



**ELABORAR UN MANUAL DE ESTUDIO
PARA EL DISEÑO DE FUNDACIONES
SUPERFICIALES DE TIPO ZAPATA AISLADA
QUE SIRVA COMO MATERIAL DE APOYO A
LOS ESTUDIANTES DE LA CARRERA
INGENIERIA CIVIL**

Autores:
Gómez Angiber
C.I. 20.876.758
Moreno Ysabel
C.I. 24.643.124

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



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

**ELABORAR UN MANUAL DE ESTUDIO PARA EL DISEÑO DE
FUNDACIONES SUPERFICIALES DE TIPO ZAPATA AISLADA QUE
SIRVA COMO MATERIAL DE APOYO A LOS ESTUDIANTES DE LA
CARRERA INGENIERIA CIVIL**

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

Autor: Angiber Gómez
C.I.: 20.876.758
Ysabel Moreno
C.I.:24.643.124
Tutor: Ing. Daniela Giraud

San Diego, Mayo del 2014



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

ACEPTACIÓN DEL TUTOR

Quien suscribe, Ingeniero Daniela Giraud portador de la cédula de identidad N° 18.976.257, en mi carácter de tutor del trabajo de grado presentado por los ciudadanos Ysabel Moreno y Angiber Gómez, portadores de la cédula de identidad N°24643124 y 20876758, (respectivamente), **ELABORAR UN MANUAL DE ESTUDIO PARA EL DISEÑO DE FUNDACIONES SUPERFICIALES DE TIPO ZAPATA AISLADA QUE SIRVA COMO MATERIAL DE APOYO A LOS ESTUDIANTES DE LA CARRERA INGENIERIA CIVIL** presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Civil, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En San Diego, a los 12 días del mes de Junio del año dos mil quince.

Ing. Daniela Giraud.
C.I.: 18.976.257

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	PP
INDICE DE TABLAS.....	ix
INDICE DE FIGURAS.....	x
RESUMEN.....	xi
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	3
EL PROBLEMA.....	3
1.1. Planteamiento del problema.....	3
1.2. Formulación del problema.....	4
1.3. Objetivos.....	4
1.3.1 Objetivo General.....	4
1.3.2 Objetivos Específicos.....	5
1.4. Justificación de la investigación.....	5
1.5. Alcance.....	6
CAPÍTULO II.....	7
MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Antecedentes.....	7
2.2. Bases Teóricas.....	9
2.2.1. Suelo de Fundación.....	9
2.2.2. Clasificación de los suelos.....	9
2.2.3. Sistema unificado de clasificación de los suelos.....	11
2.2.4. Estudios Geotécnicos.....	11
2.2.5. Información geotécnica necesaria para el diseño de fundaciones.....	12
2.2.5.1. Diseño estructural de los elementos interactuantes con el suelo.....	12
2.2.6. Sistemas de fundación.....	13
2.2.7. Tipos de fundaciones.....	13
2.2.8. Diseño geotécnico de fundaciones superficiales.....	15
2.2.8.1. Capacidad de carga última.....	15
2.2.8.2. Asentamiento.....	28
2.2.9. Diseño estructural de fundaciones superficiales.....	31

2.2.9.1. Bases aisladas cuadradas.....	31
2.2.10. Bases aisladas rectangulares.....	35
2.2.11. Pedestales.....	37
2.2.12. Vigas de riostra.....	38
CAPÍTULO III.....	39
MARCO METODÓLIGO.....	39
3.1. Tipo de investigación.....	39
3.2. Diseño de la investigación.....	40
3.3. Nivel de investigación.....	41
3.4. Población y muestra.....	42
3.5. Técnica e instrumentación de recolección de datos.....	42
3.6. Fases metodológicas.....	43
CAPITULO IV.....	45
RESULTADOS.....	45
CAPITULO V.....	48
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	48
5.1. Conclusiones.....	48
5.2. Recomendaciones.....	49
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50
ANEXOS.....	51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Factores de capacidad de carga para la teoría de Meyerhof.....	20
---	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Falla general por corte.....	16
Figura 2 Falla local por corte.....	17
Figura 3 Falla por punzonado.....	18
Figura 4 Cimentaciones cargadas excéntricamente.....	22

Figura 5 Cimentación de columnas con carga excéntrica.....	24
Figura 6 Análisis de una cimentación con excentricidad en dos direcciones.....	24
Figura 7 Área efectiva para el caso I.....	26
Figura 8 Área efectiva para el caso II.....	27
Figura 9 Área efectiva para el caso III.....	27
Figura 10 Área efectiva para el caso IV.....	28
Figura 11 Asentamiento elástico de fundación superficial.....	29
Figura 12 Cálculo del asentamiento por consolidación.....	31
Figura 13 Bases aisladas cuadradas.....	32
Figura 14 Bases aisladas rectangulares.....	36



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 DE FUNDACIONES SUPERFICIALES DE TIPO
ZAPATA AISLADA QUE SIRVA COMO MATERIAL DE APOYO A LOS
ESTUDIANTES**

Autores: Angiber Gómez
Ysabel Moreno

Tutor: Daniela Giraud

Fecha: Mayo, 2015

RESUMEN

El presente trabajo tiene como propósito brindar un apoyo documental a los estudiantes y docentes de pregrado en la cátedra de fundaciones y muros de la carrera de ingeniería civil; a través de la elaboración de un manual de diseño de fundaciones superficiales de tipo zapata aislada. Para lo cual se evaluaron las diferentes etapas que conllevan al diseño de dicha fundación superficial, 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.

Descriptores: Manual, Fundaciones Superficiales, Zapatas.

INTRODUCCIÓN

La cimentación o 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, viento incluido. 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 la temática, 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 de fundaciones superficiales de tipo zapata aislada que sirva como material de apoyo a los estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil. Para ello, se recopiló información teórica necesaria para el diseño de fundaciones superficiales de tipo zapata aislada, se desarrolló el diseño geotécnico de la zapata aislada, partiendo de la información teórica recopilada y de una información geotécnica dada.

Asimismo, se realizó el diseño estructural de la zapata aislada, 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.

El manual se estructuró siguiendo una secuencia lógica en cuanto a los factores que se consideran 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 fuente bibliográfica-documental. Los datos presentados así como los casos hipotéticos manejados son debidamente validados a través de los cálculos que posteriormente forman parte del manual, tanto a nivel de diseño geotécnico como del diseño estructural de la zapata aislada. La hoja de cálculo que le acompaña se convierte en una herramienta complementaria que facilita la comprobación de los cálculos necesarios en el diseño de las fundaciones superficiales de tipo zapata aislada.

Este proyecto estará 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 y fases metodológicas. Capítulo IV, se esbozan los resultados y finalmente el capítulo V, en el cual se presentan las conclusiones y recomendaciones ajustadas a los objetivos y fases metodológicas definidas.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento de problema

La cimentación o fundación es la parte de la construcción que se apoya sobre el terreno, constituye así la base del edificio y por tanto debe satisfacer la función estática de soportar los pesos de la superestructura en condiciones desfavorables de carga y repartirlos sobre el terreno en la profundidad necesaria.

Para que una estructura ofrezca seguridad y cumpla con las respectivas normas de diseño y construcción establecidas en el país, ha de llevar una infraestructura adecuada, siendo el diseño de ésta uno de los aspectos más importantes en un proyecto de ingeniería civil. Para lograr un comportamiento adecuado en toda la estructura, se debe elegir el sistema de fundación que mejor se adapte a las condiciones de carga del proyecto, así como del terreno de fundación.

Dentro de los sistemas de fundación más comunes en la construcción se tienen los sistemas de fundación superficial, los cuales se caracterizan por transmitir en forma directa las cargas provenientes de la superestructura al terreno de fundación. Dentro de este tipo de sistemas existe una gran variedad, la elección 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 así como el factor económico.

Para diseñar fundaciones superficiales, es necesario conocer cada detalle del proyecto, partiendo desde la recopilación geotécnica básica del sitio hasta el diseño estructural de la fundación. Para ello, se divide el diseño de la fundación en dos etapas fundamentales como son el diseño geotécnico y el diseño estructural. El cumplimiento de cada etapa conlleva al sistema de fundación superficial más acertado para la estructura.

En el entorno académico, existe una gama de recursos bibliográficos para el diseño de una fundación superficial; sin embargo, estos recursos en su mayoría, sólo desarrollan uno de los dos tipos de diseño anteriormente mencionados; y en algunos casos, no toman en cuenta la información geotécnica del terreno. De igual forma, los que abordan los dos tipos de diseño, por lo general, son complicados de entender para los estudiantes de pregrado si no poseen una buena base académica sobre el tema. También existe software de diseño que facilita este procedimiento; no obstante, es muy difícil encontrar un material que sirva de guía para la utilización de los mismos.

Actualmente en la Universidad José Antonio Páez no se cuenta con una guía de diseño de fundaciones superficiales, específicamente del tipo zapata aislada, que sirva de apoyo bibliográfico para los estudiantes que están cursando la materia Fundaciones y Muros. Por tanto, la presente investigación está orientada 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 dar ayuda técnica, teórica y práctica a los estudiantes de la carrera de ingeniería civil para el diseño geotécnico y estructural de fundaciones superficiales de tipo zapata aislada?

1.3 Objetivos:

1.3.1 Objetivo General.

Elaborar un manual de estudio para el diseño de fundaciones superficiales de tipo zapata aislada que sirva como material de apoyo a los estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil.

1.3.2 Objetivos específicos.

- Recopilar información teórica necesaria para el diseño de fundaciones superficiales de tipo zapata aislada.
- Desarrollar el diseño geotécnico de la zapata aislada, partiendo de la información teórica recopilada y de una información geotécnica dada.
- Desarrollar el diseño estructural de la zapata aislada, partiendo del diseño geotécnico y en concordancia con las normas de diseño estructural vigentes en el país.
- Presentar el manual de estudio para el diseño de fundaciones superficiales de tipo zapata aislada que sirva como material de apoyo a los estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil.

1.4 Justificación de la investigación.

La presente investigación en el área de fundaciones, además de estudiar criterios generales, recopiló los procedimientos de diseño de manera didáctica y práctica, lo cual ayudará a los estudiantes que deseen ampliar sus conocimientos en la materia, así como aquellas que desean iniciarse en el estudio de la misma.

El diseño de una infraestructura de tipo fundación superficial es de gran importancia, ya que la misma debe soportar las cargas provenientes de las superestructuras, de tal forma que se brinde seguridad y evite deformaciones excesivas.

Dicho proyecto se realizó con el fin de cubrir todos los conceptos básicos y pasos específicos necesarios para el diseño geotécnico y estructural de fundaciones superficiales de tipo zapata aislada, presentando una guía con un lenguaje adecuado para los estudiantes; es un instrumento didáctico y práctico que contiene temas adaptables para la modelación y diseño de este tipo de fundación, incluyendo ejemplos, que optimizan los métodos de enseñanza y aprendizaje de la asignatura de fundaciones de la carrera de ingeniería civil.

Considerando que los programas para el diseño de fundaciones superficiales permiten agilizar los cálculos, así como también aumentar la eficiencia y seguridad en la optimización de los mismos; este estudio se orientó a elaborar tablas específicas de cálculo en Excel, en las cuales se visualice claramente el proceso de cálculo y procesamiento de datos, ofreciendo al estudiante, al ingeniero o al proyectista, un instrumento para reducir horas de trabajo, errores y costos de ejecución del sistema de diseño.

La presente investigación aporta los siguientes beneficios: Proporciona a estudiantes de Ingeniería Civil, docentes y personas interesadas, un manual que facilite el procedimiento para el diseño de fundaciones superficiales de tipo zapata aislada, que sirva como material de apoyo para los estudiantes de ingeniería civil.

1.5 Alcances

En la siguiente investigación se desarrolló el diseño geotécnico y estructural de zapatas aisladas partiendo de una información teórica recopilada y de una información geotécnica suministrada específicamente para cada ejemplo de diseño.

Se enfocó el trabajo de investigación en fundaciones superficiales de tipo zapatas aisladas.

Este proyecto está orientado a servir como manual de estudio para los estudiantes de pregrado y como apoyo documental para los docentes de la materia.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

En este capítulo se desarrollan los principales fundamentos teóricos de esta investigación para que se tenga un mejor entendimiento de la misma.

2.1 Antecedentes.

En esta sección se citarán algunos trabajos relacionados con el tema a desarrollar, como respaldo de esta investigación.

Crespo Villaláz, (2001), "**Problemas resueltos de Mecánica de Suelos y de cimentaciones**". Este manual tiene como principal objetivo presentar problemas típicos de la mecánica de suelos y de las cimentaciones para que sirvan de modelo al lector, sin pretender abarcar todos y cada uno de los temas de esta amplia y evolutiva rama de la Ingeniería Civil. Se orienta a la solución de problemas de cimentaciones y, por tanto, es útil para el presente proyecto.

González de Vallejo, Luis (2002). Elaboró un manual titulado "**Ingeniería Geológica**", en la Universidad Complutense de Madrid. Este texto es de utilidad tanto para los estudiantes de ingeniería geológica y geotecnia, como para los profesionales de estas disciplinas; desarrolla con detalle los conceptos fundamentales necesarios para la resolución de los problemas más frecuentes, presentándose de forma didáctica los métodos de análisis de mayor utilización en la práctica de la ingeniería geológica.

Garza Vásquez, Luis, (2003), desarrolló un trabajo de grado llamado "**Diseño de estructuras de cimentación**", en la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.

En este estudio se propone una versión crítica de los conceptos convencionales del diseño de los elementos estructurales de la cimentación, tanto superficial como profunda, desde el punto de vista de la Mecánica de Suelos y el análisis de Estructuras, con el objeto de hacer más compatibles los modelos que ambas

disciplinas manejan en sus respectivas áreas. Se basa, en parte, al estudio estructural de las cimentaciones superficiales, el cual nos sirve de antecedente para la presente investigación.

Ramírez Osío, Oscar, (2004) en su trabajo de grado titulado **“Información geotécnica básica para el diseño de fundaciones”** en la Universidad de Carabobo. Presenta una metodología para la investigación geotécnica, sirviendo de contribución y orientación para los estudiantes, ingenieros y arquitectos con el fin de lograr mayor aprovechamiento de la información que debe contener un estudio geotécnico para diseñar adecuadamente las fundaciones.

Nij Patzán, Jéser Esaú De Jesús (2009), realizó un trabajo de grado titulado **“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, en el cual el informe reúne 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; ampliando el concepto de capacidad de carga del suelo y analizándolo 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.

Este trabajo es de ayuda para la investigación a realizar, debido a que muestra una guía práctica para el cálculo de capacidad de carga de cimentaciones superficiales, sirviéndo de apoyo para el desarrollo del diseño geotécnico para cada tipo de fundación superficial.

2.2 Bases teóricas.

2.2.1 Suelo de Fundación.

Según Fratelli, María (1993), los suelos son el producto del desgaste o desintegración de las rocas de la corteza terrestre, debido a los agentes atmosféricos y a los diferentes procesos físicos-químicos en la naturaleza.

Por suelo se entiende todo depósito de partículas minerales y orgánicas disgregadas, íntimamente asociadas entre sí, pertenecientes al manto rocoso de la litósfera, las cuales presentan diferentes grados de cohesión y fuerzas intermoleculares que las mantienen vinculadas.

Por regla general, todo lo que se construye resulta soportado directa o indirectamente por el suelo de fundación. Independientemente del tamaño o función de una edificación, su forma o ubicación geográfica, debe apoyar sobre el terreno que la sustenta. Este debe resistir la totalidad de las cargas que le transmiten las columnas y muros a través de sus bases, tales como las cargas permanentes, sobrecargas móviles, el peso de los fluidos o materiales granulares almacenados, cargas de vientos, sismo, vibratorias, de impacto, entre otras; asegurando la estabilidad del conjunto y una correcta interacción suelo-fundaciones-superestructuras, así como el buen funcionamiento de las instalaciones y servicios auxiliares y complementarios.

2.2.2 Clasificación de los suelos.

González de Vallejo, Luis (2002), señala que para estudiar un material complejo como el suelo (con diferentes tamaños de partículas y composición química) es necesario seguir una metodología con definiciones y sistemas de evaluación de propiedades, de forma que se constituya un lenguaje fácilmente comprensible por los técnicos de diferentes especialidades y países. Así se han clasificado los suelos en cuatro grandes grupos en función de su granulometría (Normas D.I.N., A.S.T.M., A.E.N.O.R., etc.).

- **Gravas**, con tamaño de grano entre unos 8-10 cm y 2 mm; se caracterizan porque los granos son observables directamente. No retienen el agua, por la inactividad de su superficie y los grandes huecos existentes entre partículas.
- **Arenas**, con partículas comprendidas entre 2 y 0.060 mm, todavía son observables a simple vista. Cuando se mezclan con el agua no se forman agregados continuos, sino que se separan de ellas con facilidad.

- **Limos**, con partículas comprendidas entre 0.060 y 0.002 mm (algunas normativas indican que este último valor debe ser 0.005 mm, pero no hay apenas consecuencias prácticas entre ambas distinciones). Retienen el agua mejor que los tamaños superiores. Si se forma una pasta agua-limo y se coloca sobre la mano, al golpear con la mano se ve como la mano se exhuda con facilidad.
- **Arcillas**, formadas por partículas con tamaños inferiores a los limos (0.002 mm). Se trata ya de partículas tamaño gel y se necesita que haya habido transformaciones químicas para llegar a estos tamaños, están formadas principalmente, por minerales silicatados, constituidos por cadenas de elementos tetraédricos y octaédricos (el ion silicio se encuentra en el centro de cada una de éstas estructuras regulares), unidas por enlaces covalentes débiles, pudiendo entrar las moléculas de agua entre las cadenas produciendo, a veces, aumentos de volumen (recuperables cuando el agua se evapora). Todo ello hace que la capacidad de retención del agua sea muy grande (pequeños huecos con una gran superficie de absorción en las partículas y una estructura que permite retener el agua), por lo que son generalmente los materiales más problemáticos (tiempos muy elevados de consolidación o de expulsión de agua bajo esfuerzos).

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 Estudios Geotécnicos.

Según (Grupo Geotecnia, Universidad de Cantabria, 2006.), la geotecnia es la rama de la ingeniería que se ocupa del estudio de la interacción de las construcciones con el terreno. Se trata por tanto de una disciplina no solo de la Ingeniería Civil, sino también de otras actividades, como la Arquitectura y la Ingeniería Minera, que guardan relación directa con el terreno.

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

- **Cohesión (C):** es la cualidad por el cual las partículas del terreno se mantienen unidas en virtud de fuerzas internas que dependen, entre otras cosas, del número de puntos de contacto que cada partícula tiene con sus vecinas. En consecuencia, la cohesión es mayor cuanto más finas son las partículas del terreno.
- **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 (μ):** 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 (γ):** 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 Sistemas de fundación

Según Febres (1992), la ingeniería de fundaciones puede ser definida como el arte de seleccionar, diseñar, y construir los miembros estructurales que transmiten la carga de la superestructura al suelo. El comportamiento de cada fundación depende primordialmente de las propiedades del subsuelo que la soporta.

El ingeniero de fundaciones debe asegurar que estas cumplan a cabalidad con las consideraciones de seguridad, confiabilidad, funcionalidad, y economía.

Específicamente, debe proporcionarse una adecuada profundidad de fundación, se debe mantener los asentamientos dentro de límites tolerables y se debe

proporcionar un factor de seguridad adecuada contra una falla estructural de la fundación o del suelo que la soporta.

Desde el punto de vista de la ingeniería, la diferencia fundamental entre los dos tipos de fundación radica en que para las primeras se desprecia el efecto de la resistencia al corte del suelo situado por encima de la cota de fundación en la capacidad del mismo para soportar cargas, pues este efecto es relativamente pequeño. Para las fundaciones profundas no se puede despreciar dicho efecto, dado que éste puede ser el factor primordial en la obtención de capacidad de carga de las mismas.

2.2.7 Tipos de fundaciones:

Terzaghi (1943) clasificó las fundaciones en superficiales y profundas, de acuerdo con la profundidad relativa de la cota de fundación D_f .

a. Superficiales: Son aquellas en que la relación profundidad/ancho mínimo es menor o igual a la unidad ($D_f / B \leq 1$).

Según Fratelli (1993), las fundaciones superficiales son las que se apoyan en toda el área de la base sobre el terreno, en un estrato no mayor a 5 metros de profundidad, medido desde la cota superior del predio a construir, y en donde el suelo ofrezca la suficiente capacidad portante para soportar las cargas impuesta por la superestructura, con moderados asentamientos.

Según Febres (1992), señala que las zapatas aisladas, combinadas, continuas y las losas de fundación son los tipos más comunes de fundaciones superficiales. Generalmente se usan estos tipos de fundación cuando las capas más superficiales del subsuelo tienen una adecuada capacidad de carga y una baja compresibilidad.

▪ **Zapatas aisladas** son las más sencillas y económicas de todas las fundaciones y sirven para soportar columnas individuales. Sus dimensiones en planta son generalmente iguales (zapatas cuadradas) o casi iguales (rectangulares).

▪ **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.

▪ **Zapatas continuas:** Son aquellas que sirven de fundación a paredes de carga o muros de contención de tierras y una de sus dimensiones en planta es muchas veces mayor que la otra, por lo que también se les conoce como fundaciones en tira. En diseño se les considera de longitud infinita y la carga que soportan se expresa por método de longitud.

▪ **Losa de fundación:** Se usa para soportar todas las columnas de una edificación, por lo que sus dimensiones en planta son relativamente grandes. Una regla práctica muy difundida en la literatura de las fundaciones indica que si las fundaciones aisladas ocupan más del 50% del área en planta de la edificación, la utilización de una losa de fundación puede resultar más económica. Tanto la excavación como los trabajos de encofrado son relativamente sencillos de ejecutar para las losas de fundación. Además de una mayor repartición de las cargas, las losas tienen la ventaja de disminuir los asentamientos diferenciales ya que sirven de puente sobre zonas más compresibles del subsuelo, redistribuyendo las cargas hacia las zonas más resistentes.

b. Profundas. Febres (1992), señala que las fundaciones profundas son aquellas en que la relación profundidad / ancho mínimo es mayor a la unidad ($D_f/B \geq 1$).

Los tipos más comunes de fundaciones profundas son los pilotes y las pilas (pilotes de gran diámetro), que, esencialmente, se pueden definir como columnas enterradas en el suelo, generalmente no sometidas a pandeo y que sirven para transmitir las cargas a estratos profundos de mayor resistencia. La diferenciación primordial de los pilotes se hace de acuerdo con la manera como transmiten las cargas al subsuelo. Otra manera de clasificarlos es de acuerdo a la manera como el pilote es construido, así existen pilotes prefabricados (de madera, acero o concreto), los cuales son hincados utilizando un martillo o martinete de grandes dimensiones y los pilotes vaciados en sitio (pilas), exclusivamente de concreto y para los cuales hay que hacer una excavación previa, bien sea a mano, por rotación, por excavación con almeja, o mediante el hincado de un forro de protección.

2.2.8 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).

2.2.8.1 Capacidad de carga última:

Según Febres (1992), cuando una fundación aplica carga al subsuelo se producen asentamientos y, si la carga se incrementa lo suficiente, se forman en el suelo superficies de deslizamiento, a lo largo de las cuales se sobrepasa la resistencia al esfuerzo cortante, y finalmente se produce un colapso o falla por capacidad de carga.

▪ Tipos de fallas por capacidad de carga última:

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 corte (Terzaghi, 1943; De Beer y Vesic, 1958) y falla por punzonado (De Beer y Vesic, 1958; Vesica, 1963).

▪ Falla General por corte:

La falla general por corte se caracteriza por la existencia de un patrón de falla bien definido, que consiste en una cuña de suelo y dos superficies continuas de deslizamiento que se extienden desde cada lado de la zapa hasta la superficie del terreno, tal como se observa en la figura. La superficie del terreno adyacente a la zapata se levanta y, si la zapata no está rígidamente atada a la estructura, esta rotará y se inclinará. Bajo las condiciones de trabajo de la gran mayoría de zapatas, condición de esfuerzos controlados, la falla es violenta y catastrófica. Este tipo de falla generalmente ocurre en suelos incompresibles que tienen una definida resistencia al

corte, tales como los suelos granulares densos y los cohesivos de consistencia dura a rígida (pre consolidados). También puede darse esta falla en arcillas normalmente consolidadas saturadas si la carga es aplicada tan rápidamente que prevalece la condición no drenada (condición $\phi = 0$). Ver figura 1.

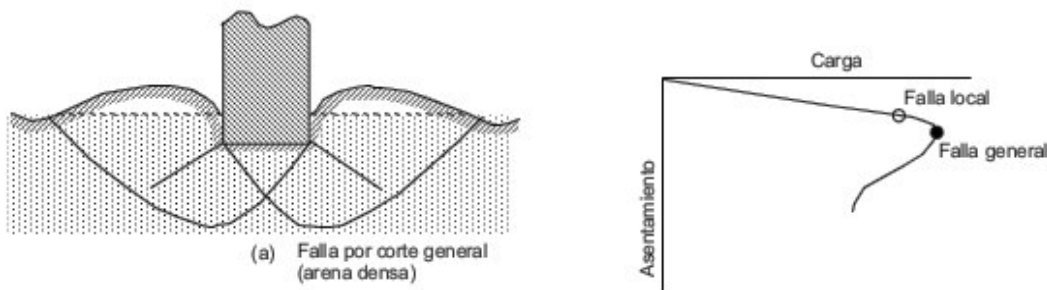


Figura 1: Falla General por corte.

Fuente: Edgar Febres, 1992

▪ **Falla local por corte:**

El patrón de falla solo está bien definido de bajo de la zapata cuando se produce una falla local (ver figura 2). Dicho patrón consiste en la formación de una cuña y dos superficies de deslizamiento que comienzan a cada lado de la zapata, pero que, al contrario de la falla general por corte, terminan en algún sitio dentro de la masa de suelo. Hay una tendencia visible al levantamiento del terreno alrededor de la zapata y existe una compresión vertical del suelo bajo la misma. Solamente después de un gran desplazamiento vertical puede que aparezcan las superficies de falla en la superficie del terreno, sin embargo, no se producirá un colapso catastrófico de la zapata ni una rotación de la misma. La falla local por corte constituye un modo transicional entre la falla general y la falla por punzonado.

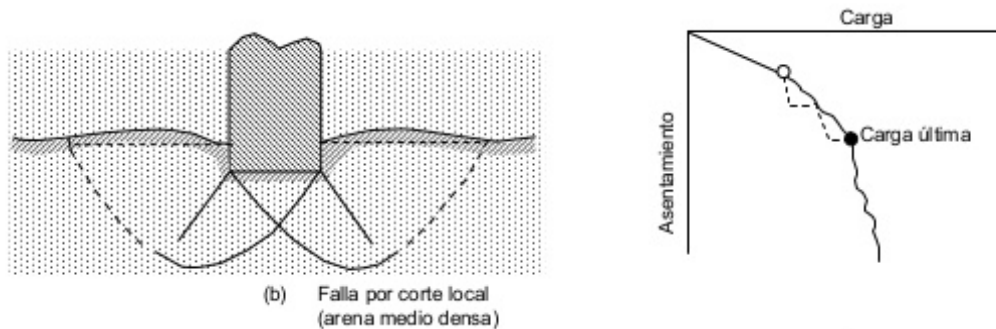


Figura 2: Falla local por corte.

Fuente: Edgar Febres, 1992

▪ **Falla por punzonado:**

El patrón de falla en este caso no es fácil de observar, a medida que se incrementa la carga se comprime el suelo inmediatamente debajo de la zapata y se produce el desplazamiento vertical de la misma. La penetración continua de la zapata en el suelo se hace posible por el corte vertical alrededor del perímetro de la zapata. El suelo fuera del área cargada permanece relativamente inalterado y prácticamente no se produce movimiento del suelo alrededor de la zapata. La fundación se asienta mediante pequeños movimientos verticales repentinos, pero sin producir el colapso o la rotación de la zapata. Un incremento continuo de la carga es necesario para mantener la zapata en movimiento vertical. Este tipo de falla se produce en arenas muy sueltas o en suelos cohesivos blandos o muy blandos, cuando la carga se aplica lentamente bajo condiciones drenadas. También puede ocurrir esta falla cuando la zapata está soportada por un estrato delgado de arena densa que supra yace a un suelo cohesivo blando y compresible. Ver figura 3.

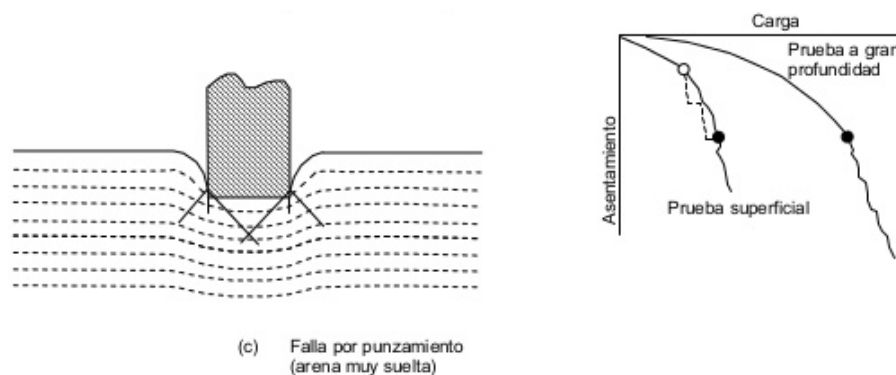


Figura 3: Falla por punzonado.

Fuente: Edgar Febres, 1992

▪ **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)

$$qu = cN_c F_{cs} F_{cd} F_{ci} + qN_q F_{qs} F_{qd} F_{qi} + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma F_{\gamma s} F_{\gamma d} F_{\gamma i} \quad (\text{Ec.1})$$

Dónde **c** = cohesión

q = esfuerzo efectivo al nivel del fondo de la cimentación

γ = peso específico del suelo

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

F_{cs}F_{qs}F_{γs} = factores de forma

F_{cd}F_{qd}F_{γd} = factores de profundidad

F_{ci}F_{qi}F_{γi} = factores por inclinación de la carga

N_cN_qN_γ = factores de capacidad de carga.

▪ **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 α es más cercano a $45 + \phi/2$ que a ϕ . Si se acepta el cambio, los valores N_c , N_q y N_γ para un ángulo de fricción del suelo cambiarán también respecto a los proporcionados en la tabla 1. Con $\alpha = 45 + \phi/2$, las relaciones para N_c y N_q pueden obtenerse como:

$$N_q = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) e^{x \tan \phi} \quad (\text{Ec.2})$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi \quad (\text{Ec.3})$$

La ecuación para N_c fue originalmente obtenida por Prandtl (1921), y la relación para N_q fue presentada por Reissner (1924). Caquot y Kerisel (1953) y Vesic (1973) dieron la relación para N_γ como:

$$N_\gamma = 2(N_q + 1) \tan \phi \quad (\text{Ec.4})$$

La tabla 1. Muestra la variación de los factores de capacidad de carga anteriores con los ángulos de fricción del suelo.

Tabla 1: Factores de capacidad de carga para la teoría de Meyerhof

ϕ	N_c	N_q	N_γ	ϕ	N_c	N_q	N_γ	$\tan\phi$
0	5.14	1.00	0.00	26	22.25	11.85	12.54	0.49
1	5.38	1.09	0.07	27	23.94	13.20	14.47	0.51
2	5.63	1.20	0.15	28	25.80	14.72	16.72	0.53
3	5.90	1.31	0.24	29	27.86	16.44	19.34	0.55
4	6.19	1.43	0.34	30	30.14	18.40	22.40	0.58
5	6.49	1.57	0.45	31	32.67	20.63	25.99	0.60
6	6.81	1.72	0.57	32	35.49	23.18	30.22	0.62
7	7.16	1.88	0.71	33	38.65	26.09	35.19	0.65
8	7.53	2.06	0.86	34	42.16	29.44	41.06	0.67
9	7.92	2.25	1.03	35	46.12	33.30	48.03	0.70
10	8.35	2.47	1.22	36	50.59	37.75	56.31	0.73
11	8.80	2.71	1.44	37	55.63	42.92	66.19	0.75
12	9.28	2.97	1.69	38	61.35	48.93	78.03	0.78
13	9.81	3.26	1.97	39	67.87	55.96	92.25	0.81
14	10.37	3.59	2.29	40	75.31	64.20	109.41	0.84
15	10.98	3.94	2.65	41	83.86	73.90	130.22	0.87
16	11.63	4.34	3.06	42	93.71	85.38	155.55	0.90
17	12.34	4.77	3.53	43	105.11	99.02	186.54	0.93
18	13.10	5.26	4.07	44	118.37	115.31	224.64	0.97
19	13.93	5.80	4.68	45	133.88	134.88	271.76	1.00
20	14.83	6.40	5.39	46	152.10	158.51	330.35	1.04
21	15.82	7.07	6.20	47	173.64	187.21	403.67	1.07
22	16.88	7.82	7.13	48	199.26	222.31	496.01	1.11
22	18.05	8.66	8.20	49	229.93	265.51	613.16	1.15
24	19.32	9.60	9.44	50	266.89	319.07	762.89	1.19
25	20.72	10.66	10.88					

Fuente: Braja Das, 2012

▪ **Factores de forma, profundidad e inclinación:**

Cuando el nivel freático esté en o cerca de la cimentación, los factores q y γ , dados en la ecuación general de capacidad de carga, tendrán que modificarse.

Para condiciones de carga no drenadas (concepto $\phi = 0$) en suelos arcillosos, la ecuación general de capacidad de carga de apoyo, toma la forma (carga vertical).

$$q_u = cN_c F_{cs} F_{cd} + q \quad (\text{Ec.5})$$

▪ **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:

$$q_u = cN_c F_{cs} F_{cd} F_{cc} + qN_q F_{qs} F_{qd} F_{qc} + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma F_{\gamma s} F_{\gamma d} F_{\gamma c} \quad (\text{Ec.6})$$

Donde F_{cc} , F_{qc} y $F_{\gamma c}$ = factores de compresibilidad del suelo

▪ **Cimentaciones cargas 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:

$$q_{max} = \frac{Q}{BL} + \frac{6M}{B^2L} ; \quad (\text{Ec.7}) \quad \text{Y} \quad q_{min} = \frac{Q}{BL} - \frac{6M}{B^2L} \quad (\text{Ec.8})$$

Donde Q = carga vertical total

M = momento sobre la cimentación.

La figura 6 muestra un sistema de fuerza equivalente. La distancia e , es la excentricidad, o

$$e = \frac{M}{Q} \quad (\text{Ec.9})$$

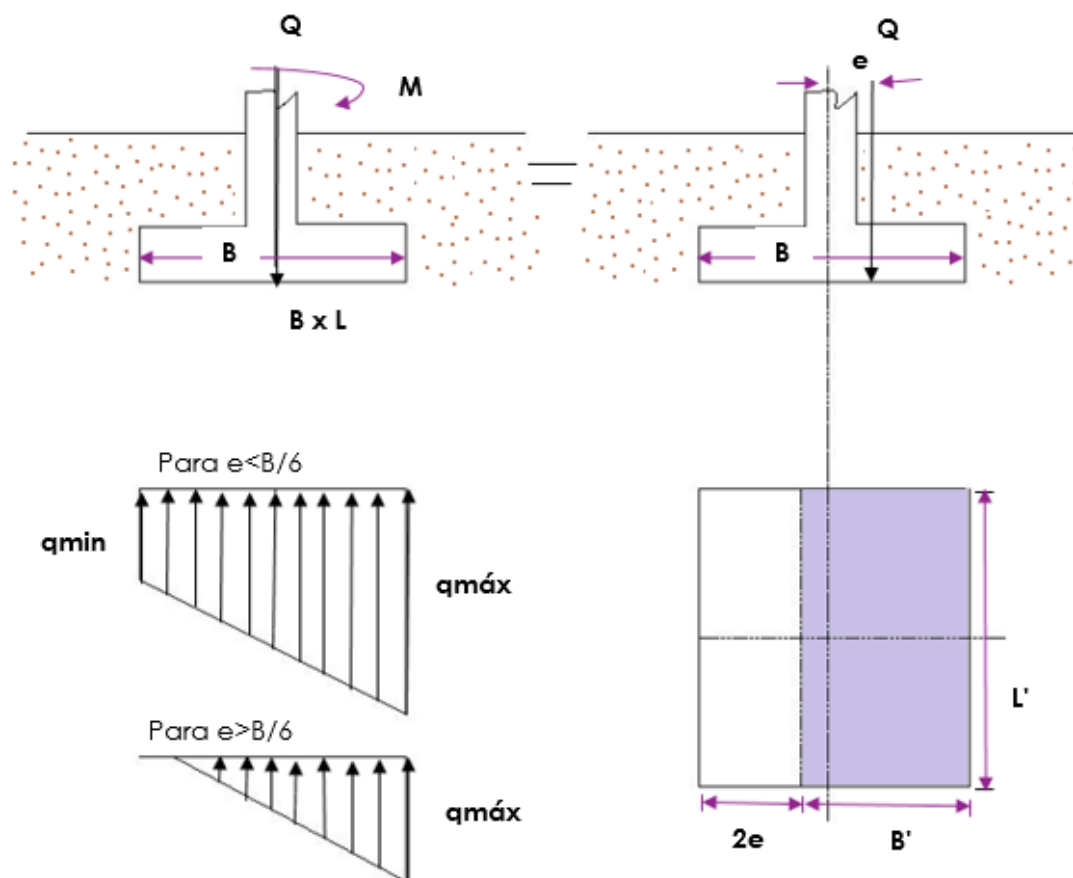


Figura 4. Cimentaciones cargadas excéntricamente

Fuente: Braja Das, 1999.

Sustituyendo:

$$q_{max} = \frac{Q}{BL} \left(1 + \frac{6e}{B} \right); \text{ (Ec.10)} \quad \text{y} \quad q_{min} = \frac{Q}{BL} \left(1 - \frac{6e}{B} \right); \text{ (Ec.11)}$$

Note que en esas ecuaciones, cuando la excentricidad, e , toma el valor $B/6$, q_{min} 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 q_{max} es entonces:

$$q_{max} = \frac{4Q}{3L(B-2e)} \text{ (Ec.12)}$$

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 como 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:

$$q'_u = cN_cF_{cs}F_{cd}F_{ci} + qN_qF_{qs}F_{qd}F_{qi} + \frac{1}{2}\gamma B'^{N_\gamma}F_{\gamma s}F_{\gamma d}F_{\gamma i} \quad (\text{Ec.13})$$

La carga última total que la cimentación puede soportar es:

$$Q_{ult} = \frac{A'}{q'_{u(B')(L')}} \quad (\text{Ec.14})$$

Donde A' = área efectiva.

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

$$FS = \frac{Q_{ult}}{Q} \quad (\text{Ec.15})$$

3) Verifique el factor de seguridad respecto a q_{max} , o, $FS = q'_u / q_{max}$.

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 última Q_{ult} y a un momento M como muestra la figura 6 (a) y (b). Para este caso, las componentes del M respecto a los ejes “x” y “y” se determinan como M_x y M_y ,

respectivamente (figura 6). Esta condición es equivalente a una carga Q_{ult} colocada excéntricamente sobre la cimentación con $x=e_B$ y $y=e_L$ (figura 5). Note que:

$$e_B = \frac{M_y}{Q_{ult}} \quad (\text{Ec.16}) \quad ; \quad e_L = \frac{M_x}{Q_{ult}} \quad (\text{Ec.17})$$

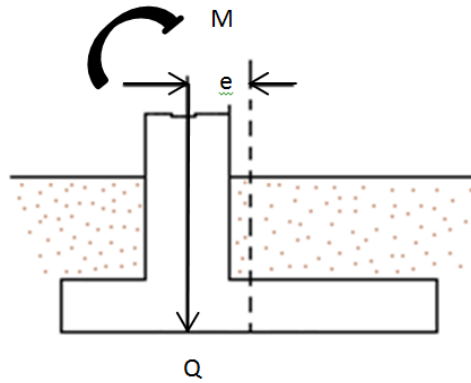


Figura 5. Cimentación de columnas con carga excéntrica.

Fuente: Braja Das (1999)

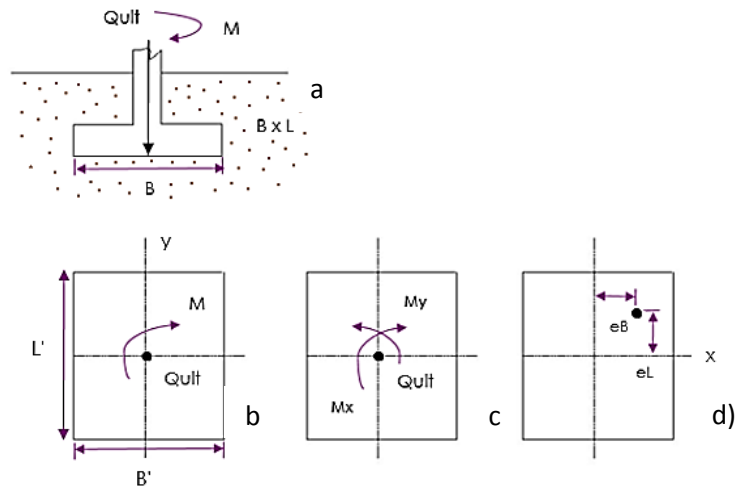


Figura 6. Análisis de una cimentación con excentricidad en dos direcciones

Fuente: Braja Das, 2012

Si se requiere Q_{ult} , esta puede obtenerse como sigue:

$$Q_{ult} = q'_u A' \quad (\text{Ec.18})$$

Donde, de la ecuación:

$$q'_u = cN_c F_{cs} F_{cd} F_{ci} + qN_q F_{qs} F_{qd} F_{qi} + \frac{1}{2} \gamma B' N_\gamma F_{\gamma s} F_{\gamma d} F_{\gamma i} \quad (\text{Ec.13})$$

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:**

$\frac{e_L}{L} \geq \frac{1}{6}$ y $\frac{e_B}{B} \geq \frac{1}{6}$. El área efectiva para esta condición se muestra en la figura 7.

$$A' = \frac{1}{2} B_1 L_1 \quad (\text{Ec.19})$$

Dónde:

$$B_1 = B \left(1.5 - \frac{3e_B}{B} \right)$$

$$L_1 = L \left(1.5 - \frac{3e_L}{L} \right) \quad (\text{Ec.20})$$

El largo efectivo L' es la mayor de las dos dimensiones, es decir, B_1 o L_1 , entonces, el ancho efectivo es:

$$B' = \frac{A'}{L'} \quad (\text{Ec.21})$$

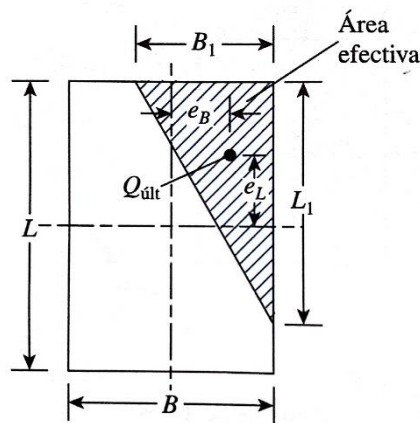


Figura 7. Área efectiva para el caso: $\frac{e_L}{L} \geq \frac{1}{6}$ y $\frac{e_B}{B} \geq \frac{1}{6}$

Fuente: Braja Das, 2012

▪ **Caso II:**

$\frac{e_L}{L} < 0.5$ y $0 < e_B/B < \frac{1}{6}$. El área efectiva para este caso se muestra en la figura 8(a).

$$A' = \frac{1}{2}(L_1 + L_2)B \quad (\text{Ec.22})$$

Las magnitudes de L_1 y L_2 pueden determinarse de la figura 8(b). El ancho efectivo es:

$$B' = \frac{A'}{L_1 \text{ o } L_2 \text{ (el que sea mayor)}} \quad (\text{Ec.23})$$

El largo efectivo es:

$$L' = L_1 \text{ o } L_2 \text{ (el que sea mayor)}$$

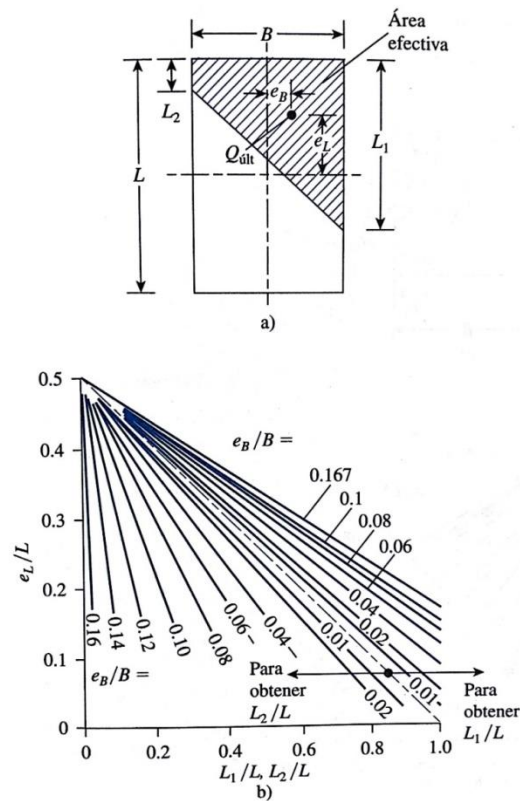


Figura 8. Área efectiva para el caso: $\frac{e_L}{L} < 0.5$ y $0 < e_B/B < \frac{1}{6}$

Fuente: Braja Das, 2012

▪ **Caso III:**

$\frac{e_L}{L} < \frac{1}{6}$ y $e_B/B < 0.5$. El área efectiva se muestra en la figura 9 (a):

$$A' = \frac{1}{2}(B_1 + B_2)L \quad (\text{Ec.24})$$

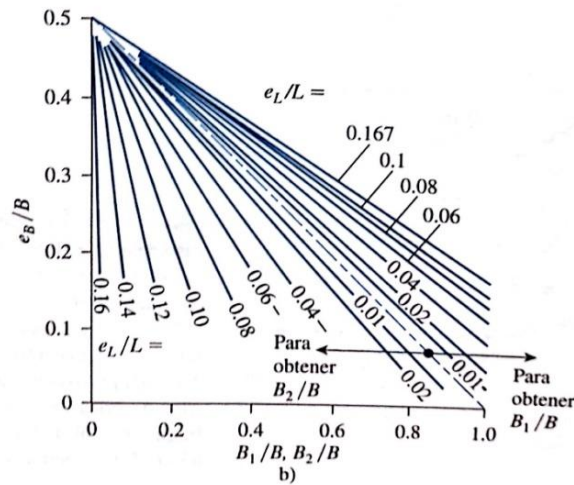
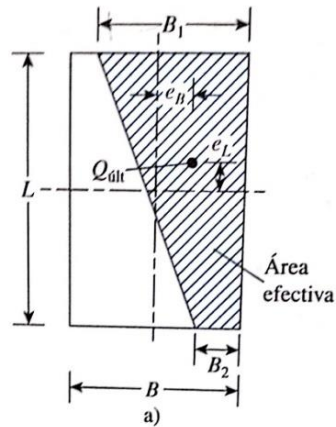


Figura 9. Área efectiva para el caso: $\frac{e_L}{L} < \frac{1}{6}$ y $e_B/B < 0.5$

Fuente: Braja Das, 2012

▪ **Caso IV:**

$\frac{e_L}{L} < \frac{1}{6}$ y $\frac{e_B}{B} < \frac{1}{6}$. La figura 10 muestra el área efectiva para este caso. La razón B_2/B_1 , y por tanto B_2 pueden determinarse usando las curvas $\frac{e_L}{L}$ que se inclinan hacia

arriba. Similarmente, la razón L_2/L , y por tanto L_2 se determinan usando las curvas $\frac{e_L}{L}$ que se inclinan hacia abajo. El área efectiva es entonces:

$$A' = L_2B + \frac{1}{2}(B + B_2)(L - L_2) \quad (\text{Ec.25})$$

El ancho efectivo es: $B' = \frac{A'}{L}$

El largo efectivo es igual a $L'=L$

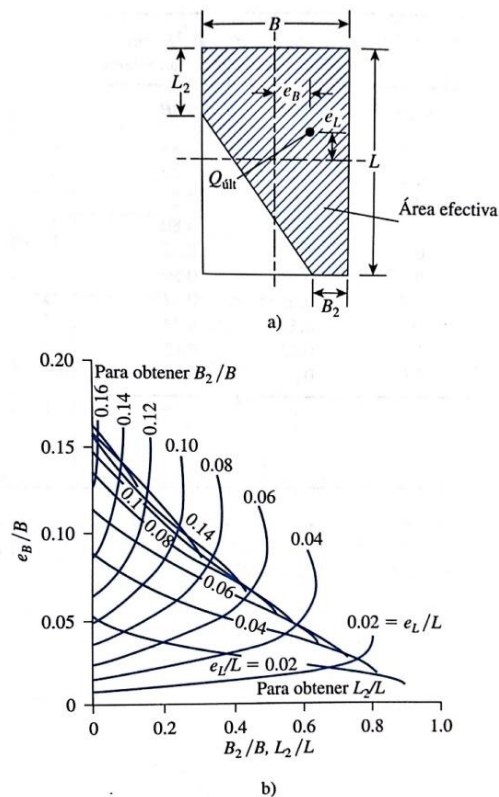


Figura 10. Área efectiva para el caso: $\frac{e_L}{L} < \frac{1}{6}$ y $\frac{e_B}{B} < \frac{1}{6}$

Fuente: Braja Das, 2012

2.2.8.2. Asentamiento.

- **Asentamiento elástico basado en la teoría de elasticidad.**

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

$$S_e = \int_0^H \epsilon_z dz = \frac{1}{E_s} \int_0^H (\Delta P_z - \mu_s \Delta P_x - \mu_s \Delta P_y) dz \quad (\text{Ec.26})$$

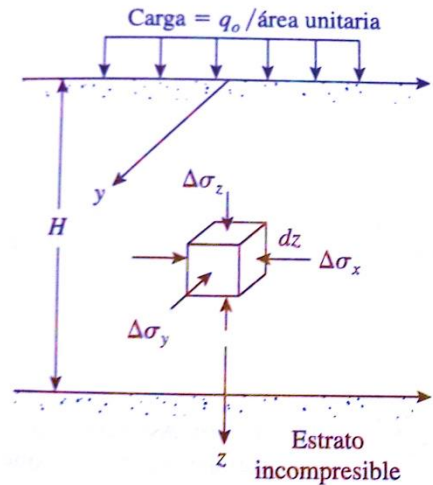


Fig. 11. Asentamiento elástico de fundación superficial.

Fuente: Braja Das, 1999.

Donde S_e = asentamiento elástico

E_s = módulo de elasticidad del suelo

H = espesor del estrato del suelo

μ_s = relación de Poisson del suelo

$\Delta P_x, \Delta P_y, \Delta P_z$ = incremento del esfuerzo debido a la carga neta aplicada a la cimentación, en las direcciones “x, y, z”, respectivamente.

Asentamiento del suelo arenoso: Uso del factor de influencia de la deformación unitaria

El asentamiento de suelos granulares también se evalúa usando un factor de influencia semiempírico propuesto por Schertmann y Hartman (1978). De acuerdo con este método, el asentamiento es

$$S_e = C_1 C_2 (\bar{q} - q) \sum_0^{z_2} \frac{I_z}{E_s} \Delta z \quad (\text{Ec.27})$$

Donde I_z = factor de influencia de la deformación unitaria

C_1 = Un factor de corrección para la profundidad del empotramiento de la cimentación = $1 - 0.5 [q / (\bar{q} - q)]$

C_2 = Un factor de corrección para tomar en cuenta el flujo plástico en el suelo = $1 + 0.2 \log(\text{tiempo en años} / 0.1)$

\bar{q} = Esfuerzo al nivel de la cimentación

$q = \gamma D_f$

▪ **Asentamiento por consolidación**

Como se mencionó antes, el asentamiento por consolidación 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

$$S_c = \int \epsilon_z dz \quad (\text{Ec.28})$$

Donde ϵ_z = deformación unitaria vertical = $\frac{\Delta e}{1+e_0}$

Δe = Cambio de la relación de vacíos = $f(P_0, P_c \text{ y } \Delta P)$

Entonces

$$S_c = \frac{C_c H_c}{1+e_0} \log \frac{P_0 + \Delta P_{prom}}{P_0} \quad (\text{Para arcillas normalmente consolidadas}) \quad (\text{Ec.29})$$

$$S_c = \frac{C_s H_c}{1+e_0} \log \frac{P_0 + \Delta P_{prom}}{P_0} \quad (\text{Ec.30}) \quad (\text{Para arcillas preconsolidadas con } P_0 +$$

$\Delta P_{prom} < P_c$)

$$S_c = \frac{C_s H_c}{1+e_0} \log \frac{P_c}{P_0} + \frac{C_c H_c}{1+e_0} \log \frac{P_0 + \Delta P_{prom}}{P_c} \quad (\text{Ec.31}) \quad (\text{Para arcillas preconsolidadas}$$

con $P_0 < P_c < \Delta P_{prom}$)

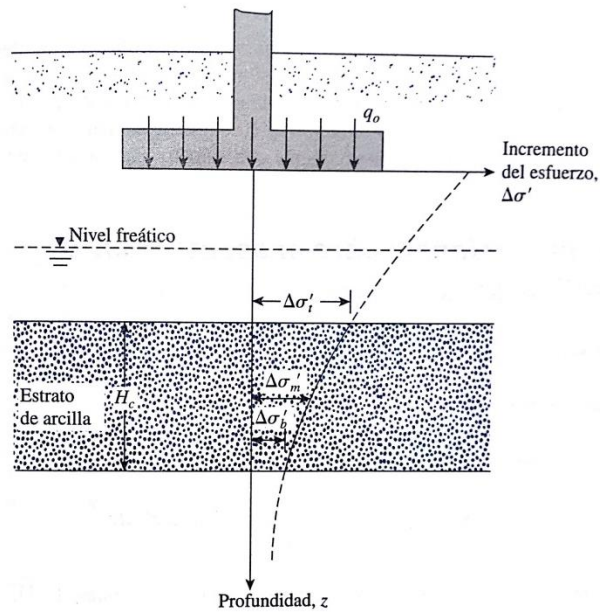


Figura. 12. Cálculo del asentamiento por consolidación.

Fuente: Braja Das, 1999

Dónde; P_0 = presión efectiva promedio sobre el estrato de arcilla antes de la construcción de la cimentación.

ΔP_{prom} = Incremento promedio de la presión sobre el estrato de arcilla causada por la construcción de la cimentación

P_c = Presión de pre consolidación

e_0 = Relación de vacíos inicial del estrato de arcilla

C_c = Índice de compresión

C_r = índice de recompresión

C_s = Índice de expansibilidad

H_c = Espesor de la capa de arcilla

2.2.9 Diseño estructural de fundaciones superficiales:

2.2.9.1 Bases aisladas Cuadradas:

Cuando una columna transmite a la base sólo cargas centradas, coincidentes con el baricentro de la base, y cuando el área en planta lo permite, se deben diseñar

bases cuadradas, que son las que ofrecen el mejor comportamiento estructural y la mayor economía.

Los diferentes perfiles de las bases cuadradas se muestran en la siguiente figura: planas, tronco piramidales, troncocónicas y escalonadas. En general, las bases se construyen sin encofrado, siendo las del perfil plano o las tronco piramidales las más comunes. El área en planta de la base se obtiene considerando todas las cargas de servicio actuantes: permanentes, móviles, vibratorias, etc.

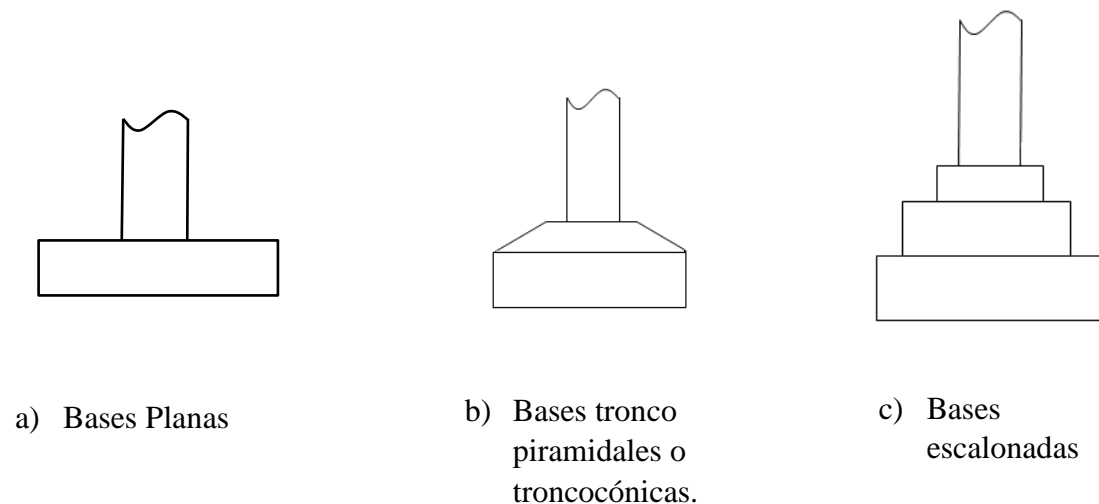


Figura 13. Bases aisladas cuadradas
Fuente: Fratelli, María, 1999

La totalidad de las cargas que transmite la columna correspondientes a: cargas gravitacionales de la superestructura, en régimen de servicio, peso propio de la columna, vigas de riostra, etc., se designan por P. Esta carga será siempre un dato del problema, así como la magnitud del esfuerzo admisible del suelo de fundación y la calidad de los materiales a emplear.

De las cargas mayoradas P_u se obtiene el valor de la reacción ficticia del suelo σ_u . En bases cuadradas,

$$\sigma_u = \frac{P_u}{B^2} \quad (\text{Ec.32})$$

σ_u Es una presión que actúa de abajo hacia arriba en la base, en el plano de contacto de ésta con el suelo de fundación, dando lugar a la flexión y corte mayorados, los cuales definen el diseño de la zapata.

De esta manera, σ_u es una magnitud no real de reacciones del suelo, que permiten crear las mismas condiciones de sollicitación en las bases, que las que originan las cargas mayoradas en un miembro estructural de concreto, que se diseña en resistencia límite. En bases que soportan columnas o pedestales de concreto, los planos críticos para flexión son los tangentes a los lados del área cargada. Por simetría sólo basta con tomar uno de ellos. El momento M_u se obtiene:

$$M_u = \sigma_u \frac{n^2}{2} B \quad (\text{Ec.33})$$

En las bases escalonadas, se debe calcular el M_u en cada una de las discontinuidades del perfil de la base, para determinar la altura útil “d” en los diferentes planos de diseño.

El esfuerzo de corte máximo se halla:

$$V_u = \int_A \sigma_u dA \quad (\text{Ec.34})$$

La integral representa al volumen de esfuerzos debido a la reacción del suelo, por lo tanto:

$$V_u = \sigma_u Bc \quad (\text{Ec.35})$$

Las bases no se arman a corte (salvo casos de excepción cuando se debe limitar su altura). Por lo tanto, el corte mayorado V_u será resistido sólo por el concreto:

$$V_u = \frac{V_u}{\phi B d} \leq V_c = 0,53 \sqrt{F'_c} \quad \text{Para } \phi = 0,85 \quad (\text{Ec.36})$$

De esta forma, la altura útil debe cumplir la condición:

$$d \geq \frac{V_u}{0,85 V_c B} \quad (\text{Ec.37})$$

Para que la base sea resistente a corte simple. Además, debe verificar a punzonado, que resulta del efecto punzante de la columna o pedestal sobre la zapata, en el área del perímetro crítico b_o , a distancia $d/2$ alrededor del área cargada.

La fuerza mayorada de corte por punzonado V_u vale:

$$V_u = P_u - b \int_A \sigma_u dA \quad (\text{Ec.38})$$

Donde la integral representa el volumen de esfuerzos a lo largo del área de punzonado, encerrada dentro del perímetro b_o , que para el caso de columnas cuadradas es:

$$b_o = 4(b + d) \quad (\text{Ec.39})$$

Por lo tanto:

$$V_u = P_u - \sigma_u(b + d)^2 \quad (\text{Ec.40})$$

Para que los esfuerzos de punzonado sean resistidos únicamente por el concreto, se debe cumplir:

$$V_u = \frac{V_u}{\phi b_o d} \leq V_c = 1,06 \sqrt{F'_c} ; \text{ para } \phi = 0,85 \quad (\text{Ec.41})$$

Por lo cual la altura mínima de la base será: $d \geq \frac{V_u}{0,85 V_c b_o}$; Tanto el valor de b_o como la fuerza de corte por punzonado V_u dependen de la altura útil d , por lo cual el resultado se obtiene por tanteos. Una forma de comenzar el diseño es definir la altura útil por flexión, con la ecuación:

$$d \geq \sqrt{\frac{M_u}{\mu F'_c B}} \quad (\text{Ec.42})$$

Respetando la condición de ductilidad de la sección, y luego aumentar el valor de “ d ” para que cumpla los requisitos de resistencia a corte simple y por punzonado en la base. En las bases aisladas, es generalmente el punzonado el que controla el diseño.

Asimismo se deben verificar los esfuerzos de aplastamiento en el plano de contacto entre la columna y la zapata.

La carga máxima que soporta la columna o pedestal, con sección transversal de áreas A_1 , se obtiene:

$$P_{\max col} = \phi(0,85F'_c A_1) \geq P_u \quad \text{para } \phi = 0,7 \quad (\text{Ec.43})$$

Y la carga máxima en la base se calcula:

$$P_{\max base} = \phi(0,85F'_c A_1) \sqrt{A_2/A_1} \leq 2\phi(0,85F'_c A_1) \quad (\text{Ec.44})$$

En bases y columnas cuadradas: $A_1 = b^2$, $A_2 = B^2$ (Ec.45)

El acero por flexión se calcula: $A_s = \frac{M_u}{\phi F_y j u d} \geq A_{s \min}$ (Ec.46)

2.2.9 Bases aisladas rectangulares:

Las bases aisladas rectangulares con cargas centradas, se diseñan en forma similar a las bases cuadradas analizadas precedentemente, siempre que se cumpla la relación entre sus lados:

$$0,5 \leq \frac{B_x}{B_y} \leq 2$$

La elección de bases rectangulares obedece a la imposibilidad de diseñarlas cuadradas, por razones de espacio. Cuando se excede la relación entre sus lados las bases deben combinarse con otras fundaciones vecinas de modo de eliminar la excesiva flexión que se produce en la dirección larga, trabajando como volado.

En forma similar a las bases cuadradas, el área requerida en planta resulta:

$$A_{req} = \frac{v P}{\sigma_{adm}} \leq A = B_x B_y \quad (\text{Ec.47})$$

Los momentos flectores en los ejes a-a y b-b respectivamente son:

$$M_{u \ a-a} = \frac{\sigma_u B_y n^2 x}{2} \quad (\text{Ec. 48})$$

$$M_{u \ b-b} = \frac{\sigma_u B_x n^2 y}{2} \quad (\text{Ec. 49})$$

Por lo tanto, se obtiene una altura útil para cada eje crítico de momentos:

$$d_1 = \sqrt{\frac{M_u \ a - a}{\mu F'_c B_y}} \quad (\text{Ec. 50})$$

$$d_2 = \sqrt{\frac{M_u \ b - b}{\mu F'_c B_x}} \quad (\text{Ec. 51})$$

A la mayor de estas alturas útiles requeridas se la designa por d , y corresponde al valor de la mínima altura de diseño de la base. Por lo general, esta altura así obtenida por flexión, debe ser aumentada para verificar los esfuerzos admisibles por corte y punzonado en la zapata.

En los planos 1-1 y 2-2, las fuerzas mayoradas de corte se obtienen:

$$V_{u\ 1-1} = \sigma_u B_y c_x \quad (\text{Ec. 52})$$

$$V_{u\ 2-2} = \sigma_u B_x c_y \quad (\text{Ec. 53})$$

En cada caso se deben cumplir: CORTE

$$V_{u\ 1-1} = \frac{V_{u\ 1-1}}{\phi B_y d} \leq V_c \quad (\text{Ec.54}); \quad V_c = 0,53 \sqrt{F'_c}$$

$$V_{u\ 2-2} = \frac{V_{u\ 2-2}}{\phi B_x d} \leq V_c \quad (\text{Ec.55})$$

El perímetro de punzonado vale: $b_o = 2(b_x + b_y + 2d)$

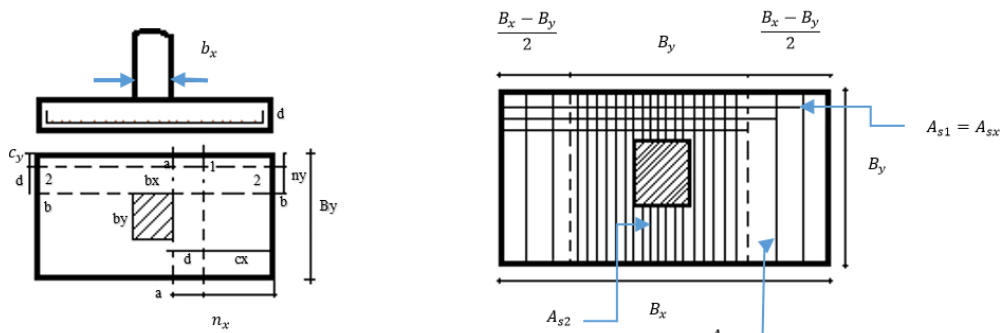


Figura 14.

Fuente: Fratelli, María, 1999

La verificación a punzonado realiza en la forma analizada en el caso de bases cuadradas con columnas rectangulares.

El acero que resiste al mayor momento, para la base rectangular de la figura 14, es el que se coloca horizontalmente, paralelo al lado mayor de la base. Se lo conoce

por $A_{s1} = A_{sx}$ y se lo distribuye uniformemente en todo el ancho B_y de la base, extendiéndolo en la longitud total B_x .

Para el acero paralelo a la dirección corta debe cumplir las condiciones dadas en las ecuaciones siguientes, concentrando en la franja centrada con respecto a la columna, de ancho igual al lado menor de la base, un área de acero A_2 :

$$A_{s2} = \frac{2}{\beta + 1} A_{sy} \quad (\text{Ec. 56}) \quad \text{para } \beta = \frac{\text{Lado mayor}}{\text{Lado menor}} \text{ de la zapata}$$

Donde A_{sy} es el área total de acero en la dirección corta de la base, que resiste el momento flector con respecto al eje b-b a ambos lados de la columna. El área de acero de la diferencia:

$$A_{s3} = (A_{sy} - A_{s2}) \quad (\text{Ec.57})$$

Se distribuye simétricamente a ambos lados de la franja centrada, también de manera uniforme. Cuando por razones constructivas se deba limitar la altura de la zapata, sin colocar armadura adicional a corte, se pueden buscar soluciones alternas, como por ejemplo colocar nervios longitudinales o diagonales conectando el pie de las columnas, o ensanchar el perímetro de las mismas con pedestales.

2.2.10 Pedestales:

Los pedestales son ensanchamientos de la parte inferior de las columnas, que permiten incrementar el área de contacto de éstas con la base, transmitiendo las cargas axiales y los momentos flectores a la fundación o a las vigas de riostra.

La sección transversal de los pedestales puede ser diferente a la de las columnas, pero se exige que ambas sean concéntricas. Entre las funciones que cumplen los pedestales se enumeran:

- Transmitir más uniformemente las cargas de las columnas a las zapatas
- Disminuir las magnitudes de los momentos flectores y fuerzas cortantes en las bases, producidas por la reacción del suelo
- Dar mayor estabilidad al conjunto de las fundaciones

La altura de los pedestales es variable, según las necesidades de cada proyecto, pero generalmente se halla entre 1 m y 1,5 m.

2.2.11 Vigas de Riostra:

Las bases aisladas deben conectarse entre sí y con el resto de las fundaciones de la estructura, mediante vigas de riostra que cumplen la función de encadenado. En zona sísmica las vigas de riostra se conectan en direcciones ortogonales con los extremos inferiores de las columnas o con la parte superior de las zapatas. Además, ubicadas perimetralmente, vinculan las bases excéntricas de lindero. Se forma así un retículo en planta que impide todo desplazamiento lateral de las bases y mantiene el conjunto en posición estable, rigidizándolo.

Se estima suficiente que las vigas de riostra sean capaces de resistir cargas axiales de tracción o compresión de magnitud igual al 10 o 15% de la carga axial de la columna más cargada de las dos que conecta. Adicionalmente, las vigas de riostra resistirán los momentos flectores transmitidos por las columnas o pedestales.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

En esta fase se presenta el marco metodológico que constituye la médula de cualquier estudio, por cuanto refiere en forma detallada sobre cómo trabajar en la investigación, explicando lo relativo al tipo de diseño o método, población, técnicas e instrumentos de recolección de datos utilizados para obtener, procesar, evaluar e interpretar los resultados obtenidos de la investigación, así como el procedimiento llevado a cabo para el estudio.

3.1 Tipo de investigación.

El tipo de investigación, según señala Balestrini (2001), se determina de acuerdo con el tipo de problema a resolver, así como de los objetivos que se pretenden lograr, y la disponibilidad de recursos al momento de emprender la investigación. Asimismo, se incorporará un esquema de investigación, muy específico, para cumplir con la finalidad del estudio.

Desde esta perspectiva, el estudio se ajusta a la modalidad de Proyecto Factible, el cual según señala Hurtado (2006), consiste en una propuesta viable, destinada a atender necesidades específicas a partir de un diagnóstico. Por su parte en el Manual de Tesis de Grado y Especialización y Maestría y Tesis Doctorales de la Universidad Pedagógica Libertador, (UPEL, 2012), señala que esta modalidad 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 políticas, programas, tecnologías, métodos, o procesos. El proyecto debe tener el apoyo de una investigación de tipo documental, y de campo, o un diseño que incluya ambas modalidades”(p. 21).

Arias, (2006, p. 134), señala: “que se trata de una propuesta de acción para resolver un problema practico o satisfacer una necesidad. Es indispensable que dicha

propuesta se acompañe de una investigación, que demuestre su factibilidad o posibilidad de realización”.

3.2 Diseño de la investigación

El diseño de investigación tal como lo señala Balestrini (2001) se define como “el plan global de investigación que integra de un modo coherente y adecuadamente correctas técnicas de recogida de datos a utilizar, análisis previstos y objetivos” (p.118). Esto significa que en el diseño de una investigación intenta dar de una manera clara respuesta a la formulación presentada del problema.

Siguiendo esta caracterización la investigación se apoya en un diseño bibliográfico tal como lo refieren Palella y Martins (2004), el cual “se fundamenta en la revisión sistemática, rigurosa y profunda de material documental de cualquier clase. Se procura el análisis de los fenómenos o el establecimiento de la relación entre dos o más variables”(81). Es de destacar que en este diseño, utiliza los procedimientos lógicos y mentales propios de toda investigación: análisis, síntesis, deducción, inducción, entre otros. En atención a ello, se compiló toda la información técnica necesaria relacionada con las fundaciones superficiales de tipo zapata aislada, identificando los aspectos claves sobre los factores que intervienen al momento del diseño. Esta base documental, permitió la revisión de textos especializados y recursos electrónicos en páginas técnicas, así como informes técnicos disponibles.

Para Hurtado (2006), el diseño se ajusta a la categoría de descriptivo-documental, dado que el objetivo se orienta a describir un evento, hecho o contexto y cuya base o fuente de datos, está constituida por documentos. En este diseño descriptivo-documental es importante interpretar los datos en función del contexto y de quienes hicieron los registros.

Para llevar a cabo de manera satisfactoria la investigación se requiere la definición de los requerimientos por medio de una documentación documental, que permiten darle soporte y mayor veracidad al estudio realizado y obtener nuevos conocimientos para el análisis del mismo. En este caso, la investigación busca dar a conocer,

entender, ordenar los pasos requeridos para la realización del diseño geotécnico y estructural de las fundaciones superficiales.

Todo trabajo de investigación adopta un diseño que sirve para determinar la metodología que se va a utilizar para corroborar todos los datos y dicho diseño es el que permitirá presentar la información clara y veraz para dar respuestas a ciertas preguntas.

Según Sabino (2002) su objeto es proporcionar un modelo de verificación que permita contrastar hechos con teorías, y su forma es la de una estrategia o plan general que determina las operaciones necesarias para hacerla. (p.91).

3.3 Nivel de investigación

El nivel de investigación hace referencia al grado de profundidad con que se aborda un objeto o fenómeno. Según Palella y Martins (2004) “el tipo de investigación a realizar determina los niveles que es preciso desarrollar” (p.101).

Así pues, el nivel de investigación establece hasta qué punto se llevará a cabo el estudio del tema o problema planteado. Tomando en cuenta el tipo de investigación, se conocerá el nivel en el cual se basa todo el estudio. También el nivel permite saber qué factores tienen que intervenir para el desarrollo de toda la investigación.

Con relación al nivel de conocimiento la misma se encuentra situada dentro de los parámetros de la investigación descriptiva, ya que posibilitó efectuar una conveniente percepción del comportamiento de los distintos procesos de una manera específica, estableciendo los diferentes procesos de una forma particular y determinando los diferentes componentes que lo forman. Con respecto a esto Arias (2006), la investigación descriptiva “consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento” (p.24).

Un nivel descriptivo consiste en la caracterización de un hecho, este igualmente describe fenómenos sociales o clínicos en una circunstancia temporal y geográfica determinada. Este nivel desde ciertos puntos su finalidad es describir o estimar algunos parámetros necesarios en una investigación.

3.4. Población y muestra.

Todo estudio implica en la fase de diseño, la determinación del tamaño poblacional y muestral necesario para su ejecución. Desde lo destacado por Palella y Martins (2004), la población de una investigación “es el conjunto de unidades de las que se desea obtener información” (p.93)

Según Arias (2006) La población: Es un término más precioso población objetivo, es un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación. Esta queda delimitada por el problema y por los objetivos del estudio. La muestra es un subconjunto representativo finito que se extrae de la población accesible.

Balestrini (2001), señala que la “muestra estadística es una parte de la población, o sea, un número de individuos u objetos seleccionados científicamente, cada uno de los cuales es un elemento del universo. La muestra es obtenida con el fin de investigar, a partir del conocimiento de sus características particulares, las propiedades de una población”.(p.138).

Según esta perspectiva, se considera como población de estudio las fundaciones superficiales, mientras que la muestra se acota al referir el estudio a las fundaciones superficiales de tipo zapata aislada.

3.4 Técnica e Instrumento de recolección de datos

Al momento de llevar a cabo una investigación para la veracidad y posible efectividad de la misma se requieren aplicar distintos procedimientos que permitieron adquirir datos importantes para analizarlos y tener información fundamental para el completo desarrollo del estudio que se está ejecutando.

En la presente investigación se utilizaron técnicas como: la Revisión bibliográfica, consulta a sistemas de información y textos especializados, documentos técnicos, entre otros.

Posteriormente, para la elaboración del manual se procesaron los datos, según las exigencias del diseño geotécnico en el cual se aplican las fórmulas definidas para cada factor, lo cual permitió ejemplificar en casos hipotéticos, según el caso.

3.5 Fases Metodológicas.

En esta investigación, se definieron cuatro fases ajustadas a los objetivos definidos, las cuales hicieron posible la realización de la misma.

- **Fase I: Recopilación de información teórica necesaria para el diseño de fundaciones superficiales de tipo zapata aislada.**

La búsqueda de información constituyó el punto de partida para precisar de manera clara y detallada lo relacionado con el diseño de fundaciones superficiales, específicamente lo referente a las del tipo zapata aislada. Esta información partió de establecer la terminología específica asociada con suelo de fundación, clasificación, sistema unificado de clasificación de los suelos. Se hace referencia directa a las fundaciones, destacando las superficiales. Se especifica lo relativo al diseño geotécnico de fundaciones superficiales, la capacidad de carga última, los tipos de fallas por capacidad de carga última y los asentamientos existentes. Se presentan los factores de la capacidad de carga, así como los aspectos relacionados con el diseño estructural de fundaciones superficiales.

- **Fase II: Desarrollar el diseño geotécnico de la zapata aislada, partiendo de la información teórica recopilada y de una información geotécnica dada.**

Para la realización de este objetivo se utilizó la información teórica descrita en la fase anterior y las propiedades del suelo determinadas por muestreo y pruebas de laboratorio, para lograr el diseño geotécnico para fundaciones superficiales de tipo zapata aisladas, aplicando en cada caso los procedimientos descritos. Es de destacar que con el diseño geotécnico se obtiene la capacidad de carga última del suelo y los distintos asentamientos que se puedan presentar.

- **Fase III: Desarrollar el diseño estructural de la zapata aislada, partiendo del diseño geotécnico y en concordancia con las normas de diseño estructural vigentes en el país.**

Luego de haber realizado el diseño geotécnico del tipo de fundación en estudio, se obtienen las dimensiones de la zapata, se procedió a realizar el diseño estructural de

la misma de concreto armado, determinando las cargas axiales y momentos flectores en condiciones últimas para calcular la presión de contacto mayorada y así verificar el espesor de la cimentación, definiendo la cantidad de acero de refuerzo que se debe colocar, y seguidamente se realizó el chequeo por corte, punzonado y aplastamiento; todo esto basado en la FONDONORMA 1753-2006 y ACI 318-14.

Fase IV: Presentar el manual de estudio para el diseño de fundaciones superficiales de tipo zapata aislada que sirva como material de apoyo a los estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil.

Para la elaboración del manual que servirá de apoyo a los estudiantes de pregrado de la carrera de Ingeniería Civil, se presenta toda la información clara y ordenada para el diseño de las fundaciones superficiales, de tipo zapata aisladas. Cada uno de los procedimientos descritos se ajusta a lo establecido a nivel técnico para un mejor entendimiento; adicional a esto se presenta una hoja de cálculo en Microsoft Excel, facilitándole esta herramienta a los estudiantes para la comprobación de sus cálculos a la hora de estudio, así como también a los docentes.

CAPITULO IV

RESULTADOS

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

Fase I: Recopilación de información teórica necesaria para el diseño de fundaciones superficiales de tipo zapata aislada.

La revisión de los textos especializados, documentos técnicos, trabajos de grado, permitieron compilar una base amplia de información que parte de las definiciones sencillas hasta los aspectos más específicos que se involucran en el diseño de las fundaciones superficiales de tipo zapata aislada.

Cada uno de los aspectos teóricos fue debidamente revisado en su contexto, apoyándose en las fórmulas y figuras correspondientes, que a su vez permitieron el desarrollo de cada una de las especificaciones para el diseño de las zapatas aisladas.

Fase II: Desarrollar el diseño geotécnico de la zapata aislada, partiendo de la información teórica recopilada y de una información geotécnica dada.

Para el diseño geotécnico de la fundación superficial del tipo zapata aislada, 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; ya que puede actuar en una de las dos direcciones o en ambas.

Luego se procedió al 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.

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, zapatas cargadas excéntricamente.

Posteriormente se calcula el factor de seguridad contra la capacidad de carga. Luego 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 aislada, partiendo del diseño geotécnico y en concordancia con las normas de diseño estructural vigentes en el país.**

El desarrollo del diseño estructural se realizó bajo las normativas vigentes del país COVENIN 1753-2006 "Proyecto y construcción de obras en concreto estructural" y ACI 318-14 "*Building Code Requirements for Structural Concrete*"; partiendo del previo chequeo del dimensionado de la zapata, cargas, datos del material y resistencia del suelo se procede a realizar el diseño estructural y se realizan los distintos chequeos de falla como son, chequeos por flexión, corte, punzonado, y aplastamiento. También se verifica la longitud de transferencia proporcionada en la zapata de fundación 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 aislada que sirva como material de apoyo a los estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil.**

Estructuración del manual.

En el manual se presenta una breve introducción, consta de dos partes; en una se describe la información necesaria del diseño geotécnico, y otra parte en la cual se presenta el diseño estructural.

Una de las características importantes del manual es 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. Adicionalmente la hoja de cálculo facilita la validación de los datos que maneje en un determinado diseño.

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.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Sobre la base de los objetivos del estudio que se ha realizado y en atención al análisis e interpretación de los datos extraídos de la revisión teórica realizada llegó a las conclusiones siguientes:

Se recopiló información acerca de los distintos métodos de diseño geotécnico y diseño estructural para zapatas aisladas, de los cuales se eligió para diseño geotécnico la teoría de Meyerhof, ya que es la ecuación más completa que incorpora factores de forma, inclinación, profundidad y de carga, permitiendo obtener un resultado más seguro de la capacidad de carga última del suelo; por otra parte para el diseño estructural se tomaron las normativas para diseño de concreto armado ACI 318-14 y FONDONORMA 1753-06 por ser estas las más actualizadas.

Para el desarrollo del diseño geotécnico se consideraron distintas condiciones tanto de suelo como de carga, y se evaluó el comportamiento de la fundación ante las mismas, estableciendo el criterio de diseño por resistencia o por rigidez que prevalecía en cada caso.

El diseño estructural se desarrolló de acuerdo a lo estipulado en las normas FONDONORMA 1753-06 y ACI 318-14, bajo condiciones de cargas de servicio, resistencia de materiales y parámetros geotécnicos impuestos para fines didácticos.

Para la realización del manual, se tomaron perfiles geotécnicos reales de distintos sitios para los cuales se diseñaron fundaciones de tipo zapatas aisladas, presentando diferentes irregularidades tanto geotécnicas como estructurales, evaluando así el comportamiento tanto geotécnico como estructural en el perfil litológico q se escogió para cada caso. Se calcularon las fundaciones superficiales y se hicieron conclusiones acerca de los resultados obtenidos; presentándolo de una manera didáctica.

5.2. Recomendaciones

Se recomienda la realización de un manual para el diseño geotécnico y estructural de otros tipos de fundación superficial como, zapatas combinadas, zapatas corridas, y losas de fundación.

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

Se recomienda evaluar otros tipos de escenarios geotécnicos distintos a los presentes en este manual, con el fin de poder realizar diseños geotécnicos y estructurales de tipo zapata aislada bajo cualquier condición.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Fratelli, M (1993). **Suelos Fundaciones y Muros** (2da Edición)

Braja M. Das (1999). **Principios de Ingeniería de Cimentaciones**. (4ta Edición).
California. International Thomson Editores.

Vallejo, L. (2002). **Ingeniería Geológica**. Madrid. Editorial Pearson Educación

Arias, F. (2006). **El Proyecto de Investigación**. (5ta edición).Caracas –
Venezuela. Editorial Texto C.A

Arias, F (2012). **El Proyecto de Investigación**. (6ta edición)

ANEXOS