavación se debe iniciar la siguiente etapa constructiva, ésta es la del refuerzo. En este caso, los castillos circulares, llevan hierro de 1" vertical cada 8 cms y flejes de ½" cada 10 cms.

Foto No. 19 Caisson listo para ser fundido



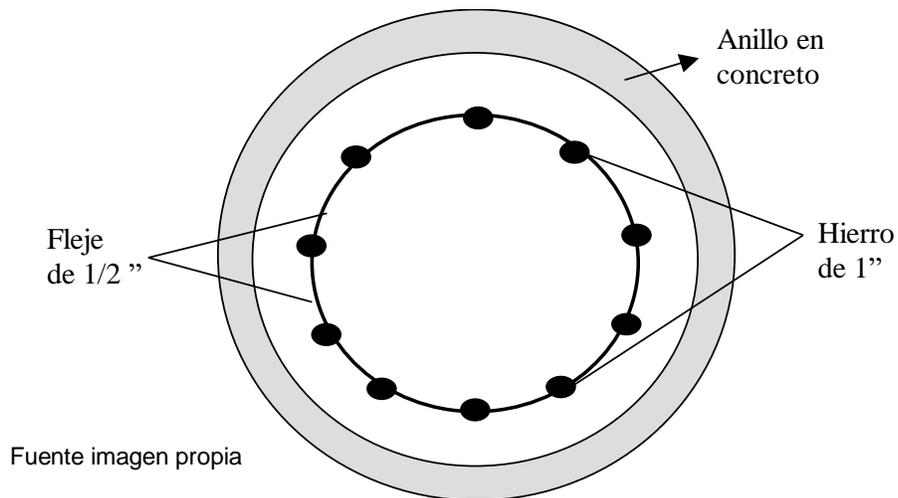
Se debe tener en la obra un grupo de herreros dedicados exclusivamente al armado de castillos. Esta puede ser una cuadrilla de 3 oficiales y 5 ayudantes, dependiendo el tamaño de la obra y el rendimiento de las excavaciones, ya que si las excavaciones van terminando constantemente se debe implementar la cuadrilla al doble para incrementar el rendimiento.

Figura No. 15 Castillo



Por el tamaño y el peso del castillo, es prácticamente imposible armarlo afuera y luego introducirlo al agujero, de manera que se debe armar dentro del agujero, en el ejemplo que se ha estado manejando de 1 metro de diámetro, el refuerzo consta de 16 varillas de pulgada.

Figura No. 16 Amarres



Para armar este castillo se deben introducir 8 varillas, y amarrarles flejes guías para sostenerlos, luego se introducen todos flejes y se van amarrando a las varillas.

Este procedimiento permite tener la mitad del castillo armado, los oficiales deben estar dentro del caisson o pila y los ayudantes deben estar afuera bajando y sosteniendo las varillas por medio de manilas.

Al tener la mitad del castillo armado, los ayudantes empiezan a bajar una por una las varillas restantes (8) y los oficiales las van amarrando, de esta manera se va armando todo el castillo.

Foto No. 20. Oficiales de herrería armando las últimas varillas del castillo



Es muy importante chequear a los oficiales las distancias de las varillas. Si es posible estar haciéndolo constantemente durante el armado del castillo para evitar desbaratar o corregir al final ya que esto produciría pérdida de tiempo y retraso en las actividades de al obra.

Foto No. 21 Ingeniero chequeando las distancias del hierro



## 6.7. FUNDICIÓN DE LA PILA CAISSON

Para fundir la pila o caisson se requiere de una gran cantidad de personal, esto si se va a fundir el caisson con concreto hecho en obra, con máquinas concretadoras, se deben utilizar varias ya que el vaciado debe ser rápido,

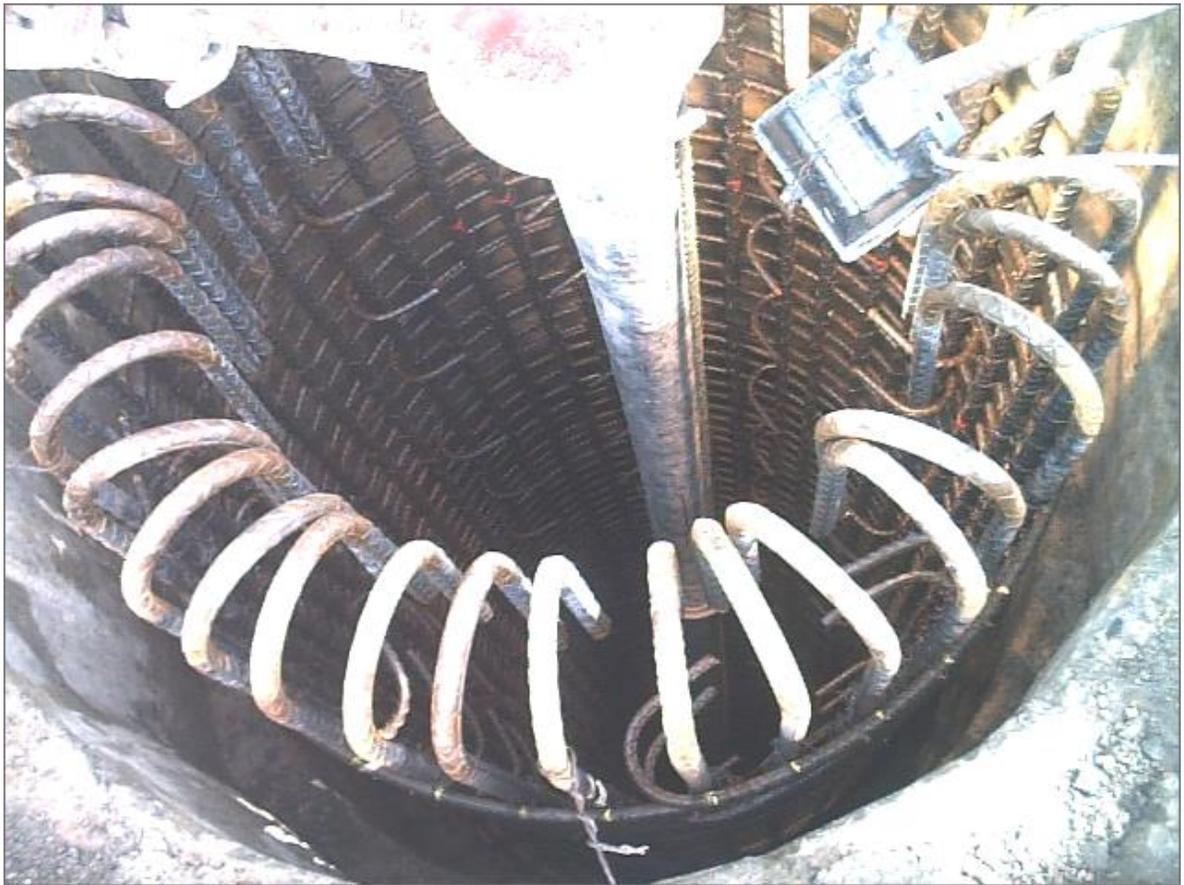
para llevar la pila o caisson lo más rápido posible debido al nivel de agua. Si el concreto no es más rápido, la pila o caisson se llena de agua.

Foto No. 22 Bomba de premezclados fundiendo una pila



Por el contrario la fundición de la pila o caisson se puede hacer con premezclado, se debe tener cuidado y fundir por tramos de 50 cms preferiblemente y parar para poder vibrar y evitar que queden espacios de aire.

Foto No. 23 Tubería de premezclados, dentro de la pila o caisson lista para empezar a fundir la pila o caisson



Se deben tener bien definidos los niveles de la cimentación para no fundir más alto o más bajo la pila o caisson, ya que si falta concreto habría que utilizar un material como Sika para poder llegar al nivel después que el concreto haya fraguado o por el contrario haya que demoler estos dos casos traerían más gastos para la ejecución de la obra.

Foto No. 24. Oficial chequeando el nivel donde debe llegar el concreto del caisson



Foto No. 25 Oficial vibrando el concreto, ya llegando al nivel indicado



## **7. EJEMPLOS Y FOTOGRAFÍAS DE CIMENTACIONES CON PILAS O CAISSON**

A continuación se mostrarán algunos ejemplos de obras en las cuales sus cimentaciones han sido pilas o caisson. Se observan los diferentes sistemas de los contratistas. Estas obras son el Centro Comercial Alcides Arévalo de la ciudad de Pereira, construido en 1984 y Edificio Alquitrabe, ubicado en el barrio Pinares de la ciudad de Pereira, construido en 1995. Así mismo fotografías de la construcción del Concesionario Renault ubicado en la calle 14 con Calle 14 de la ciudad de Pereira, construido en el año 2005

### **7.3. EDIFICIO ALCIDES ARÉVALO**

La obra se encuentra en el centro de Pereira, su nivel freático no era muy alto y la construcción de las pilas o caisson no presentaron mayores dificultades.

Foto No. 26. Planta cimentación



En esta toma se ve como está empezando varias excavaciones tanto de vigas como de caisson, la tierra la están extrayendo por medio de una pluma, esto agiliza el trabajo.

Foto No. 27. Primeros Caisson perforados



Se puede observar como se inicia la excavación de los caisson, un trabajador a pala inicia la excavación, se puede ver la forma circular de esta, se ve al lado otra excavación ya terminada con el castillo.

Se puede ver la excavación de la viga de cimentación que unirá la parte superior de los caisson y la base de las columnas.

Los conos metálicos que se observan es la formaleta para vaciar los anillos de los caisson que son muy diferentes a los mencionados anteriormente, estos solo cuenta con dos partes que se unen dentro de la excavación para vaciar los anillos.

Foto No. 28. Andamios para sostener castillos de columnas



En la fotografía se observa desde una vista superior, una cimentación caisson. A la izquierda se observa un caisson que se encuentra listo para ser fundido ya se le ha introducido el castillo y en el momento se encuentran llenos de agua, esta se tiene que sacar para poder empezar a vaciar el

concreto. En la parte derecha y el centro ya se están empezando a armar los castillos de las columnas y hay una ya vaciada, también se observa el sistema de andamios metálicos para evitar que el hierro se doble y provoque un accidente.

La fotografía muestra claramente los siguientes métodos.

- ❖ Como se ve el caisson antes de ser vaciado y la excavación
- ❖ El dado el cual es el nudo donde se encuentra el hierro del caisson, el de la columna y la viga de cimentación.

Todo esto se observa en la parte superior y centro de la fotografía.

Foto No. 29. Caisson con sus anillos terminados



Aquí se observan varios procesos ya terminados tales como la excavación, el vaciado de los anillos que son las paredes también se ha llegado a la profundidad deseada, el siguiente paso es introducir el castillo y asegurarlo.

Después de esto se saca el agua y se vacía el concreto para fundirlo.

Foto No. 30. Castillo para Caisson



Como armar un castillo de caisson para luego introducirlo en la excavación este sistema no se ha mencionado anteriormente, ya que va soldado.

Con este sistema no se trabaja con espiral sino con flejes circulares y van con la misma separación del espiral y el mismo diámetro de hierro, como se puede observar en la foto los aros van soldados, este proceso es más

demorado y requiere mano de obra calificada y herramienta especial y entre más profundo sea el caisson más largo será el castillo; el largo dificulta más la entrada de este a la excavación.

Foto No. 31. Nudo de cimentación.



En este dado se ve que le hacen falta flejes a la viga y a la columna y continuar la viga que debe pasar el dado, pues esta amarra toda la cimentación.

Después de amarrar todo el hierro se debe formaletear el dado con las medidas dadas en los planos, ya que en este caso sea sobre excavado. Después de tener todo listo para la fundida se debe limpiar el hierro y sacar el agua y pantano que se observa en la foto.

Foto No. 32. Castillo para columna



Se puede ver el dado con mucha claridad, en este proceso ya se ha vaciado el caisson completamente. Se observa hasta donde llega el hierro del caisson y el nudo que se forma con el hierro de la columna, también debe entrar el hierro de la viga de cimentación.

Se observa detenidamente que las tres armazones de hierro llevan sus respectivas varillas y flejes.

En el castillo de la columna se ve el fleje de altura que está en la parte superior del castillo esto para evitar que las varillas se esparzan en diferente sentidos y también como utilizaron los andamios para que el castillo no se vaya hacia los lados.

#### 7.4. OBRA CONCESIONARIO RENAULT CALLE 17 CON CARRERA 14

Foto No. 33 Planta de cimentación



En esta toma desde una parte alta se puede observar como trabajan las perforaciones de los caisson simultáneamente, al igual que las brechas que utilizaron para evacuar el agua que sacan de los caisson

Foto No. 34. Anillo en concreto



En la fotografía se observa un caisson con dos anillos vaciados, el nivel freático ya es más alto.

Foto No. 35 Oficial saliendo de Caisson



Foto No. 36. Formaleta en madera para anillo de Caisson



Un oficial y un ayudante, cuadrando la formaleta para fundir un anillo del caisson; esta formaleta es en madera y se deforma mucho en la desencofrada, por esta razón hay que organizarla después de cada vaciada de un anillo, esto demora más el trabajo.

Foto No. 37 Caisson perforado sin anillos



En esta parte de la cimentación, el terreno se sostuvo sin problemas de derrumbamientos, por esta razón no hay necesidad de hacer los anillos en concreto.

Foto No. 38 Caisson perforado con anillos en concreto



Con una profundidad aproximadamente de 3 mts, ya se observa el nivel freático, se debe sacar el agua para poder continuar la excavación.

Foto No. 39. Castillo para Caisson



La profundidad de estos caisson no sobrepasan los 6 mts y la estructura solo tiene 2 niveles, por esta razón el castillo del caisson lleva poco hierro y pueden armar el castillo a fuera e introducirlo al caisson por medio de manilas.

Foto No. 40 Sacando el agua para iniciar la excavación.



Foto No. 41 Retirando material sobrante



El nivel freático no es muy alto y permite a los obreros sacar el agua por medio de baldes o galones adecuados mientras continúan con la excavación.

Foto No. 42 Andamio para retiro de material



En esta obra no utilizaron la garrucha para retirar el material sobrante de la excavación.

En lugar de la garrucha utilizan una polea, esto demora mucho más y desgasta más al trabajador y el riesgo de sufrir un accidente se incrementa mucho más.

Foto No. 43 caisson terminado listo para hacer el enlace, con la viga de cimentación y el dado donde empiezála columna.



### **7.3. EDIFICIO ALQUITRABE**

La obra está ubicada en el Barrio Pinares de la ciudad de Pereira, Edificio Alquitrabe. Las pilas o caisson se construyeron con el sistema pata de elefante totalmente manual. Sus pilas o caisson se construyeron por tramos, eran 32 en total y con profundidad de 14 mts, se presentaron algunas dificultades en su construcción y movimiento de tierra. Además cuando se realizaba el movimiento de tierra se presentó un sismo, esto llevó al rediseño de los cálculos estructurales. El nivel freático era bastante alto, esto llevó a construir muchos filtros y hubo mucho manejo de agua

Esta tierra estaba sosteniendo otra parte del terreno. Había que construir un muro de contención y esto retrasaría la construcción de la edificación, ya

que para retirar la tierra del derrumbe, había que construir primero el muro y así poder retirar el material e iniciar la excavación de las pilas o caisson. De manera que se trazó el edificio sobre la tierra que se derrumbó.

La excavación de los caisson o pilas se iniciaron y se profundizaron hasta el nivel requerido, mientras se trabajó paralelamente el muro y así la obra se retrasó menos de lo que se esperaba, ya que cuando el muro se terminó los caisson o pilas ya iban muy avanzados en su programa de actividades. En este caso fue muy útil la cimentación sobre pilas o caisson ya que otro sistema de cimentación no hubiera permitido trabajar paralelamente con el muro.

El terreno sobre el que se construiría el edificio era muy inestable y con un nivel freático muy alto, el estudio de suelos determinó pilas de cimentación de 14 mts de profundidad con diámetros de 1.20 – 2.00 mts. Al lado del lote, se encontraba una vía de acceso. Se desarrolló el movimiento de tierra, cuando se encontraba el terreno listo para iniciarla excavación de las pilas de cimentación o caisson se derrumbó la vía sobre el lote, aunque los ingenieros tuvieron la precaución de dejar en talud para evitar el derrumbe, el nivel freático hizo que la tierra se deslizara.

Foto No. 44. Desformaletéo de anillo



Foto No. 45. Vaciado de anillo



## 8. DISEÑO Y CAPACIDADES DE CARGA

En el siguiente capítulo se hace referencia al diseño y capacidades de carga de pilas de cimentación o caisson. Tomado del libro Pilas de Cimentación y Cajones.

### 2.2. CONSIDERACIONES DE DISEÑO.

Para el diseño de las pilas perforadas ordinarias sin adomado, es deseable siempre una cantidad mínima de refuerzo vertical de acero. El refuerzo mínimo es 1% del área total de sección transversal de la pila.

Para pilas perforadas con refuerzo nominal, la mayoría de los reglamentos de construcción sugieren usar una resistencia de diseño para el concreto  $f_c$  del orden  $f'c / 4$

$$f_c = 0.25 f'c = \frac{Q_w}{A_g} = \frac{Q_w}{\frac{\pi}{4} D^2}$$

o

$$D_s = \sqrt{\frac{Q_w}{\left(\frac{\pi}{4}\right) (0.25) f_c}} = 2.257 \sqrt{\frac{Q_w}{f_c}}$$

Donde:

$D_s$  = Diámetro de la pila

$f'_c$  = Resistencia a los 28 días del concreto

$Q_w$  = carga de trabajo de la pila perforada

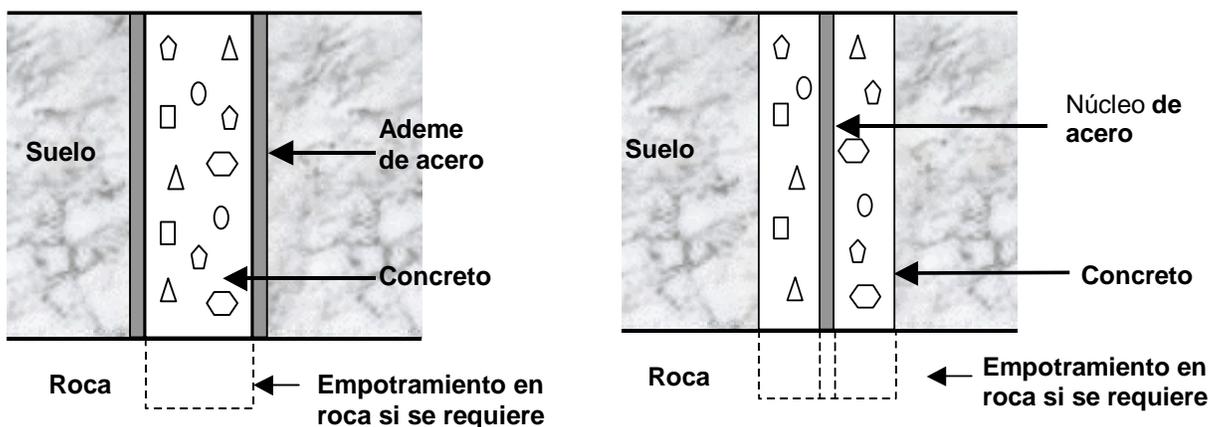
$A_{gs}$  = Área total de la sección transversal de la pila.

Dependiendo de las condiciones de carga, el porcentaje de refuerzo es a veces muy alto. En ese caso, se considera el uso de una sola sección laminada de acero en el centro de la pila. En ese caso:

$$Q_w = (A_{gs} - A_s) f'_c + A_s f_s$$

Cuando se usa un ademado permanente de acero para la construcción en vez de una sección lámina central de acero, se usa la ecuación anterior. Sin embargo,  $f_s$  para el acero debe ser del orden de 0.4  $f_s$ . Si las pilas perforadas va a ser sometidas a cargas de tensión, el refuerzo debe estar presente sobre toda la longitud de la pila

Figura 17. Empotramiento



### 2.3. ESTIMACIÓN PARA LA CAPACIDAD DE CARGA

La ecuación para la carga última en la base es similar a la de cimentaciones superficiales.

$$Q_p = A_p (c N^*_c + q' N^*_q + 0.3 \gamma D_b N^*_y)$$

Donde:

$N^*_c, N^*_q, N^*_y$  = Factores de capacidad de carga

$q'$  = Esfuerzo vertical efectivo al nivel del fondo de la pila

$D_b$  = Diámetro de la base

$A_p$  = Área de la base =  $\pi / 4 D_b^2$

En la mayoría de los casos, el último término (que contiene a  $N^*_y$ ) es despreciado, excepto para pilas perforadas relativamente cortas, por lo que:

$$Q_p = A_p (c N^*_c + q' N^*_q)$$

La capacidad de carga neta en la base (es decir, la carga total menos el peso de la pila) es aproximada a:

$$Q_p (\text{neta}) = A_p (c N^*_c + q' N^*_q - q') = A_p [c N^*_c + q' (N^*_q - 1)]$$

La expresión para la resistencia por fricción o superficial  $Q_s$  es similar a la de los pilotes hincados.

$$Q_s = \int_0^{L_1} P_f dz$$

La capacidad última de carga de una pila perforada o caisson es:

$$Q_u = Q_p + Q_s$$

Donde:

$Q_u$  = Carga última

$Q_p$  = Capacidad última de carga en la base

$Q_s$  = Resistencia por fricción (superficial)

Figura 18. Capacidad de Carga

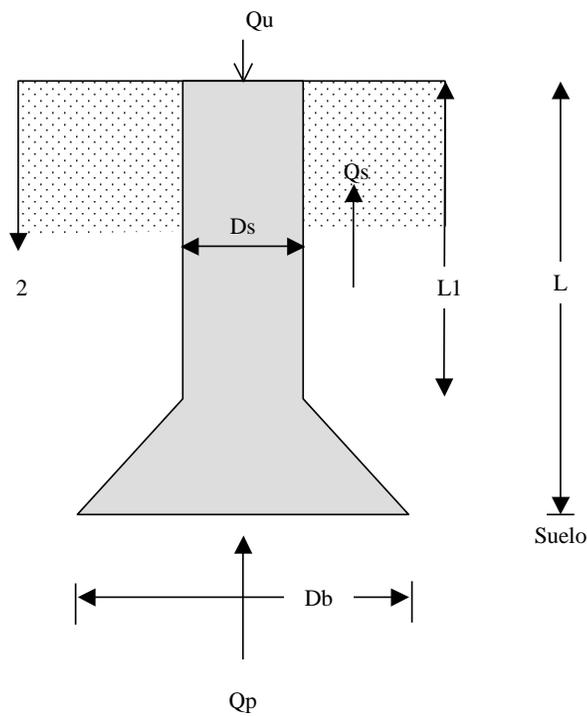
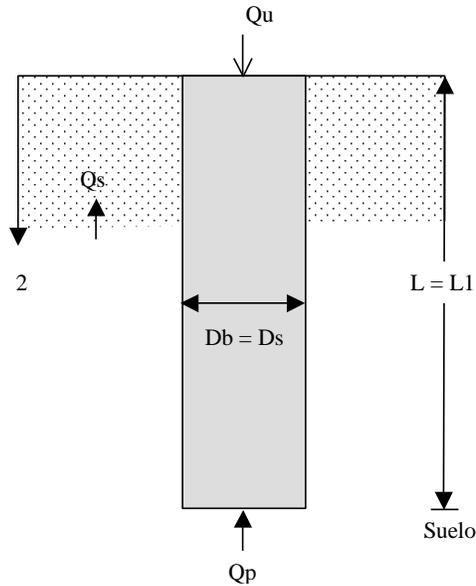


Figura No. 19 Capacidad última de carga de pila perforada o caisson con campana.



Capacidad última de carga de pilas perforada o caisson, sin campana .

#### 2.4. CAPACIDAD DE CARGA BASADO EN EL ASENTAMIENTO

Con base en el desempeño de pilotes hincados en arena con diámetro promedio de (2.5 pies) 750 mm, Touma y Reese (1974) sugirieron el siguiente procedimiento para calcular la capacidad admisible de carga también aplicable a pilotes perforados en arena.

Para  $L > 10 D_b$  y un movimiento en la base de 1 pulg, la carga neta admisible de punta es.

$$Q_p \text{ adm (neta)} = \frac{0.508 A_p}{D_b} = q_p$$

Donde  $Q_p - \text{adm (neta)}$  está en  $\text{KN}_1$ ,  $A_p$  está en  $\text{m}^2$ ,  $D_b$  está en  $\text{m}$  y  $q_p$  es la resistencia unitaria de punta en  $\text{KN} / \text{m}^2$

En unidades inglesas

$$Q_p \text{ adm (neta)} = \frac{A_p}{0.6 D_b} = q_p$$

Donde  $Q_{p \text{ adm (neta)}}$  está en  $\text{lb}$ ,  $A_p$  está en  $\text{pie}^2$ ,  $D_b$  está en  $\text{pie}$  y  $q_p$  en  $\text{lb}/\text{pie}^2$  los valores de  $q_p$  recomendados por Touma y Reese son:

Tipo de arena	$q_p$ (KN / m <sup>2</sup> )	$q_p$ (lb / pie <sup>2</sup> )
Suelta	0	0
Media	1530	3200
Muy densa	3830	80000

Para arenas de compacidades intermedias se usa interpolación lineal. La resistencia por fricción en el fuste se calcula con la expresión.

$$Q_s = \int_0^{L1} (0,7) p \sigma'_u \tan \phi \, d2 = 0,7 (\pi D_s) \int_0^{L1} \sigma_u \tan \phi \, d2$$

Donde:

$\phi$  = Angulo de fricción de suelo

$\sigma'_u$  = Esfuerzo vertical efectivo a una profundidad  $z$

Para la definición de  $L_1$ , entonces:

$$Q_{adm} \text{ (neta)} = Q_p \text{ adm (neta)} + \frac{Q_s}{F_s} \text{ (para el movimiento de la base de 1 pulg)}$$

Donde  $F_s$  = Factor de seguridad ( $\approx 2$ )

Con base en los resultados de 41 pruebas de carga, Reese y O'Neill (1989) también propusieron un método para calcular la capacidad de carga de pilas perforadas basado en el asentamiento. El método es aplicable a los siguientes rangos.

- Diámetro de la pila :  $D_s = 1,7$  pies a  $3,93$  pies (0.52 m a 1.2 m)
- Profundidad de la campana:  $L = 15, 4$  pies a  $100$  pies (4.7 m a 30.5 m)
- Resistencia por penetración estándar de campo:  $N_f = 5$  a  $60$
- Revenimiento del concreto: 4 pulg a 9 pulg (100 mm a 225 mm)

El procedimiento de Reese y O'Neil, con referencia a la figura, da :

$$Q_u (\text{neta}) = \sum_{i=1}^N f_{ip} \Delta L_i + q_p A_p$$

Donde:

$f_i$  = Resistencia cortante unitaria última en el estrato.

$P$  = Perímetro del pilote =  $\pi D_s$

$q_p$  = Resistencia unitaria de punto

$A_p$  = Área de la base =  $(\pi / 4) D^2 b$

A continuación se dan las relaciones para determinar  $Q_u$  (neta) en suelos granulares.

Con base en la ecuación anterior.

$$f_i = B \sigma'_{u2i} \leq Klb / \text{pie}^2$$

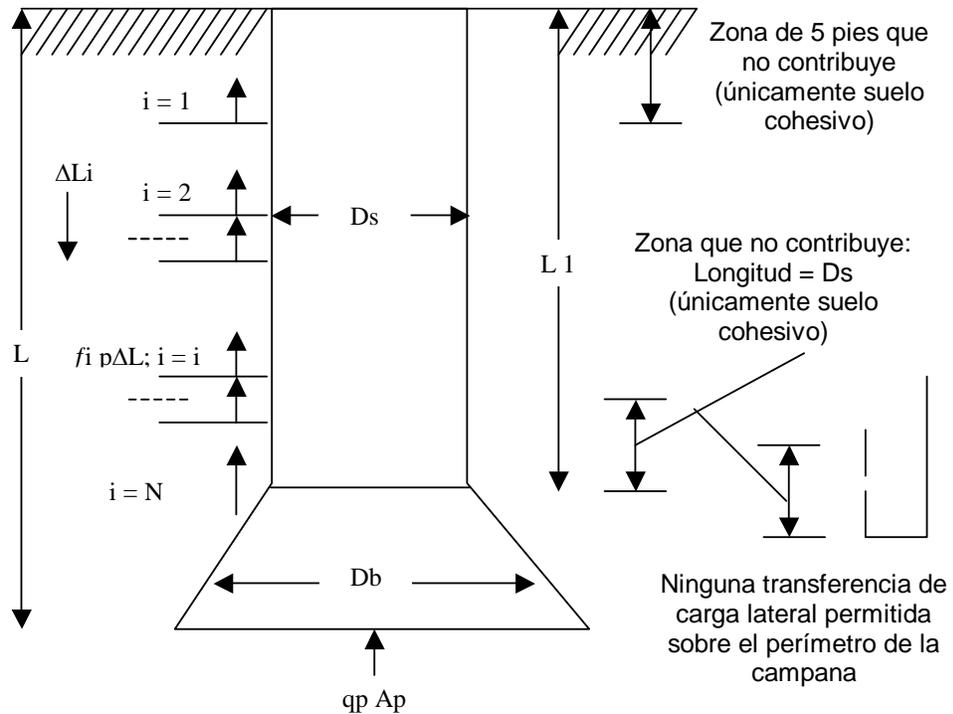
Donde

$\sigma'_{u2i}$  = Esfuerzo vertical efectivo a la mitad del estrato  $i$

$B = 1.5 - 0.135z_i$  ( $0.25 \leq B \leq 1.2$ )

$z_i$  = Profundidad a la mitad del estrato  $i$  (pies)

Figura 20. Carga lateral



La capacidad por carga de punta es:

$$Q_p \text{ (Klb/ pie}^2\text{)} = 1.2 N_f \leq 90 \text{ Klb / pie}^2$$

(para  $D_b < 50$  pulgadas)

Donde  $N_f$  = número de penetración estándar medio no corregido dentro de una distancia de  $2 D_b$  debajo de la base de la pila perforada.

Si  $D_b$  es igual o mayor de 50 pulg puede ocurrir un asentamiento excesivo.

En ese caso,  $q_p$  debe ser reemplazado por  $q_{pri}$  o

$$q_{pr} = \frac{50 q_p}{D_b \text{ (pulg)}} \quad (\text{para } D_b \geq 50 \text{ pulg})$$

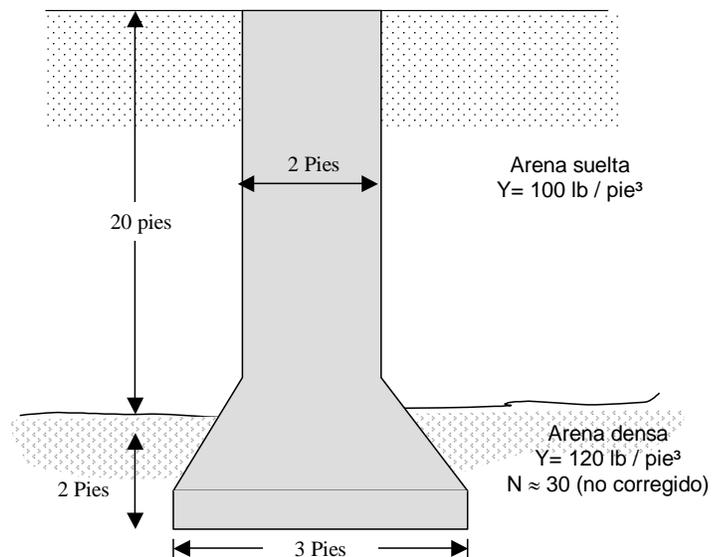
## EJEMPLOS

### Ejemplo 1

En la figura se muestra una pila perforada. El número de penetración estándar promedio no corregido, dentro de una distancia de  $2D_b$  debajo de la base de la pila es aproximadamente de 30. Determine:

- La capacidad última de carga
- La capacidad de carga para un asentamiento de 0.5 pulg. Use el método de Reese y O'Neill

Figura 21 Pila perforada con campana



## SOLUCIÓN

Parte a:

$$f_i = B \sigma'_{u2i}$$

$$B = 1.5 - 0.135 z_i^{0.5}$$

Para este problema,  $z_i = 20/2 = 10$  pies, por lo que

$$B = 1.5 - (0.135) (10)^{0.5} = 1.07$$

$$\sigma'_{u2i} = \gamma z_i = (100) (10) = 1000 \text{ lb/pie}^2$$

Entonces:

$$f_i = (1000) (1.07) = 1070 \text{ lb/pie}^2$$

$$\sum f_i p \Delta L_i = (1070) (\pi \times 2) (20) = 134,460 \text{ lb} = 13446 \text{ Klb}$$

$$q_p = 1.2 N_f = (1.2) (30) = 36 \text{ Klb / pie}^2$$

$$q_p A_p = (36) \left[ \frac{\pi (3)^2}{4} \right] = 254.47 \text{ Klb}$$

Por consiguiente:

$$Q_u (\text{neta}) = q_p A_p + \sum f_i p \Delta L_i = 254.47 + 134.46 = 388.9 \text{ Klb}$$

Parte B:

$$\frac{\text{Asentamiento Admisible}}{D_s} = \frac{0.5}{(2) (12)} = 0.021 = 2.1 \%$$

La línea de tendencia indica que, para un asentamiento normalizado de 2.1% la cara lateral normalizada es aproximadamente de 0.9. La

transferencia de carga lateral es entonces  $(0.9) (134.46) \approx \text{Klb.}$   
Similarmente:

$$\frac{\text{Asentamiento Admisible}}{D_s} = \frac{0.5}{(2) (12)} = 0.014 = 1.4 \%$$

La línea de tendencia mostrada en la figura indica que, para un asentamiento normalizado de 1.4%, la carga normalizada en la base es de 0.312. La carga en la base es entonces  $(0.312) (254.47) = 79.4 \text{ Klb.}$  Por tanto, la carga total es:

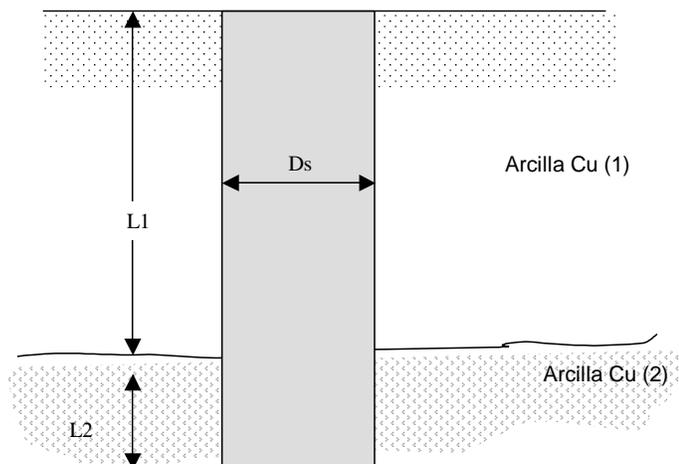
$$Q = 121 + 79.4 \approx 200 \text{ Klb}$$

## Ejemplo 2

La figura muestra una pila perforada sin campana. Se tiene  $L_1 = 27 \text{ pies}$ ,  $L_2 = 8.5 \text{ pies}$ ,  $D_s = 3.3 \text{ pies}$ ,  $C_u(1) = 1000 \text{ lb/pie}^2$  y  $C_u(2) = 2175 \text{ lb/pie}^2$ . Determine:

- La capacidad de carga última de carga neta de punta
- La resistencia última superficial
- La carga de trabajo  $Q_w$  ( $F_s = 3$ )

Figura 22 Pila perforada sin campana



## SOLUCIÓN

Parte a:

$$Q_p (\text{neta}) = A_p C_u N^* c = A_p C_{u(2)} N^* c = \left( \left[ \frac{\pi}{4} \right] (3.3)^2 \right)$$

$$\rightarrow (2175) (9)$$

$$= 167.425 \text{ lb} \approx 167.4 \text{ Klb}$$

Parte b:

$$Q_s > \Sigma a^* C_{up} \Delta L$$

$$a^* = 0.4$$

$$p = \pi D_s = (3.14) (3.3) = 10.37 \text{ pies}$$

$$Q_s = (0.4) (10.37) [(1000 \times 27) + (2175 \times 8.5)]$$

$$= 188.682 \text{ lb} \approx 188.7 \text{ Klb}$$

Parte c:

$$Q_w = \frac{Q_p (\text{neta}) + Q_s}{F_s} = \frac{167.4 + 188.7}{3} = 118.7 \text{ Klb}$$

## **9.ORGANIZACIÓN DEL PROGRAMA DE SALUD OCUPACIONAL**

### **9.1. OBLIGACIONES DEL PATRÓN**

Todo patrono debe hacer:

- Cumplir y hacer cumplir las disposiciones de este reglamento y las demás que en materia de seguridad e higiene del trabajo, fueren de aplicación obligatoria en los lugares de trabajo o de la empresa por razón de las actividades laborales que en ellas se realicen.
- Organizar y ejecutar un programa permanente de seguridad, higiene y medicina del trabajo, destinado a la prevención de los riesgos profesionales que puedan afectar la vida, integridad y salud de los trabajadores a su servicio.
- Instalar, operar y mantener en forma eficiente los sistemas y equipos de control necesaria para prevenir los riesgos profesionales y adoptar las medidas necesarias para la prevención y control de los riesgos profesionales.
- Realizar visitas a los sitios de trabajo para determinar los riesgos y ordenar las medidas de control necesarias.
- Elaborar los informes de accidentes de trabajo y realizar los análisis estadísticos para las evaluaciones correspondientes como son:

pedidas de hora hombre por año, días de incapacidad totales, pérdidas de turno –hombre, rata de frecuencia de accidentes y todos los demás factores relacionados.

- Otorgar en todo momento a las autoridades competentes las actividades requeridas para la ejecución de estudios, investigaciones e inspecciones que sean necesarias dentro de las instalaciones y zonas de trabajo.
- Promover los recursos económicos, materiales, humanos necesarios, tanto para el mantenimiento de las máquinas, herramientas, material y demás elementos de trabajo en condiciones de seguridad, como para el normal funcionamiento de los servicios de higiene para los trabajadores de la empresa.
- Determinar en los niveles jerárquicos definidos en el reglamento interno, o en su defecto, mediante instrucciones escritas, las facultades y deberes del personal directivo, técnico y trabajadores en general, para la prevención de accidentes y enfermedades profesionales
- Facilitar la instrucción adecuada al personal nuevo en un puesto antes de que comience a desempeñar sus labores, acerca de los riesgos y peligros que puedan afectarles y sobre la forma, métodos y procesos que deban observarse para prevenirlos y evitarlos.

- Cumplir en el término establecido las recomendaciones del comité de higiene y seguridad y las del ministerio de trabajo para la prevención de los riesgos profesionales.

## **9.2. OBLIGACIONES DE LOS TRABAJADORES.**

Los trabajadores están obligados especialmente a cumplir:

- Cumplir la prevención de riesgos profesionales en las obras para lo cual deberán obedecer fielmente lo establecido en el presente reglamento y sus disposiciones complementarias así como las órdenes e instrucciones que para tales efectos le sean dadas por sus superiores.
- Recibir las enseñanzas sobre seguridad e higiene, que les sean impartidas por el patrón y otras entidades oficiales
- Usar correctamente los elementos de protección personal y demás dispositivos por la prevención, control de los riesgos profesionales y cuidar de su perfecto estado y conservación.
- Informar inmediatamente a sus superiores de los daños y deficiencias que puedan ocasionar peligros en el medio de trabajo.
- No introducir bebidas alcohólicas y otras sustancias no autorizadas en los centros de trabajo. No prestarse o permanecer en los mismos en estado de embriaguez o de cualquier otro género de intoxicación o enfermedad infectocontagiosa.

### **9.3. CAMPAMENTOS PROVISIONALES**

Toda obra con cincuenta (50) o más trabajadores está en la obligación de tener un campamento provisional en el cual se presentarán los siguientes servicios:

- Servicio Sanitario
- Cambio de ropas
- Tomar alimentos

Deberán cumplir con condiciones de cantidad y calidad fijadas por las normas sanitarias. Los sitios donde se tomen los alimentos serán correctamente situados y aseados dando las comodidades mínimas.

### **9.4. LAS EXCAVACIONES**

Antes de empezar cualquier trabajo de excavación se deberá eliminar toda piedra suelta u obstáculo que pueda originar posibles riesgos durante el desarrollo del trabajo

- Antes de iniciar la excavación deberá hacerse un estudio de todas las estructuras adyacentes para poder determinar los posibles riesgos que ofrezca el trabajo. En caso de presentarse algún hundimiento, descenso, asiento o grieta antes de comenzar los trabajos de excavación, se tomarán las elevaciones del sitio y fotografías, evidencia que será fechada por el ingeniero de la obra.
- Al efectuar los trabajos de excavación se deberá dejar taludes de acuerdo con la densidad del terreno, si esto no fuere posible por

razones del proyecto, se deberá hacer apuntalamientos, debidamente sustentados para evitar que los cambios de presión en la tierra puedan derrumbarlos. Cuando los puntales sostengan grandes presiones deberá evitarse su pandeo, asegurándolos transversalmente.

- Las excavaciones se deberán abrir cerca de los cimientos de un edificio o más abajo que una pared o base de una columna, máquina o equipo, deberán ser supervisadas por ingenieros especializados en la materia, capaces de efectuar un estudio minucioso para determinar el apuntalamiento requerido, antes de que el trabajo comience.
- Cuando las excavaciones presenten riesgos de caídas de personas, sus bordes deberán ser suficientemente resguardados por medio de vallas. Durante la noche el área de riesgos potencial deberá quedar señalada por medios luminosos
- Durante las excavaciones con los equipos mecánicos el encargado del trabajo no permitirá que las personas penetren en la zona de peligro del punto de operación de la maquinaria.
- Al abrir una zanja o un hoyo cualquiera, los lados deberán estar debidamente inclinados de acuerdo a la calidad de la tierra excavada, para garantizar la seguridad de los trabajadores.
- Los trabajadores encargados de transporte de los escombros deberán disponer de pasajes seguros. Los escombros no deberán

amontonarse en las proximidades de las zanjas, si no que estarán depositados lo suficientemente lejos de ellas, para no correr riesgos de que vuelvan a caer en el interior

- Los trabajadores que laboren con pica y pala dentro de las zanjas, deberán estar separados por una distancia no menor a dos metros (2m)
- Las excavaciones deberán inspeccionarse con frecuencia, especialmente después de las lluvias, pues se pueden producir deslizamientos de terreno o derrumbes en cuyo caso deberá darse protección adicional inmediata.
- En las zanjas de largas extensiones excavadas a máquina se podrán usar cajones de apuntalamiento rodante en lugar de apuntalamiento fijo. Estos cajones deberán ser hechos a la medida para trabajos específicos estarán diseñados y fabricados con la resistencia necesaria para sostener las presiones laterales.
- Las excavaciones circulares y profundas, deberán ser provistas de medios de acceso y de salida para las personas que trabajen en ellas. Estas deberán estar en contacto con el personal que se encuentra en la superficie. Si en el fondo de la excavación trabaja permanentemente una sola persona, esta será provista de un cinturón y arnés de seguridad con su correspondiente cabo de vida, controlado desde la superficie por una persona que velará por la seguridad del trabajador en caso de cualquier emergencia.

- Todas las excavaciones y los equipos de excavar deberán estar bien protegidas por vallas, de tal manera que el público, y especialmente los niños, no puedan lesionarse. Si las vallas no ofrecen protección es necesario utilizar los servicios de un celador. No se permitirá a los visitantes entrar a los sitios de trabajo, a no ser que vengan acompañados por un guía o superintendente y provistos de elementos de protección.

## **9.5. ANDAMIOS**

DEFINICIÓN: Se entiende por andamio las estructuras auxiliares que sirven para alcanzar alturas pronunciadas.

Para su seguridad se debe tener en cuenta:

- La fijación de las partes de los andamios deben ser revisados periódicamente a fin de garantizar su correcto funcionamiento.
- La capacidad de recepción de los andamios debe estar compaginada por la fuerza del viento, carga viva que está representada por el peso de los trabajadores, herramientas, etc, según para lo cual fueron diseñados y carga muerta, o sea el peso propio de los componentes del andamio.
- Las disposiciones de tablonos o pisos del andamio deben impedir deslizamiento y basculamiento. Su resistencia corresponderá a las cargas que va a soportar.

- Se deberán construir bandas sólidas y estables a 0.90 metros del piso del andamio.
- Se instalarán rodapiés en todos los andamios con el fin de detener las caídas de objetos y herramientas.
- Todos los herrajes que se coloquen irán ajustados perfectamente a las piezas.
- Cuando se utilicen cuerdas en el andamio estarán supeditadas a las características del mismo, así como al peso que debe soportar.
- Las operaciones de desarme de los andamios se practicarán después de verificar que ninguna carga se encuentre en él.

#### **9.6. MEDIDAS PARA DISMINUIR ALTURA DE LIBRE CAÍDA**

- Protección para evitar la caída. Se colocarán vallas de protección, de acuerdo con la naturaleza del trabajo que se efectúe

En estos casos deben tenerse en cuenta las siguientes precauciones:

- Si se emplean superficies rígidas, la distancia máxima de caída será de tres (3) metros, su anchura mínima será de uno con treinta metros (1.30 m)
- Si se emplean superficies elásticas, la altura máxima de caída es de tres metros (3 m), cuya anchura mínima será de 1,80 m

## **9.7. DE LAS HERRAMIENTAS MANUALES**

- En la obra al entregar las herramientas deberá adiestrarse a los trabajadores acerca del manejo de las mismas
- Las herramientas deben ser utilizadas para lo cual fueron diseñadas.
- Los mangos de las herramientas serán de forma y dimensiones adecuadas y no se presentaran astillas o salientes.
- Las herramientas manuales con puntas agudas estarán provistas de resguardos cuando no se utilicen.
- Las herramientas accionadas por fuerza motriz portables estarán suficientemente protegidas para evitar al operario que maneje contactos y proyectos peligrosos.

## **9.8. CASCOS DE SEGURIDAD.**

De acuerdo con la labor desempeñada por el trabajador se le suministrará un casco como elemento de protección contra las caídas de objetos.

Características de los cascos de seguridad:

- El Ataje debe estar en condiciones óptimas y acondicionarse correctamente a las necesidades.

- Al colocarlo se debe colocar un perfecto ajuste para garantizar una comodidad en el trabajo y además evitar que este se caiga.
- Deben cumplir técnicamente las características de malos conductores de electricidad (Dielectricos), resistencia adecuada al impacto etc. Por ello cuando se presente algún desperfecto en él deberá ser remplazado.

### **9.9. OTROS ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL.**

- ANTEOJOS DE COPA: Resistentes a fuertes impactos, estos protegen contra el impacto de objetos relativamente grandes cuando salen lanzados al aire, operaciones de corte, martilleo, rasqueteo o esmerilado. Se suministrarán a aquellos trabajadores cuyo oficio lo exija.
- GUANTES PARA EL TRABAJO EN GENERAL: Todo el personal que manipule materiales rugosos, con filos que puedan producir erosión en la piel y cortes, deben usar guantes de cuero.
- BOTAS DE SEGURIDAD: Todos los trabajadores que carguen o manipulen objetos pesados deberán usar botas de caucho con puntas de acero. La función esencial de estos elementos de protección es evitar machucones graves en los pies, lo mismo que la humedad

## **9.10. PRIMEROS AUXILIOS.**

El patrono deberá disponer lo que sea necesario para cualquier tratamiento medico de emergencia. En los lugares de trabajo deberá existir un botiquín de primeros auxilios con droga suficiente según las características de la obra. El manejo de dicho botiquín se hará por la persona que tenga conocimientos en la práctica de primeros auxilios.

Posteriormente y si la lesión lo requiere trasladará al trabajador a una clínica o centro de atención médica. Igualmente llevará acabo las siguientes acciones:

- Informara a la E.P.S
- Investigará la causa de la lesión
- Tomará las medidas para que no vuelva a ocurrir
- El patrono o jefe inmediato mantendrá contacto con el trabajador lesionado tratando de ayudarlo a superar la crisis, especialmente si la lesión es incapacitable

## **9.11. TÚNELES Y TRABAJOS SUBTERRÁNEOS.**

- En los trabajos de construcción de posos, zanjas, galerías (túneles) y similares, se establecerán las fortificaciones y revestimientos para la contención de las tierras que sean necesarias, para obtener la mayor seguridad de los trabajadores; las entibaciones serán revisadas al comenzar la jornada de trabajo.

- Los pozos deberán ser entibados con un revestimiento de blindaje realizado con tablas estrechas especiales que se adapten a la curva mantenida verticalmente en su posición por medio de una serie de aros o cinchos de hierro extensibles y regulables por cualquier procedimiento mecánico o por medio de cuñas
- En los trabajos de revestimiento de pozos, galerías, etc., con ladrillo, piedra o argamasa y hormigón, las entibaciones se quitarán metódicamente a medida que los trabajos de revestimiento avancen, siempre que no vayan a perjudicar la seguridad del personal.
- Las bocas de los pozos deberán ser protegidas por medio de barandillas de 0.9 metros de altura y un rodaje que impida la caída de materiales.
- En estas estructuras de pozos, zanjas, etc, se evitará la acumulación de materiales u otros objetos pesados cerca de los bordos y se tomarán las precauciones que impidan el derrumbamiento de las paredes y la caída de materiales y objetos al fondo.
- Cuando se empleen medios mecánicos para subida o descenso de los trabajadores en los pozos, se tomarán todas las medidas de seguridad correspondientes. Quedará prohibido subirse al propio entramado o entibado, anillos de concreto, etc., para el descenso o ascenso de los trabajadores.

- No deberá usarse motores de combustión interna en ningún lugar de los túneles de construcción, debido al riesgo del monóxido de carbono de los gases del escape a menos que:
  - ❖ La corriente de aire que fluye por las excavaciones de túneles caisson o pozos sea mayor de 100 pies (30.5 metros lineales) por minuto y los gases tóxicos presentes en la corriente de aire sea menor del 0.02%
  - ❖ El porcentaje de gas inflamable presente en la corriente de aire sea menor del 0.25% y el gas inflamable no pueda ser descubierto en ningún lugar mediante una lámpara de seguridad del tipo de llama.
  
- No deberá usarse como combustible para motores en túneles, pozos o caisson en construcción, ni gasolina ni otros líquidos altamente inflamables, debido al riesgo de su transporte y que los gases del escape de los motores de gasolina contienen del 5 al 16% de monóxido de carbono y la presencia de un 0.2% de dicho gas en el aire produce la pérdida de conocimiento en aquellos lugares donde la ventilación es deficiente.
  
- Como los gases que se producen en la construcción (excavación) de túneles, pozos, caisson, dependen de la formación geológica del terreno que se atraviesa, de la descomposición de la materia orgánica y del personal de los frentes de trabajo, presentan cierta toxicidad de acuerdo con la concentración y tiempo de exposición de la persona, se llevarán a cabo antes de continuar con excavaciones mayores en la que se sospeche de la existencia de un ambiente peligroso y

tóxico, pruebas para determinar el estado de contaminación de la atmósfera; los trabajadores no podrán penetrar hasta después de haber tomado las precauciones para evitar cualquier accidente por intoxicación, asfixia o riesgo de incendio o explosión.

- Se mantendrá una buena ventilación natural o forzada en los pozos o caisson para proporcionar aire fresco en el ambiente de trabajo.
- Cuando se emplee alumbrado eléctrico en los trabajos subterráneos se dispondrá de otra fuente de energía eléctrica (planta de emergencia) que permita asegurar la evacuación del personal en caso de falta de corriente eléctrica.
- El agotamiento o desagüe del agua producida por efecto de las lluvias, filtraciones, etc.,. Se realizará de tal manera que el personal pueda trabajar en condiciones satisfactorias y con los elementos de protección adecuados.

## **9.12. EVALUACIÓN DE RIESGOS**

La evaluación de riesgos constituyen la base de partida de la acción preventiva ya que a partir de la información obtenida con la valoración podrán adoptarse las decisiones precisas sobre la necesidad o no de acometer acciones preventivas.

Se entiende por evaluación de riesgos el proceso de valoración del riesgo que entraña para la salud y seguridad de los trabajadores la posibilidad de que se verifique un determinado peligro en el lugar de trabajo.

Con la evaluación del riesgo se alcanza el objetivo de facilitar al constructor la toma de medidas adecuadas para poder cumplir con su obligación de garantizar la seguridad y la protección de la salud de los trabajadores.

Comprende estas medidas:

- Prevención de los riesgos laborales
- Información a los trabajadores
- Formación de los trabajadores
- Organización y medios para poner en práctica las medidas necesarias

Con la evaluación de riesgos se consigue:

- Identificar los peligros existentes en el lugar de trabajo y evaluar los riesgos asociados a ellos, a fin de determinar las medidas que deben tomarse para proteger la seguridad y salud de los trabajadores.
- Poder efectuar una elección adecuada sobre los equipos de trabajo, los preparados o sustancias químicas empleadas, el acondicionamiento del lugar de trabajo y la organización de éste.
- Comprobar si las medidas existentes son adecuadas
- Establecer prioridades en el caso de que sea preciso adoptar nuevas medidas como consecuencia de la evaluación.

- Comprobar y hacer ver a la administración laboral, trabajadores y a sus representantes que se han tenido en cuenta todos los factores de riesgo y que la valoración de riesgo y las medidas preventivas están bien documentadas
- Comprobar que las medidas preventivas adoptadas tras la evaluación garantizan un mayor nivel de protección de los trabajadores.

### **9.13. FASES DE LA EVALUACIÓN DE RIESGOS**

La evaluación de riesgos comprende las siguientes etapas:

- Identificación de los riesgos
- Identificación de los trabajadores expuestos a los riesgos que entrañan los elementos peligrosos
- Evaluar cualitativa o cuantitativamente los riesgos existentes
- Analizar si el riesgo puede ser eliminado y en caso de que no pueda serlo, decidir si es necesario adoptar nuevas medidas para prevenir o reducir el riesgo

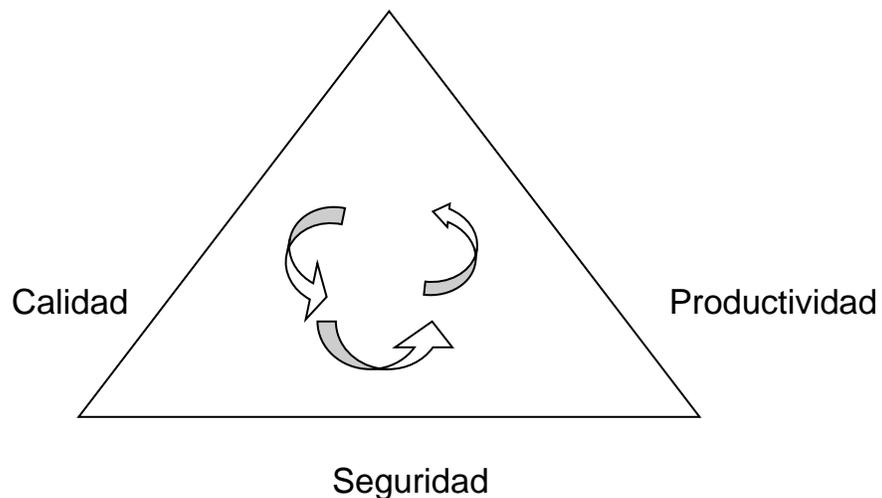
### **9.14. TÉCNICAS ANALÍTICAS DE PREVENCIÓN DE ACCIDENTES**

Dentro del grupo de técnicas analíticas de detección de causas que actúan en la prevención de accidentes se encuentran: análisis de trabajo, inspecciones de seguridad, en el que se incluye el análisis y control de riesgos.

**ANÁLISIS DE TRABAJO:** El análisis de trabajo o puesto de trabajo aplicado a la seguridad en la obra, no solo debe basarse en la determinación de las causas de lesiones si no que simultáneamente, deberá estudiarse las repercusiones económicas que representan los accidentes en las obras con el fin de buscar la correlación existente entre las lesiones corporales y los daños materiales ya que la seguridad se debe considerar como un integrante más del sistema productivo de las obras en construcción.

El enfoque correcto del trabajo debe buscar el justo equilibrio entre los tres lados del denominado “triángulo del trabajo”: calidad, productividad y seguridad. Para realizar el estudio de una labor de trabajo se debe conocer en primer lugar lo que se hace en dicho puesto y posteriormente, estudiar las condiciones que se requieren para que se desarrolle el trabajo en las mejores condiciones de efectividad y seguridad, identificando los peligros y estimando los riesgos asociados a cada etapa y definiendo las aptitudes de las personas que deben ayudarles en las funciones realizadas

figura 23 Triángulo de estimación de riesgos



## OBJETIVOS DEL ANÁLISIS DEL TRABAJO

- Mejorar los métodos de trabajo
- Adecuación de la persona al puesto
- Valoración del puesto
- Adiestramiento de personal
- Análisis de riesgos

### **9.15. INSPECCIONES DE SEGURIDAD**

Por inspecciones de seguridad se entiende la técnica analítica, que consiste en el análisis detallado de las condiciones de seguridad (máquinas, instalaciones, herramientas) a fin de descubrir las situaciones de riesgo que se derivan de ellas (condiciones peligrosas o prácticas inseguras) con el fin de adoptar las medidas adecuadas para su control, evitando el accidente (prevención) o reduciendo los daños materiales o personales derivados del mismo (protección).

**10. CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO  
PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UNA PILA O CAISSON**

Consideraciones para la elaboración del presupuesto

Longitud de la pila o caisson (m)	10,00
Diámetro promedio por anillo (m)	1,20
Altura promedio por anillo (m)	0,90

ITEM	DESCRIPCION	UNID	CANT.	VR. UNIT	VR. PARCIAL
<b>1</b>	<b>Señalización</b>				
1,1	Localización y Replanteo	m <sup>2</sup>	1,33	2.773,14	3.688,28
					<b>3.688,28</b>
<b>2</b>	<b>Movimientos de Tierra</b>				
2,1	Excavación en Tierra Seca 0-2 mts	m <sup>3</sup>	13,30	13.158,49	175.007,88
2,2	Cargue y Retiro de Sobrantes	m <sup>3</sup>	17,29	11.482,59	198.534,04
					<b>373.541,92</b>
<b>3</b>	<b>Obras en Concreto</b>				
3,1	Anillo caisson ancho 0.10, altura 0.90m, diámetro 1.20 m en concreto de 3000 psi	ml	10,00	214.350,51	2.143.505,10
3,2	Refuerzo	kg	807,00	3.733,33	3.012.795,16
3,3	Lleno anillo en concreto de 3000 psi	m <sup>3</sup>	10,18	135.941,80	1.383.717,81
					<b>6.540.018,08</b>

<b>COSTO DIRECTO</b>	<b>6.917.248,27</b>
<b>AIU ( 25%)</b>	<b>1.729.312,07</b>
<b>COSTO TOTAL</b>	<b>8.646.560,34</b>

**SON: OCHO MILLONES SEISCIENTOS CUARENTA Y SEIS MIL QUINIENTOS SESENTA PESOS CON TREINTA Y CUATRO CENTAVOS MONEDA CORRIENTE**

## 10.1. ANÁLISIS UNITARIOS

<b>SEÑALIZACIÓN</b>					
<b>Localización y replanteo</b>	<b>m2</b>		<b>2.773,14</b>		
Puntilla de 3"	lb	0,020	1.800,00	-	36,00
Guadua basa longitud promedio = 5 m	un	0,020	2.500,00	3,00	51,50
Cuartón de sajo 4" x 8" x 3 m	ml	0,010	1.333,00	3,00	13,73
Listón sajo	ml	0,030	733,00	3,00	22,65
Comisión topografía (topógrafo + cadenero 1 + 2 cadeneros 2)	día	1,000	174.926,00	100,00	1.749,26
Equipo de topografía	día	1,000	90.000,00	100,00	900,00
<b>MOVIMIENTO DE TIERRA</b>					
<b>Excavación en tierra seca de 0 - 2 m</b>	<b>m3</b>		<b>13.158,49</b>		
Cinta de señalización, incluye poste	ml	1,000	614,00	-	614,00
Cuadrilla H 4 Ay (jornal + prestaciones)	día	1,000	87.266,00	8,00	10.908,25
Acarreo horizontal	%MO	0,050	10.908,25	-	545,41
Herramienta menor (% mano obra)	%MO	0,100	10.908,25	-	1.090,83
<b>Retiro de tierra</b>	<b>m3</b>		<b>11.482,59</b>		
Ayudante (jornal + prestaciones)	día	1,000	21.599,00	15,00	1.439,93
Herramienta menor (% mano obra)	%MO	0,100	1.439,93	-	143,99
Volqueta 5 m3	hr	8,000	37.120,00	30,00	9.898,67
<b>OBRAS EN CONCRETO</b>					
<b>Anillo Caisson 0.10 ancho, 0.90 altura, 1.20 diámetro</b>	<b>ml</b>		<b>214.350,51</b>		
Concreto de 2,500 psi (producción)	m3	0,880	186.236,00	3,00	168.804,31
Cuadrilla A 1 Of + 4 Ay (jornal + prestaciones)	día	1,000	129.768,00	4,00	32.442,00
Herramienta menor (% mano obra)	%MO	0,100	32.442,00	-	3.244,20
Formaleta cuerpo cámara inspección 1.2 m	día	1,000	9.860,00	-	9.860,00
<b>Acero Fy = 60,000 psi</b>	<b>kg</b>		<b>3.733,33</b>		
Acero de Fy = 60,000 psi	kg	1,000	3.050,00	5,00	3.202,50
Alambre negro calibre 18 - 19	kg	0,025	2.390,00	-	59,75
Cuadrilla E 1 Of + 1 Ay (jornal + prestaciones)	día	1,000	64.317,00	150,00	428,78
Herramienta menor (% mano obra)	%MO	0,100	422,97	-	42,30
<b>Concreto de 3,000 psi (producción)</b>	<b>m3</b>		<b>135.941,80</b>		
Cemento gris 50 kilos	sc	7,000	9.500,00	3,00	68.495,00
Arena	m3	0,560	28.000,00	3,00	16.150,40
Gravilla de río	m3	0,840	29.000,00	3,00	25.090,80
Agua	lt	180,000	10,00	3,00	1.854,00
Cuadrilla C 1 Of + 7 Ay (jornal + prestaciones)	día	1,000	195.212,00	10,00	19.521,20
Herramienta menor (% mano obra)	%MO	0,100	19.304,00	-	1.930,40
Concretadora gasolina +B14 de 1 o 1 1/2 sacos	día	1,000	29.000,00	10,00	2.900,00

## CONCLUSIONES

Para la mayoría de las aplicaciones, el estado de la práctica es menos que el estado desconocimiento. Este asunto de estado va en contra de los problemas dinámicos, particularmente en la construcción en general, la práctica y la experiencia de los maestros de obra y oficiales, prima mucho ante los conocimientos teóricos, ya que no existen códigos ni procedimientos escritos sobre ciertos sistemas constructivos, así que muchos proyectos en construcción van desarrollados por la pericia, malicia y experiencia de los obreros y de quien los maneja y dirige.

En este caso, las pilas de cimentación o caisson dependen mucho de la experiencia que tengan los ingenieros, tecnólogos, maestros y oficiales, para que su construcción sea exitosa y productiva.

Las pilas de cimentación o caisson son una solución muy práctica para problemas que se presentan en terrenos inestables, lodosos o que hayan sido utilizados como botaderos de escombros, tierra o basura.

Se han presentado casos en los cuales se han utilizado otros sistemas y han tenido inconvenientes de asentamientos causando problemas estructurales. Las pilas de cimentación o caisson brindan soluciones seguras a todos estos problemas ya que las excavaciones van hasta un estrato que sea admisible a las cargas.

## **RECOMENDACIONES**

Para construir cimentaciones con Caisson se debe primero tener muy en cuenta la seguridad de los trabajadores para prevenir accidentes.

Con respecto al manejo de aguas, es importante tener muy bien definido el lugar donde se van a evacuar todas las aguas que salen de las excavaciones, al igual que el sitio donde se van a botar los materiales sobrantes de las mismas.

El personal que trabajará en las cimentaciones deberá estar debidamente capacitado. Es conveniente trabajar por parejas o grupos, por ejemplo, herreros, formaleteros, personal encargado de vaciado de anillos, etc.

La persona que traza los caisson debe tener conocimiento de planos y ser muy responsable y exacto con las medidas y los niveles.

## GLOSARIO

**AMASADO.** Revuelto

**AGREGADOS:** Materiales de río.

**APUNTALADO :** Poner puntales. Sostener, afirmar.

**ATAGUÍA:** Macizo de tierra arcillosa u otro material impermeable, para atajar el paso del agua durante la construcción de una obra hidráulica

**BARRENO:** instrumento de acero para taladrar o hacer agujeros

**BENTONITA:** Arcilla de gran poder de absorción con múltiples usos industriales.

**BUJE:** pieza en que se apoya y gira un eje

**CANTOS:** Agujeros

**CÁRCAMO:** Hoyo, zanja

**CASTILLO:** Hierro del caison.

**COHESIVO:** Detector constituido por un tubo de sustancia dieléctrica, lleno de limaduras metálicas, que se usó en los primeros años de la telegrafía sin hilos.

**COLADO:** Mezclado

**CUÑA:** Pedazo de madera, hierro, etc., que sirve para aprisionar o apretar.

**DADO:** Base en concreto

**DRAGA:** Máquina que se emplea para ahondar y limpiar los puertos, ríos, canales, etc., extrayendo de ellos fango, piedras, arena, etc

**ENTIBAR:** apuntalar, fortalecer con maderas y tablas las excavaciones que ofrecen riesgo de hundimiento

**ESTRATIGRAFÍA:** Disposición seriada de las rocas sedimentarias de un terreno o formación

**FRAGUADO:** Endurecimiento del concreto.

**FREÁTICA:** Dicho del agua: Que está acumulada en el subsuelo y puede aprovecharse por medio de pozos. Se dice de la capa del subsuelo que contiene estas aguas

**GARRUCHA:** Polea combinada

**GRAVA:** Conjunto de guijas o piedras lisas y pequeñas). Piedra machacada con que se cubre y allana el piso de los caminos. Mezcla de guijas, arena y a veces arcilla que se encuentra en yacimientos.

**HILADERO:** Andamio pequeño donde se aseguran los hilos para el trazado.

**HORMIGÓN:** Mezcla compuesta de piedras menudas y mortero de cemento y arena

**LICUACIÓN:** Proceso donde sube el agua y bajan los materiales, produciéndose asentamientos.

**LIMOS:** Lodo, cieno.

**MAMPOSTERÍA :** Obra hecha con mampuestos colocados y ajustados unos con otros sin sujeción a determinado orden de hiladas o tamaños

**NUDO:** Enlace de hierro de la viga, caison y columna.

**PANDERO:** Doblar.

**PILOTE:** Madero rollizo armado frecuentemente de una punta de hierro, que se hinca en tierra para consolidar los cimientos.

**PONDERAL:** Pesado

**REFUERZO:** Hierro

**REVESTIMIENTO:** Capa o cubierta con que se resguarda o adorna una superficie

**SEPAROL:** Producto que impide que el concreto se adhiera a la formaleta.

**TABLESTACAS:** Pilote de madera o tablón que se hinca en el suelo y que sirve para entibar excavaciones

**TELERA:** Travesaño de hierro o de madera que sujeta el dental a la cama del arado o al timón mismo, y sirve para graduar la inclinación de la reja y la profundidad de la labor. Redil formado por palos y estacas. Cada uno de los dos maderos paralelos que, unidos por husillos y tuercas, forman las prensas de carpinteros, encuadernadores y otros artesanos

**TOLVA:** Caja en forma de tronco de pirámide o de cono invertido y abierta por abajo, dentro de la cual se echan granos u otros cuerpos para que caigan poco a poco entre las piezas del mecanismo destinado a triturarlos, molerlos, limpiarlos, clasificarlos o para facilitar su descarga

**VIBRADO:** Sistema con el cual se compacta el concreto en el momento del vaciado.

**ZANJAS:** Brechas

## **BIBLIOGRAFÍA**

CORTES DÍAZ, José María. Seguridad e Higiene del Trabajo. Ed. Alfaomega Colombiana S.A. Bogotá 2002

SREINMAN, Ernest. Pilas de Cimentación. New York 1998

SREINMAN, Ernest Cimentaciones con pilas perforadas y cimentaciones con cajones.

## **PERSONAS QUE COLABORARON CON ESTA MONOGRAFÍA**

Ingeniero Civil

Técnico Constructor

Estudiante último semestre Ingeniería Civil

Tecnólogo en Obras Civiles

Alberto Delgado

Alfonso Ospina

Andrés Mauricio Ospina

Carlos Moreno

