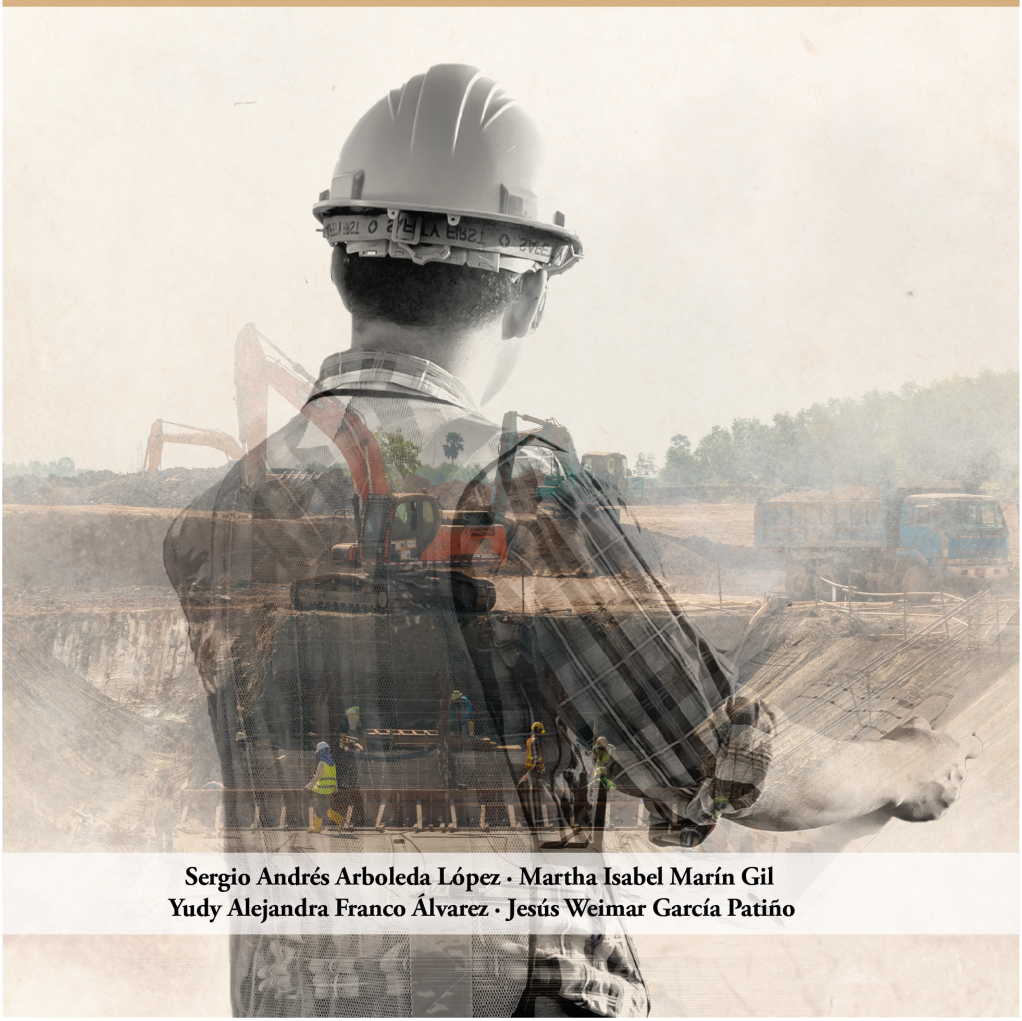
Institución Universitaria ITM

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA COLEGIO MAYOR DE ANTIOQUIA®

CIMENTACIONES:

procesos constructivos y su diseño de ejecución



Sergio Andrés Arboleda López · Martha Isabel Marín Gil
Yudy Alejandra Franco Álvarez · Jesús Weimar García Patiño

Otros libros de la colección

Presupuesto y programación de obras. Conceptos básicos
Sergio Andrés Arboleda López
Elizabeth Serna Gutiérrez

Gestión de la construcción. Presupuesto de obra y control de costos directos
Pablo Andrés Pérez López

Planificación de operaciones de manufactura y servicios
Gisela Patricia Monsalve Fonnegra

Gestión para la planeación de la producción
Adriana María Zapata Cano
María Quesada Castro
Gian Paolo Montoya Rivas

Materiales industriales
Ligia María Vélez Moreno

Autores

Sergio Andrés Arboleda López
Magíster en Construcción de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Profesor Asociado Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia y egresado del ITM.
sergio.arboleda@colmayor.edu.co

Martha Isabel Marín Gil
Especialista tecnológica en Supervisión Técnica de obras civiles del SENA, Constructor Civil de la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, egresada de Tecnología en Construcción de Acabados Arquitectónicos del ITM.
isabel.marin0219@gmail.com

Yudy Alejandra Franco Álvarez
Constructor Civil de la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia.
aleja.franco2@hotmail.com

Jesús Weimar García Patiño
Constructor Civil de la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, egresado de Tecnología en Construcción de Acabados Arquitectónicos del ITM.
weimar7502@gmail.com

Cimentaciones:
procesos constructivos y su diseño de ejecución

Sergio Andrés Arboleda López • Martha Isabel Marín Gil
Yudy Alejandra Franco Álvarez • Jesús Weimar García Patiño

ITM Institución Universitaria
Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia®

Arboleda López, Sergio Andrés
Cimentaciones: procesos constructivos y su diseño de ejecución / Martha Isabel Marín Gil, Yudy Alejandra Franco Álvarez, Jesús Weimar García Patiño -- Medellín: Instituto Tecnológico Metropolitano, 2021.
150 p. : il. -- (Teknik)

Incluye referencias bibliográficas

1. Cimentaciones. 2. Suelos. 3. Movimientos de tierra. 4. Presupuesto de obra. 5. Administración de la construcción. I. Marín Gil, Martha Isabel. II. Arboleda López, Sergio Andrés. III. Franco Álvarez, Yudi Alejandra. IV. Tít. V. Serie

Catalogación en la publicación - Biblioteca ITM

Cimentaciones: procesos constructivos y su diseño de ejecución

© Instituto Tecnológico Metropolitano
© Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia

Autores
Sergio Andrés Arboleda López / Martha Isabel Marín Gil
Yudy Alejandra Franco Álvarez / Jesús Weimar García Patiño

Edición: diciembre de 2021
ISBN impreso: 978-958-5122-55-0
ISBN Pdf: 978-958-5122-58-1
Hechos todos los depósitos legales

Comité editorial
Jorge Iván Brand Ortiz, PhD.
Gloria Mercedes Díaz Cabrera, PhD.
Juliana Cardona Quiros, Esp.
Jorge Iván Ríos Rivera, MSc.
Viviana Díaz, Esp.

Directora editorial
Juliana Cardona Quiros

Asistente editorial
Viviana Díaz

Editor de mesa
Gustavo Otálvaro Ocampo

Correctora de textos
María Fernanda Aristizábal Arango

Diseño y diagramación
Leandro Bedoya Betancur

Sello Fondo Editorial ITM
Calle 73 No. 76A 354
Tel.: (574) 440 5100 ext. 5197-5382
Editado en Medellín, Colombia
catalogo.itm.edu.co - fondoeditorial.itm.edu.co
www.itm.edu.co

Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia
Carrera 78 No. 65-46
Tels.: (574) 444 5611
www.colmayor.edu.co

Este es un Libro de Formación, que se inscribe en la gran área de Ingeniería y Tecnología, en el área de la Ingeniería civil, en las disciplinas de Ingeniería civil, Ingeniería de la construcción e Ingeniería estructural y municipal.

Las opiniones expresadas en el presente texto no representan la posición oficial del ITM y del Colmayor, por lo tanto, es responsabilidad de los autores quienes son igualmente responsables de las citaciones realizadas y de la originalidad de su obra. En consecuencia, el ITM y el Colmayor no serán responsables ante terceros por el contenido técnico o ideológico expresado en el texto, ni asumen responsabilidad alguna por las infracciones a las normas de propiedad intelectual.

Contenido

Presentación 7

1. Conceptos básicos 9

1.1. Concepto de suelos 9
1.2. Capacidad portante 9
1.3. Cargas sobre las cimentaciones 10
1.3.1. Tipos de carga 10
1.4. Estructura, subestructura y superestructura 10
1.4.1. Estructura 10
1.4.2. Subsistema estructural 11
1.4.3. Subestructura 12
1.4.4. Superestructura 15
1.5. Concepto de cimentación 20
1.5.1. Cimentaciones superficiales 20
1.5.2. Cimentaciones profundas 21
1.5.3. Cimentaciones mixtas 21
1.5.4. Contenciones 22
1.5.5. Micropilotes 22
1.6. Concepto de asentamiento 24

2. Suelos 25

2.1. Orígenes de los suelos 25
2.1.1. Rocas ígneas 25
2.1.2. Rocas sedimentarias 25
2.1.3. Rocas metafóricas 26
2.2. Definición de suelo 26
2.3. Propiedades físicas de los suelos 26
2.4. Clasificación de los suelos 26
2.4.1. Por su naturaleza 27
2.4.2. Por su capacidad de carga 27
2.4.3. Terrenos sin consistencia 27
2.4.4. Terrenos consistentes 27
2.5. Suelos, su estudio 28
2.6. Color 30
2.7. Textura 31
2.7.1. Textura visual 31
2.7.2. Textura al tacto 31
2.8. Ensayos para definir las características estructurales de un terreno 31
2.8.1. Porosidad 31
2.8.2. Índice de huecos. 32
2.8.3. Humedad 32
2.8.4. Grado de saturación 32
2.8.5. Peso específico 33
2.8.6. Densidad 33
2.9. Límites de consistencia de los suelos 33
2.9.1. Plasticidad de un suelo 35
2.9.2. Límite de liquidez (LL o WL) 36
2.9.3. Límite de plasticidad (LP o WP) 36
2.9.4. Límite de retracción (LR o WS) 37
2.9.5. Utilización de los límites de Atterberg 37
2.9.6. Otros ensayos relativos a la plasticidad de los suelos 38
2.9.7. Equivalencias de arena 39
2.9.8. Ensayo de compactación de suelos 40
2.9.9. Otros ensayos 42

3. Movimientos de tierra **47**
3.1. Aspectos generales 47
3.2. Maquinaria y equipo para el movimiento de tierra 48
3.2.1. Equipo básico 48
3.2.2. Equipo mecánico 48
3.2.3. Equipo de transporte 49
3.3. Coeficientes de esponjamiento y asentamiento de tierra 50
3.3.1. Esponjamiento: valores y factor 51
4. Subestructura **55**
4.1. Cimentaciones superficiales 55
4.1.1. Tipos de cimentaciones superficiales 55
4.1.2. Sistema constructivo 55
4.2. Cimentaciones profundas 58
4.2.1. Clasificación de las cimentaciones profundas 59
4.2.2. Sistema constructivo 66
4.3. Fallas en las cimentaciones y soluciones 67
4.3.1. Fallas más comunes en las cimentaciones superficiales y soluciones 67
4.3.2. Drenaje, impermeabilización y protección contra la humedad 67
4.4. Controles de obra 68
4.4.1. Controles de datos iniciales a la ejecución del proyecto: estudio de suelos 69
4.4.2. Controles de calidad 70
4.4.3. Control económico 71
4.4.4. Control de seguridad 71
5. Cuantificación de recursos **73**
5.1. Cálculo de cantidades de obra 73
5.1.1. Cimentaciones superficiales 73
5.1.2. Cimentaciones profundas 80
5.2. Cálculo de análisis de precios auxiliares (APA) 86
5.3. Cálculo de análisis de precios unitarios (APU) 89
5.4. Presupuesto de obra 95
6. Diseño de ejecución en proyectos de construcción **97**
6.1. Importancia de diseñar la ejecución 97
6.2. Logística interna en obras de construcción 98
6.2.1. Diseño y distribución en planta 98
6.2.2. Elaboración e implementación de distribución en planta o *layout* 99
6.3. Procesos logísticos en obra de construcción 101
6.3.1. Planear la logística 104
6.3.2. Abastecimiento y recepción 104
6.3.3. Entrega y distribución 108
6.3.4. Administración de almacén y bodegas 108
6.4. Objetivos del diseño y distribución en planta 110
6.4.1. ¿Cuándo plantear una distribución en planta? 110
6.5. Flujo continuo 111
6.6. Procedimiento para diseño de ejecución en subestructura 112
6.6.1. Primera parte: estudio del caso 112
6.6.2. Segunda parte: análisis de los recursos 115
6.6.3. Tercera parte: diseño de producción 120
6.6.4. Cuarta parte: desarrollo de la alternativa elegida y diseño de planta 123
6.6.5. Quinta parte: proceso constructivo según el tipo de cimentación 134
Referencias **141**
Lista de figuras **144**
Lista de tablas **145**

Presentación

El libro que presentamos a continuación es el producto de una investigación que tuvo como objetivo compilar material académico y práctico, comprensible para los estudiantes de semestres iniciales de carreras afines a la construcción, que mostrara el paso a paso de los procesos constructivos, así como la información esencial para el diseño de ejecución de las cimentaciones, tanto superficiales como profundas, teniendo como base los temas más relevantes para el aprendizaje y adicionando el componente administrativo.

En el contenido de este libro se incluyen conceptos básicos indispensables para su comprensión, así como algunas clasificaciones de elementos constructivos, conceptos de clasificación de los suelos, sus propiedades físicas, ensayos básicos para definir las características de un terreno, y ensayos fundamentales para su caracterización. Se encuentra también información sobre las operaciones de movimientos de tierra y la herramienta y equipo adecuados para emplear en esta actividad.

En el capítulo de subestructura se presentan detalladamente los conceptos, componentes y clasificación según su forma de trabajo, el sistema constructivo y su tamaño, además de las fallas y patologías más comunes en las cimentaciones y sus posibles soluciones. En el siguiente capítulo se hace énfasis en la cuantificación de los recursos para el desarrollo de la actividad de construcción, desde el cálculo de cantidades de obra, donde se emplea una sección de plano como ejemplo, hasta ejercicios para lograr una fácil comprensión. Para ello se tienen en cuenta las excavaciones, el concreto y los aceros, tanto para cimentaciones superficiales como profundas. Con el mismo ejemplo se realizan ejercicios de cálculo y análisis de precios auxiliares (APA) y análisis de precios unitarios (APU); finalmente, se hace un presupuesto de obra basado en las actividades descritas en el desarrollo del ejercicio.

El último capítulo incluye el componente administrativo, donde se trata la logística interna en las obras de construcción aplicada a la ejecución, los objetivos del diseño de ejecución en obra y la distribución en planta, el flujo del proyecto, la definición de sistema constructivo, materiales, la localización de las actividades para ejecutar, la sectorización, el diseño de tránsito interno de personas y vehículos, las rutas de tráfico en planta para maquinaria y los diferentes registros de salida de la actividad ejecutada.

Agradecemos, entonces, a compañeros y docentes de la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia y del Instituto Tecnológico Metropolitano por permitirnos llevar a cabo esta investigación y posterior publicación, que, sabemos, será de gran utilidad para estudiantes y docentes de carreras afines a la construcción. También agradecemos a nuestras familias por el apoyo que siempre nos brindaron durante el proceso académico y de investigación, que nos permitió finalizar este texto académico.

1. Conceptos básicos

1.1. Concepto de suelos

Se denomina suelo a la capa de la corteza terrestre expuesta a las acciones de los agentes atmosféricos. Se distingue entre dos grandes grupos: suelos que descansan sobre las capas primitivas, es decir, sobre la roca de la que proceden por descomposición y, por lo tanto, no presentan mezclas; y suelos que descansan sobre capas secundarias, o sea, que han sido transportados por su propio peso, por ejemplo, en laderas, o por el agua, el viento o el hielo. Si la distancia transportada ha sido corta, apenas se evidencia mezcla; mientras que si la distancia ha sido grande suele observarse una fuerte heterogeneidad en el tamaño granulométrico (Schmitt & Heene, 1993, pp. 1-2).

1.2. Capacidad portante

La capacidad portante, según Bernal (2005), se puede definir como el peso que resiste un área determinada de suelos sin que se produzcan fallas o deformaciones excesivas. Se define también como el nivel máximo de presión media entre la cimentación y el terreno, siempre que no exista un fallo por un asentamiento diferencial excesivo o por cortante del suelo. Para diferenciarla y clasificarla, se deben tener en cuenta alguno de estos criterios:

- Es posible denominarla carga de hundimiento cuando se requiere que el terreno de cimentación soporte una tensión determinada, sin importar la deformación.
- De otra forma, la capacidad portante dependerá de los indicadores de asiento admisible, siempre y cuando las variables buscadas tengan que ver con el equilibrio entre la tensión que se aplique al terreno y la deformación que este último sufra.

Este término es aplicable en ingeniería para determinar usualmente cómo una estructura puede contener las cargas que se le apliquen. De la misma manera, tiene dos características que la hacen diferenciable: la capacidad de carga a corto y a largo plazo. Para ello, es necesario tener en cuenta que las cargas son diferentes, pues algunas son instantáneas y otras casi permanentes. Aquí es necesario estudiar las propiedades mecánicas de los terrenos a intervenir, que, en todos los casos, son distintos, pues pueden tener saturación parcial o total de agua y casi siempre son porosos. Además, la división y permanencia de las cargas varían la presión, lo que se ve reflejado en el movimiento y desalojo de agua en algunas zonas.

A la hora de comprobar la capacidad portante de un terreno en el que hay una construcción, las evaluaciones se deben desarrollar en el corto y mediano plazos, pues estas variables corresponden a los casos en los que existe o no drenaje. En el corto plazo, todos los términos se desprecian salvo la cohesión última; mientras que en el largo plazo se debe tener en cuenta el rozamiento interno del terreno y su peso específico (Das, 2012).

1.3. Cargas sobre las cimentaciones

Así se denomina al peso de una estructura en su estado final. Es necesario diferenciarlas de la siguiente manera:

- La primera se conoce como carga muerta, pues reúne el peso concentrado de todo el edificio terminado sin mobiliario.
- La segunda es la carga superpuesta o viva que contiene las fuerzas de los bienes que contenga el edificio, es decir, los equipamientos implementados para su uso final.

1.3.1. Tipos de carga

- Uniformemente distribuidas son las que en su diseño se muestran de manera continua, por ejemplo, los muros sobre una cimentación de viga continua.
- Aisladas son las cargas concentradas, por ejemplo, una columna sobre una zapata (Bailey & Hancock, 2006, p. 84).

1.4. Estructura, subestructura y superestructura

1.4.1. Estructura

Reciben este nombre la serie de elementos incorporados o acoplados entre sí con el fin de recibir una carga determinada, soportarla y transmitirla al suelo buscando así que la función estático-resistente de la construcción esté presente y sea garantizada (Aguado Crespo, 1994).

En construcción, las edificaciones requieren un conjunto de elementos para mantenerse estáticas. Estos tienen una función netamente mecánica o estático-resistente y sin ellos no sería posible que las construcciones sean inmóviles total o parcialmente, por lo que su ausencia no permitiría que la finalidad de las edificaciones se cumpla. A este conjunto se le conoce como estructura y constituye el sostén de las construcciones. Además de ello, todas las edificaciones tienen elementos soportantes y soportados que se pueden apreciar,

por ejemplo, en las estructuras que sostienen las cubiertas de viviendas, para lo cual es necesario que haya una estructura adicional que contenga el techo y la cubierta para que no caiga (Aguado Crespo, 1994).

1.4.2. Subsistema estructural

En nuestra área, este se entiende como el conjunto de elementos que contribuyen al sostenimiento del peso de los materiales, los elementos arquitectónicos, humanos y enseres que contendrá el edificio según el fin para el que fue diseñado (Figuras 1 y 2). (Centro Nacional de la Construcción, Sena, s. f.). El subsistema estructural puede dividirse en subestructura y superestructura. Se conoce como superestructura a los elementos que están por encima del terreno, tales como vigas, columnas, escalas, gradas, cubiertas, entre otros. Los que están por debajo del nivel del terreno se les conoce como subestructura.

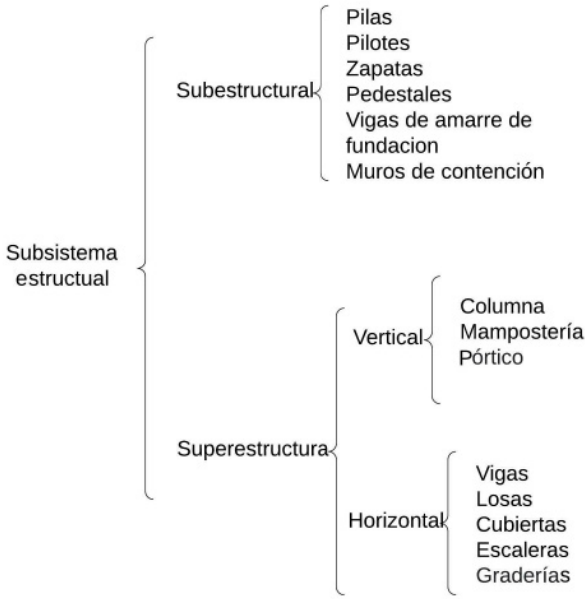


Figura 1. División del subsistema estructural
Fuente: Centro Nacional de la Construcción, Sena, s.f.

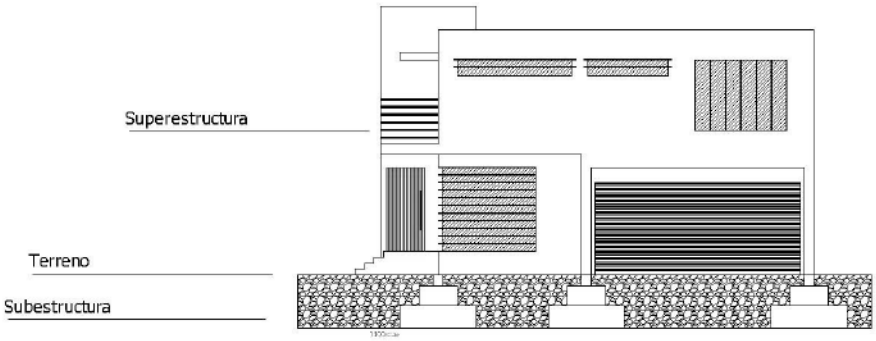


Figura 2. Subsistema estructural
Fuente: elaboración propia.

1.4.3. Subestructura

Se trata de una parte de la estructura construida para el uso constante tras la ocupación del bien sin importar cómo será soportada por el suelo (Flores Bustamante & Gómez Verde, s. f.). La subestructura la constituyen algunos elementos como zapatas, vigas de amarre, pedestales, entre otros, que se complementan para servir a un fin específico, bien sea de forma, capacidad de ejecución o resistencia. Por ello, para ejecutar una construcción que deba albergar cargas y soportar el deterioro natural es irremplazable, salvo que sea por una subestructura que supla su papel con mejor desempeño por tener características mejoradas.

- ***Pilas:*** contenidas en las subestructuras, se denominan así las excavaciones secas que se realizan en una obra hasta encontrar un terreno óptimo en condiciones de resistencia, para luego vaciarlas en concreto reforzado con estribos que se colocan en forma de anillos amarrados al acero de refuerzo con terminales en gancho (Figura 3). La profundidad de las pilas se obtiene gracias a los cálculos estructurales junto a un previo estudio de suelos, y por lo regular cuentan con una profundidad que oscila entre 5 y 30 m.

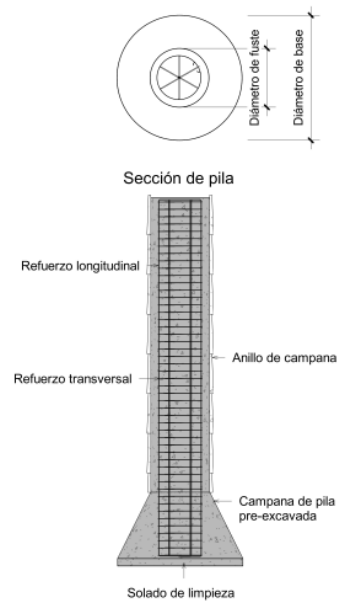


Figura 3. Pila
Fuente: elaboración propia.

- ***Pilotes:*** aunque similares a las pilas, se diferencian por tener menor profundidad, menor diámetro y diferencia de materiales en su ejecución, pues los pilotes se pueden ejecutar en concreto simple, reforzado, vaciados o hincados (prefabricados) o ciclópeo. De la misma manera pueden trabajar por punta o fricción (Figura 4).

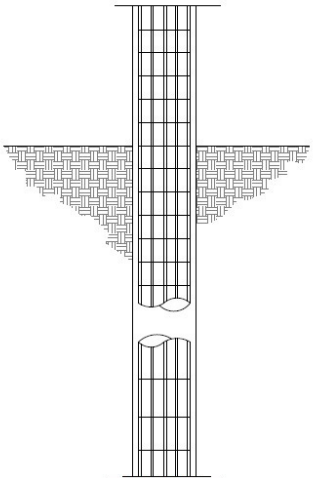


Figura 4. Pilote
Fuente: elaboración propia.

- ***Zapatas:*** contenidas por las pilas y pilotes, las zapatas cuentan con un ancho y largo más grandes frente a la altura o grosor, pues se encargan de distribuir en el terreno las cargas que reciben de las columnas y pedestales; sin embargo, su profundidad no es mucha, pues usualmente se ubican a 3 o 4 m (Figura 5).

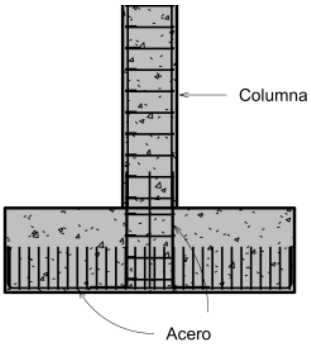


Figura 5. Detalle de zapata
Fuente: elaboración propia.

- ***Pedestales:*** al igual que las zapatas, a los pedestales los contienen las pilas y pilotes. Su dimensión es mayor que la columna y menor que las zapatas y estructuralmente se ocupan de distribuir las cargas verticales en forma de triángulo hacia las zapatas. Las secciones pueden variar de acuerdo con las cargas de la construcción (Figura 6).

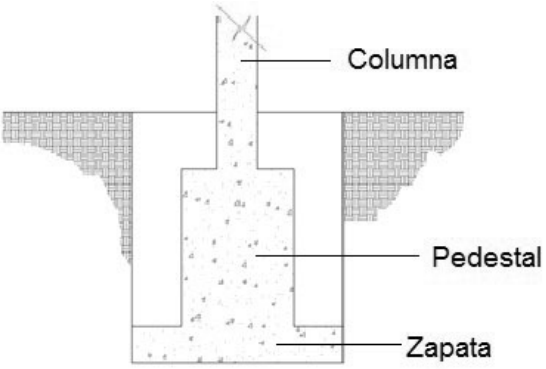


Figura 6. Pedestal
Fuente: elaboración propia.

- ***Viga de fundación o amarre:*** dispuestas de manera horizontal, se ocupan de amarrar las columnas y distribuir las cargas en los terrenos.

Su longitud sobrepasa sus secciones y están sometidas a fuerzas de tracción arriba y compresión abajo. Para su elaboración, los materiales más frecuentes son concreto y acero como material de refuerzo (Figura 7).

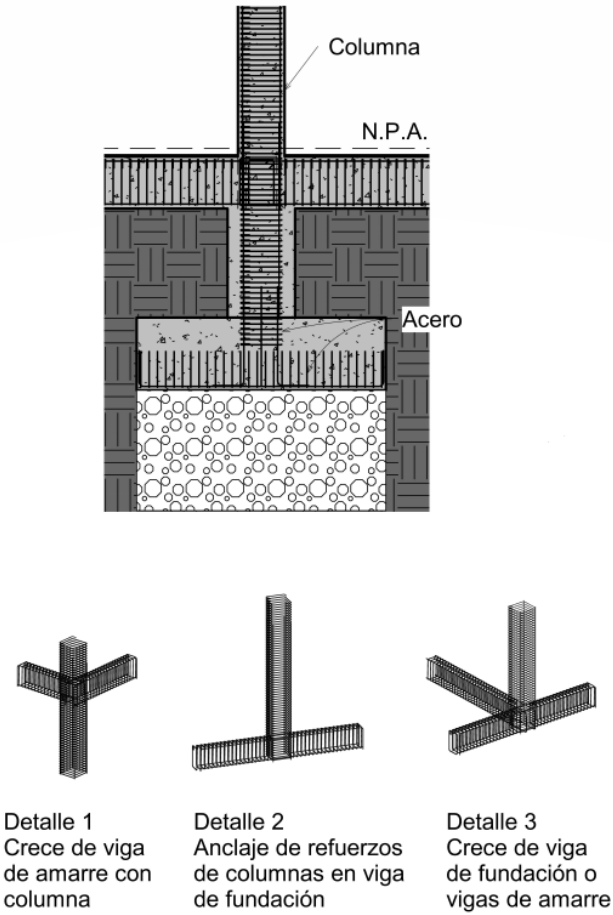


Figura 7. Viga de fundación o amarre
Fuente: elaboración propia.

1.4.4. Superestructura

En construcción, el término superestructura se refiere a la totalidad de elementos que se requieren para sostener y transportar cargas a los elementos que hacen parte de la subestructura. Por cargas se entiende el peso propio del edificio, los elementos con los que se ha amoblado y las personas que lo ocupan. Es necesario anotar que las cargas se transportan al terreno según el plano donde se encuentren: verticales, horizontales o inclinados (Figura 8).