



**MANUAL DE ESTUDIO PARA EL
DISEÑO GEOTÉCNICO Y
ESTRUCTURAL DE FUNDACIONES
SUPERFICIALES
TIPO ZAPATA COMBINADA**

**Autor:
Ángela Cárdenas
C.I. 23.621.237**

Urb. Yuma II, Calle N° 3, Municipio San Diego
Teléfono: (0241) 8714240 (Máster) – Fax: (0241) 8712394



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**MANUAL DE ESTUDIO PARA EL DISEÑO GEOTÉCNICO Y
ESTRUCTURAL DE FUNDACIONES SUPERFICIALES TIPO
ZAPATA COMBINADA**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
INGENIERO CIVIL**

Autor:
Cárdenas González Angela Gabriela
C.I. 23.621.237
Tutor:
Ing. Fernando De Macedo
C.I. 7.114.125

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
RESUMEN INFORMATIVO	XII
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	3
EL PROBLEMA	3
1.1 Planteamiento del problema.....	3
1.2 Formulación del problema	5
1.3 Objetivos de la investigación	5
1.3.1 Objetivo general	5
1.3.2 Objetivos específicos	5
1.4 Justificación de la investigación.....	6
1.5 Alcance	6
CAPÍTULO II	8
MARCO TEÓRICO	8
2.1 Antecedentes	8
2.2 Bases Teóricas	10
2.2.1 El Suelo como Elemento portante de las fundaciones / Cimentaciones	10
2.2.2 Clasificación de los suelos	11
2.2.3 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.....	12
2.2.4 Definición de Geotecnia.....	13
2.2.5 Información geotécnica necesaria para el diseño de fundaciones.....	13
2.2.6 Fundaciones o cimentaciones definición	14
2.2.7 Requisitos para una buena fundación.....	14

2.2.8 Tipos de fundaciones	15
2.2.9 Diseño Geotécnico de Fundaciones superficiales.....	18
2.2.10 Capacidad de carga última.....	19
2.2.11 Zapatas aisladas.....	36
2.2.13 Secuela de cálculo para el dimensionamiento de zapatas aisladas sujetas a carga axial excéntrica en una dirección	42
2.2.14 Secuela de cálculos para el dimensionamiento de zapatas aisladas sujetas a carga axial excéntrica en dos direcciones	45
2.2.15 Generalidades sobre zapatas combinadas	48
2.2.16 Zapatas combinadas de lindero	51
2.2.17 Secuela de cálculo para el diseño de una zapata combinada	54
2.3. Definición de términos.....	60
CAPÍTULO III.....	62
MARCO METODOLÓGICO.....	62
3.1 Tipo de Investigación	63
3.2 Diseño de Investigación	64
3.3 Nivel de Investigación	64
3.4 Población y Muestra	65
3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	66
3.6 Fases Metodológicas.....	67
CAPÍTULO IV	69
RESULTADOS.....	69
Fase I: Compilar información teórica necesaria para el diseño de fundaciones superficiales combinadas que sirva Como material de apoyo para los estudiantes y profesionales en el área de la ingeniería civil.....	69
Fase II: Estudiar partiendo de la información geotécnica dada y de la información teórica recopilada el diseño geotécnico de las fundaciones superficiales de tipo zapata combinada.	69

Fase III: Desarrollar el diseño estructural de la zapata combinada partiendo del estudio del diseño geotécnico y considerando las normas de diseño estructural. 70

Fase IV: Presentar el manual de estudio para el diseño de fundaciones superficiales de tipo zapata combinada. 70

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... 72

5.1 Conclusiones 72

5.2 Recomendaciones 73

ÍNDICE DE FIGURAS

CONTENIDO

FIGURAS	Pp.
1.Fundaciones superficiales (zapatas).....	14
2.Zapatas aisladas.....	15
3.Zapatas corridas.....	15
4.Zapatas combinadas detalle.....	16
5.Losa de fundaciones.....	16
6.Fundaciones profundas.....	17
7.Falla general por corte.....	19
8.Falla por punzonamiento.....	19
9.Falla por corte local.....	20
10.Factores de capacidad de carga para la teoría de Meyerhof.....	23
11.Cimentaciones cargadas excéntricamente.....	24
12.Cimentación de columnas con carga excéntrica.....	26
13.Análisis de una cimentación con excentricidad en dos direcciones.....	27
14.Area efectiva para el caso I.....	28
15.Area efectiva para el caso II.....	30
16.Area efectiva para el caso III.....	30
17.Area efectiva para el caso IV.....	31
18.Asentamiento elástico de fundación superficial.....	31
19.Calculo del asentamiento por consolidación.....	33
20.Zapata aislada con carga axial concéntrica.....	35
21.Determinación del cortante ultimo.....	36
22.Determinación del perímetro crítico.....	37
23.Momento flexionante de diseño.....	38
24.Area de acero.....	38
25.Area de acero por cambios volumétricos.....	39
26.Zapata combinada rectangular.....	47
27.Zapata combinada trapecial.....	48
28. Zapata combinada de dos rectángulos.....	48
29. Zapata combinada de lindero vista en corte.....	49
30. Zapata combinada intermedia vista en corte.....	49
31. Zapata combinada de lindero.....	50
32. Diversas formas de una zapata combinada de lindero.....	50
33. Zapata combinada donde se indica la distancia entre zapata y columna.....	51
34. Zapata combinada antes de ser considerada como viga.....	53
35. Zapata analizada como viga.....	53

36. Columna de lindero, borde e intermedio.....	54
37. Diagrama de fuerzas cortantes y momentos flectores.....	57



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**PROPUESTA PARA LA ELABORACIÓN DE UN MANUAL DE ESTUDIO
PARA EL DISEÑO GEOTÉCNICO Y ESTRUCTURAL DE FUNDACIONES
SUPERFICIALES TIPO ZAPATA COMBINADA.**

Autor: Ángela Cárdenas

Tutor: Fernando de Macedo

Fecha: Febrero, 2018

RESUMEN INFORMATIVO

El propósito de este trabajo es llevar a cabo un manual de estudio el cual cuente con la información necesaria para que los estudiantes y docentes de pregrado en la cátedra de fundaciones y muros de la carrera de ingeniería civil puedan hacer uso de este y así facilitar su trabajo; a través de la elaboración de un manual de diseño de fundaciones superficiales de tipo zapata combinadas. En el cual se evaluaron las diferentes etapas que conlleva el diseño de una zapata combinada, partiendo desde la recolección de información geotécnica del sitio hasta llegar al diseño geotécnico y por último el diseño estructural de la fundación. Para esto se evaluaron las condiciones geotécnicas del terreno de fundación dada una estratigrafía, se estimaron los parámetros geotécnicos de importancia como la capacidad última de carga, con lo que se obtuvo el pre-dimensionado de la fundación evaluando las deformaciones producidas al terreno por condiciones geotécnicas, cargas y dimensiones. Finalmente, con el pre-dimensionado de la fundación se calculó el acero de refuerzo y la sección mínima de concreto que debe tener la misma para cumplir con los requisitos de diseño por flexión, corte y punzonado, establecidos en la norma Venezolana COVENIN 1753-2006 y ACI 318-14.

Descriptor: Fundaciones Superficiales, Manual, Zapatas combinadas

INTRODUCCIÓN

Bien sabemos que la fundación es la obra en contacto con la tierra, destinada a la transmisión de la carga muerta del edificio y el efecto dinámico de las cargas móviles que actúan sobre él. La carga hace que el suelo se deforme y se hunda, siendo exigencia primordial que los asientos de las distintas partes de una fundación sean compatibles con la resistencia general de la construcción.

Las fundaciones superficiales son necesarias en las pequeñas edificaciones, ya que sólo pueden transmitir al suelo cargas bajas y en las que por razones de orden económico limitan a porcentajes muy estrictos la incidencia del cimiento sobre el costo total de la obra.

La información disponible sobre el tema abarca las generalidades sobre sistemas de fundación superficial, sin que se especifique sobre los aspectos relacionados con la información geotécnica o con el diseño estructural. Atendiendo a esta exigencia, la investigación se orientó a la elaboración de un manual de estudio para el diseño geotécnico y estructural de fundaciones superficiales de tipo zapata combinada.

Se desarrolló el diseño geotécnico de la zapata combinada, partiendo de la información teórica recopilada y de una información geotécnica suministrada.

Así mismo, se realizó el diseño estructural de la zapata combinada, partiendo del diseño geotécnico y en concordancia con las normas de diseño estructural vigentes en el país, para finalmente presentar el manual de estudio que sirva como material de apoyo a los estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil y profesionales a fines.

El manual se estructuró siguiendo una secuencia lógica en cuanto a los factores que se consideraron dentro del diseño geotécnico, así como la necesaria validación a través de la información del diseño estructural. Se estima que este manual puede ser

un instrumento académico teórico y práctico, con un lenguaje adecuado a nivel de formación del estudiante. La metodología bajo la cual se realizó la

investigación se enfocó en la modalidad de proyecto factible, siguiendo un diseño descriptivo-documental, basada en fuentes documentales. Para la recolección de la información se utilizaron fuentes bibliográfico-documental.

Este proyecto está estructurado en cinco capítulos. Capítulo I: El Problema, donde se habla del planteamiento del problema, formulación del problema, objetivos generales y específicos, justificación del problema y alcance. Capítulo II: Marco Teórico, que habla de los antecedentes, bases teóricas y definición de términos. Capítulo III: Marco Metodológico, donde se habla del diseño de investigación, nivel de investigación, técnicas e instrumentos de investigación fases metodológicas. Capítulo IV: resultados.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

Las fundaciones o cimentaciones constituyen la base de una edificación, son elementos estructurales cuya función es transmitir las cargas que actúan sobre una superestructura al suelo. Estas llegan a la cimentación mediante pilares, pilotes o muros.

La estabilidad y seguridad de una edificación depende principalmente del tipo de suelo sobre el que se trabaja, por ello, para lograr un adecuado comportamiento de toda la superestructura se debe elegir el sistema de fundación que mejor se adapte a las características del suelo de fundación, a las condiciones de carga del proyecto y que cumpla con las respectivas normas de diseño y construcción establecidas en el país.

Los sistemas de fundación superficial son de los sistemas más comunes de cimentación en la construcción, se caracterizan por transmitir de forma directa las cargas provenientes de la estructura al suelo de fundación. Dentro de los sistemas de cimentación superficial existe una gran variedad de zapatas; la elección, el uso y la construcción de la más apropiada está asociada con diversos factores, tales como los resultados obtenidos del estudio geotécnico, la factibilidad constructiva, las cargas provenientes de la superestructura, las condiciones de soporte del suelo de fundación además de estar sujetas a factores económicos.

El diseño de la fundación superficial más adecuada para la ejecución de un proyecto se puede dividir en dos etapas, como lo son: el diseño geotécnico donde se recopila toda la información geotécnica básica del sitio y el diseño estructural de la fundación. El cumplimiento de cada etapa nos lleva al sistema de fundación

superficial más acertado para la estructura. Académicamente, existe una gran
variedad de recursos

bibliográficos para el diseño de una fundación superficial; sin embargo, estos títulos en su mayoría no abarcan todos los tipos de diseño de cimentación superficial; sin embargo, estos títulos en su mayoría no abarcan todos los tipos de diseño de cimentación superficial o en algunos casos no es tomado en cuenta el factor geotécnico para el diseño del mismo, además en algunos casos poseen un lenguaje muy técnico y complicado de entender para un estudiante promedio de pregrado que no posea una buena base académica del tema.

Actualmente, la Universidad José Antonio Páez no cuenta con un manual de estudio que aporte apoyo técnico en el diseño de fundaciones superficiales, específicamente del tipo zapata combinada. Por tanto, la presente investigación está orientada principalmente a proporcionar al estudiante una alternativa que le permita aprender el proceso de diseño de fundaciones superficiales mediante la elaboración de un manual teórico-práctico.

1.2 Formulación del problema

¿Cómo se puede ofrecer apoyo técnico, teórico y práctico para que los estudiantes de la carrera Ingeniería Civil cursantes de la materia Fundaciones y Muros puedan desarrollar un adecuado diseño geotécnico y estructural de fundaciones superficiales de tipo zapata combinada?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

Elaborar un manual de apoyo técnico, práctico y teórico para el diseño de fundaciones superficiales de tipo zapata combinada que sirva como material de estudio para estudiantes y profesionales en la materia.

1.3.2 Objetivos específicos

- Compilar la información teórica necesaria de fundaciones superficiales de tipo zapata combinada.
- Estudiar partiendo de una información geotécnica dada y de la información teórica recopilada el diseño geotécnico de fundaciones superficiales de tipo zapata combinada.

- Desarrollar el diseño estructural de la zapata combinada, partiendo del estudio del diseño geotécnico y considerando las normas de diseño estructural.
- Presentar el manual de estudio para el diseño de fundaciones superficiales de tipo zapata combinada.

1.4 Justificación de la investigación

El presente trabajo de investigación en el área de fundaciones o cimentaciones superficiales aporta de manera didáctica y practica los procesos de desarrollo y diseño de zapatas de tipo combinadas.

El correcto diseño y funcionamiento de las fundaciones es de vital importancia en el desarrollo de las superestructuras. Las cimentaciones son las encargadas de transmitir las cargas del edificio al suelo de fundación y las mismas deben ser calculadas de manera que brinden total seguridad, eviten excesivas deformaciones y cumplan con las leyes vigentes internas del país.

Este proyecto es realizado con el fin de englobar conceptos, términos, definiciones y pasos específicos básicos y necesarios para el desarrollo de un diseño geotécnico y estructural de fundaciones superficiales de tipo zapata combinada. Es presentado como una guía de estudio práctica y didáctica con lenguaje técnico adecuado para el uso de estudiantes, donde se desarrollarán e incluirán ejemplos de modelación y diseño de este tipo de cimentación que facilite y ayude a optimizar el aprendizaje y la enseñanza de todos aquellos profesionales y/o estudiantes que deseen hacer uso del manual como material de apoyo.

1.5 Alcance

En el siguiente proyecto de investigación se desarrollará un manual de estudio técnico, básico y didáctico que explique cómo elaborar un diseño geotécnico y estructural de fundaciones superficiales de tipo zapata combinada partiendo de una información teórica recopilada y de una información geotécnica suministrada. Se limita su desarrollo a zapatas sometidas a carga uniaxial y diseñadas bajo el criterio de bases flexibles, no se evaluaron las zapatas combinadas sometidas a cargas biaxial.

El manual será dirigido a todos aquellos estudiantes y profesionales en el área como apoyo documental.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

El marco teórico es el pilar fundamental de esta investigación, ya que constituye la base donde se sustentará la propuesta de la elaboración de un manual de estudio para el diseño geotécnico y estructural de fundaciones superficiales de tipo zapata combinada, presentando los antecedentes y las consideraciones teóricas relacionadas con la propuesta. Los antecedentes muestran investigaciones previas que de manera directa o indirecta abordan el tema planteado en este trabajo de grado.

2.1 Antecedentes

Los antecedentes de la investigación son todos aquellos estudios previos que preceden al que se está realizando. Son los relacionados con el objeto de estudio presente en la investigación que se está haciendo. A continuación, se mostrarán diferentes trabajos que se tomaron como referente del pasado y se vincularon con el estudio que se propone actualmente.

Según Vásquez Garza Luis, (2000) el cual presenta en su trabajo de grado el **“Diseño y construcción de cimentaciones”**, en la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín para optar por el título de ingeniero civil. El cual tiene como objetivo mostrar el hecho de que el alto grado de especialización con que se realiza el diseño hoy en día, hace que los ingenieros estructurales y los ingenieros de suelos tengan diferentes enfoques, lo cual afecta en cierto modo el producto final en que se encuentran estas dos disciplinas: el diseño de la cimentación. Luego de analizar dicho trabajo encontramos grandes similitudes ya que nos ayuda a conocer el estudio estructural de las cimentaciones superficiales, utilizando como punto de base en ambos trabajos zapatas corridas y zapatas aisladas, ya que en dicho trabajo se propone una visión crítica del diseño de los elementos estructurales de la cimentación, tanto superficial como profundo, desde el punto de vista de la Mecánica de los suelos y el análisis de estructuras.

Según García Valeria, (2002) la cual presenta en su trabajo de grado el **“Análisis y factibilidad técnica para fundaciones tipo bulbo en suelos cohesivos”**, en la Universidad Metropolitana de Caracas, Venezuela para optar por el título de ingeniero civil. El objetivo principal de este trabajo de grado es el de crear un nuevo sistema de fundación, que, de una manera rápida y fácil de construir, le proporcione al suelo una mayor capacidad para resistir las cargas transmitidas por cabrias de perforación. Como parte del alcance del presente trabajo, una vez evaluado cada uno de los puntos se tendrá el diseño para las distintas condiciones utilizadas y se hará una comparación con los pilotes a fricción, que cumplan con las mismas condiciones. Se hace la vinculación con este trabajo de grado, ya que nos permite tener una idea sobre diferentes tipos de fundaciones para así poder obtener parámetros de comparación a la hora de realizar el manual.

Según Bocanegra Malca Cesar, (2005) el cual presenta en su trabajo de grado el **“Desarrollo de un Software para el diseño de zapatas rectangulares por flexión biaxial”**, en la Universidad de Piura, Perú para optar por el título de ingeniero civil. El trabajo tiene como objetivo desarrollar un software que permita diseñar una zapata rectangular sometida a flexión biaxial, para ello se utilizará como lenguaje de programación el Visual Basic 6.0. De acuerdo con los resultados obtenidos en la validación del software, se concluye que el software permite diseñar de forma confiable zapatas rectangulares sometidas a flexión biaxial. Se hace la vinculación con el presente trabajo ya que nos ayuda a conocer diferentes softwares que pueden ser implementados a la hora del diseño de zapatas y a su vez son de gran importancia para el desarrollo de este ya que pueden ser implementados a la hora de realizar el manual.

Según Nij Patzán Jéser Esaú, (2009), el cual presenta en su trabajo de grado una **“Guía práctica para el cálculo de capacidad de carga en cimentaciones superficiales, losas de cimentación, pilotes y pilas perforadas”**, en la Universidad de San Carlos de Guatemala para optar por el título de ingeniero civil, el cual tiene como objetivo principal reunir algunas de las principales ecuaciones y métodos para

determinar la capacidad de carga o capacidad portante del suelo dependiendo del tipo de cimentación con la que se desee trabajar, utilizando como principio el concepto de capacidad de carga del suelo, el cual es analizado por medio del modelo de Khristianovich, los tipos de falla que ocurren dependiendo de las condiciones del suelo y la cimentación para posteriormente presentar los ensayos por medio de los cuales la capacidad de carga puede ser obtenida. Se hace la vinculación con este trabajo ya que nos ayuda para la investigación realizada, debido a que muestra una guía práctica para el cálculo de capacidad de carga de cimentaciones superficiales, sirviendo de apoyo para el desarrollo del diseño geotécnico para cada tipo de fundación superficial.

Según Viloría Arias Yesid, (2012) el cual presenta en su trabajo de grado la **“Elaboración de un Software para el diseño de cimentaciones superficiales basado en la NSR-10”**, en la Universidad Francisco de Paula Santander, Ocaña para optar por el título de ingeniero civil. El objetivo principal de este trabajo es mostrar el diseño de zapatas aisladas, combinadas y corridas, las cuales se realizaron con la ayuda de un software creado en visual basic. La misma nos ayuda a vincular diferentes definiciones en el área de zapatas aisladas, combinadas y corridas. A su vez nos da una idea sobre diferentes softwares que pueden ser utilizados para el diseño de las mismas.

2.2 Bases Teóricas

2.2.1 El Suelo como Elemento portante de las fundaciones / Cimentaciones

Según García García y Gustavo Páez, las cargas que transmite la fundación a las capas del terreno causan tensiones y, por lo tanto, deformaciones. Como en todos los materiales, la deformación depende de la tensión y de las propiedades del terreno. Estas deformaciones y su suma producen asentamientos de las superficies de contacto entre la cimentación y el terreno. La conducta del terreno bajo tensión está afectada por su densidad y por las proporciones relativas de agua y aire que llenan sus huecos. Estas propiedades varían con el tiempo y dependen en cierto modo de factores como: la variación del volumen de huecos como consecuencia de la compactación del terreno,

del desplazamiento de las partículas, o su deformación. Por esto cuando se proyecta una estructura es necesario analizar las condiciones de los suelos. Estrictamente, nos interesan las propiedades hidráulicas y las mecánicas: resistencia y deformabilidad, y las propiedades físicas. Así, la superficie de apoyo de la fundación está determinada por la magnitud de las cargas del edificio y la tensión admisible del terreno. Se concluye que el suelo resiste con arreglo a una relación: Carga y Área de apoyo. Esta expresión fundamental, dimensionada podrá estar dada en Kg / cm². Por lo tanto, resolver la fundación de una construcción cualquiera significa diseñar el conjunto de dispositivos necesarios para transmitir las cargas al suelo obteniendo las reacciones correspondientes al equilibrio. Como en general el suelo es un material menos resistente que los materiales de construcción esa transferencia se logrará aumentando la superficie de contacto entre los elementos encargados de la transmisión vertical de cargas y el suelo. Surgen así distintos dispositivos: dados, zapatas, patines, pilotes.

2.2.2 Clasificación de los suelos

Según García García y Gustavo Páez (2016), los suelos se dividen en clases según sus características generales. La clasificación se suele basar en la morfología y la composición de este, con énfasis en las propiedades que se pueden ver, sentir o medir, por ejemplo, la profundidad, el color, la textura, la estructura y la composición química. Las propiedades del suelo reflejan la interacción de varios procesos de formación que suceden de forma simultánea tras la acumulación del material primigenio. Algunas sustancias se añaden al terreno y otras desaparecen, y algunos materiales se transforman. Todos estos procesos se producen a velocidades diversas y en direcciones diferentes. El comportamiento de los suelos es complejo debido a la naturaleza granular y a la coexistencia de partículas sólidas con fluido intersticial que generalmente está compuesto por más de un fluido (agua, contaminantes orgánicos e inorgánicos, gases como ser aire o metano, etc.). Las distintas clasificaciones de suelos intentan capturar y describir este material en vista a aplicaciones específicas, con sus correspondientes necesidades. Los materiales que están presentes en los suelos naturales se clasifican en cuatro tipos: arenas y grava, limos, arcillas y materia

orgánica. Las arenas y grava son materiales granulares no plásticos. Las arcillas, se componen de partículas mucho más pequeñas, exhiben propiedades de plasticidad y son muy cohesivas. Los limos son materiales intermedios en el tamaño de sus partículas y se comportan, de modo típico, como materiales granulares, aunque pueden ser algo plásticos. La materia orgánica consta principalmente de desechos vegetales. Para la completa identificación de un suelo o terreno además necesitamos saber lo siguiente: tamaño - granulometría - forma - orientación - composición química de las partículas - las fracciones coloidales y sedimentables que contiene.

Por su parte, Braja Das, (1999) afirma que los suelos con propiedades similares se clasifican en grupos y subgrupos basados en su comportamiento ingenieril. Los sistemas de clasificación proporcionan un lenguaje común para expresar en forma concisa las características generales de los suelos, que son infinitamente variadas. Actualmente, dos sistemas de clasificación que usan la distribución por tamaño de grano y plasticidad de los suelos son usados comúnmente por los ingenieros de suelos.

2.2.3 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

El Sistema Unificado clasifica los suelos en dos amplias categorías:

- Suelos de grano grueso que son de naturaleza tipo grava y arenosa con menos del 50% pasando por la malla No. 200. Los símbolos de grupo comienzan con un prefijo GS. G significa grava o suelo gravoso y S significa arena o suelo arenoso.

- Los suelos de grano fino con 50% o más pasando por la malla No. 200. Los símbolos de grupo comienzan con un prefijo M, que significa limo inorgánico, C para arcilla inorgánica u O para limos y arcillas orgánicos. El símbolo Pt se usa para turbas, lodos y otros suelos altamente orgánicos.

Otros símbolos son también usados para la clasificación:

- W: bien graduado.
- P: mal graduado.

- L: baja plasticidad (límite líquido menor que 50).
- H: alta plasticidad (límite líquido mayor que 50).

2.2.4 Definición de Geotecnia

Según Sánchez Jorge (2013), la geotecnia es la rama de la ingeniería civil y geológica encargado de estudiar las propiedades mecánicas e hidráulicas de los materiales provenientes de la Tierra, tales como las rocas y suelos. Además, se debe conocer en qué condiciones en que los suelos fueron creados o depositados. Se deben de conocer todo tipo de condiciones y sus propiedades para poder diseñar el tipo de cimentación para determinado tipo de proyecto.

2.2.5 Información geotécnica necesaria para el diseño de fundaciones.

Según Ramírez Osío (2004), para desarrollar acertadamente un proyecto estructural se debe lograr un conocimiento amplio de las propiedades de los suelos y su comportamiento ante las modificaciones que supone la aplicación de nuevas cargas.

El conocimiento de la información geotécnica básica es de vital importancia para la ejecución de cualquier proyecto de ingeniería civil; es necesario conocer ciertas propiedades del suelo que son determinadas mediante muestreo y pruebas de laboratorio:

- **Ángulo de fricción interno (**

· **Módulo de Young (E)**: es un parámetro que caracteriza el comportamiento de un material elástico, según la dirección en la que se aplicó una fuerza, puede encontrarse empíricamente con base al ensayo de tracción del material.

· **Coefficiente de Poisson ()**: es un parámetro característico de cada material que indica la relación entre las deformaciones longitudinales que sufre el material en sentido perpendicular a la fuerza aplicada, y las deformaciones longitudinales en dirección a la fuerza aplicada sobre el mismo.

· **Peso específico ()** es la relación entre el peso de una sustancia y su volumen.

2.2.5.1 Diseño estructural de los elementos interactuantes con el suelo.

Una vez definido el perfil litográfico probable del subsuelo y estimado el valor de los parámetros físicos de los distintos suelos, el ingeniero geotécnico deberá establecer las diferentes alternativas de fundación. Sin embargo, para esto tiene que conocer, aunque sea de manera aproximada, la magnitud y distribución de las cargas, es decir, debe existir una transferencia precisa de información entre el ingeniero estructural y el ingeniero de suelos.

2.2.6 Fundaciones o cimentaciones definición

Según García García y Gustavo Páez (2016), Se denomina Fundación a las partes estructurales de la materialización que transmiten las cargas (peso propio, las sobrecargas y las cargas accidentales o no permanentes) al suelo, quien actúa de receptor. La carga hace que el suelo se deforme, se hunda y es exigencia primordial que los asientos de las distintas partes de una fundación sean compatibles con la resistencia general de la construcción.

2.2.7 Requisitos para una buena fundación

Según García García y Gustavo Páez (2016), toda fundación deberá cumplir tres requisitos fundamentales:

- El nivel de la cimentación deberá estar a una profundidad tal que se encuentre libre del peligro de heladas, cambios de volumen del suelo, capa freática, excavaciones posteriores, etc.

- Tendrá unas dimensiones tales que no superen la estabilidad o capacidad portante del suelo.

- No deberá producir un asiento en el terreno que no sea absorbible por la estructura.

Un elemento muy importante para tener en cuenta es la presencia de agua, ya sea como humedad del terreno natural, como ríos subterráneos, como eventuales urgencias de una excavación, como posibles inundaciones de aquellas por acción de las lluvias durante la construcción o como invasión de cursos próximos, etc.; debiendo en cada caso adoptar una solución y precaución diferente, ponderando cada alternativa. Dentro de este tipo de variables, se encuentran las condiciones de las capas subyacentes en profundidad, el propio tamaño del cimiento, la distancia relativa entre basamentos próximos, la presencia de edificios existentes o la posibilidad de futuras construcciones.

2.2.8 Tipos de fundaciones

Según De Filippi Nikolas (2015), las distintas o diferentes tipos de fundaciones se clasifican desde el punto de vista constructivo en dos tipos, de las siguientes formas:

Fundaciones Superficiales.

Zapatas: Cimentaciones en zonas aisladas de la estructura "son los tipos más utilizados y se utilizan cuando el terreno tiene en su superficie una resistencia media o alta con respecto a las cargas de la estructura. Es homogéneo como para ser afectadas por asentamiento diferenciales entre las distintas partes. (Ver figura 1)

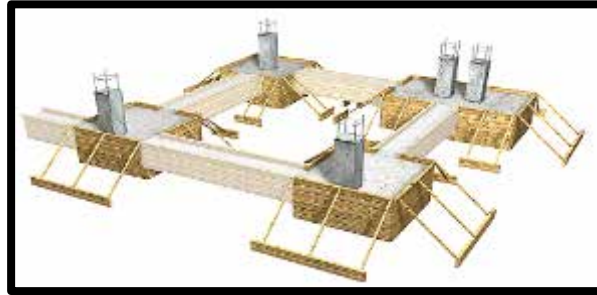


Figura 1: Fundaciones superficiales (zapatas)

Fuente: De Filippi Nikolas (2015)

Zapatas Aisladas: Son de carácter puntual, generalmente están constituidas por dados de hormigón de planta cuadrada. Las fundaciones de zapata en general constituyen los tipos más usados por su economía como su sencillez de construcción. (Ver figura 2)

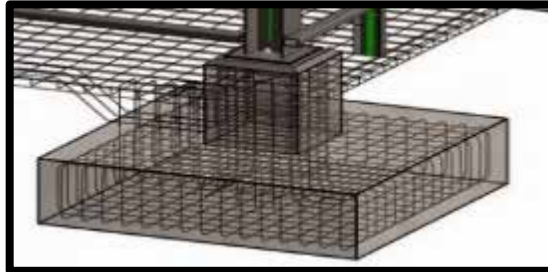


Figura 2: Zapatas aisladas

Fuente: De Filippi Nikolas (2015)

Zapatas corridas: Cuando se trate de pilares alineados muy próximos a muros, o de equilibrar cargas excéntricas sobre las zapatas continuas, se considera directamente el empleo de una zapata continua o una zapata corrida. (Ver figura 3)



Figura 3: Zapatas Corridas
Fuente: De Filippi Nikolas (2015)

Zapatas combinadas: Son aquellas que pueden soportar dos o más columnas ubicadas en un eje de una edificación. Generalmente se usan para resolver problemas de grandes excentricidades en columnas situadas muy cerca de un lindero. (Ver figura 4)

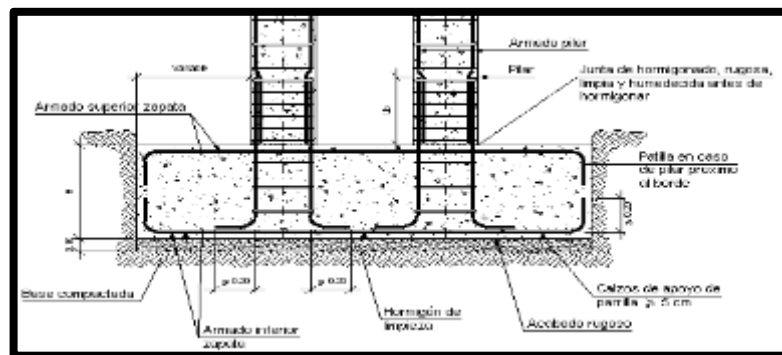


Figura 4: Zapatas Combinadas detalle
Fuente: De Filippi Nikolas (2015)

Losa de fundaciones: Cimentación sobre toda la superficie de la estructura se emplean en terrenos menos resistentes o menos homogéneos o bajo estructuras menos resistentes. Con ellas se aumenta la superficie de contacto y se reducen los asentamientos diferenciales. Puede decirse de forma aproximadamente que la losa es más económica que las zapatas si la superficie total de estas es superior a la mitad de la superficie cubierta por el edificio, debido al menos espesor de hormigón y cuantía de armadura, a una excavación más sencilla y un ahorro de encofrado. (Ver figura 5)



Figura 5: Losa de fundaciones
Fuente: De Filippi Nikolas (2015).

Fundaciones profundas: El pilotaje es una solución apropiada para terrenos malos en los cuales no es posible usar zapatas o losas de fundación. Los pilotes son piezas largas, cilíndricas o prismáticas, de madera, hormigón o metal, que, hundidas en el suelo, sirven de fundaciones o de estructura para cortinas de tablestacas.

Su hincada en el suelo se obtiene mediante diversos métodos: por percusión, para pilotes de cualquier tipo; por moldeo en el suelo, para pilotes de hormigón; por atornillado, para pilotes de hormigón o metálicos.

Un pilote puede ser soportante o de fricción. En los primeros la resistencia se obtiene por el apoyo del extremo inferior en terrenos de buena calidad, de modo que el pilote trabaja como una columna.

En los pilotes de fricción, la resistencia se debe al roce entre el pilote y el terreno circundante. En general, un pilote tiene acción combinada y resistente por ambos efectos. (Ver figura 6)

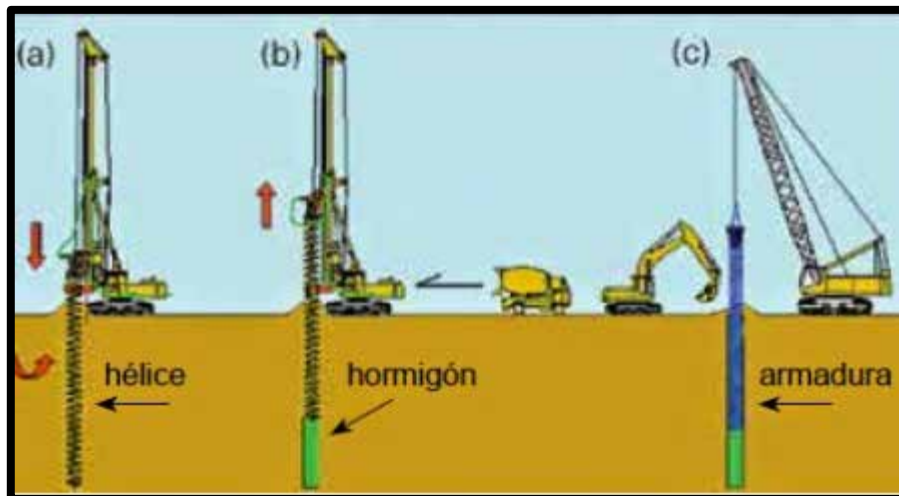


Figura 6: Fundaciones profundas

Fuente: De Filippi Nikolas (2015).

2.2.9 Diseño Geotécnico de Fundaciones superficiales.

Según Braja Das (1999), las cimentaciones superficiales deben tener dos características principales para comportarse satisfactoriamente:

- La cimentación debe ser segura contra una falla por corte general del suelo que la soporta.

- La cimentación no debe experimentar un desplazamiento excesivo; es decir, un asentamiento excesivo. (El término excesivo es relativo, porque el grado de asentamiento permisible en una estructura depende de varias consideraciones).

2.2.10 Capacidad de carga última.

Según Cruz Lucio (2007), la capacidad de carga última (q_u), es la máxima presión o esfuerzo permisible que puede generar una cimentación al suelo antes de llegar a un estado de falla.

Capacidad de carga admisible (q_a): Es la capacidad de carga última dividida por un factor de seguridad ($F.S.>1$), de tipo mandatario cuando se diseña bajo un código de diseño.

$$q_a = \frac{q_u}{F.S.}$$

2.2.10.1. Tipos de fallas por capacidad de carga ultima.

Los principales modos de falla por corte bajo fundaciones superficiales han sido descritos por la literatura como falla general por corte (Terzaghi, 1943), falla local por el corte (Terzaghi, 1943; De Beer y Vesic, 1958) y falla por punzonado (De Beer y Vesic, 1958; Vesica, 1963).

Falla General por corte:

Se tiene una cimentación corrida con un ancho B la cual es soportada por un suelo denso o cohesivo firme, si la carga que soporta dicho suelo es incrementada de forma gradual, habrá un aumento en el asentamiento llegando al punto en el cual la carga por unidad de área es igual a la capacidad de carga última, ocurrirá entonces una falla repentina en el suelo, esta falla es llamada falla por corte general. Se presenta en arenas densas y arcillas rígidas y su principal característica es una superficie de falla continua que comienza en el borde de la cimentación y llega a la superficie del terreno, es una falla frágil y súbita, llegando al punto de ser catastrófica, y si la estructura no permite la rotación de las zapatas, puede ocurrir con

cierta inclinación visible de la cimentación, lo que provoca hinchamiento del suelo a los lados, el colapso final se presenta en un solo lado. (Ver figura 7)

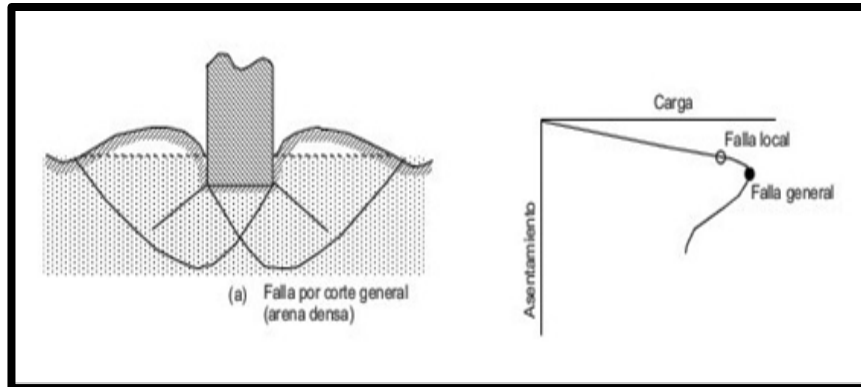


Figura 7: Falla general por corte

Fuente: capítulo 10 AASHTO, fundaciones; Das Braja, Principios de ingeniería de cimentaciones.

Falla por punzonamiento:

Ocurre en suelos bastante sueltos, la zona de falla no se extiende como en el corte general. La cimentación provoca la compresión inmediata del suelo en un movimiento vertical, el suelo presenta falla por corte alrededor de la cimentación y los movimientos del suelo junto con la cimentación no son muy visibles por lo que el equilibrio vertical y horizontal de la misma se mantiene. (Ver figura 8).

Figura 8: Falla por punzonamiento.

Fuente: capítulo 10 AASHTO, fundaciones; Das Braja, Principios de ingeniería de cimentaciones.

Falla por corte local:

Si la cimentación se encuentra sobre suelo arenoso o arcilloso con compactación media, al aumentar la carga, también ocurre un incremento en el asentamiento, pero la superficie de falla se extiende de forma gradual hasta la superficie o en algunos casos cuando el desplazamiento vertical es grande (la mitad del lado o diámetro de la zapata) termina dentro de la propia masa de suelo y no en el terreno. (Ver figura 9)

Cuando la carga por unidad de área es igual a q_u (1), conocida como carga primera de falla, ocurren sacudidas repentinas junto con el movimiento, por lo que se requiere de un movimiento considerable de la cimentación para que la superficie de falla

llega a la superficie, este movimiento alcanza la carga última. ocurre cuando se alcanza la capacidad de carga última. Es una falla intermedia entre el corte general y el punzonamiento. Presenta hinchamiento del suelo al lado de la cimentación y compresión vertical del suelo bajo la cimentación.

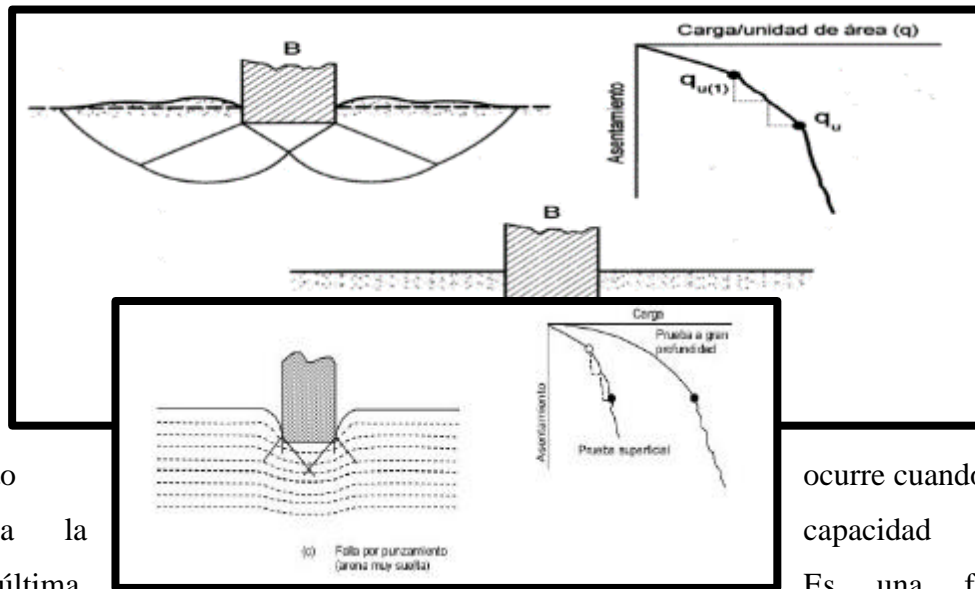


Figura 9: Falla por corte local.

Fuente: capítulo 10 AASHTO, fundaciones; Das Braja, Principios de ingeniería de cimentaciones.

Todas las fallas mencionadas pueden ser bien diferenciadas unas de otras, pero no hay parámetro numérico que permitan predecir el tipo de falla a ocurrir, sin embargo, una forma de llegar a un estimado es basándose en la compresibilidad del suelo, debido a las condiciones de carga y geometría de la cimentación.

Según Crespo Villalaz, en un suelo incompresible el tipo de falla será del tipo de corte general, en un suelo muy compresible en comparación a su resistencia al cortante la falla será por punzonamiento. El índice de rigidez del suelo (I_r) es un valor basado en el supuesto comportamiento elastoplástico del suelo, es el único parámetro que existe para determinar la compresibilidad del suelo:

$$- \text{—————} \text{ (Ec. 1)}$$

Donde:

$$\text{—————} \text{ (Ec. 2)}$$

Donde:

G = módulo de corte del suelo.

= esfuerzo de corte del suelo.

= coeficiente de Poisson.

E = módulo elástico del suelo o módulo de Young.

2.2.10.2 Ecuación General de la capacidad de carga.

Según Febres (1992), existe una cantidad de variables y factores, tales como la forma y el tamaño de la fundación, la profundidad de la cota de fundación, la inclinación y excentricidad de las cargas, la compresibilidad del suelo, la posición del nivel freático, la rata de aplicación de la carga, la inclinación de la superficie del terreno, la inclinación de la fundación, la rugosidad de la base, la heterogeneidad de las condiciones del subsuelo, etc., que tiene su influencia en la capacidad de carga del subsuelo. Muchos de estos factores no fueron considerados, otros fueron considerados muy somera y empíricamente en la teoría de Terzaghi. Una solución

analítica que toma en consideraciones las variables no ha sido desarrollada todavía y, debido a la extrema complejidad del problema, quizás nunca podrá ser obtenida.

Meyerhof (1948, 51,53, 55, 56, 61, 63, 65,74), Hansen (1961,70), De Beer (1965a,65b, 70), Vesic (1969,75), Caquot y Kérisel (1948,49,53,56) y Berezantzev (1952), entre otros, dedicaron gran cantidad de tiempo de investigación teórica y experimental al problema de capacidad de carga, lo que ha resultado en modificaciones y mejoras a la ecuación básica de Terzaghi y que han producido la siguiente ecuación general de capacidad de carga.

Según Braja Das (1999)

$$- \quad (Ec.3)$$

Dónde:

c = cohesión

q = esfuerzo efectivo al nivel del fondo de la cimentación

peso específico del suelo

B = ancho de la cimentación (= diámetro para una cimentación circular)

= factores de forma

= factores de profundidad

= factores por inclinación de la carga

= factores de capacidad de carga.

2.2.10.3 Factores de la capacidad de carga.

Braja Das (1999), con base en estudios de laboratorio y campo sobre capacidad de carga, la naturaleza básica de la superficie de falla en suelos sugerida por Terzaghi parece ahora ser correcta (Vesic, 1973). Sin embargo, el ángulo es más cercano a $45 + \phi/2$ que a ϕ . Si se acepta el cambio, a los valores para un ángulo de fricción del suelo cambiarán también respecto a los proporcionados en la tabla 1. Con

$\phi = 45 + \phi/2$, las relaciones para pueden obtenerse como:

$$- \quad (Ec.4)$$

$$(Ec.5)$$

La ecuación para N_c fue originalmente obtenida por Prandtl (1921), y la relación para N_q fue propuesta por Reissner (1924).

ϕ	N_c	N_q	N_{γ}	N_c/N_q	$\tan\phi$	ϕ	N_c	N_q	N_{γ}	N_c/N_q	$\tan\phi$
0	5.14	1.00	0.00	0.20	0.00	26	22.26	11.85	12.54	0.53	0.49
1	5.38	1.09	0.07	0.20	0.02	27	23.94	13.20	14.47	0.55	0.51
2	5.63	1.20	0.15	0.21	0.03	28	25.80	14.72	16.72	0.57	0.53
3	5.90	1.31	0.24	0.22	0.05	29	27.86	16.44	19.34	0.59	0.55
4	6.19	1.43	0.34	0.23	0.07	30	30.14	18.40	22.40	0.61	0.58
5	6.49	1.57	0.45	0.24	0.09	31	32.67	20.63	25.99	0.63	0.60
6	6.81	1.72	0.57	0.25	0.11	32	35.49	23.18	30.22	0.65	0.62
7	7.16	1.88	0.71	0.26	0.12	33	38.64	26.09	35.19	0.68	0.65
8	7.53	2.06	0.86	0.27	0.14	34	42.16	29.44	41.06	0.70	0.67
9	7.92	2.25	1.03	0.28	0.16	35	46.12	33.30	48.03	0.72	0.70
10	8.35	2.47	1.22	0.30	0.18	36	50.59	37.75	56.31	0.75	0.73
11	8.80	2.71	1.44	0.31	0.19	37	55.63	42.92	66.19	0.77	0.75
12	9.28	2.97	1.69	0.32	0.21	38	61.35	48.93	78.03	0.80	0.78
13	9.81	3.26	1.97	0.33	0.23	39	67.87	55.96	92.25	0.82	0.81
14	10.37	3.59	2.29	0.35	0.25	40	75.31	64.20	109.41	0.85	0.84
15	10.98	3.94	2.65	0.36	0.27	41	83.86	73.90	130.22	0.88	0.87
16	11.63	4.34	3.06	0.37	0.29	42	93.71	85.38	155.55	0.91	0.90
17	12.34	4.77	3.53	0.39	0.31	43	105.11	99.02	186.54	0.94	0.93
18	13.10	5.26	4.07	0.40	0.32	44	118.37	115.31	224.64	0.97	0.97
19	13.93	5.80	4.68	0.42	0.34	45	133.88	134.88	271.76	1.01	1.00
20	14.83	6.40	5.39	0.43	0.36	46	152.10	158.51	330.35	1.04	1.04
21	15.82	7.07	6.20	0.45	0.38	47	173.64	187.21	403.67	1.08	1.07
22	16.88	7.82	7.13	0.46	0.40	48	199.26	222.31	496.01	1.12	1.11
23	18.05	8.66	8.20	0.48	0.42	49	229.93	265.51	613.16	1.15	1.15
24	19.32	9.60	9.44	0.50	0.45	50	266.89	319.07	762.89	1.20	1.19
25	20.72	10.66	10.88	0.51	0.47						

4). Caquot y Kerisel (1953) y Vesic (1973) dieron la relación para N_{γ} como:

$$(Ec.6)$$

La figura 10. Muestra la variación de los factores de capacidad de carga anteriores con los ángulos de fricción del suelo.

Figura 10: Factores de capacidad de carga para la teoría de Meyerhof
Fuente: Braja Das, 1999

Factores de forma, profundidad e inclinación: Cuando el nivel freático esté en o cerca de la cimentación, los factores q dados en la ecuación general de capacidad de carga, tendrán que modificarse. Para condiciones de carga no drenadas (concepto=0). en suelos arcillosos, la ecuación general de capacidad de carga de apoyo toma la forma (carga vertical).

(Ec.7)

Efecto de la compresibilidad del suelo:

El caso de falla general de corte, fueron modificadas ciertas ecuaciones para tomar en cuenta el cambio de modo de falla en el suelo (es decir, falla local por corte). El cambio se debe a la compresibilidad del suelo. Para tomar en cuenta la compresibilidad del suelo, Vesic (1973) propuso la siguiente modificación a la ecuación:

- (Ec.8)

Donde = Factores de compresibilidad del suelo.

Cimentaciones cargadas excéntricamente:

En varias situaciones, como en la base de un muro de retención, las cimentaciones son sometidas a momentos además de la carga vertical. En tales casos, la distribución de presión por la cimentación sobre el suelo no es uniforme. La distribución de la presión nominal es:

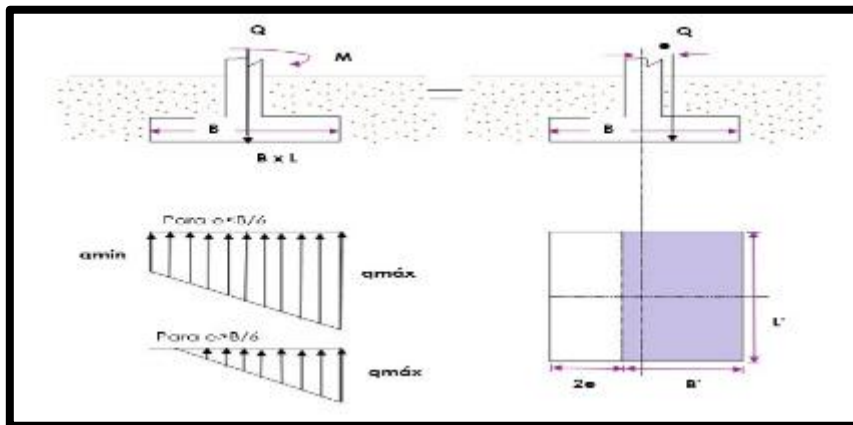
$$— —; (Ec.9) \quad Y \quad — —; (Ec.10)$$

Donde Q = carga vertical total

M= momento sobre la cimentación. La figura 11 muestra un sistema de fuerza equivalente. La distancia e, es la excentricidad.

- (Ec.11)

Figura 11: Cimentaciones cargadas excéntricamente
Fuente: Braja Das, 1999.



Sustituyendo:

$$\text{---} \text{---} ; (\text{Ec.12})$$

$$\text{---} \text{---}$$

Note que, en esas ecuaciones, cuando la excentricidad, e , toma el valor $B/6$ es cero.

Para $e > B/6$, q_{\min} será negativa, lo que significa que se desarrollará una tensión. Como el suelo no puede tomar tensiones, habrá una separación entre la cimentación y el suelo debajo de ella. El valor de B' es entonces;

$$\text{---}; \text{(Ec.14)}$$

La distribución exacta de la presión es difícil de estimar.

El factor de seguridad para tales tipos de carga contra la falla por capacidad de carga se evalúa usando el procedimiento sugerido por Meyerhof (1953), denominado el método del área efectiva. El siguiente es el proceso paso a paso de Meyerhof para la determinación de la carga última que el suelo puede soportar y el factor de seguridad contra falla por capacidad de carga.

Determine las dimensiones efectivas de la cimentación como:

$$B' = \text{ancho efectivo} = B - 2e$$

$$L' = \text{largo efectivo} = L$$

Note que, si la excentricidad es en dirección del largo de la cimentación, el valor de L' será igual a $L - 2e$. El valor de B' es entonces igual a B . La menor de las dos dimensiones (es decir, L' y B') es el ancho efectivo de la cimentación.

1) Use la ecuación para la capacidad de carga

última:

$$\text{---}; \text{(Ec.15)}$$

La carga última total que la cimentación puede soportar es

$$\text{---}; \text{(Ec.16)}$$

Donde A' = área efectiva.

2) El factor de seguridad contra la falla por capacidad de apoyo es:

$$\text{---}; \text{(Ec.17)}$$

3) Verifique el factor de seguridad respecto a σ , o, τ .

Note que la excentricidad tiende a disminuir la capacidad de carga de soporte sobre una cimentación. En tales casos, situar las columnas de la cimentación fuera del centro, como muestra la figura 5, probablemente es conveniente. En efecto,

así se genera una cimentación cargada centralmente con presión uniformemente distribuida.

Cimentaciones con excentricidad en dos direcciones:

Considere una situación en la cual una cimentación es sometida a carga vertical Q y a un momento M . Para este caso, las componentes del momento respecto a los ejes “ x ” y “ y ” se determinan como M_x y M_y respectivamente (Ver figura 12). Esta condición es equivalente a una carga Q colocada excéntricamente sobre la cimentación con e_x y e_y (Ver figura 12). Note que:

$$M_x = Q e_y \quad ; \quad M_y = Q e_x \quad (Ec.18); \quad M_x = Q e_y \quad ; \quad M_y = Q e_x \quad (Ec.19)$$

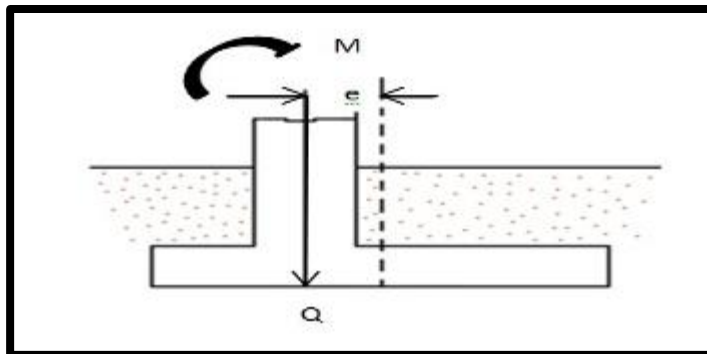


Figura 12:
Cimentación
columnas

de
con carga

excéntrica.

Fuente: Braja Das (1999)

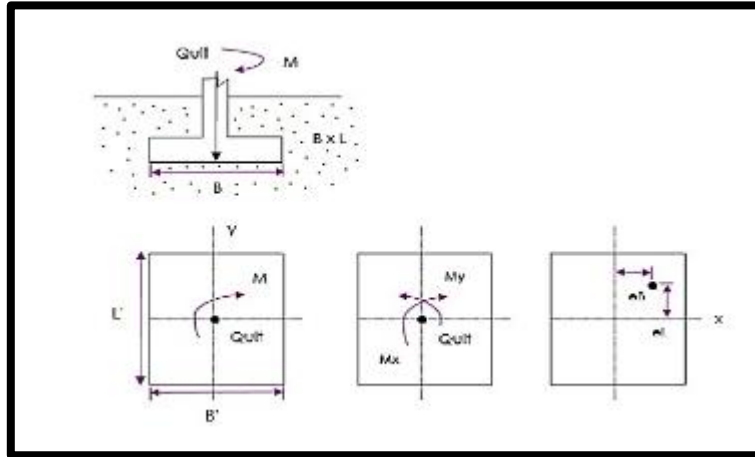


Figura 13: Análisis de una cimentación con excentricidad en dos direcciones.

Fuente: Braja Das, 2012

Si se requiere σ_{max} , esta puede obtenerse como sigue:

$$\sigma_{max} = \frac{G}{A'} \left(1 + \frac{6e}{B'} \right) \quad (Ec. 20)$$

Donde la ecuación:

$$A' = B'L' \quad (Ec. 21)$$

A' = área efectiva = $B'L'$

Al determinar el área efectiva (A'), el ancho efectivo (B') y el largo efectivo (L') pueden presentarse cuatro casos posibles (Hightler y Anders, 1985).

Caso I:

— — — — El área efectiva para esta condición se muestra en la figura 13.

(Ver figura 13)

$$A' = B'L' \quad (Ec.22)$$

Dónde: $e = \frac{M}{G}$ (Ec.23)

$e' = \frac{M_x}{G}$ (Ec.24)

El largo efectivo L' es la mayor de las dos dimensiones, es decir, L' o B' , entonces el ancho efectivo es:

$$B' = \frac{A'}{L'} \quad (Ec.25)$$

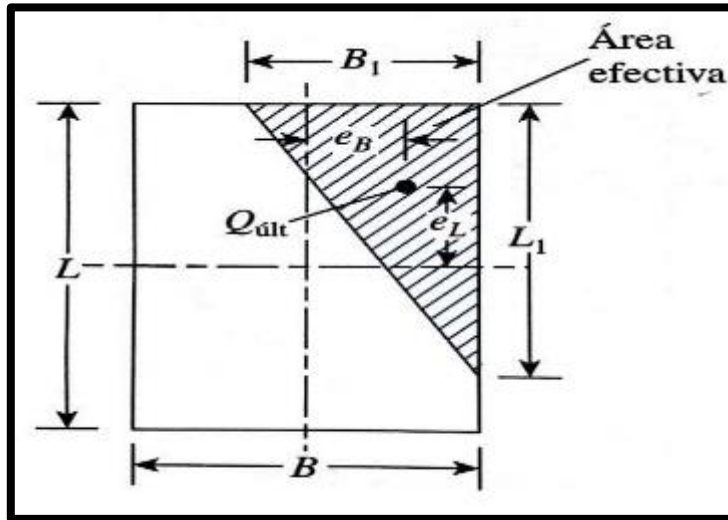


Figura 14: Área efectiva para el caso: — — — —

Fuente: Braja Das, 2012

Caso II:

— — — — El area efectiva para este caso se muestra en la figura 15(a).

— — — — (Ec.25)

Las magnitudes de — — — — pueden determinarse de la figura 15(b) el ancho efectivo es:

————— (Ec.26)

El largo efectivo es:

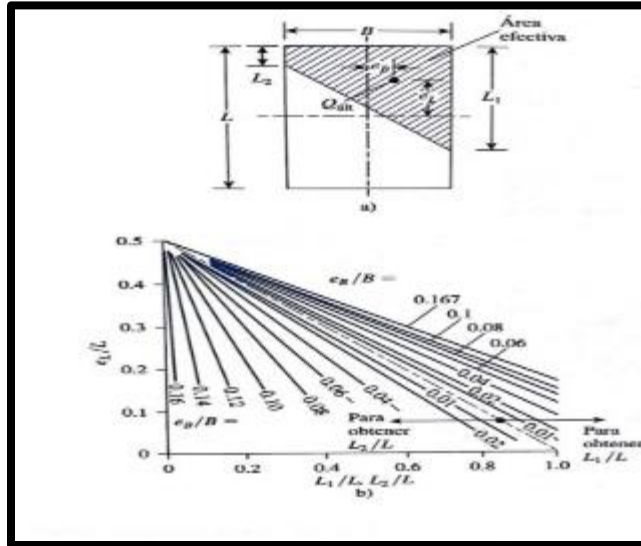


Figura 15: Área efectiva para el caso: — — —

Fuente: Braja Das, 2012

Caso III:

— — — El área efectiva para este caso se muestra en la figura 16(a).

— (Ec.27)

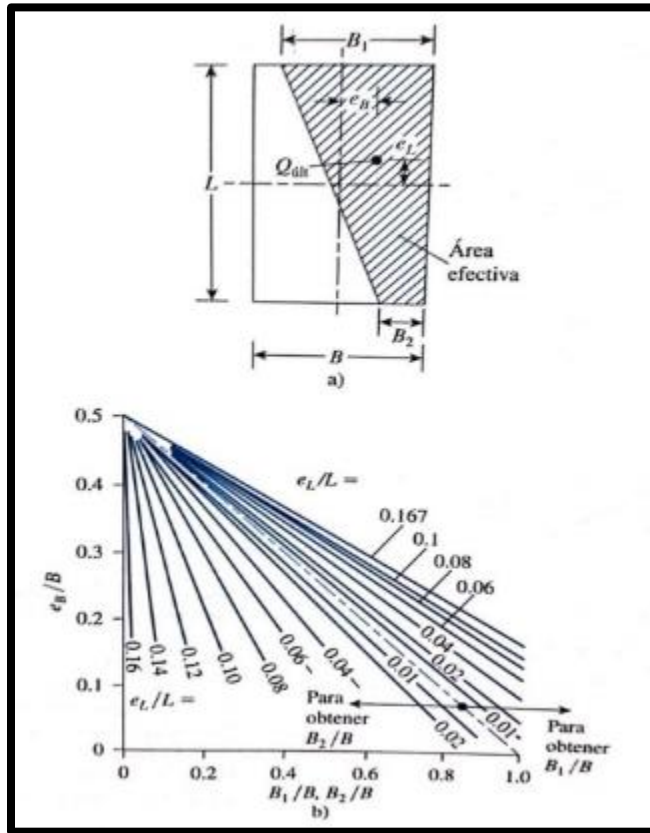


Figura 16: Área efectiva para el caso: — - —

Fuente: Braja Das, 2012

Caso IV:

— - — - La figura 11 muestra el área efectiva para este caso, la razón e_1/L , y por tanto B_1/B pueden determinarse usando las curvas — que se inclinan hacia arriba. Similarmente, la razón e_2/L , y por tanto B_2/B se determinan usando las curvas — que se inclinan hacia abajo, el área efectiva es entonces:

$$A_e = B_1 B_2 \quad \text{(Ec. 28)}$$

El ancho efectivo es: —

El largo efectivo es igual a

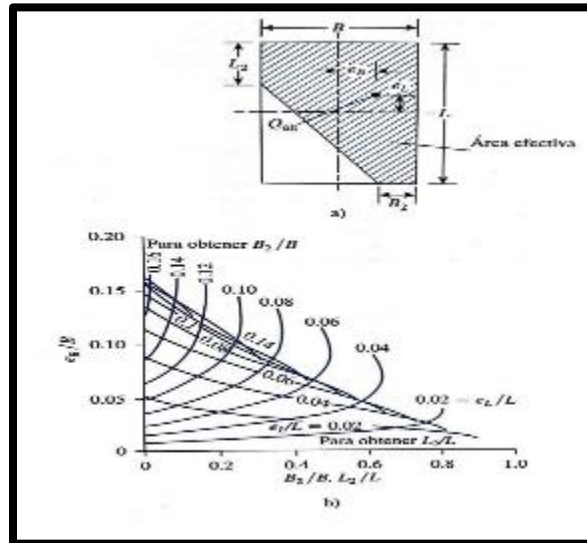


Figura 17: Área efectiva para el caso: — — — —

Fuente: Braja Das, 2012

2.2.10.4 Asentamiento.

El asentamiento elástico de una cimentación superficial se estima usando la teoría de la elasticidad (Ver figura 18). Con referencia a la figura (TAL) y aplicando la ley de Hooke,

— (Ec.29)

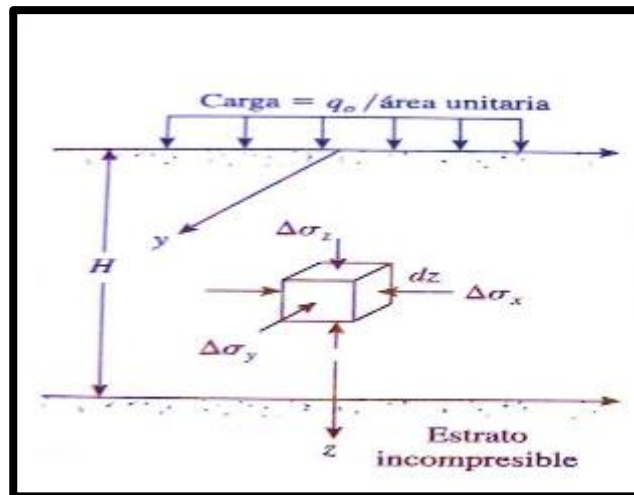


Figura 18: Asentamiento elástico de fundación superficial.

Fuente: Braja Das, 1999.

Donde:

= asentamiento elástico

= módulo de elasticidad del suelo

H = espesor del estrato del suelo

= relación de Poisson del suelo

= incremento del esfuerzo debido a la carga neta aplicada a la cimentación, en las direcciones “x, y, z”, respectivamente.

Influencia semi empírico propuesto por Schertman y Hartman (1978). De acuerdo con este método, el asentamiento es

$$— (Ec.30)$$

Donde = factor de influencia de la deformación unitaria.

= Un factor de corrección para la profundidad del empotramiento de la cimentación .

= Un factor de corrección para tomar en cuenta el flujo plástico en el suelo .

= un esfuerzo a nivel de cimentación.

Asentamiento por consolidación

Como se mencionó antes, el asentamiento por consolidación (**Ver figura 19**) se da a lo largo del tiempo, y ocurre en suelos arcillosos saturados cuando son sometidos a una carga creciente causada por la construcción de una cimentación. En base a las ecuaciones para el asentamiento unidimensional, podemos escribir

$$(Ec.31)$$

Dónde:

= deformación unitaria vertical= —

= cambio de relación de vacíos=

Entonces:

— ——— (Para arcillas normalmente consolidadas) (Ec.32)

— ——— (Para arcillas pre consolidadas con)

(Ec.33)

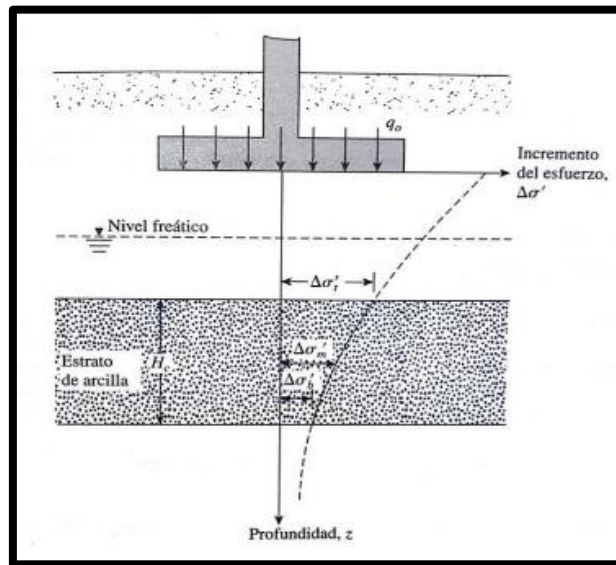


Figura 19: Cálculo del asentamiento por consolidación.
Fuente: Braja Das, 1999.

Donde

= Presión efectiva promedio sobre el estrato de arcilla antes de la construcción de la cimentación.

= Incremento promedio de la presión sobre el estrato de arcilla causada por la construcción de la cimentación.

Presión de pre-consolidación.

Relación de vacíos inicial del estrato de arcilla.

Índice de compresión.

Índice de re-compresión

Índice de expansibilidad

Espesor de la capa de arcilla

2.2.11 Zapatas aisladas

Se procederá a mostrar la secuencia de cálculo para los diversos tipos de análisis que se presentan en una zapata aislada con carga axial concéntrica, carga axial excéntrica en una dirección, y carga axial excéntrica en dos direcciones.

2.2.11.1 Determinación de constantes a utilizar.

Al comenzar el diseño o la revisión de la zapata, es necesario conocer las propiedades

físicas y mecánicas de los materiales a utilizar, así como del suelo en donde se va a cimentar. Éstas son:

' Resistencia a la compresión del concreto

Esfuerzo de fluencia del acero

γ_c : Peso específico del concreto

γ_t : Peso específico del suelo

Una vez que éstas se conocen, es necesario determinar las siguientes constantes.

Para

Para

—
—
—

Además de conocer las propiedades de los materiales, es necesario saber la profundidad de desplante (D_f), la que se obtiene del estudio de mecánica de suelos, la

carga (P) o peso (W) que deberá soportar el elemento, los momentos si es que se presentan (M_x y M_y), y las dimensiones de la columna o muro a soportar (c_1 y c_2 , donde c_1 es la dimensión mayor).

Conociendo ya estos datos, se podrán iniciar los cálculos correspondientes, como se explica en las secciones siguientes.

2.2.12 Secuencia de cálculos para una zapata aislada con carga axial concéntrica

Este es el primer caso en el cual la carga coincide con el centroide de la zapata. A continuación, se muestran las variables a utilizar, así como las fórmulas que se ven involucradas en este caso para su diseño.

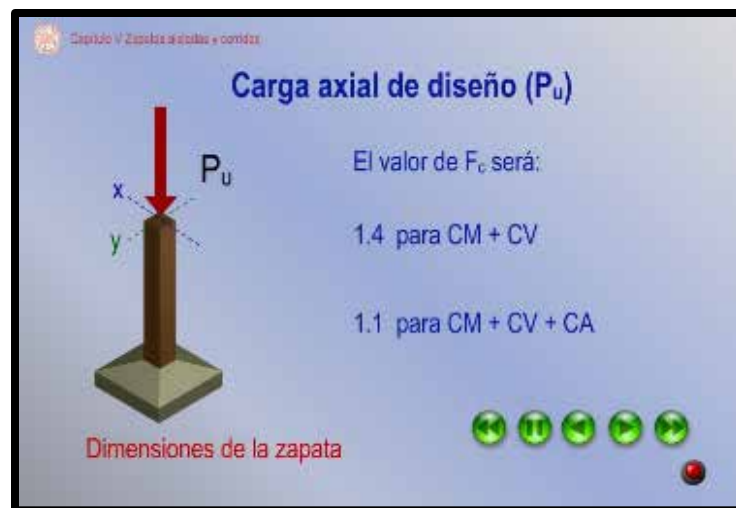


Figura 20: Zapata aislada con carga axial concéntrica
Fuente: CAP 5

2.2.12.1 Dimensiones de la zapata

- Proponer o suponer un espesor de la zapata (h)
- Reacción neta del terreno (r_n)
- Carga axial de diseño (P_u)
- Área de la zapata (A_z)

e) Obtención de la reacción actuante sobre el suelo (r_a)

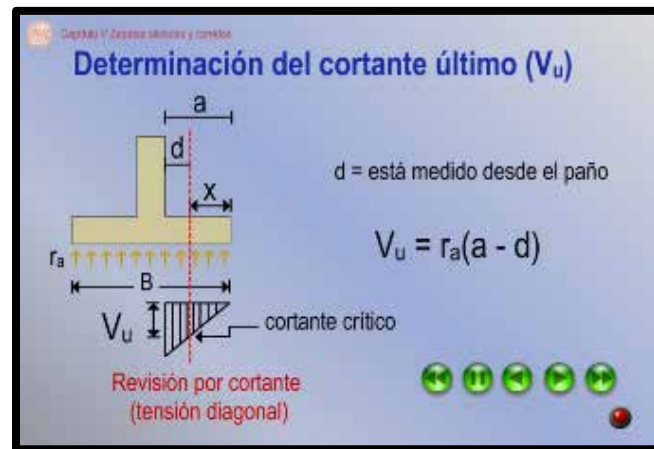


Figura 21:
Determinación

del cortante

último (V_u)

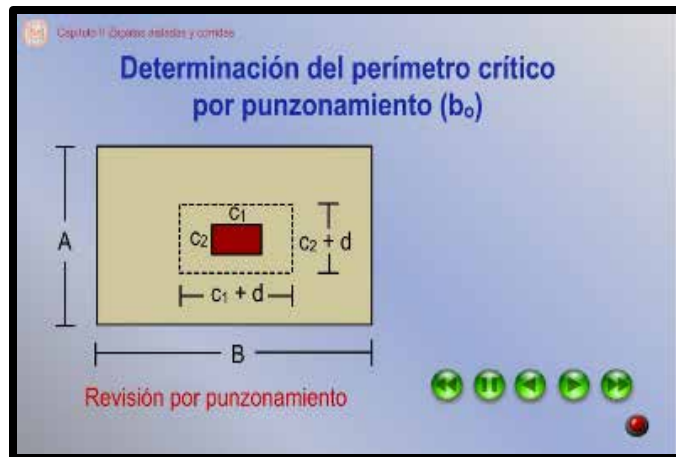
Fuente: CAP 5.

2.2.12.2 Revisión por tensión diagonal como viga ancha.

- Peralte efectivo (d)
- Longitud del volado en dirección paralela al lado largo de la zapata (a)
- Determinación de la distancia crítica (x)
- Fuerza cortante de diseño por unidad de longitud en dirección paralela al lado largo de la zapata (V_u)
- Resistencia a tensión diagonal por unidad de longitud (V_{CR})

Con $b=100\text{cm}$

Si V_{cr} : Se acepta el peralte propuesto
debe aumentarse el peralte



2.2.12.3 Revisión por punzonamiento.

Figura 22: Determinación del perímetro crítico (b_o)

Fuente: CAP 5

a) Determinación del perímetro crítico por punzonamiento (b_o)



b) Calculo del área crítica por punzamiento (A_c)

$$\left[\frac{V_u}{\phi V_c} \right]$$

c) Obtención
fuerza última
punzamiento

de la
por
(V_u)



d) Calculo del esfuerzo por punzamiento (V_u)

—

e) Esfuerzo cortante resistente por punzamiento (V_{CR})

V_{CR} :

—

: 0.8 para 0.7 para

Si V_{cr} : Se acepta el peralte propuesto
debe aumentarse el peralte

Figura 23: Momento flexionante de diseño (M_u)

Fuente: CAP 5

2.2.12.4 Revisión por flexión del peralte propuesto

a) Momento flector de diseño en la sección crítica por flexión (M_u)

b) Índice de refuerzo (q)

c) Porcentaje de acero de refuerzo por flexión (P)

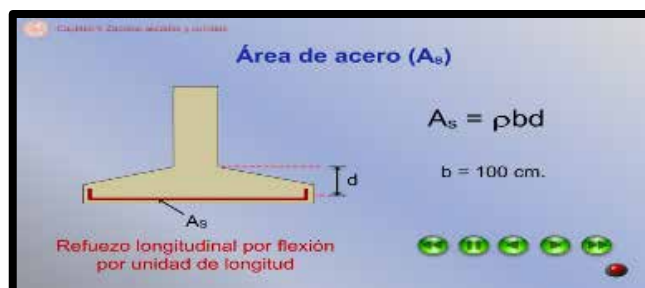
Figura 24: Área de acero (A_s)

Fuente: CAP 5

· Refuerzo longitudinal por flexión por unidad de longitud

a) Área de acero (A_s)

Con $b=100\text{cm}$



b) Separación del refuerzo (S)

$$\text{---} \quad 3.5h - 50\text{cm}$$

c) Área de acero por cambios volumétricos o temperatura (A_{scv})

$$\text{---}$$

Donde $x_1=d$

Figura 25:
acero por
volumétricos
Fuente: CAP 5.

The slide contains the following text and elements:

- Logo: **Civilu y Zapatas aisladas y corridas**
- Title: **Determinación del refuerzo por temperatura o cambios volumétricos (A_{scv})**
- Diagram: A 3D perspective view of a rectangular column on a square footing. The footing width is labeled $b = 100 \text{ cm}$. The height of the column above the footing is labeled x_1 .
- Equation:
$$A_{scv} = \frac{660x_1}{f_y(x_1 + 100)}$$
- Text at bottom left: **Refuerzo longitudinal por flexión por unidad de longitud**
- Navigation icons: A set of five green circular icons (back, stop, home, forward, refresh) and a red circular icon.

Área de
cambios

2.2.13 Secuela de cálculo para el dimensionamiento de zapatas aisladas sujetas a carga axial excéntrica en una dirección

Este es el segundo caso para las zapatas aisladas en donde ahora existe una excentricidad en uno de sus ejes y estos influyen como se ve a continuación para el dimensionamiento de estos elementos.

e) Porcentaje de acero de refuerzo por flexión

2.2.13.3 Revisión por tensión diagonal como viga ancha

a) Fuerza cortante de diseño por unidad de longitud en dirección del momento flector

b) Resistencia a tensión diagonal

—

Con $b=100\text{cm}$

Si V_{cr} : Se acepta el peralte propuesto
debe aumentarse el peralte

2.2.13.4 Revisión por punzonamiento

a) Determinación del perímetro crítico por punzonamiento

[]

b) Cálculo del área crítica por punzonamiento

c) Obtención de la fuerza última por punzonamiento

d) Fracción del momento que debe transmitirse por esfuerzo cortantes y de torsión

Fracción del momento:

Si $0.2 V_{ud}$

Si $0.2 V_{ud}$

—————
=====

e) Esfuerzo cortante resistente por punzonamiento

$V_{cr} =$

—————
—————

: 0.8 para

0.7 para

Si V_{cr} : Se acepta el peralte propuesto
debe aumentarse el peralte

· **Refuerzo longitudinal por flexión en dirección del momento flector**

a) Índice de refuerzo

Con $b=100\text{cm}$

b) Porcentaje de refuerzo

c) Área de acero

Con $b=100\text{ cm}$

$A_{smin} = P_{min}bd$ ó _____

d) Separación del refuerzo

_____ $3.5h - 50\text{cm}$

**2.2.14 Secuela de cálculos para el dimensionamiento de zapatas
aisladas sujetas a carga axial excéntrica en dos direcciones**

Este es el último caso que se presenta para el análisis de una zapata aislada, la diferencia entre el método anterior y éste es que aquí hay una excentricidad más que tomar en cuenta y las modificaciones que se hagan se ven a continuación.

2.2.14.1 Dimensiones de la zapata

a) Proponer o suponer un espesor de la zapata (h)

b) Calcular la reacción neta del terreno

| |

c) Determinación de las acciones internas

d) Área de la zapata

—

Donde:

,

—

y

—

Por lo tanto:

x

y

e) Obtención de la reacción actuante sobre el suelo

—

2.2.14.2 Revisión por flexión del peralte propuesto en dirección del momento flector mayor

- a) Longitud del volado en dirección de la mayor dimensión de la zapata
- b) Momento flexionante por unidad de longitud en la sección crítica por flexión en dirección del mayor momento flector
- c) Peralte efectivo

d) Índice de refuerzo

—————

—————

e) Porcentaje de acero de refuerzo por flexión

2.2.14.3 Revisión por tensión diagonal como viga ancha

- a) Fuerza cortante de diseño por unidad de longitud en dirección del momento flector mayor
- b) Resistencia a tensión diagonal en la sección crítica por cortante como viga ancha

Si V_{cr} : Se acepta el peralte propuesto
 debe aumentarse el peralte

2.2.14.4 Revisión por punzonamiento

- a) Determinación del perímetro crítico por punzonamiento



- b) Cálculo del área crítica por punzonamiento

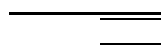
- c) Obtención de la fuerza última por punzonamiento

- d) Fracción del momento que debe transmitirse por esfuerzo cortantes y de torsión

Fracción del momento:

Si $0.2 V_{ud}$

Si $0.2 V_{ud}$



—

- e) Esfuerzo cortante máximo

— —

—

— — —

- f) Esfuerzo cortante resistente

$$V_{cr} = \frac{f_c \sqrt{f_c}}{1200} \left(1 + \frac{M}{M_{cr}} \right) b d$$

: 0.8 para
0.7 para

Si V_{cr} : Se acepta el peralte propuesto
debe aumentarse el peralte

· **Refuerzo longitudinal por flexión en dirección de la mayor dimensión de la zapata**

a) Índice de refuerzo

$$\rho = \frac{A_s}{b d}$$

b) Porcentaje de refuerzo

$$\rho$$

c) Área de acero

$$A_{smin} = \rho_{min} b d$$

d) Separación del refuerzo

$$s \leq 3.5h - 50\text{cm}$$

e) Área de acero por cambios volumétrico

$$A_s$$

2.2.15 Generalidades sobre zapatas combinadas

Las zapatas combinadas son las que soportan dos columnas próximas, evitando que sus bases aisladas se superpongan. Se utilizan en los siguientes casos:

- Cuando hay limitaciones de espacio para construir bases individuales.

- Cuando el suelo de fundación, o algún estrato del subsuelo, exigen que el área de apoyo de las bases individuales sea considerable.

- Para bases excéntricamente cargadas, de modo que, al combinarlas en una sola, se compensen las excentricidades y el resultante de las cargas de las columnas coincida con el baricentro de la base en planta.

- En el caso de superestructuras sensibles a los asentamientos diferenciales.

- Cuando la excavación resulta más sencilla o más económica para una base de gran magnitud que para bases individuales.

- Si el centro de presiones de la resultante de las cargas y momentos de las dos columnas coincide con el baricentro de la base, se cumple la hipótesis de uniformidad de las presiones sobre el terreno en toda el área de apoyo. Cuando no coincide, pero el centro de presiones se halla contenido en el núcleo central de la base, la totalidad de las presiones de contacto producen compresión en la planta de la base, con una distribución lineal de esfuerzos.

- Por el contrario, sí el centro de presiones está ubicado fuera del núcleo central, una parte de la base está traccionada y esa área no contribuye a resistir las cargas impuestas por las columnas. Para analizar y diseñar las bases combinadas se emplean las mismas hipótesis simplificadas que para las bases aisladas. Las cargas de servicio de las columnas y las sobrecargas directamente aplicadas sobre la base permiten determinar el área necesaria en planta, en función de los esfuerzos admisibles del suelo. Conocida el área necesaria, se debe dar la forma en planta de la base combinada, la cual debe satisfacer las exigencias de resistencia y estabilidad. Las formas más usuales de zapatas combinadas son:

- Bases rectangulares, para el caso de pequeñas excentricidades. (Ver figura 26)

- Bases trapeziales, para el caso de excentricidades medianas. (Ver figura 27)

- Base compuesta de dos rectángulos, para el caso de grandes excentricidades.

(Ver figura 28)

Las zapatas combinadas se diseñan para las cargas mayoradas de las columnas y para la reacción ficticia del suelo. La flexión principal se produce generalmente en la dirección longitudinal de la base, por lo cual las fundaciones combinadas se suelen diseñar como vigas isostáticamente sustentadas, donde los apoyos son las dos columnas y las cargas aplicadas, las reacciones del suelo, uniformes o linealmente distribuidas.

Las zapatas combinadas pueden tener volados en las columnas internas, pero no en las de linderó. Por ser sistemas isostáticamente sustentados, estas vigas permiten trazar directamente los diagramas de corte y momento flectores, para calcular su altura útil y el acero del refuerzo.

En todos los casos, al igual que en las bases aisladas, se deben verificar los esfuerzos de corte, punzonado, el aplastamiento del concreto y la longitud requerida de adherencia y anclaje de las armaduras resistentes. En cada caso, se debe verificar el corte y punzonado para cada columna independiente, y cuando sea posible, en conjunto.

Los resultados obtenidos se acercan más a la realidad de las columnas próximas con cargas semejantes, pues si una de las columnas está soportando cargas muy superiores a la otra, las presiones en el suelo resultan mayores en el área que rodea a la columna más cargada, especialmente si la base es flexible.

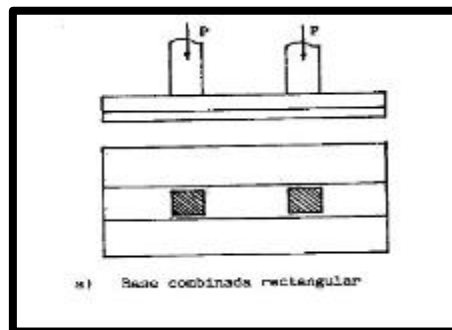


Figura 26: Zapata rectangular

Fuente: María Graciela

combinada

Fratelli

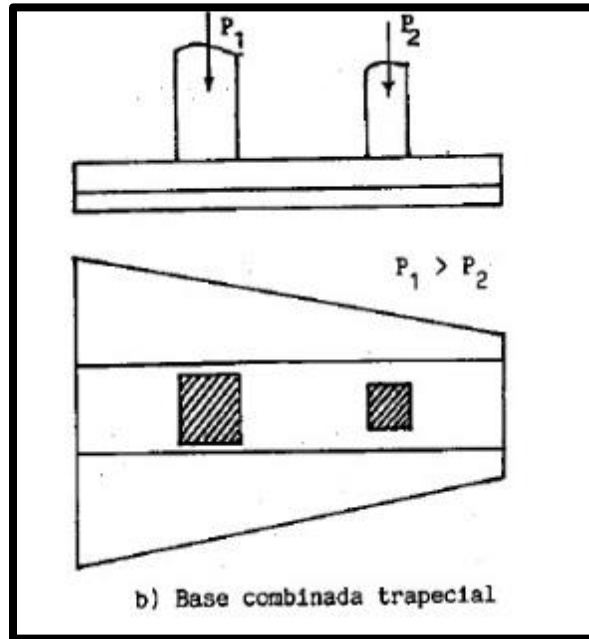


Figura 27:
trapezial
Fuente: María

Zapata combinada
Graciela Fratelli.

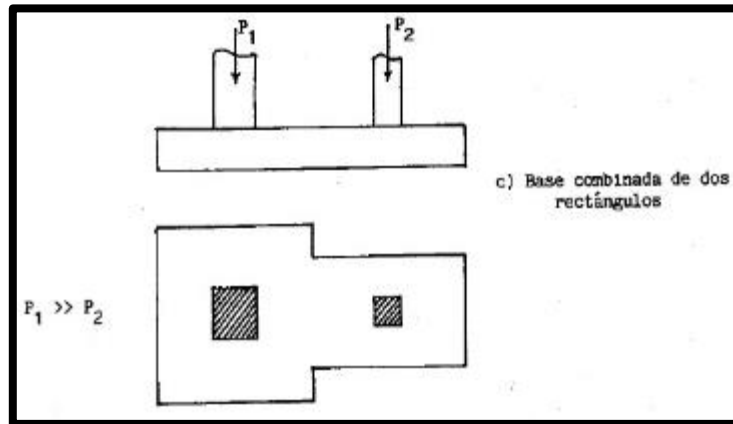


Figura 28: Zapata combinada de dos rectángulos
Fuente: María Graciela Fratelli

2.2.16 Zapatas combinadas de lindero

Existen dos tipos de zapatas combinadas: la de lindero y la intermedia, las cuales se diferencian sólo por la posición de los elementos que van a soportar. (Ver figura 29 y 30)

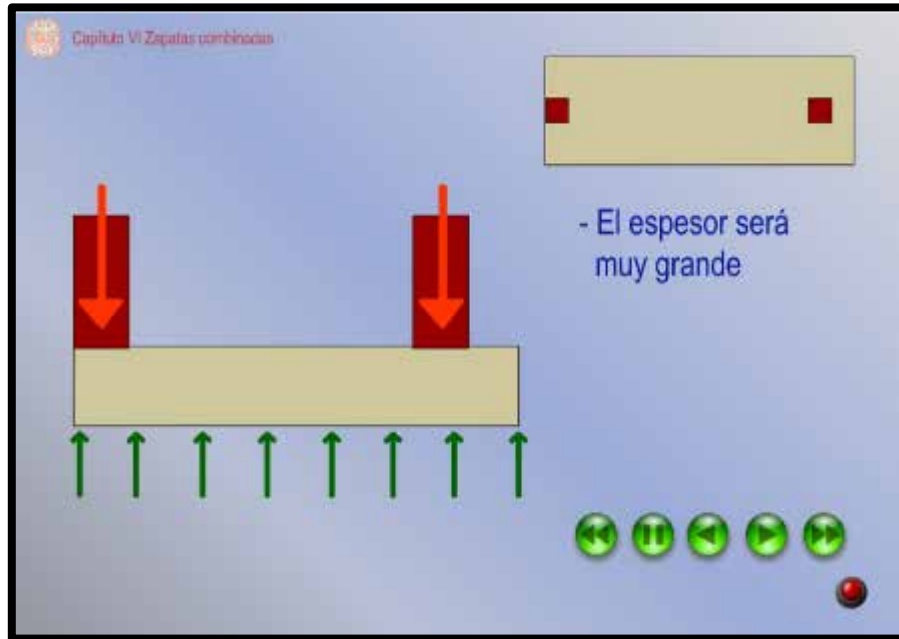


Figura 29: Zapata combinada de lindero vista en corte
Fuente: CAP 6

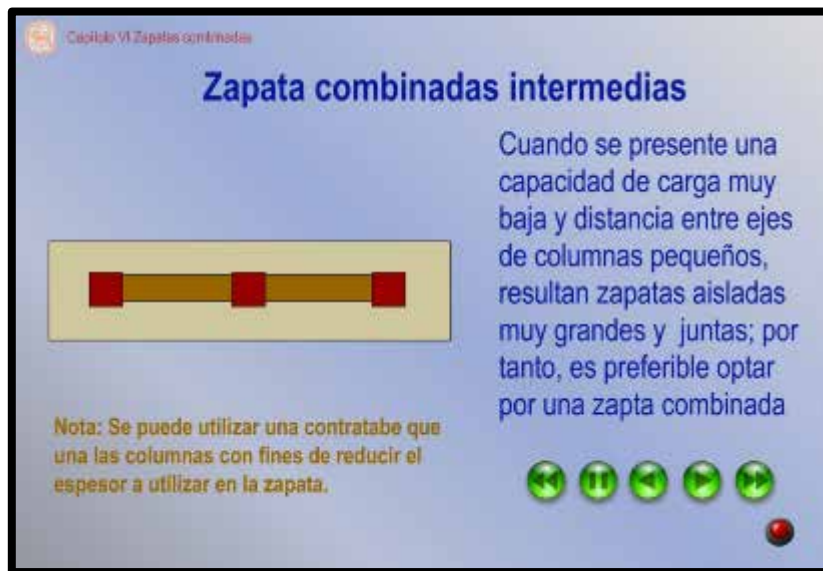


Figura 30: Zapata combinada intermedia vista en corte
Fuente: CAP 6.

Zapatas combinadas de lindero

Se utilizará una zapata combinada de lindero cuando la capacidad de carga del

terreno es muy baja y la carga del lindero muy alta. (Ver figura 31)

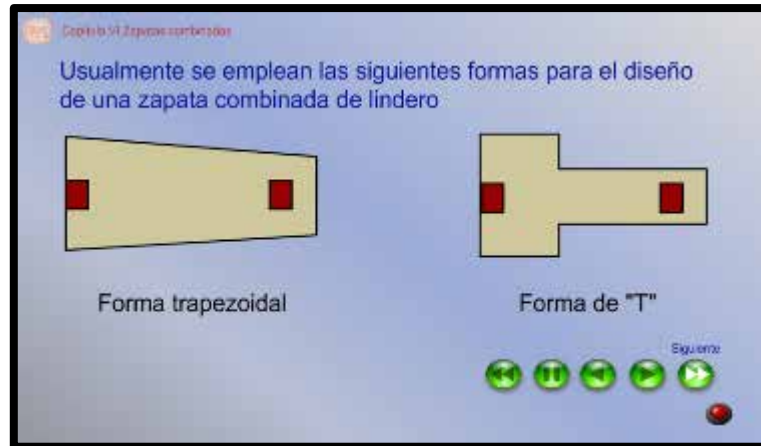


Figura 31: Zapata combinada de lindero

Fuente: CAP 6.

Las diversas formas en las que se puede diseñar una zapata de lindero, además de la rectangular, son las siguientes: (Ver figura 32)

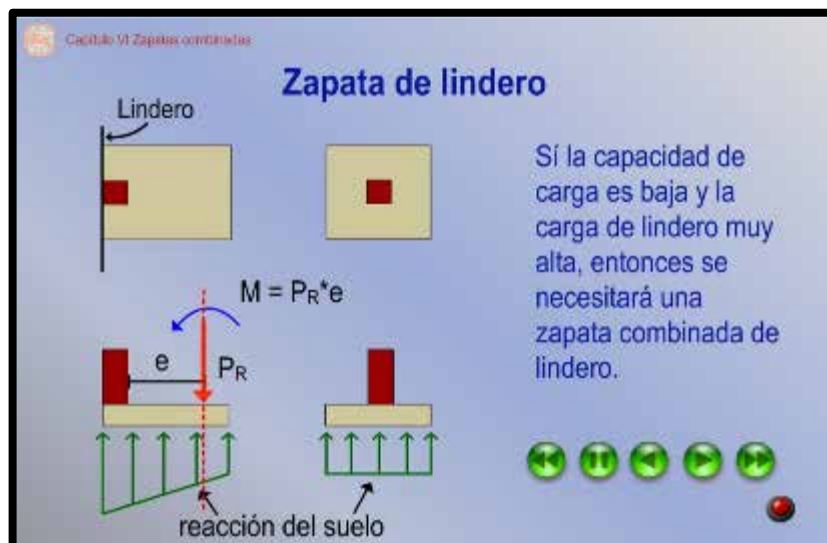
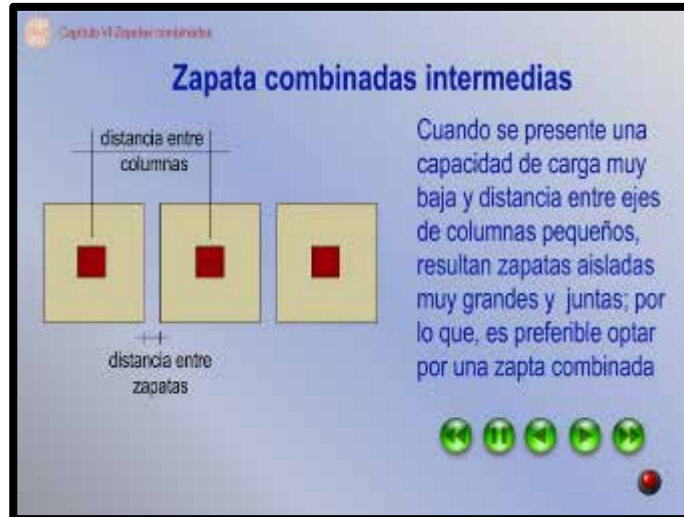


Figura 32: Diversas formas de una zapata combinada de lindero

Fuente: CAP 6

Como se mencionó anteriormente, para poder reducir el gran espesor de este tipo de zapatas, se pueden ligar los elementos por medio de una contratante para reducir los volúmenes de concreto en la placa de la zapata de cimentación. Al hacer estas modificaciones, no se afecta en nada la distribución de las cargas sobre la

zapata.



Zapata combinada intermedia

Figura 33: Zapata combinada intermedias donde se indica la distancia entre zapatas y columnas

Fuente: CAP 6.

No hay que olvidar que también se puede emplear una zapata con mucho menor espesor ligando las columnas con un contratrabe como se explicó en la figura 32.

2.2.17 Secuela de cálculo para el diseño de una zapata combinada

El diseño y análisis de estas zapatas es similar al de una zapata aislada con

excentricidad en ambos ejes; sin embargo, tiene una particularidad muy especial, la cual simplifica mucho la determinación del área de acero (A_s) como se verá en las siguientes secciones.

2.2.17.1 Determinación de los valores constantes

Antes de iniciar el diseño y análisis de una zapata combinada, es necesario conocer algunos datos como son:

Dimensiones de la sección transversal de las columnas (c_1 y c_2 , siendo c_1 la dimensión mayor)

Cargas y momentos actuantes sobre las columnas (P_1 , M_1 , etc.)

Distancia entre las columnas (D)

Capacidad de carga del suelo (f_t)

y_s , y_c , D_f , f'_c , f_y .

2.2.17.2 Dimensión de la zapata

Habrá que analizar la zapata bajo los efectos de C.M. + C.V. y C.M. + C.V. + C.A., para saber qué caso será el que rija el diseño. Recordando que factor de carga el F_c para estas combinaciones es:

a) Factorización de la carga

b) Factorización del momento

c) Estimación de un espesor (h)

d) Reacción del terreno

| |

e) Determinación de la fuerza resultante (PR)

f) Obtención de la longitud entre el eje de la columna C1 y PR (x) Se determina la posición de la resultante de las diversas cargas aplicando criterios de estática.

g) Obtención de la longitud total de la zapata (L) Debido a que la carga resultante debe estar en la mitad de la zapata, es necesario ajustar la longitud de ésta de tal manera que el centroide de cargas coincida con el centro geométrico, para esto, sólo basta sumar la distancia recién calculada más la distancia que queda entre el centro de columna C1 y el borde de la zapata, una vez sumadas estas distancias se multiplica por dos para así obtener la longitud ajustada que debe tener la zapata a diseñar.

Ya que se hizo el cálculo para ambos casos, regirá el que arroje las mayores dimensiones y estos valores serán redondeados.

2.2.17.3 Reacciones y momentos

Continuando con el procedimiento, se considerará la zapata como la viga ancha.

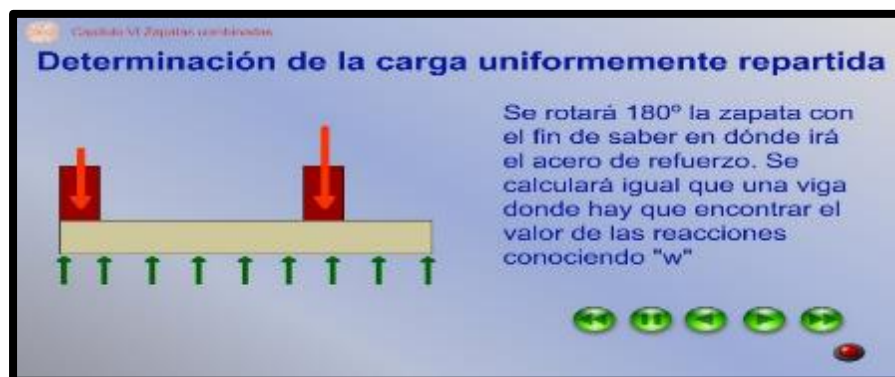


Figura 34: Zapata combinada antes de ser considerada como viga

Fuente: CAP 6

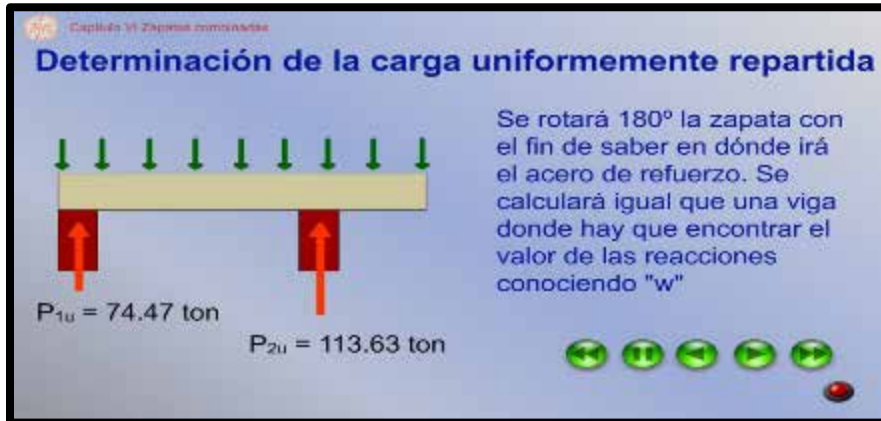


Figura 35: Zapata analizada como viga
Fuente: CAP 6

- a) Obtención de la carga uniformemente repartida (w)

—

- b) Obtención de reacciones R_1 y R_2

Se obtendrá por sumatoria de momentos con respecto a un punto que se escoja.

- c) Obtención del diagrama de cortante y momento

Ya calculadas las reacciones actuantes en la viga (R_1, R_2), así como la carga uniformemente repartida (w), se dibuja el diagrama de cortante y momentos.

2.2.17.4 Revisión por cortante (Tensión diagonal)

- a) Sección crítica (x)

- b) Cortante último (V_u)

Será correspondiente al valor que se observe del diagrama conforme a la sección crítica

- c) Cortante crítico (V_{CR})

—

· **Revisión por punzonamiento**

Se tendrá que hacer la revisión para cada columna que se encuentre dentro de la zapata, cuidando si es una columna de linderó o intermedia.

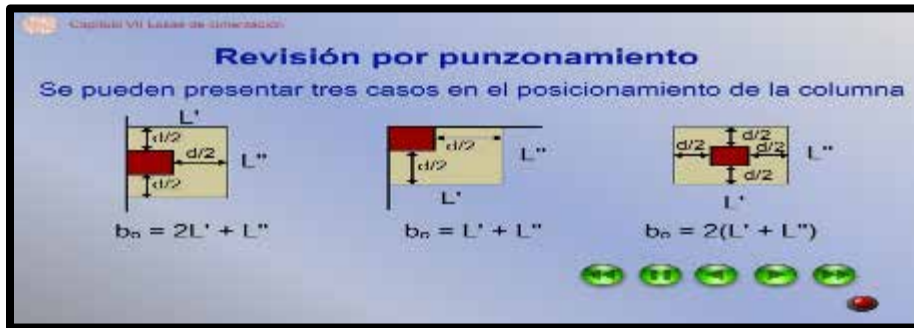


Figura 36: Columna de linderó, borde e intermedia

Fuente: CAP 6.

a) Esfuerzo cortante resistente por punzonamiento (V_{CR})

Se usa el menor, siendo

b) Perímetro crítico (b_o)

Para columna intermedia

Para columna de linderó

Para columna de borde

- -

c) Área crítica (A_c)

d) Fracción del momento que debe transmitirse por esfuerzos cortantes y de torsión

Para columna intermedia

Para columna de linderos

-

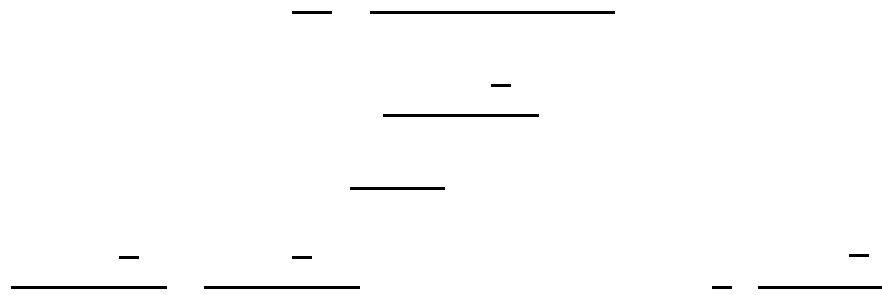
e) Obtención de la fuerza cortante última por punzamiento
Para columna intermedia

Para columna de linderos

-

f) Esfuerzo cortante máximo (V_u)
Para columna intermedia

Para columna de linderos



Sí

g) Se dibuja el armado de acero con todos los detalles posibles

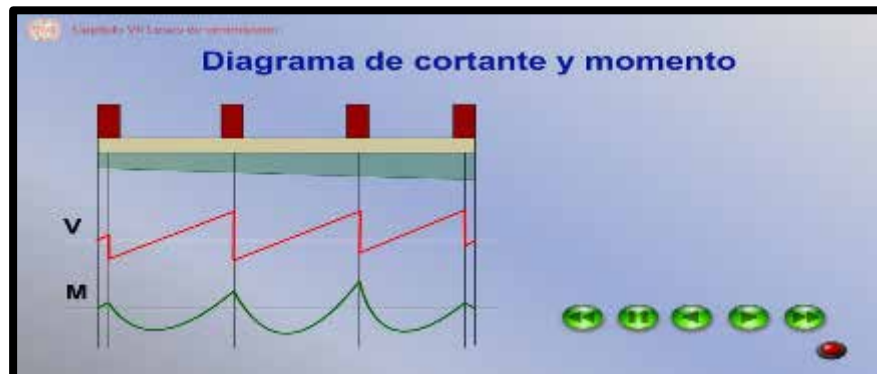


Figura 37: Diagrama de fuerzas cortante y momentos flectores

Fuente: CAP 6.

2.3. Definición de términos.

· **Ángulo de fricción interno (ϕ):** es la resistencia al deslizamiento causado por la fricción que hay entre las superficies de contacto de las partículas y de su densidad.

· **Asentamiento:** Es la deformación vertical en la superficie de un terreno proveniente de las cargas imprevistas, los cambios de destino de una edificación y, en general, todo factor que modifique el estado de cargas.

· **Capacidad de carga admisible:** Es la capacidad del suelo para soportar una carga sin que se produzcan fallas dentro de su masa.

· **Capacidad de carga última:** Es la capacidad que tiene el suelo de soportar la carga que le producirá una falla incipiente.

· **Cargas:** son definidas como la acción directa de una fuerza concentrada o distribuida actuando sobre el elemento estructural y la cual produce estados tensionales sobre la estructura.

· **Fundación:** conjunto de elementos estructurales de una edificación cuya misión es transmitir sus cargas o elementos apoyados en ella al suelo, distribuyéndolas de forma que no superen su presión admisible ni produzcan cargas zonales.

· **Fundación superficial:** Son aquellas fundaciones donde las cargas de la estructura pasan directamente al terreno resistente situado inmediatamente debajo. Se utilizan cuando inmediatamente debajo de la estructura existe una capa de terreno resistente de suficiente espesor. En obras de ingeniería, para este espesor, se suele exigir una profundidad de 1.0 a 3.0 metros.

· **Fundaciones aisladas:** Las fundaciones de concreto armado para columnas aisladas son generalmente de forma cuadrada o rectangular, y consisten en una placa o losa armada según dos direcciones ortogonales, que se apoya directamente sobre el suelo de fundación.

· **Fundaciones combinadas:** Las zapatas combinadas son las que soportan dos columnas próximas, evitando que sus bases aisladas se superpongan.

CAPÍTULO III

MARCO METODÓLOGICO

Al iniciar este capítulo se consideró pertinente definir una serie de aspectos de importancia relevante en lo que va a ser el desarrollo de la investigación, ya que ello va a determinar los pasos a seguir o el camino a transitar para lograr el fin propuesto en el estudio; igualmente, las técnicas y métodos que puedan emplearse, así como la secuencia lógica de su abordaje, lo que sin duda alguna, propiciara el logro de los objetivos formulados y en consecuencia el arribo a resultados científicamente comprobables.

La escogencia del tipo de investigación determinara todo el enfoque de esta, influyendo en instrumentos y hasta la manera de cómo se analizan los datos recabados, he ahí el porqué, de, si se tiene claro, llevar adelante un estudio de investigación, el investigador ha de plantearse como premisa fundamental el análisis preciso de lo que se aspira investigar y sobre el dominio de la teoría investigativa, seleccionar adecuadamente el modelo a desarrollar.

3.1 Tipo de Investigación

Dadas las premisas que motivaron el desarrollo de la presente investigación, así como a las características del trabajo a ejecutar, se consideró enmarcarlo dentro de lo que se define como proyecto factible, el cual, según el Manual de Tesis de Grado de Especialización y Maestría y Tesis Doctorales de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador (2014)

Consiste en la investigación, elaboración y desarrollo de un modelo operativo viable para solucionar problemas, requerimientos, necesidades de organizaciones o grupos sociales que pueden referirse a la formulación de política, programas, tecnologías, métodos o procesos. El proyecto debe tener el apoyo de una investigación de tipo documental y de campo, o un diseño que incluye ambas modalidades. (p. 21) Al analizar el contenido de la definición antes mencionada, se puede concluir que el proyecto a desarrollar, en esta oportunidad, puede ser considerado como un proyecto factible ya que se orienta hacia la satisfacción de necesidades de la población a través de la elaboración de un manual de estudio para el diseño geotécnico y estructural de fundaciones superficiales de tipo zapatas combinadas el cual facilitará el trabajo de las personas a la hora de tener que realizar diseños de zapatas combinadas.

Igualmente se puede enmarcar el proyecto dentro de lo que se define como investigación documental, ya que según el Manual de Trabajos de Grado de la UPEL (2014), se entiende por investigación documental:

El estudio de problemas con el propósito de ampliar y profundizar el conocimiento de su naturaleza, con apoyo, principalmente, en trabajos previos, información y datos divulgados por medios impresos, audiovisuales o electrónicos. La originalidad del estudio se refleja en el enfoque, criterios, conceptualizaciones, reflexiones, conclusiones, recomendaciones y, en general, en el pensamiento del autor. (p. 20)

La propuesta seleccionada se puede incluir, de acuerdo con la definición antes descrita, en lo que se define como investigación documental, ya que se tomará como base la información proveniente de trabajos previos divulgados por instituciones, propuestas anteriores producto de la investigación de profesionales del área, documentos y disposiciones legales propias para el desarrollo del trabajo.

3.2 Diseño de Investigación

El diseño de investigación, tal como lo manifiesta Sabino (2002), constituye el plan general del investigador para obtener respuestas a sus interrogantes o comprobar la hipótesis de investigación. Para ello, desglosa las estrategias básicas que el investigador adopta para generar información exacta e interpretable. En cuanto al diseño de investigación de este estudio, la presente se enmarca en no experimental, que según Hernández, Fernández y Baptista (20004), el investigador observa los fenómenos tal y como ocurren naturalmente sin intervenir en su desarrollo para después analizarlos y establecer los procedimientos a seguir.

También, se considera como un estudio transeccional o transversal, que Hurtado (2012), define como aquel que recolecta datos en un solo momento, en un tiempo único.

Por lo tanto, este trabajo es transversal, ya que, los investigadores realizan el estudio, tomando en consideración las variables, dimensiones e indicadores establecidos en la Tabla de Operacionalización de Variables.

Para efectos de este estudio, se realizó mediante la revisión de las fuentes bibliográficas, hemerográficas y electrónicas que contengan la información del tema sometido a estudio.

3.3 Nivel de Investigación

Se refiere, según Arias citado por Palella y Martins (2012) “al grado de profundidad con que se aborda un objeto o fenómeno” (p.92). En lo que respecta a este trabajo el nivel de investigación es descriptivo, ya que, el propósito de este nivel es el de “interpretar realidades de hecho. Incluye descripción, registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual, composición o procesos de los fenómenos” (Palella y Martins, 2012, p.92). Para efectos de este estudio, se aborda todo lo concerniente a las fundaciones superficiales de tipo zapata, diseño geotécnico y el diseño estructural de la zapata combinadas.

3.4 Población y Muestra

Es importante determinar la población y muestra necesaria para el desarrollo del trabajo ya que ello nos lleva a obtener una mejor visión de este.

Parella S y Martins P (2012) definen la población de una investigación como:

Conjunto de unidades de las que se desea obtener información y sobre las que se van a generar conclusiones. La población puede ser definida como el conjunto finito o infinito de elementos, personas o cosas pertinentes a una investigación y que generalmente suele ser inaccesible. (p. 105)

En lo que respecta a esta investigación población y muestra estarán conformadas por los textos bibliográficos, hemerográficos y electrónicos que proporcionen información sobre las fundaciones superficiales de tipo zapata, diseño geotécnico y el diseño estructural de la zapata combinada, cuya información servirá de material de apoyo para la elaboración del manual de los estudiantes de Ingeniería Civil.

3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Parella S y Martins P (2012) señalan que las técnicas de recolección de datos son: “Las distintas formas o maneras de obtener la información” (p. 115). La selección de la técnica de recolección de información va a depender del tipo de investigación que se va a desarrollar considerándose de importancia la pericia del investigador para la selección de la más adecuada a los fines de que propicien el logro de los objetivos formulados.

En lo que respecta a este estudio se utilizarán las técnicas de observación documental, presentación resumida, resumen analítico y análisis crítico. Tal como lo sostiene Balestrini (2006):

“A partir de la observación documental, como punto de partida en el análisis de las fuentes documentales, mediante una lectura general de los textos, se iniciará la búsqueda y la observación de los hechos presentes en los materiales escritos consultados que son de interés para esta investigación...La presentación resumida de un texto permitirá construir los contenidos teóricos de la investigación...La técnica de resumen analítico se incorporará para descubrir la estructura de los textos consultados y delimitar sus contenidos básicos en función de los datos que se precisan conocer...La técnica de análisis crítico de un texto, contiene las dos técnicas anteriores, introduce su evaluación interna, centrada en el desarrollo lógico y la solidez de las ideas seguidas por el autor del mismo” (p.152).

En el caso de esta investigación y tomando en cuenta lo establecido en los objetivos planteados, el estudio recopiló información necesaria para el diseño de fundaciones superficiales de tipo zapatas, tomando en cuenta para ello el desarrollo geotécnico de las fundaciones, el diseño estructural de la zapata combinada, así como también, todas aquellas normas que deben ser utilizadas en el país para el diseño de estas. Dicha información será de suma importancia para la realización del manual el

cual será utilizado por todas las personas que trabajen o estudien en el área de ingeniería civil.

3.6 Fases Metodológicas

Para iniciar el desarrollo de este punto se seleccionó la definición que al respecto aporta Arias (2012), quien señala que las fases de la metodología “consisten en la descripción del estudio que se propone realizar el investigador, es decir, expresa que se va a investigar, como, cuando y con que se investigara” (p. 84). Dar respuesta a las incógnitas presentadas por el autor en su definición, permiten que el proceso se vaya desarrollando de forma ordenada y secuencial, desde la recolección de los datos, que es cuando de forma concreta se inicia el proceso, hasta concluir en la formulación de la propuesta final cuya ejecución estará orientada a la solución de los problemas detectados y en consecuencia al logro de los objetivos formulados.

Fase I: Compilar información teórica necesaria para el diseño de fundaciones superficiales combinadas que sirva como material de apoyo para los estudiantes y profesionales en el área de la ingeniería civil.

Esta fase es de suma importancia para el desarrollo del trabajo ya que en la misma se realiza toda la búsqueda de información necesaria mediante fuentes bibliográficas, hemerográficas y electrónicas sobre el tema en estudio: fundaciones superficiales combinadas. Para ello se considerarán aspectos como: terminología específica asociada con el suelo de fundación, clasificación, sistema unificado de clasificación de los suelos, diseño geotécnico de fundaciones superficiales, capacidad de carga última, tipos de carga por capacidad de carga última, factores de la capacidad de carga, diseño estructural de fundaciones superficiales, entre otros.

Fase II: Estudiar partiendo de la información geotécnica dada y de la información teórica recopilada el diseño geotécnico de las fundaciones superficiales de tipo zapata combinada.

Se toma como base el procedimiento empleado en la Fase I. En esta fase se obtiene la capacidad de carga última del suelo y los distintos asentamientos que se pueden manifestar.

Es importante señalar que, se usarán procedimientos como: pruebas de laboratorio para el logro del diseño geotécnico para fundaciones superficiales de tipo combinadas.

Fase III: Desarrollar el diseño estructural de la zapata combinada partiendo del estudio del diseño geotécnico y considerando las normas de diseño estructural.

Una vez elaborado el diseño geotécnico del tipo de fundación sometido a estudio, se procede a realizar el diseño estructural de la zapata combinada, para ello hay que, determinar las cargas axiales y momentos flectores, luego verificar el espesor de la cimentación, definiendo la cantidad de acero de refuerzo que se debe colocar para posteriormente realizar el chequeo por corte, punzante y aplastamiento tomando como criterio la FONDONORMA 1753 – 2006 y ACI 318 - 14

Fase IV: Presentar el manual de estudio para el diseño de fundaciones superficiales de tipo zapata combinada.

Una vez realizado las tres primeras fases los investigadores proceden a presentar el manual de estudios a los estudiantes y profesores de Ingeniería los cuales contarán con una herramienta didáctica que les permitirá tener una mejor comprensión del tema sometido a estudio.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

Los resultados se presentan tendiendo a las diferentes fases metodológicas descritas en la investigación.

Fase I: Compilar información teórica necesaria para el diseño de fundaciones superficiales combinadas que sirva Como material de apoyo para los estudiantes y profesionales en el área de la ingeniería civil.

El estudio de los textos, documentos técnicos, trabajos de grado, permitieron compilar una gran base de información que inicia de las definiciones más fáciles hasta los aspectos más específicos que se pertenecen al diseño de las fundaciones superficiales de tipo zapata combinada.

Se examinó cada uno de los aspectos teóricos en su contexto, teniendo como referencia las fórmulas y figuras correspondientes, que a su vez permitieron el desarrollo de cada una de las especificaciones para lograr un buen diseño de las zapatas combinadas.

Fase II: Estudiar partiendo de la información geotécnica dada y de la información teórica recopilada el diseño geotécnico de las fundaciones superficiales de tipo zapata combinada.

Para el diseño geotécnico de la fundación superficial del tipo zapata combinada, se partió de datos suministrados por ingenieros geotécnicos (cohesión del suelo, ángulo de fricción, peso específico) por medio de estudios de suelos. Posteriormente, a partir de las cargas provenientes del análisis de la superestructura se determinó el valor de momento por carga y en qué sentido de la fundación actúa.

Después se logró el pre dimensionado de la zapata, con lo cual se realizan todos los chequeos geotécnicos pertinentes; si alguno de éstos no cumple se modifica el pre dimensionado hasta que cumpla las condiciones estudiadas.

Para el cálculo de capacidad de carga última se aplicó la ecuación general de Meyerhof, utilizando factores de capacidad de carga, profundidad, forma e inclinación. Estos factores pueden ser modificados por situaciones en particulares como presencia del nivel freático o zapatas cargadas excéntricamente.

Para después calcular el factor de seguridad contra la capacidad de carga. Por último, se procede al chequeo del asentamiento que dependerá del tipo de suelo, asentamiento inmediato para arenas bajo cualquier condición y arcillas secas; y por consolidación, arcillas bajo nivel freático.

Fase III: Desarrollar el diseño estructural de la zapata combinada partiendo del estudio del diseño geotécnico y considerando las normas de diseño estructural.

El diseño estructural se hizo bajo las normativas vigentes del país COVENIN 1753-2006 "Proyecto y construcción de obras en concreto estructural" y ACI 318-14 " "; partiendo del previo chequeo del dimensionado de la zapata, cargas, datos del material y resistencia del suelo se pasa a realizar el diseño estructural y se realizan los distintos chequeos de falla como son, chequeos por flexión, corte, punzonado y por último se diseña la viga de riostra.

Fase IV: Presentar el manual de estudio para el diseño de fundaciones superficiales de tipo zapata combinada.

Estructuración del manual

El manual posee una introducción, consta de dos partes; la primera compete al diseño geotécnico, mientras que la segunda compete al diseño estructural.

Debido a que el manual tiene que ser un elemento de apoyo importante para los estudiantes, resalta que la información está organizada, con una secuencia adecuada y ajustada a cada uno de los casos por las variaciones de los factores considerados en el diseño geotécnico de la fundación; este orden de la información ofrece ventaja al estudiante al momento de recurrir a los datos para un diseño específico.

El manual se presenta en los anexos, el cual puede ser extraído como un documento aislado para la utilización por parte de los estudiantes y de personas interesadas en la información presentada.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Luego de plantear los objetivos de estudio para el presente caso, se procedió al análisis e interpretación de datos, los cuales fueron obtenidos mediante la revisión de diferentes teorías y se logró concluir lo siguiente:

Al obtener la información necesaria sobre los distintos métodos de diseño geotécnico y diseño estructural para zapatas combinadas, fue seleccionada la teoría de Meyerhof, ya que la misma incluye ciertos factores de importancia para la obtención de la capacidad de carga última los cuales no se encuentran presentes en el resto de las teorías investigadas, a su vez fueron utilizadas para el diseño estructural, las normativas para diseño de concreto armado ACI 318-14 y FONDONORMA 1753-06.

Para el desarrollo del diseño geotécnico se tomaron en cuenta las cargas y las diferentes condiciones que pudiese presentar el suelo, de igual forma se tomó en cuenta el comportamiento de la fundación ante las cargas, obteniendo como resultado que para el primer caso de estudio el criterio de diseño que prevaleció fue el de rigidez debido a las grandes deformaciones del suelo.

En el diseño estructural se tomaron en consideración las normas ACI 318-14 y FONDONORMA 1753-06, bajo condiciones de cargas de servicio, resistencia de materiales y parámetros geotécnicos impuestos para fines didácticos.

Para la realización del manual, se tomaron en cuenta los perfiles geotécnicos reales de distintos sitios para los cuales se estudiaron las fundaciones de tipo zapatas combinadas, presentando diferentes tipos de irregularidades tanto geotécnicas como estructurales, como primer paso se realizó el diseño geotécnico, obteniendo como resultado el pre dimensionado de la fundación para luego proceder con el diseño estructural, evaluando en este caso el comportamiento tanto geotécnico como estructural del perfil escogido, lo que permitió la obtención del diseño más óptimo de la fundación, para dicha obtención fueron utilizadas condiciones reales, demostrando

así que el diseño estructural debe enlazarse de manera directa con el diseño geotécnico. Dichos resultados fueron presentados en el manual de manera didáctica, facilitando así su entendimiento y generando al público una fácil lectura de este.

Todo esto fue realizado con el fin de elaborar un manual de apoyo técnico, práctico y teórico para el diseño de fundaciones superficiales de tipo zapata combinada que sirva como material de estudio para estudiantes y profesionales en la materia.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda la realización de un manual para el diseño geotécnico y estructural de placas y losas de fundación, el cual evalúe alguna teoría diferente a la utilizada en dicho manual, con el fin de poder realizar comparaciones en los resultados obtenidos.

Se recomienda realizar un manual para el diseño geotécnico y estructural de fundaciones profundas de tipo pilotes excavados y vaciados en sitio.

Se recomienda hacer un estudio de los estados límites en su rango de servicio y de capacidad última para llegar a conclusiones más profundas referente al uso de la más desfavorable para casos de diseño.