

**APUNTES DE CLASE ENFOCADOS A LA INGENIERÍA  
DE CIMENTACIONES**

Autor

**Juan Camilo Orozco Cerón**

**Maudy Alexandra Ramírez Silva**

Director

**Sandra Elodia Ospina Lozano**

Codirector

**Orlando Rincón Arango**



**UNIVERSIDAD DE LA SALLE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA CIVIL  
BOGOTÁ  
2020**

**APUNTES DE CLASE ENFOCADOS A LA INGENIERÍA  
DE CIMENTACIONES**

Autor

**Juan Camilo Orozco Cerón**

**Maudy Alexandra Ramírez Silva**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de: Ingeniero  
Civil**

Director

**Sandra Elodia Ospina Lozano**

Codirector

**Orlando Rincón Arango**



**UNIVERSIDAD DE LA SALLE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA CIVIL  
BOGOTÁ  
2020**

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

**ASESOR**

---

---

---

**JURADOS**

---

---

---

---

# Contenido

<b>Capítulo 1 Generalidades .....</b>	<b>5</b>
<b>Introducción .....</b>	<b>5</b>
<b>Justificación .....</b>	<b>6</b>
<b>Antecedentes.....</b>	<b>7</b>
<b>Objetivos .....</b>	<b>10</b>
<b>Objetivo general.....</b>	<b>10</b>
<b>Objetivos específicos .....</b>	<b>10</b>
<b>Capítulo 2 Recopilación de teorías empíricas sobre capacidad portante y asentamientos para cimentaciones superficiales.....</b>	<b>10</b>
<b>Capítulo 3 Recopilación de teorías empíricas sobre capacidad portante y asentamientos para cimentaciones profundas .....</b>	<b>14</b>
<b>Comentarios .....</b>	<b>15</b>
<b>Conclusiones.....</b>	<b>16</b>
<b>Recomendaciones.....</b>	<b>18</b>
<b>Referencias bibliográficas.....</b>	<b>19</b>

# **FORMULACIÓN DE APUNTES DE CLASE ENFOCADOS A LA INGENIERÍA DE CIMENTACIONES**

## **Capítulo 1 Generalidades**

### **Introducción**

La realización de la guía apuntes de clase enfocados a la ingeniería de cimentaciones pretende ser una herramienta de apoyo para los estudiantes de la materia “ingeniería de fundaciones” debido a que la universidad no cuenta con textos especializados en el área que sirvan como complemento a las clases para que el estudiante indague en sus horas de trabajo independiente. El material educativo contiene un capítulo introductorio donde se presentan generalidades de mecánica de suelos con el objetivo de orientar al estudiante desde los conceptos básicos de este material para que pueda entender sus características físicas, hidráulicas y mecánicas, además, se mencionan los tipos de cimentaciones con algunas características con el fin de que se comprendan sus diferencias y casos en los que se construyen, al finalizar, se explican brevemente los ensayos de laboratorio que se realizan al suelo y de los cuales se obtienen parámetros usados en el diseño de cimentaciones.

Los capítulos dos y tres profundizan en las cimentaciones superficiales exponiendo teorías para el cálculo de capacidad portante y asentamientos, además, se aplican las teorías en ejercicios prácticos.

Por último, los capítulos cuatro, cinco y seis se enfocan en cimentaciones profundas donde se explican los métodos para el cálculo de la capacidad portante mediante sus dos formas de trabajo (punta y fuste) y de los asentamientos esperados.

y así puedan mejorar sus conocimientos, adquirir habilidades y conocer casos aplicados además de los vistos en clase.

La metodología de la guía consiste en exponer las teorías junto con las ecuaciones usadas para el diseño de cimentaciones y presentar ejercicios resueltos usando las teorías mencionadas, de esta forma, el estudiante perfecciona los conocimientos adquiridos en clase y se evita la consulta de los muchos libros ya que la guía tiene información recopilada y resumida de algunos ellos.

### **Justificación**

En la actualidad se buscan enfoques más apropiados para la estimulación del conocimiento en los estudiantes, por lo cual se producen nuevas alternativas o herramientas eficaces que lleguen a ser entendidas por los estudiantes. Se busca realizar la formulación de apuntes de clase en el área de la ingeniería de fundaciones enfocado a los estudiantes de la universidad de La Salle

Mejorar el desempeño de los estudiantes de ingeniería civil en el tema de cimentaciones en las pruebas saber pro y la acreditación de alta calidad del programa otorgada en el 2018 implican la implementación herramientas que faciliten el aprendizaje, además, el área de ingeniería de fundaciones establece tres horas presenciales de trabajo en la semana, por ende, el tiempo de enseñanza por parte del docente es escaso, así, surge la necesidad de crear instrumentos que conduzcan al estudiante a hacer más efectivas sus horas de estudio independiente y de esta forma complementar los conocimientos adquiridos en clase.

Durante el proceso de aprendizaje sobre ingeniería de fundaciones el estudiante se encuentra con varios obstáculos como la poca accesibilidad al docente para la solución de dudas y la reducida intensidad horaria de las clases, es por ello que requiere de varias herramientas en su

estudio independiente que complemente su aprendizaje y lo oriente con diferentes ejercicios. Generalmente, cuando el estudiante consulta en las bibliotecas se encuentra con libros destacados que en área y que son muy utilizados en la enseñanza del diseño de cimentaciones pero, algunos libros no son didácticos y explican las teorías de manera compleja, además, exponen formulan pocos ejemplos, debido a lo anterior, la importancia de la guía radica en que contiene la información de los libros usados en clase de manera resumida y didáctica, de esta forma, se logra orientar al estudiante en su proceso de aprendizaje.

### **Antecedentes**

Diferentes autores han desarrollado literatura basada en el apoyo al estudiante en el proceso de aprendizaje. La elección de los textos educativos expuestos en esta sección se realizó revisando dos aspectos: el primero, que contenga teorías de diferentes autores y el segundo, que sea de fácil comprensión para el estudiante.

Existen muchos libros sobre ingeniería de suelos, geotecnia y fundaciones que sirvieron como referencia para la realización de la guía “apuntes de clase enfocados a la ingeniería de cimentaciones” y que a la vez se exponen como antecedentes de esta última en el presente apartado, entre los autores de dichos libros se mencionan: Joseph Bowles (1997), Braja M. Das (2001), Juárez Badillo (2005), Ralph B. Peck (2011), Jorge Alva (2007), Jaime Suárez (2015) y Manuel Delgado (1996).

Tabla 1.

*Antecedentes de la guía “apuntes de clase enfocados a la ingeniería de cimentaciones”.*

Identificación	Temas destacados	Observaciones
Bowles, (1997). <i>Foundation Analysis and Design</i> . Nueva York: McGraw-Hill	-Diseño de cimentaciones teniendo en cuenta capacidad portante y asentamientos.	-Es un libro extenso que comprende muchas teorías para el estudio de las cimentaciones superficiales y profundas.
Braja, Das (2001). <i>Principios de la ingeniería de cimentaciones</i> . México: International Thompson	-Mecánica de suelos -Cimentaciones: capacidad de carga y asentamientos -Presión de tierras	-Junto con Bowles es uno de los libros más utilizados en la enseñanza de la ingeniería de cimentaciones ya que es un texto completo.
Badillo, J. (2005) <i>fundamentos de la mecánica de suelos</i> . México: LIMUSA	-Características físicas y mecánica de los suelos -Geología: tipos de roca, suelos y origen -Propiedades hidráulicas del suelo -Clasificación de los suelos -Parámetros del suelo.	-Explica el origen de las fórmulas generales de la mecánica de suelos empezando por una introducción clara sobre el comportamiento del agregado, así como los factores que intervienen y de esta forma, fundamentan las fórmulas exhibidas.  -Contiene anexos con valiosa información adicional a la presentada en las teorías que sirven como complemento.
Peck, R; Hanson, W & Thornburn, T.(2011). <i>Ingeniería de cimentaciones</i> . México: LIMUSA	-Generalidades de la mecánica de suelos. -Consolidación -Parámetros mecánicos del suelo. -Técnicas de investigación del suelo	-Es un libro fácil de entender que contiene no solo las teorías destacadas en el área, sino que también expresa conceptos ingenieriles basados en la experiencia del autor así como información adicional que complementa los temas tratados.  -Se basa principalmente en las teorías de Terzaghi y destaca a este autor como el



	<p>-Métodos de construcción de cimentaciones superficiales y profundas.</p> <p>-Drenajes y estabilización del suelo.</p>	<p>padre de la mecánica de suelos.</p> <p>-Se enfoca en enseñar conceptos importantes para la práctica o la construcción de las cimentaciones.</p>
<p>Alva, J. (2007). "diseño de cimentaciones. Lima: ICG.</p>	<p>-Conceptos básicos de la ingeniería de suelos.</p> <p>-Criterios básicos en diseño de cimentaciones superficiales y profundas</p> <p>-Análisis de taludes</p>	<p>- Es un libro que presenta conceptos generales tanto de la mecánica de suelos como de la ingeniería de cimentaciones.</p> <p>-Su contenido es más teórico que práctico puesto que precisa muchos fundamentos, conceptos y teorías, pero no enfatiza en las fórmulas ni ejercicios de aplicación.</p> <p>-Tiene compilación histórica completa con muchos datos relevantes en el estudio del área.</p>
<p>Suárez, J (2015) <i>deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales</i>. Bucaramanga</p>	<p>-Resistencia al corte de los suelos según sus características.</p>	<p>-El autor relaciona los compendios relacionados a la mecánica de suelos con sus investigaciones realizadas en Colombia</p> <p>-Resume de manera didáctica los temas del libro para un mejor entendimiento.</p> <p>-Contiene muchas representaciones gráficas que facilitan el aprendizaje.</p>
<p>Delgado, M (1996). <i>Ingeniería de fundaciones</i>. Bogotá: Escuela colombiana e ingeniería</p>	<p>-Capacidad portante en cimentaciones superficiales y profundas.</p> <p>-Asentamientos en cimentaciones superficiales y profundas.</p>	<p>-Es un libro que resume diversas teorías existentes para el diseño de cimentaciones, de esta forma, el ingeniero apropia bases que lo ayudan para realizar un correcto diseño teniendo en cuenta las propiedades del</p>

---

-Generalidades de mecánica de suelos.

suelo y las necesidades del proyecto.

-Expone ejercicios resueltos donde contextualiza diversas situaciones o condiciones que se pueden presentar al momento de diseñar las fundaciones.

---

## Objetivos

### Objetivo general

- Estructurar un documento sobre ingeniería geotécnica para el diseño de cimentaciones.

### Objetivos específicos

- Realizar una compilación de teorías empíricas sobre capacidad portante y asentamientos con implementación de ejemplos para cimentaciones superficiales.
- Realizar una compilación de teorías empíricas sobre capacidad portante y asentamientos con implementación de ejemplos para cimentaciones profundas.

## **Capítulo 2 Recopilación de teorías empíricas sobre capacidad portante y asentamientos para cimentaciones superficiales.**

Para el desarrollo de la guía fue necesario identificar los diversos textos relacionados con la ingeniería de cimentaciones, mecánica de suelos e ingeniería geotécnica, seguidamente se construyó una tabla en la que se organiza la información necesaria para citar cada libro; dicha tabla contiene nombre y apellido del autor, título, edición, año, editorial y ciudad, de esta forma, se simplificó la inserción de citas bibliográficas.

Al inicio de cada capítulo de la guía se presenta un glosario en el cual se exponen definiciones relacionadas con el tema a tratar y que fueron obtenidas de un diccionario geotécnico. Para la realización del glosario, se hizo una lectura del capítulo correspondiente subrayando los conceptos presuntamente desconocidos u olvidados por el estudiante y por último, se buscaron en el diccionario para introducirlos en el glosario.

Para la realización de los capítulos 2 y 3 relacionados con cálculo de capacidad portante y asentamientos en cimentaciones superficiales se consultaron inicialmente los libros destacados en el área que corresponden a “Fundamentos de ingeniería geotécnica” de Braja M. Das (2015) y “Foundation Analysis and Design” de Joseph E. Bowles (1997) aunque se revisaron muchos otros autores (nombrados en antecedentes) que sirvieron como complemento a la información encontrada.

En la formulación de la guía no solo se usaron los libros expuestos, sino que también se siguieron fuentes digitales confiables como la página de erosion.com del ingeniero Jaime Suárez donde, además, se pueden descargar sus libros.

Para la explicación del caso del edificio Space en Medellín se obtuvo la información de un boletín informativo de la universidad de los Andes, institución encargada del estudio de caso.

Las teorías de capacidad portante en cimentaciones superficiales se obtuvieron del libro de Bowles (1997) principalmente ya que en él se presenta información completa y detallada de cada uno de los factores que intervienen en el cálculo de carga última de una cimentación superficial. Inicialmente se exponen conceptos básicos como carga admisible y carga última que son relevantes en el diseño de cimentaciones, además, se explican los tipos de fallas que se pueden presentar en el suelo junto con sus causas.

En el diseño de cimentaciones es necesario tener en cuenta un factor de seguridad que también se explica en el capítulo de capacidad portante, en este caso no se consulta la información sobre este parámetro en libros sino, en la norma de sismo resistencia de Colombia ya que ésta contiene diferentes condiciones para la implementación del factor de seguridad, de esta forma, se orienta al estudiante a que su diseño no debe cumplir solamente con las teorías sino, también ciertos parámetros presentes en la normativa.

Las teorías de capacidad de propuestas por Meyerhof, Terzaghi, Hansen y Vesic son expuestas indicando los factores que cada una de ellas requiere calcular, (factores de carga, de forma, de profundidad, inclinación de la carga, del terreno y de la base). En la explicación de cada teoría se incluyen ilustraciones que representan cada uno de los casos en los cuales se aplican los factores mencionados, además, se expresan las fórmulas correspondientes al cálculo de capacidad última con las variables involucradas.

Se resolvieron seis ejercicios correspondientes a diferentes condiciones que se pueden encontrar al momento de diseñar cimentaciones, por ejemplo, cuando su ubicación es cerca a un talud. La metodología realizada en los ejercicios comprende un paso a paso donde se explica de dónde surgen las variables presentes en las fórmulas y la relación entre ellas.

En la literatura consultada con el fin de obtener información sobre asentamientos en cimentaciones superficiales se identificó que exponen casos históricos que ayudan a comprender las consecuencias de los asentamientos, por tal razón, se referenció a Das (2015) para argumentar el suceso de la torre de Pisa y las torres de Bolonia ya que en su obra relata detalles numéricos como la inclinación de la torre y su altura inicial, además explica la posible causa del asentamiento excesivo que sufrió la estructura. También se exponen casos presentados en

Colombia como es el caso de la inclinación del edificio el Polo en Bogotá y el famoso edificio Space en Medellín. Lo anterior se realizó con la intención de que el estudiante comprenda las consecuencias de un asentamiento excesivo, pues, aunque en algunas situaciones no genera el colapso de la estructura no se pueden permitir valores de asentamientos mayores a los indicados en las normas que rijan el proyecto ya que no existen rangos de valores para delimitar los asentamientos.

Se identifica que Delgado (1996) contiene un capítulo enfocado en información teórica sobre asentamientos que permite dar una introducción al estudiante en el tema, en cambio, Das (2001) aborda la temática explicando las fórmulas para el cálculo de asentamientos, así que se obtuvo la tabla de posibles causas de asentamientos del libro de Delgado (1996) donde se relacionan factores externos que influyen en los asentamientos del suelo.

El estudio de los asentamientos en el suelo causado por la construcción de las cimentaciones requiere de unas bases teóricas en la mecánica de suelos, dichas bases se refieren a la comprensión de la estructura del suelo y las fuerzas que intervienen en su interior (fuerza normal y cortante), para ello se consultó el libro de Juárez Badillo (2005) y se rescataron las ecuaciones sobre los esfuerzos presentes en la estructura del suelo.

Teniendo los conceptos básicos sobre mecánica de suelos presentes en el capítulo uno de la guía y al inicio del capítulo tres de asentamientos, se explica la fórmula general para el cálculo de asentamientos inmediatos presente en Das (2001). El autor mencionado cita otros autores como Harr (1966) y Steiner (1934) quienes realizaron aportes en el tema. La metodología usada para explicar el cálculo de asentamientos consiste en ilustrar una figura que contenga las variables que se exponen y exponer las fórmulas detallando sus variables.

### **Capítulo 3 Recopilación de teorías empíricas sobre capacidad portante y asentamientos para cimentaciones profundas.**

En los capítulos 4, 5 y 6 relacionados con cimentaciones profundas se presenta desde los conceptos generales de pilotes, métodos constructivos y clasificación hasta su cálculo de capacidad portante y asentamientos. Lo anterior con el objetivo de dar a conocer al estudiante información relevante de este tipo de cimentaciones y poderla comparar con las cimentaciones profundas.

Durante el desarrollo de estos capítulos se encontraron los siguientes obstáculos:

- Las fuentes consultadas tienen diferentes criterios en cuanto a la clasificación de las cimentaciones profundas, además, al consultar con profesionales en el área, también se obtenían criterios diferentes, por esa razón fue necesario especificar que los parámetros de clasificación expuestos no son generalizados.
- La determinación de algunas variables necesarias para el cálculo de capacidad portante en pilotes se debía realizar mediante gráficas que no aseguran precisión en el dato obtenido.
- Las fórmulas expuestas sobre capacidad de carga por fuste y fricción contienen variables que se explican de mecánica de suelos y geotecnia, las cuales en muchas ocasiones no están claras en el estudiante lo que hace que se deba remitir a otras áreas para comprender el origen de dichas variables.

En adición a las fórmulas expuestas para el cálculo de capacidad de carga y fuste en pilotes se exponen correlaciones usadas para encontrar algunos parámetros, esto con el fin de que el estudiante tenga una visión amplia y encuentre otras alternativas de cálculo.

Fue necesario incluir información sobre grupos de pilotes, donde se expone el cálculo de la eficiencia, la capacidad de carga última y la predicción de sus asentamientos. Este tema en algunas ocasiones no se alcanza a inspeccionar en clase y la mayoría de los libros no lo mencionan. La información requerida se ubicó en Das (2001) y Delgado (1996), donde Das expone de manera organizada las fórmulas para el cálculo de la eficiencia, la capacidad de carga última y de asentamientos, mientras que Delgado se enfoca en contenido teórico.

Los ejercicios resueltos que se plantearon en el capítulo 2 trataron de abordar varios de los casos mencionados en las teorías de capacidad portante en cimentaciones superficiales con el fin de complementar los ejercicios vistos en clase por el estudiante

### **Comentarios**

- Las teorías expuestas en la guía se obtuvieron de diferentes libros destacados en el área y de uso común tanto en las universidades como en la región. este último aspecto se debe a que la ingeniería de cimentaciones tiene variaciones dependiendo del tipo de suelo, la normativa de la región, entre otros aspectos.
- Los ejercicios prácticos presentes en la guía se explican paso a paso con el fin de aclarar al estudiante el origen de los diferentes factores que intervienen, las consideraciones a tener en cuenta, la metodología que deben seguir y las dependencias entre las variables que se calculan.
- Para un correcto aprendizaje de la ingeniería de cimentaciones es necesario empezar por conocer el suelo donde se apoyan las bases y a el cual ellas le transmiten las cargas, por esta razón, la guía contiene apartados relacionados a la exploración del suelo, toma de muestras y ensayos de laboratorio, además, el comportamiento mecánico del suelo, las fuerzas que intervienen en él y su respuesta ante la aplicación de sobrecargas.

- En el diseño de las cimentaciones intervienen muchos factores tanto del suelo, como de la estructura que se pretende construir, es por ello que el ingeniero debe conocer los principios teóricos que le permiten hallar los valores para su diseño como: las dimensiones de la cimentación, la profundidad de desplante, el asentamiento estimado, entre otros, asimismo, el ingeniero debe analizar otros componentes del proyecto como es el factor económico, factibilidad del tipo de la base, geología del terreno, etc. En consecuencia, cada profesional lleva a cabo el diseño de las fundaciones según su experiencia y capacidad de análisis.
- La información presente en la guía es académica, dirigida a estudiantes que se adentran en el área y no se compromete a ser una guía de diseño de diseño de cimentaciones ya que, como se mencionaba anteriormente, para el diseño de las cimentaciones se necesita más que conocer los principios básicos.

### **Conclusiones**

- Durante el proceso de consulta bibliográfica relacionada con la ingeniería de cimentaciones el estudiante se encuentra con una extensa literatura que contiene criterios diferentes para el diseño de cimentaciones, por esta razón, es importante identificar el contenido general de cada libro y extraer los conceptos comúnmente usados en su contexto.
- Algunos autores usan diferente nomenclatura para designar parámetros, por esta razón resulta confuso consultar el mismo tema de diferentes textos.
- Para calcular la capacidad portante y asentamientos en cimentaciones superficiales y profundas los autores exponen gráficas y tablas de donde se hallan diversos parámetros teniendo en cuenta valores de entrada. Identificar el valor en dichas gráficas resulta ser



complicado cuando estas últimas tienen grandes rangos. Por la razón anterior, es recomendable usar las fórmulas expuestas.

- El estudio de la ingeniería de cimentaciones requiere conceptos básicos de mecánica de suelos y de ingeniería geotécnica.
- Los libros más recomendados para el estudio de la ingeniería de cimentaciones son: *Foundation Analysis and Design* de Bowles (1997) y introducción a la ingeniería de cimentaciones de Braja M. Das (2001) ya que contienen las teorías tradicionales para el diseño de cimentaciones de manera resumida y clara, además, estas obras son las más investigadas por los docentes del área
- Para calcular los asentamientos inmediatos y por consolidación en cimentaciones superficiales es necesario indagar primero los conceptos de sobrecarga dependiendo la forma de sección transversal de la cimentación.
- Los asentamientos inmediatos no dependen de gran forma de los parámetros del suelo como los asentamientos por consolidación.
- La capacidad de carga de los pilotes es mayor por punta que por fricción, por esa razón, algunos ingenieros desprecian este último valor.
- Los libros de Jorge Alva (2007) y Delgado (1996) comprenden amplia información teórica que le permite al estudiante profundizar en el tema estudiado y ampliar sus conocimientos.
- El diseño de las cimentaciones no solo depende de los resultados obtenidos de la aplicación de teorías, sino que también influye la normativa del lugar, el criterio del ingeniero y las condiciones del proyecto.

## Recomendaciones

- Para tener una exitosa consolidación de información es necesario detallar inicialmente la información básica de la literatura que se va a utilizar, es decir, hacer una tabla que contenga el nombre del autor (es), año de publicación, editorial y ciudad. Dicha información se organiza con el fin de simplificar la citación con las normas establecidas.
- Realizar un sondeo general de cada libro ayuda a identificar las temáticas que se pueden extraer y las que no dependiendo del objetivo que se tenga. Esto debido a que las obras tienen enfoques diferentes, mientras unas explican las hipótesis con información teórica, otros se orientan a la implementación de fórmulas o ejemplos prácticos.
- Redactar un texto basado en información dada por un autor determinado requiere leer y analizar dicha temática hasta lograr comprenderla, seguidamente, se hace un resumen de la lectura o se escriben las ideas generales y por último, se redacta el texto citando al autor, en consecuencia, se evita escribir textualmente las palabras del autor.
- Cuando se pretende explicar un tema, se toma la información necesaria de diferentes fuentes bibliográficas, se comparan y se aplica la metodología explicada en el anterior ítem, sin embargo, es de mucha utilidad recurrir a un profesional en el tema e indagar sobre estos conceptos para tener mayor información, una perspectiva amplia y así receptar más ideas para incluir en el texto. En muchas ocasiones los libros son de difícil comprensión y la aclaración de un profesional en el área ayuda a entender la temática.

## Referencias bibliográficas

Alva, J. (2007). *Diseño de cimentaciones*. Lima: Instituto de la Construcción y la Gerencia.

Crespo, C. (2010). *Mecánica de suelos y cimentaciones*. México: LIMUSA.

DAS, B. (2001). *Principios de la ingeniería de cimentaciones*. México: International Thompson editores.

Delgado, M. (1996). *Ingeniería de fundaciones*. Bogotá: escuela colombiana de ingeniería.

Peck, R., Hanson, W., & Thornburn, T. (2011). *Ingeniería de cimentaciones*. México: LIMUSA.

Suárez, J. (03 de 08 de 2015). *erosion.com*. Obtenido de erosion.com:

<http://www.erosion.com.co/presentaciones/category/75-exploracion-geotecnica.html#>