



MANUAL PARA EL DISEÑO GEOTÉCNICO
Y ESTRUCTURAL DE LOSAS DE FUNDACIÓN

Autores: Muñoz U. Eliana L.
Oropeza V. Rafael A.

Urb. Yuma II, calle N° 3. Municipio San Diego
Teléfono: (0241) 8714240 (master) – Fax: (0241) 871239



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

MANUAL PARA EL DISEÑO GEOTÉCNICO
Y ESTRUCTURAL DE LOSAS DE FUNDACIÓN

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

Autores: Muñoz U. Eliana L.

C.I.22.423.291

Oropeza V. Rafael A

C.I.19.891.423

Tutor: Ing. Rodríguez Luis

San Diego, Noviembre de 2017



Universidad José Antonio Páez
Facultad de Ingeniería

FI-CE-C-008-2017-2 CR.

Valencia, 04 de Octubre de 2017.

Ciudadanos:
Eliana Muñoz
C.I: 22.423.291
Rafael Oropeza
C.I: 19.891.423
Presente.-

Cumplo con informarle que la Comisión de Trabajo de Grado y Pasantías de la Facultad de Ingeniería en su reunión N° 3-2017 de fecha 04/10/2017 aprobó el proyecto de trabajo de grado titulado "MANUEL PARA EL DISEÑO GEOTÉCNICO Y ESTRUCTURAL DE LOSAS DE FUNDACIÓN" Presentado por usted(es) como requisito para optar al título de Ingeniero Civil.

Se ratifica la designación del Ing. Luis Rodríguez, C.I. 15.148.806 y la Ing. Alicia Pizzella, C.I. 4.598.880 como Tutores Académicos que lo asesorarán en el desarrollo de este proyecto.

Atentamente,



Prof. Zulay Salcedo
Decana de la Facultad de Ingeniería

c. c. Coordinación de Pasantías y Trabajo de Grado (2).



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

ACEPTACION DEL TUTOR

Quien suscribe, ingeniero Luis Rodríguez portador de la cedula de identidad 15.148.806, en mi carácter de tutor del trabajo de grado presentado por los ciudadanos Eliana Muñoz y Rafael Oropeza, portadores de la cedula de identidad 22.423.291 y 19.891.423, respectivamente titulado MANUAL PARA EL DISEÑO GEOTÉCNICO Y ESTRUCTURAL DE LOSAS DE FUNDACION, presentado como requisito parcial para optar por el 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 días del mes de del año

Ing. Luis Rodríguez
Tutor académico

Firma

23/10/2017

Fecha

INDICE GENERAL

CONTENIDO	Pp.
INDICE DE TABLAS.....	x
INDICE DE FIGURAS.....	x
RESUMEN.....	xi
INTRODUCCION.....	1
CAPITULO I	
EL PROBLEMA	
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.	4
1.4 Justificación de la investigación.	4
1.5 Alcance.....	5
CAPITULO II	
MARCO TEORICO	
2.1 Antecedentes.....	6
2.2 Bases teóricas.....	7
2.2.1 Estudio geotécnico.....	7
2.2.2 Propiedades geotécnicas de los suelos.....	7
2.2.3 Distribución granulométrica de los suelos.....	8
2.2.4 Fundación o cimentación.....	9
2.2.5 Tipo de fundaciones.....	9
2.2.6 Cargas sobre la losa.....	12
2.2.7 Análisis y diseño de losas de fundación.....	13
2.2.8 Capacidad de carga de losas de fundación.....	14
2.2.9 Asentamientos diferenciales de losas de fundación.....	17

2.2.10 Diseño estructural de losas de fundación.....	17
2.2.10.1 Método rígido convencional.....	18
2.2.10.2 Método flexible aproximado.....	21

CAPITULO III

MARCO METODOLOGICO

3.1 Tipo de investigación.....	27
3.2 Diseño de la investigación.....	27
3.3 Nivel de la investigación.....	28
3.4 Población y muestra.....	28
3.5 Técnica e instrumentación de recolección de datos.....	29
3.6 Fases metodológicas.....	29

CAPITULO IV

RESULTADOS.....	31
-----------------	----

CAPITULO V

5.1 Conclusiones.....	34
5.2 Recomendaciones.....	35

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Factores de capacidad de carga para la teoría de Meyerhof.....	16
---	----

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Placa plana, Losa con espesor uniforme.....	11
Figura 2 Placa plana con mayor espesor bajo las columnas.....	11
Figura 3 Vigas y losas.....	11
Figura 4 Losas con muros de sótano como parte de la placa.....	11
Figura 5 Referencia para el diseño de una losa de fundación.....	18
Figura 6 Principios de diseño por el método rígido convencional y el flexible aproximado.....	22
Figura 7 Variación de las áreas con respecto a el radio de rigidez entre distancia radial desde la carga de la columna.....	26



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

**MANUAL PARA EL DISEÑO GEOTÉCNICO Y ESTRUCTURAL DE LOSAS
DE FUNDACIÓN**

Autores: Muñoz U. Eliana L.

Oropeza V. Rafael A

Tutor: Ing. Rodríguez Luis

Fecha: Junio, 2017

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como finalidad ofrecer una herramienta informativa que sirva como material apoyo para aquellos estudiantes y docentes de ingeniería civil especialmente en la cátedra de fundaciones y muros. Dicha herramienta se fundamentó en el diseño de un manual de losas de fundación, donde a través de la evaluación de diferentes etapas se procedió al diseño geotécnico y estructural de una losa de fundación. Para ello fue necesario estudiar diversos parámetros importantes tales como las condiciones geotécnicas del terreno de fundación partiendo de una estratigrafía y la capacidad última de carga, lo que permitió realizar el predimensionado de la losa tomando en cuenta las deformaciones producidas al terreno por condiciones geotécnicas, cargas y dimensiones. Una vez obtenido el predimensionado, se procedió a estimar el acero de refuerzo además de la sección mínima de concreto que debe tener la losa de fundación para que la misma cumpla con los requerimientos de flexión, corte y punzonado plasmados en la norma venezolana COVENIN 1753-2006 y ACI 318-14

Descriptor: Manual de diseño, diseño geotécnico, diseño estructural, losas de fundación.

DEDICATORIA

Al creador de todas las cosas, el que me ha dado fortaleza para continuar cuando a punto de caer eh estado; por ello, con toda la humildad que de mi corazón puede emanar, dedico primeramente mi trabajo a Dios.

De igual forma dedico esta tesis a mi madre que ha sabido formarme con buenos sentimientos, hábitos y valores, lo cual me ha ayudado a salir adelante en los momentos más difíciles.

A mis hermanas que siempre han estado junto a mí y brindándome su apoyo muchas veces poniéndose en el papel de madres.

Al hombre que me dio la vida que siempre me ha guiado en cada paso que doy.

A mi familia en general porque me han brindado su apoyo incondicional y por compartir conmigo buenos y malos momentos.

Rafael Oropeza

DEDICTORIA

Dedico este trabajo ante todo a Dios, por haberme dado la vida y permitirme haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mi madre por ser el pilar más importante y ser mi apoyo incondicional a lo largo de mi vida. A mis hermanas Yinner y Stefhany que siempre me han brindado su apoyo. También, a mi compañero de tesis Rafael Oropeza, por ser un apoyo durante varios semestres y buen amigo.

Eliana Muñoz

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por protegerme durante todo mi camino y darme fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de toda mi vida.

A mi madre, que con su demostración de una madre ejemplar me ha enseñado a no desfallecer ni rendirme ante nada y siempre perseverar a través de sus sabios consejos.

A mis hermanas Silvia Oropeza y Ellen Oropeza, por su apoyo incondicional y por demostrarme la gran fe que tienen en mí.

A mi prima Maira Vargas por acompañarme por todo este arduo camino y compartir conmigo alegrías y fracasos

A mi Abuela Olga Vargas por siempre pedirle a Dios por mí y mis estudios.

Rafael Oropeza

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, por haberme dado fuerza y valor para culminar esta etapa de mi vida.

Agradezco también por el apoyo y confianza brindada por parte de mi madre, que sin duda en el trayecto de mi vida me ha demostrado su amor, corrigiendo mis faltas y celebrando mis triunfos.

A mis hermanas, Yinner que siempre con sus consejos me ha ayudado a afrontar los retos que se me han presentado en la vida y a Stefhany por su apoyo en cada momento.

A mis abuelos quienes con su ayuda y cariño han sido parte fundamental en mi vida.

A nuestro tutor Luis Rodríguez quien nos guío y aportó conocimientos necesarios para culminar este trabajo.

A mis amigos Gabriel Guedez, Camila Rojas y Rafael Garrido por siempre estar ahí cuando los necesite.

Finalmente a los profesores, David Lopez y Alejandro Pocaterra por la gran calidad humana que me han demostrado con su amistad.

Eliana Muñoz

INTRODUCCIÓN

La fundación o cimentación constituye aquella parte de la estructura que tiene como función transmitir en forma adecuada las cargas al suelo y brindar a la misma un sistema de apoyo estable. La fundación estará bien diseñada si cumple adecuadamente con su doble función, estabilidad y resistencia, controlando dos estados límites a saber, las condiciones de servicio y las condiciones de falla por resistencia. A estas dos condiciones de falla se les llama estados límites, porque ambas determinan si una fundación sirve o no.

Una losa de fundación también conocida como placa de cimentación es una losa armada en dos direcciones ortogonales, de grandes dimensiones, que sirve de cimiento a un grupo de columnas o muros, o soporta estructuras tales como silos, estanques de agua, depósitos, chimeneas, torres de alta tensión.

Estas losas son un tipo de cimentación superficial que tiene muy buen comportamiento en terrenos poco homogéneos que con otro tipo de cimentación podrían sufrir asentamientos diferenciales.

La investigación se fundamentó en el diseño geotécnico y estructural de losas de fundación, el mismo estuvo orientado a la elaboración de un manual de estudio que permitirá a los estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil en el área de fundaciones y muros optimizar sus conocimientos y alcanzar un mayor aprendizaje mediante la teoría, conceptos básicos y ejercicios que fueron plasmados en dicho manual de estudio resultado de esta investigación.

Para llevar a cabo este análisis fue necesario recopilar información teórica referente al diseño de una losa de fundación, posteriormente se llevó a cabo el diseño geotécnico de la losa de fundación basados en la información obtenida y estudiada.

Una vez obtenido el diseño geotécnico se procedió a realizar el diseño estructural considerando los lineamientos técnicos establecidos en las normas de diseño estructural vigentes en el país.

La investigación está conformada por cuatro capítulos que tratan los siguientes aspectos:

Capítulo I, El Problema: Planteamiento del problema, formulación del problema, objetivos generales y específicos, justificación del problema y alcance. En el Capítulo II se plantea el Marco Teórico que sirve de base documental para la realización del trabajo, en este capítulo se incluyen los antecedentes relacionados con la temática, las bases teóricas y la definición de términos. En el Capítulo III se encuentra el Marco Metodológico, el cual comprende el Nivel, diseño, métodos de investigación, técnicas e instrumentos de investigación y fases metodológicas. Capítulo IV, se detallan resultados y finalmente en el Capítulo V se desarrollan las conclusiones y recomendaciones adaptadas a los objetivos y fases metodológicas planteadas inicialmente.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

La cimentación es el 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 diferenciales. Debido a que la resistencia del suelo es, generalmente, menor que la de los pilares o muros que soporta, el área de contacto entre el suelo y la cimentación debe ser proporcionalmente más grande que los elementos soportados, excepto en suelos rocosos muy coherentes.

En la realización de cualquier proyecto estructural, es necesario elegir el sistema de fundación más apropiado para las condiciones de carga y del terreno donde se apoye la construcción.

El sistema de fundación más común en la construcción es el sistema de fundación superficial, el cual se caracteriza por transmitir en forma directa las cargas provenientes de la súper estructura al terreno de fundación.

La cimentación superficial se clasifica en dos grandes grupos; Aislada (elementos únicos): zapata rápida y zapata flexible y asociada (conjunto): zapata continua, zapata asociadas, vigas de contención y losa de cimentación.

Según Braja M. Das (2008) “La losa de fundación o placa de cimentación, es una zapata combinada que puede cubrir el área entera bajo una estructura que soporte varias columnas y muros. Las losas de cimentación se prefieren a veces en suelos que tienen poca capacidad de carga, pero que tienen que soportar cargas grandes de columnas o muros. Bajo ciertas condiciones, las zapatas aisladas tendrían que cubrir más de la mitad del área de construcción, y entonces las losas de fundación podrían ser más económicas”.

En este momento en la universidad José Antonio Páez se cuenta con dos manuales; uno de diseño geotécnico y estructural de fundaciones superficiales de tipo combinadas y otro de fundaciones superficiales de tipo zapatas aisladas, pero hay

muy poca información sobre el diseño geotécnico y estructural de losas de fundación, que sea de refuerzo principalmente para los estudiantes de la carrera ingeniería civil y así cursar de manera satisfactoria la materia de fundaciones y muros, por lo tanto, esta investigación está orientada a suministrar información académica relacionada con el diseño de este tipo de fundación superficial.

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 losas de fundación?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Elaborar un manual de estudio para el diseño geotécnico y estructural de losas de fundación que sirva como material de apoyo a los estudiantes de la carrera de ingeniería civil de la universidad José Antonio Páez

1.3.2. Objetivos específicos

- Recopilar información teórica necesaria para el diseño de losa de fundación.
- Desarrollar el diseño geotécnico de losa de fundación, partiendo de la información teórica recopilada y de una información geotécnica dada.
- Desarrollar el diseño estructural de losas de fundación, 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 losas de fundaciones.

1.4 Justificación de la investigación

La reciente investigación tuvo como propósito realizar un manual de estudio teórico práctico que les beneficie a los estudiantes de ingeniería civil, docentes o profesionales de la carrera, el aprendizaje del diseño geotécnico y estructural de losas de fundación, lo cual les permitirá adentrarse tanto en conceptos básicos como en sus procedimientos facilitando ejercicios resueltos para así lograr un mayor

entendimiento de la materia. El diseño de una estructura de tipo losa de fundación es de gran importancia, ya que la misma debe soportar las cargas provenientes de las superestructuras, de tal manera que se brinde seguridad, se transmitan de forma óptima las cargas al suelo de fundación y se eviten deformaciones excesivas.

1.5 Alcance

Dicho proyecto se enfocó en la realización de un manual de diseño geotécnico y estructural de losas de fundación con el fin de cubrir todos los conceptos básicos y pasos específicos para el diseño, presentando una guía con un lenguaje adecuado para los estudiantes e incluso profesionales de la carrera, es un instrumento didáctico y practico que contiene temas adaptables para la modelación y diseño de este tipo de fundaciones, incluyendo ejemplos, que optimizan los métodos de enseñanza y aprendizaje de la asignatura de fundaciones y muros de la carrera de ingeniería civil.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se exponen los antecedentes que sirvieron de punto de partida y referencia informativa para el trabajo de investigación llevado a cabo. Seguidamente se presentan los principios teóricos que proporcionaron el basamento de la información, la cual fue extraída de diferentes fuentes y autores.

2.1. Antecedentes de la investigación

Con el propósito de amparar teóricamente las investigaciones llevadas a cabo se presentan manuales, investigaciones y trabajos de grado relacionados al diseño geotécnico y estructural de losas de fundación.

Gómez Angiber & Moreno Ysabel (2015) en su trabajo de grado titulado “**Manual para el diseño geotécnico y estructural de fundaciones superficiales de tipo zapata aislada**”, fue presentado en la Facultad de Ingeniería de la Universidad José Antonio Páez, como requisito para optar el título de *Ingeniero civil*. Dicha investigación estuvo orientada a la elaboración de un manual de diseño de fundaciones superficiales de tipo zapata aislada, para lo cual se evaluaron las diferentes etapas que conllevaron 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. Se evaluaron condiciones geotécnicas del terreno de fundación, se estimaron parámetros geotécnicos como la capacidad última de carga, con lo que se obtuvo el predimensionado de la fundación; Finalmente se determinó el acero de refuerzo y la sección mínima de concreto que debe tener la fundación para que cumpla con los requisitos de flexión, corte y punzonado. Esta investigación fue llevada a cabo bajo los lineamientos establecidos en la norma COVENIN 1753-2006 y ACI 318-14. Cabe destacar que este trabajo de grado nos orientó y aportó lo relacionado con el estudio geotécnico y estructural de losas superficiales de fundación.

Asimismo, Claudio García & Manuel Pérez (2016) en su trabajo de grado que lleva por nombre “**Manual para el diseño geotécnico y estructural de fundaciones**

superficiales de tipo combinadas” Realizado en la Facultad de Ingeniería de la Universidad José Antonio Páez, como requisito para optar el título de *Ingeniero civil*, llevaron a cabo una investigación basada en un manual para el diseño de fundaciones superficiales de tipo combinadas cuyo propósito es servir de material de estudio para los alumnos de la escuela de ingeniería civil específicamente en la cátedra de Fundaciones y Muros. Este trabajo de grado contribuyó a profundizar los conocimientos referentes a la Capacidad de carga de losas de fundación.

Por último, Wilson Núñez & Carlos Ochoa (2014) presentaron el trabajo de grado titulado “**Metodología de cálculo y diseño de cimentaciones superficiales**” en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca en Ecuador, Dicho trabajo se trató de una compilación general para el diseño de cimentaciones superficiales, constituyéndose en un manual de diseño y estudio, ya que contiene desde la clasificación de las cimentaciones, los métodos de exploración del suelo hasta el diseño geotécnico y estructural de una cimentación. Este manual nos sirvió como base y aportó información teórica referente a fundaciones superficiales.

2.2 Bases Teóricas

2.2.1 Estudio geotécnico

Según Lomoschitz Mora-Figueroa, en su investigación llamada “el estudio geotécnico para edificaciones” define el estudio geotécnico como el conjunto de actividades que permiten obtener la información geológica y geotécnica del terreno, necesario para la redacción de un proyecto de construcción. Se realiza previamente al proyecto de un edificio y tiene como objetivo determinar la naturaleza y propiedades del terreno, necesarios para definir el tipo y condiciones de cimentación.

2.2.2 Propiedades geotécnicas de los suelos

Según Braja M. Das (2008), las propiedades geotécnicas de los suelos, como la distribución del tamaño del grano, la plasticidad, la compresibilidad y la resistencia por cortante, pueden ser determinadas mediante apropiadas pruebas de laboratorio. Recientemente, se ha puesto énfasis en la determinación in situ de las propiedades de resistencia y deformación del suelo, debido a que así se evita la perturbación de las

muestras durante la exploración de campo. Sin embargo, bajo ciertas circunstancias, no todos los parámetros necesarios pueden ser determinados o no por motivos económicos o de otra índole. En tales casos, el ingeniero debe hacer ciertas hipótesis respecto a las propiedades del suelo para estimar la exactitud de los parámetros del suelo (determinados en el laboratorio y en el campo o bien supuestos), el ingeniero debe tener un buen conocimiento de los principios de la mecánica de los suelos. Así mismo, debe ser consciente de que los depósitos de suelo natural sobre los cuales las cimentaciones se construyen, no son homogéneos en la mayoría de los casos. El ingeniero debe entonces tener un conocimiento pleno de la geología de la zona, es decir, del origen y naturaleza de la estratificación del suelo, así como de las condiciones del agua del subsuelo. La ingeniería de fundaciones es una combinación de mecánica de los suelos, geología y buen juicio derivado de experiencias del pasado. Hasta cierto punto, puede denominarse un “arte”.

2.2.3 Distribución granulométrica de los suelos.

La granulometría se define como la distribución de los diferentes tamaños de las partículas de un suelo, expresado como un porcentaje en relación con el peso total de la muestra seca.

La distribución de los tamaños de las partículas de un agregado se determina por análisis de tamices, distribuyéndose los suelos de la siguiente manera:

- Gravas: Partículas de sedimentos con tamaños entre 2mm y 64mm
- Arena: Conjunto de fragmentos sueltos de rocas o minerales de pequeños tamaños, comprendidos entre 2 y 0.06mm, todavía son observables a simple vista.
- Limos: Partículas de sedimento comprendidas entre 0.060 y 0.002mm (algunas normativas indican que este último valor debe ser 0.005mm, pero no hay apenas consecuencias prácticas entre ambas distinciones.
- Arcillas: partículas de sedimentos con tamaños menores a 0.002mm.

2.2.4 Fundación o cimentación.

Desde el punto de vista del suelo, significa la masa de suelo que recibe las cargas de la estructura. Desde el punto de vista estructural, es el elemento de la estructura que transmite las cargas de la superestructura al suelo de fundación (Guía de fundaciones UCV).

2.2.5 Tipo de fundaciones

Las fundaciones pueden ser clasificadas dependiendo de la profundidad a la cual se colocan las mismas; en función de este parámetro las fundaciones se clasifican en:

- **Fundaciones superficiales**

Según, son aquellas donde el nivel de asiento de la fundación es próximo y cercano a la superficie del terreno de fundación.

Las fundaciones superficiales se clasifican en:

- Fundaciones directas o asiladas (zapatas)
- Fundaciones continuas
- Fundaciones combinadas
- Losa de fundación o fundación tipo placa
- Fundaciones excéntricas
- Fundaciones aisladas

Son de carácter puntual, generalmente están constituidas de hormigón de planta cuadrada. Las fundaciones de zapata en general constituyen los tipos más usados tanto por su economía como por su sencillez de construcción.

- **Fundaciones excéntricas**

Según Rojas, son las fundaciones en las cuales las solicitaciones de diseño están dadas por una carga excéntrica, carga + momento y en algunos carga + momento + fuerza horizontal. Este tipo de fundaciones, generalmente se presenta en estructuras aisladas sin arriostramiento, fundaciones de columna de lindero, y/o columnas sin viga de riostra como es el caso de algunos galpones industriales.

- **Fundaciones continuas**

Según Carlos Crespo (1979), “este tipo de fundación está formada por una losa continua de concreto simple, sobre la cual descansa una contra fundación armada con la altura necesaria sobre la superficie del terreno a fin de que reciba las cargas de la superestructura y las transmita a la losa de fundación”.

Normalmente se utilizan para sostener muros que soportan cargas elevadas y en los casos en que las distancias entre zapatas cuadradas adyacentes es menor que la dimensión de dichas zapatas. En este último caso, resulta más económico excavar y vaciar el concreto en una faja continua que trabaja en un gran número de pozos individuales.

- **Losa de fundación**

Una losa de fundación está formada por una sola base que transmite al terreno de fundación la carga total generada en la superestructura. Esta suele usarse cuando el área total de desplante es muy grande. Además, suele utilizarse en terrenos heterogéneos, sobre suelos de baja capacidad de soporte, rellenos compactados; cuando las cargas son bajas o donde las columnas estructurales u otras áreas de carga están tan cercanas en ambas direcciones, que las fundaciones en zapatas aisladas se tocarían unas a otras. Berry, Peter L. Mecánica de suelos, Una losa de cimentación es un elemento que se acostumbra que sea rígido, abarcando toda el área de la estructura y soportando las cargas transmitidas por las columnas y los muros.

La rigidez de la losa es proporcionada por el conjunto de vigas y losas. Entre los tipos más comunes de losas para fundación se tienen:

- La placa plana (Ver figura 1), losa con espesor uniforme.
- La placa plana con mayor espesor bajo las columnas. (Figura 2)
- Vigas y losas. (Figura 3)
- Losas con muros de sótano como parte de la placa. (Figura 4)

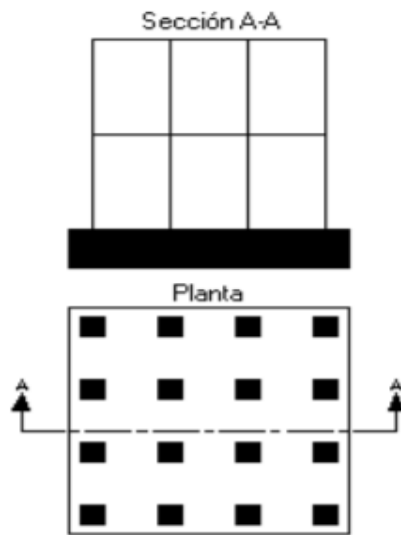


Figura 1. Losa Plana

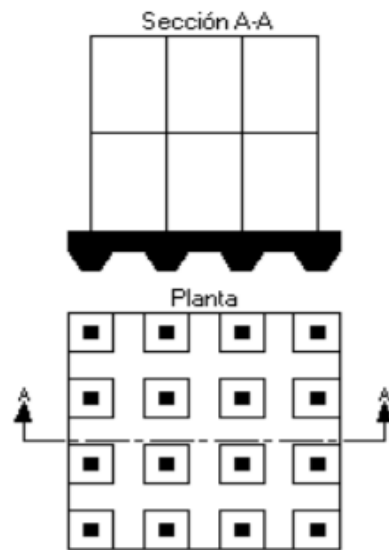


Figura 2. Losa Plana con mayor espesor bajo las columnas

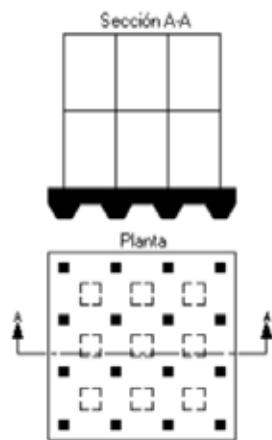


Figura 3. Vigas y Losas

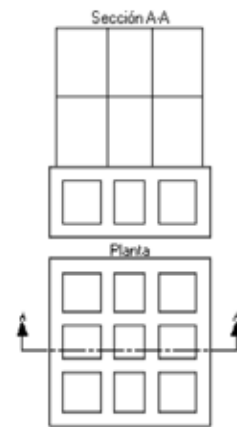


Figura 4. Losas con Muros de Sótano como parte de la placa

Braja M. Das

- **Fundaciones profundas**

Se originan naturalmente de la necesidad técnica y económica de trasladar la carga de la superestructura a mantos profundos competentes a través de las secuencias estratigráficas débiles y compresibles, no aptas para soportar directamente elementos de fundación superficial, es decir, son aquellas que se utilizan cuando los estratos de suelo o roca que se encuentran inmediatamente debajo de la superestructura no son suficientemente eficiente para resistir las cargas con la adecuada seguridad o con el asentamiento tolerable, en otras palabras que proporcione la capacidad de soporte requerida.

Existen por lo menos 70 tipos de fundaciones profundas descritas en literatura especializada y en general, desde el punto de vista de la mecánica de los suelos los pilotes pueden clasificarse en 3 categorías:

- Pilotes pre-excavados y vaciados en sitio.
- Pilotes prefabricados e hincados.
- Pilotes mixtos.

2.2.6 Cargas sobre la losa

Según Solano Marlon, Ciertas construcciones suelen transmitir las cargas que actúan sobre los muros de forma vertical a una losa flotante (o de fundación), la cual es soportada por el suelo subyacente con una presión hacia arriba.

Las cargas deben incluir el peso propio, las cargas aplicadas y los efectos debidos al preesforzado, sismo, restricciones a los cambios de volumen y asentamientos diferenciales.

La determinación de las cargas permanentes sobre la estructura se fundamenta en las propiedades de los materiales y de la sección de los elementos que conforman la estructura.

Las cargas transmitidas por la construcción al cimiento, son producto de acciones externas. Por tanto, se deben considerar las cargas verticales sobre la estructura como también las cargas laterales presentes.

Como verticales, se contempla las originadas por el peso propio de la estructura o bien por elementos que se encuentren en esta, de forma permanente, las cuales se denominan cargas permanentes. Además, de estas se presentan las cargas debido a la utilización de la edificación o cargas de servicio, que se acostumbra llamar cargas temporales. Por otra parte, las cargas laterales consideradas son la fuerza debido a un sismo, el empuje lateral del suelo debido a la presión de los líquidos que se encuentran dentro de este y el efecto del viento sobre la estructura.

2.2.7 Análisis y diseño de losas de fundación

La losa de fundación es simplemente una losa de piso sobre nervaduras, únicamente que la carga empleada es la reacción del suelo ante todos aquellos pesos gravitacionales mayorados más el efecto del sismo por el edificio. Además la disposición del acero de refuerzo debe de invertirse a la habitual, el superior por el inferior y viceversa.

Este tipo de cimiento está compuesto por dos elementos, la losa y las vigas de amarre. La función de las vigas es dar rigidez a la losa para transmitir las cargas al suelo, uniformemente. Además de resistir determinadas cargas si fue necesario (momento, cortante).

El análisis y diseño de una losa de cimentación se realiza determinando las acciones que se presentan en el centroide del área del cimiento, sin ser afectadas por coeficientes de amplificación.

Con esto se debe verificar que la capacidad de soporte del suelo sea mayor o igual a los esfuerzos que genera la estructura ($q_{adm} \geq q_{m\acute{a}x}$), esto determina el área requerida. Seguidamente, es necesario inspeccionar la estabilidad de la estructura, donde las fuerzas que provocan el volcamiento en la estructura deben ser menores a las fuerzas que dan estabilidad de la misma.

Además, es necesario considerar los asentamientos que se presentan en el suelo, por lo que se deben realizar las estimaciones respectivas para definir estos

valores. Debido a que si los asentamientos totales que se presentan son mayores a los permitidos, es necesario variar las dimensiones de la losa, siendo así los asentamientos el criterio que domina el diseño.

Por lo tanto, el diseñador debe definir la ubicación de las vigas de fundación con la finalidad de dar rigidez a la losa.

Una vez definidas las vigas de amarre se procede a determinar las características de la placa, entonces se determina su largo, ancho, espesor y refuerzo de acero necesario para soportar las cargas últimas definidas por las combinaciones de carga del ACI. Esto permite determinar el esfuerzo máximo y mínimo al que va a estar sometida la sub-losa y realizar su respectivo diseño.

2.2.8 Capacidad de carga de losas de fundación

Según Braja M. Das (1999) La capacidad de carga total última de una losa de cimentación se determina con la misma ecuación usada para cimentaciones superficiales.

Dónde:

c = cohesión

q = esfuerzo efectivo al nivel del fondo de la cimentación

N_c , N_q y N

para un Angulo de fricción del suelo cambiara también respecto a los proporcionados en la tabla I, con a – N_c y N_q pueden obtenerse como:

—

La ecuación para N_c , fue originalmente obtenida por Prandtl (1921) y Vesic (1973) dieron la relación para N como.

La variación de los factores de capacidad de carga anteriores con ángulos de fricción del suelo. (Tabla 1)

ϕ	N_c	N_q	N_γ	N_q/N_c	$\tan\phi$	ϕ	N_c	N_q	N_γ	N_q/N_c	$\tan\phi$
0	5.14	1.00	0.00	0.20	0.00	26	22.25	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						

^a Según Vesic (1973)

Tabla 1

(Braja M. Das)

Factores de forma, profundidad e inclinación.

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

Para condiciones de carga no drenadas en suelos arcillosos, la ecuación general de capacidad de carga de apoyo, toma la forma:

$$q_u = cN_qFcsFc + q$$

2.2.9 Asentamientos diferenciales de losas de fundación

El Comité 336 (1988) del American Concrete Institute sugirió el siguiente método para calcular el asentamiento diferencial de las losas de cimentación. De acuerdo con este método, el factor de rigidez (K) se calcula como:

—

Dónde:

E' = módulo de elasticidad del material usado en la estructura

E_s = módulo de elasticidad del suelo

B = ancho de la cimentación

I_b = momento de inercia de la estructura por unidad de longitud en ángulo recto con B

Con base en el valor K

total se estima de la siguiente manera:

1. Si $K > 0.5$, esta puede tratarse como una
2. Si $K = 0.5$, entonces
3. Si K
cimentaciones largas ($B/L = 0$).

2.2.10 Diseño estructural de losas de fundación

El diseño estructural de las losas de cimentación se efectúa por dos métodos convencionales: el método rígido convencional y el método flexible aproximado. Los métodos de diferencias finitas y de elemento finito también se usan, pero esta sección sólo cubre los conceptos básicos de los dos primeros métodos de diseño.

2.2.10.1 Método rígido convencional

El método rígido convencional para el diseño de losas de cimentación se explica paso a paso con referencia a (Figura 5)

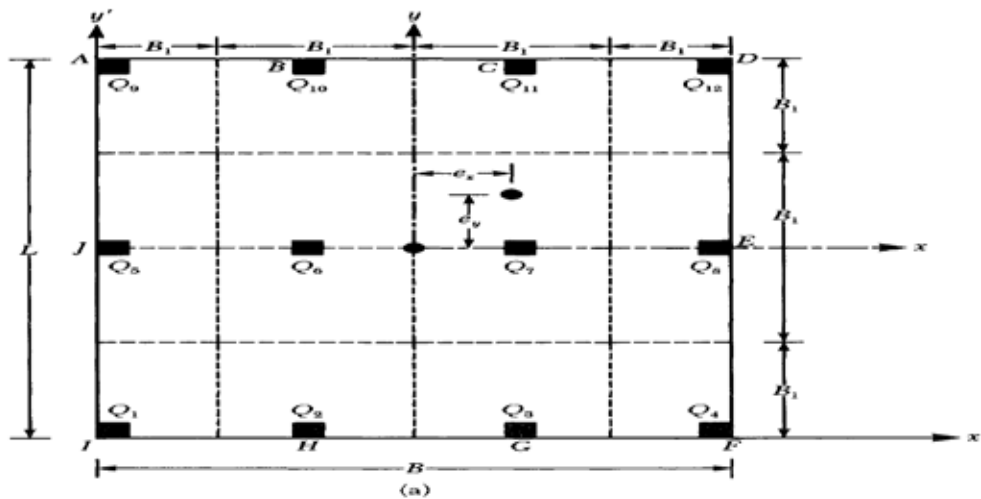


Figura 5

Fratelli

1. La figura 7 muestra la losa $L \times B$ y las cargas de columnas Q_1 , Q_2 , Q_3

Calcular la carga total de columnas según

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3..$$

2. Determinar la presión q sobre el suelo, debajo de los puntos A , B , C , D , ... de la losa, usando la ecuación

— — —

Dónde:

$$A = B/L$$

$$I_x = (1/12) BL^3 = \text{Momento de inercia respecto al eje X}$$

$$I_y = (1/12) LB^3 = \text{Momento de inercia respecto al eje Y}$$

My = momento de las cargas de las columnas respecto al eje

x y, en las direcciones "x" y "y", se determinan usando coordenadas (x', y')

$$x' = \frac{Q_1x_1' + Q_2x_2' + Q_3x_3' + \dots}{Q} \quad y \quad x = x' - -$$

Similarmente

$$y' = \frac{Q_1y_1' + Q_2y_2' + Q_3y_3' + \dots}{Q}$$

$$y = y' - -$$

3. Comparar los valores de las presiones del suelo determinadas en el paso 2 con la presión neta admisible del suelo para determinar adm(neta)
4. Dividir la losa en varias franjas en las direcciones X y Y. haga el ancho de cualquier franja igual a B₁
5. Dibujar los diagramas de fuerza cortante, V, y momento flexionante, M, para cada franja individual (en las direcciones x y y). Por ejemplo la presión promedio del suelo en la franja del fondo en la dirección x de la figura antes mostrada es

$$q_{\text{prom}} \text{ ———}$$

Donde q₁ y q_f = presiones del suelo en los puntos I y F determinadas en el paso 2.

La reacción total del suelo es igual a q_{prom}B₁B. Ahora se obtiene la carga total en la columna sobre la franja igual a Q₁ + Q₂ + Q₃ + Q₄. La suma de las cargas de columna sobre la franja no será igual a q_{prom}B₁B porque la fuerza cortante entre las franjas adyacentes no se ha

tomado en cuenta. Por esta razón, la reacción del suelo y las cargas de columna necesitan ser ajustadas.

Ahora, la reacción del suelo promedio modificada es

Y el factor por modificación de la carga de columna es

Las cargas de columna modificadas son entonces FQ_1 , FQ_2 ; FQ_3 y FQ_4 . Ahora se dibujan los diagramas de fuerza cortante y momento flexionante para esta franja. Este procedimiento se repite para todas las franjas en las direcciones x y y .

6. Determinar la profundidad efectiva d de la losa revisando el cortante por tensión diagonal cerca de varias columnas. De acuerdo con el código 318-95 del ACI (Sección 11.12.2.1c, american concrete institute, 1995), para la sección crítica.

$U = b_0$

Dónde:

U = carga factorizada de la columna (MN), o (carga de la columna) X (factor descarga)

F'_c = resistencia a compresión del concreto a los 28 días (MN/)

7. De los diagramas de momento de todas las franjas en una dirección (x o

y), obtenga los momentos máximos positivos y negativos por ancho unitario (es decir, $M' = M/B1$).

8. Determinar las áreas de acero por ancho unitario para refuerzo positivo y negativo en las direcciones X y Y.

$$Mu = (M')(factor\ de\ carga) = AsFy \quad -$$

y

Dónde:

As = área de acero por ancho unitario

Fy = esfuerzo de fluencia del refuerzo en tensión

Mu = momento factorizado

2.2.10.2 Método flexible aproximado

En el método rígido convencional de diseño, la losa se supone infinitamente rígida. Además, la presión del suelo se distribuye en línea recta y el centroide de la presión del suelo coincide con la línea de acción de las cargas resultantes de las columnas. En el método flexible aproximado de diseño, el suelo se supone equivalente a un número infinito de resortes elásticos, determinada a veces como la cimentación Winkler. La constante elástica de esos resortes supuestos se denomina el coeficiente R de reacción del sub suelo.

Para entender los conceptos fundamentales del diseño de cimentaciones flexibles, considere una viga de ancho B1 y longitud infinita. La viga está sometida a una sola carga concentrada Q. De los fundamentos de la mecánica de materiales.

$$M = E_F I_F \frac{d^2 y}{dx^2}$$

Dónde:

M = momento en cualquier sección

E_F = módulo de elasticidad del material de la cimentación

I_F = momento de inercia de la sección transversal de la viga.

Sin embargo,

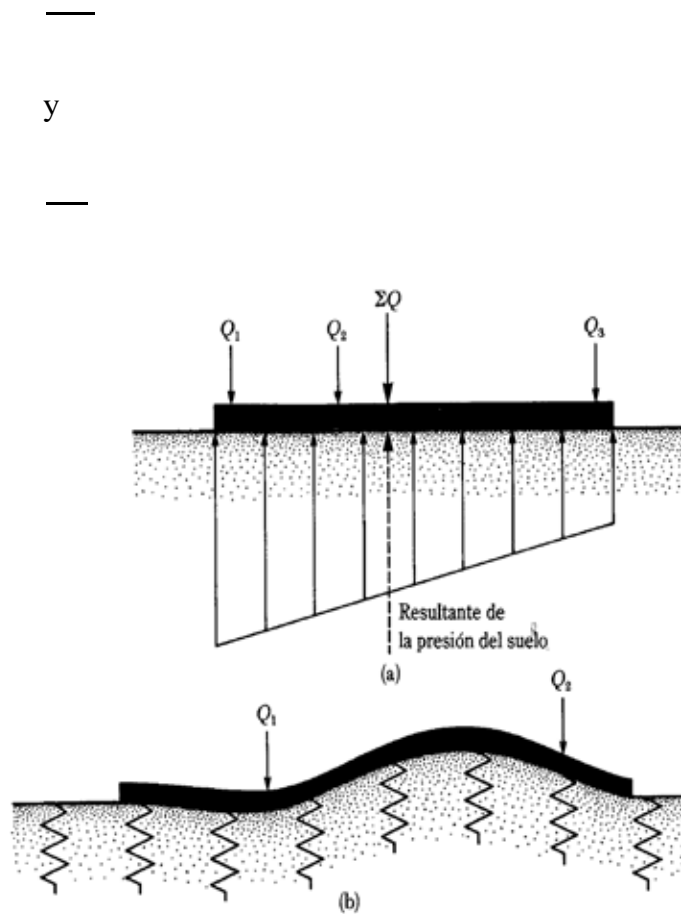


Figura 6

Braja M. Das

- a) Principios del diseño por el método rígido convencional
- b) Principios del método flexible aproximado

Por consiguiente,

Combinando las ecuaciones, se obtiene:

Pero la reacción del suelo es

$$q = -zR'$$

Dónde:

z = deflexión

$$R' = RB1$$

R = coeficiente de la reacción del subsuelo (KN/)

Por tanto

La solución de la ecuación es:

Donde A' y A'' son constantes y

_____ finió en la ecuación anterior, es (longitud). Este parámetro es muy importante en la determinación si una losa de cimentación debe ser diseñada por el

método rígido convencional o por el método flexible aproximado. De acuerdo con el comité 336 (1988) del American Concrete Institute, las losas deben diseñarse por el método rígido convencional si el

Para efectuar el análisis para el diseño estructural de una losa flexible, deben conocerse principios de la evaluación de coeficiente, R , de reacción del subsuelo.

El procedimiento de diseño se basa principalmente en la teoría de placas. Su uso permite que los efectos (es decir, momentos, fuerza cortante y deflexión) de una carga concentrada de columna sean evaluados. Si las zonas de influencia de dos o más columnas se cruzan, se usa la superposición para obtener el momento, fuerza cortante y deflexión netos en cualquier punto.

Suponga un espesor h , para la losa de acuerdo con el paso 6 como se hizo en el método rígido convencional. (Nota: h es el espesor total de la losa.)

1. Determine la rigidez por flexión R de la losa:

Dónde:

E_F = módulo de elasticidad del material de la cimentación

ν_F = relación de poisson del material de la cimentación

2. Determine el radio de la rigidez efectiva:

—

—

Dónde:

k = coeficiente de la reacción del subsuelo

La zona de influencia de cualquier carga de la columna será del orden de 3 a 4L'.

3. Determine el momento (en coordenadas polares en un punto) causado por una carga de columna.

$$M_t = \frac{Q}{4L'} \left[\frac{r^2}{L'} - \frac{r^3}{L'^2} \right]$$

M_t = momento tangencial = = $\frac{Q}{4L'} \left[\frac{r^2}{L'} - \frac{r^3}{L'^2} \right]$

Donde

r = distancia radial desde la carga de la columna

Q = carga de la columna

A₁, A₂ = funciones de r/L'

4. Para un ancho unitario de losa, determine la fuerza cortante, V, causada por una carga de columna:

$$V = \frac{Q}{4L'} \left[\frac{r}{L'} - \frac{r^2}{L'^2} \right]$$

5. Si el borde de la losa se localiza en la zona de influencia de una columna, determine el momento y la fuerza cortante a lo largo de la cuña (suponga que la losa es continua). Momento y fuerza cortante opuestos en signo a los determinados son aplicados a los bordes para satisfacer las condiciones conocidas.

- 6.

$$M_t = \frac{Q}{4L'} \left[\frac{r^2}{L'} - \frac{r^3}{L'^2} \right]$$

Las variaciones de A_3 y A_4 con r/L' se muestran en la figura 7

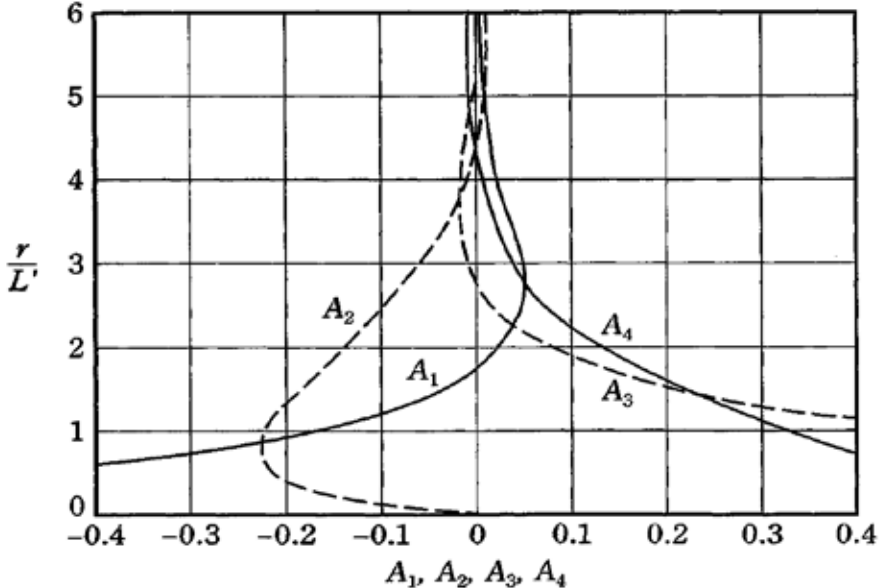


Figura 7
Braja M. Das

CAPÍTULO III

MARCO METODOLOGICO

3.1 Tipo de investigación

Según lo expuesto por Tamayo y Tamaya, M (2002) en su obra el proceso de la investigación científica, la investigación de tipo descriptiva es aquella que “comprende la descripción, registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual, y la composición o procesos de los fenómenos. La investigación descriptiva trabaja sobre realidades de hechos, y su característica fundamental es la de presentarnos una interpretación correcta.”

Por lo tanto, la siguiente investigación se define de tipo proyecto factible debido a que establece los lineamientos precisos que contribuyen en la elaboración de un manual de diseño destinado para losas de fundación. Con esta metodología, se pretende seleccionar toda la información necesaria con el objeto de desarrollar tanto el diseño geotécnico como el estructural de la fundación, mediante las normas de diseño estructural vigente en el país.

3.2 Diseño de la investigación

El siguiente proyecto de investigación obedece al diseño de campo, no experimental, transicional, descriptivo; ya que de acuerdo a lo expuesto por Kerlinger (2002), ese tipo de investigación se refiere a la “búsqueda empírica y sistemática en la que el científico no posee control directo de la variables independientes, debido a que sus manifestaciones, ya han ocurrido o son inherentemente no manipulados.

Es por ello, que la investigación se relaciona con el diseño descriptivo-documental, debido a que además está fundamentada en una “revisión sistemática, rigurosa y profunda de material documental de cualquier clase”, así como lo explica Palella y Martins (2004), ya que en el mismo emplearon procesos analíticos y de síntesis, una vez indagada la

información necesaria y relacionada con las fundaciones superficiales combinadas.

Para el buen manejo de este proyecto descriptivo-documental, la investigación estuvo basada en la revisión de textos especializados en el tema, tanto bibliográfico como electrónico; con el objetivo de permitir el estudio geotécnico y estructural de fundaciones superficiales, lo cual contribuiría a la satisfactoria elaboración de un manual de diseño para losas de fundación.

3.3 Nivel de investigación

El siguiente punto está relacionado con el grado de profundidad del tema que se pretende desarrollar en la investigación y cuáles son los factores que intervienen en la misma. Tal como expresa Palella y Martins (2004). Por tratarse de una investigación descriptiva, será ese tipo el que determine los niveles de profundidad que se desarrollaran durante la ejecución de la misma.

3.4 Población y muestra

Según lo expresado por Pérez (2002), la población “es el conjunto de unidades de análisis, individuos, objetos o elementos que se someten a estudio; pertenecen a la investigación y son la base fundamental para obtener la información”

Por otro lado, Pérez (2002), define la muestra como “una proporción, un subconjunto de la población que selecciona el investigador de las unidades en estudio, con la finalidad de obtener información confiable y representativa”

Asimismo, Balestrini (2001), afirma 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”

En este sentido, la población de esta investigación se refiere al estudio de fundaciones superficiales. Por su parte. La muestra del proyecto corresponde al estudio de las losas de fundaciones

3.5 Técnica e instrumento de recolección de datos.

Durante el proceso de investigación se recurrió a la aplicación de procedimientos de indagación, análisis y síntesis, los cuales permitieron la obtención de información precisa para el desarrollo del trabajo de grado realizado.

Previamente, fueron consultados y utilizados materiales bibliográficos, electrónicos y documentos especializados en el tema seleccionado para el trabajo, con el fin de que sirvieran de soporte para la posterior elaboración del manual de diseño para fundaciones.

3.6 Fases Metodológicas

FASE I: Recopilar información teórica necesaria para el diseño de losa de fundación.

La indagación constante, oportuna y precisa relacionada con el diseño de losas de fundación, fue el inicio para desarrollar la referida investigación. Mediante conceptos, datos, cálculos y terminologías específicas relacionadas directamente con el diseño geotécnico y estructural de losas de fundación, se centrara el trabajo de grado anteriormente justificado.

FASE II: Desarrollar el diseño geotécnico de losa de fundación, partiendo de la información teórica recopilada y de una información geotécnica dada.

Para la realización de este objetivo se utilizó la información seleccionada en la fase anterior, las propiedades del suelo determinadas y pruebas de laboratorio, para así conseguir el diseño geotécnico de la fundación superficial. Luego de realizar el diseño geotécnico de tipo losa de fundación, se obtendrán las dimensiones de la zapata, para después proceder a realizar el diseño estructural de la misma de concreto armado.

FASE III: Desarrollar el diseño estructural de losas de fundación, partiendo del diseño geotécnico y en concordancia con las normas de diseño estructural vigentes en el país.

Para determinar el diseño estructural necesario determinar las cargas últimas para así calcular la presión de contacto mayorada, de manera que se pudiera verificar el espesor de la cimentación; con la intención de definir la cantidad de acero de refuerzo que se debe colocar. Seguidamente, se calculó el chequeo por corte y punzonado; establecido en el documento técnico FONDONORMA 1753-2006 y el código ACI318-14.

FASE IV: Presentar el manual de estudio para el diseño de losas de fundación.

La información anteriormente recopilada y seleccionada durante la investigación, que servirá como material de estudio para los alumnos de la escuela de ingeniería civil, tendrá un enfoque puntual y sistemático del tema, lo cual permitirá que la presentación del manual para el diseño de fundaciones superficiales de tipo losa de fundación se ajuste a cada una de las necesidades y requerimientos de los estudiantes, con el objetivo de aumentar sus conocimientos en la materia.

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 losa de fundación.

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 losas de fundación.

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 losas de fundación.

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

Para el diseño geotécnico de la losa de fundación, 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 losa, con lo cual se realizan todos los chequeos geotécnicos pertinentes; si alguno de éstos no cumple se modifica el predimensionado 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.

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 losas de fundación, 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 y método expuesto por Maria Graciela Fratelli llamado “método de las franjas” partiendo del previo chequeo del dimensionado de la losa de fundación, 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 y punzonado. 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 losas de fundación.

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 representa el diseño estructural utilizando el método de la franjas.

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.

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 tenemos conclusiones siguientes:

Se recopiló información acerca de los distintos métodos de diseño geotécnico y diseño estructural para losas de fundación, 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, la implementación y explicación paso a paso del método de las franjas.

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 losas de fundaciones, presentando diferentes irregularidades tanto geotécnicas como estructurales, evaluando así el comportamiento tanto geotécnico como estructural en el perfil litológico que se escogió para cada caso. Se calcularon las fundaciones superficiales y se hicieron conclusiones a cerca 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 losa de fundación bajo cualquier condición.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

American Institute of Steel Construction (2010) **Specification for Structural Steel Buildings ANSI/AISC 360-10**. Estados Unidos.

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

Balestrini M. (2002) **Como se elabora el proyecto de investigación**, Caracas Venezuela, editorial BL Consultores Asociados, Quinta Edición.

Braja M. Das (1999). Principios de Ingeniería de Cimentaciones. (4ta Edición).

Fratelli, M (1993). Suelos Fundaciones y Muros (2da Edición) California. International Thomson Editores.

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

Manual para el diseño geotécnico y estructural de losas de fundación

Universidad José
Antonio Páez



INTRODUCCIÓN

El manual contiene un resumen de procedimientos basados en teorías de comportamiento geotécnico y estructural de losas de fundación cumpliendo con lo convenido en los códigos y normativas nacionales (FONDONORMA 1753-06) e internacionales (ACI 318-14)

El estudio geotécnico es el conjunto de trabajos de exploración, muestreo, análisis, modelización, cálculo e interpretación necesario para conocer con la precisión suficiente las características geológico- geotécnicas del suelo en el que va a ejecutarse una obra. Se consignan estudios geotécnicos para diferentes intervenciones constructivas, ya sean, túneles, carreteras, puentes, centrales hidroeléctricas, estabilización de taludes, edificios, etc.

Para emplear los criterios contenidos en este manual se requiere la información acerca de la característica de los diferentes estratos del suelo que sustentará una construcción, es suministrada por lo general por los ingenieros geotécnicos, quienes realizan la exploración del subsuelo, para determinar sus propiedades, organizan las pruebas del laboratorio, interpretan los resultados obtenidos y facilitan los datos pertinentes que permiten la estimación de las deformaciones que podrían producirse y finalmente diseñar las cimentaciones de la manera más viable cuidando no exceder los costos en obra.

Las losas de fundación son también llamadas placas de fundación, son elementos estructurales de concreto armado que tienen como finalidad transmitir las cargas mediante la fundación al suelo que la soporta. Ciertamente, la losa de fundación abarca la superficie de apoyo máxima disponible bajo la estructura, es decir, puede cubrir el área entera de la misma. Se emplea este tipo de fundación cuando la superficie de fundación mediante zapatas aisladas o corridas supera el 50% de la planta de construcción, caso en el cual podría resultar más económico usar losa de fundación.

Estas fundaciones también son usadas cuando la presión admisible del terreno es baja es recomendada en estructuras mayores a ocho plantas y requiere la construcción de un semisótano o sótano.

En algunos casos, la losa puede apoyarse sobre pilotes lo que ayuda a reducir el asentamiento de una estructura construida sobre suelo altamente compresible. Si el nivel freático es alto se coloca las losas sobre pilotes para controlar la flotación.

La elección del tipo de fundación más adecuado dará como resultado una mayor eficiencia en el comportamiento estructural, en función de las condiciones del

suelo, del tamaño, forma de la construcción, tipo y magnitud de las cargas transmitidas.

ESTUDIO GEOTECNICO

Al concebir el proyecto de una edificación, automáticamente entendemos que la misma estará conectada al terreno mediante un sistema “suelo-fundación”, y que será la adecuada interacción entre el terreno y la cimentación la que garantizará la estabilidad geotécnica y estructural del proyecto.

Ahora bien, lo primero que debemos entender, es que el profesional usualmente conocido como “ingeniero de suelos” en realidad debe ser un profesional integral con sólidos conocimientos en geotecnia, geología, hidrología, hidráulica, ambiente, estructuras, cimentaciones e ingeniería de construcción, entre otras; por lo que realmente se le conoce en la práctica como Ingeniero Geotécnico; y el documento que durante muchos años se ha utilizado para “diseñar fundaciones” o como requisito para “tramitar una permisología de construcción” es en realidad un Estudio Geotécnico, y viene a ser uno de los documentos de mayor importancia en la elaboración de proyectos y construcción de obras, y en la coordinación de actividades tales como: el movimiento de tierras, las excavaciones a cielo abierto, diseño y construcción de muros, pantallas y sótanos, construcción de vialidad, pavimentos, cimentaciones, diseño estructural con filosofía sismorresistente, comprender las posibles amenazas de tipo geotécnico, geológicas, hidrológicas y/o hidráulicas y el cómo realizar el diseño de las edificaciones, de forma tal que puedan interactuar en perfecta armonía con su entorno.

Un estudio geotécnico para el desarrollo de un proyecto de edificación debe incluir:

INTRODUCCIÓN:

Donde se indique el alcance del Informe Geotécnico y a cual tipo de obra está dirigido. En este punto se recomienda dejar claro el nombre del proyecto para el cual fue elaborado el informe e indicar el ente que lo solicita, con la finalidad de evitar que el mismo pueda ser utilizado para otros fines.

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO:

Donde se indique el uso de la edificación, materiales constructivos (acero, concreto, madera, etc.), orden de magnitud de las cargas consideradas, altura de la edificación, extensión en planta, descripción de características arquitectónicas y estructurales tales como: altura total de la edificación, presencia de sótanos, alturas de entrepiso, entre otras.

OBJETIVOS:

Se debe indicar el objetivo general del informe y los objetivos específicos que permitirán alcanzarlo. Los objetivos de un Informe Geotécnico para la construcción de una vialidad son totalmente diferentes a los planteados en la construcción de un edificio o una vivienda, porque además la forma en la que se efectúa la investigación geotécnica, tanto en campo como en laboratorio, puede diferir en gran medida.

METODOLOGÍA:

Se compone de los procedimientos utilizados para efectuar la investigación de campo, laboratorio, fuentes de información, procesamiento de datos y métodos de análisis.

ENSAYOS DE CAMPO:

Se especifican los procedimientos empleados para realizar la investigación de campo, equipos utilizados, normativa aplicable (ASTM, COVENIN, etc.), número de sondeos efectuados, profundidad de los mismos, cantidad de muestras obtenidas y una breve pero clara justificación de por qué se utilizan tales procedimientos para cumplir con los objetivos planteados en la investigación geotécnica.

ENSAYOS DE LABORATORIO:

El laboratorio juega un papel fundamental en todo proceso de investigación geotécnica. Las muestras obtenidas en campo deben ser procesadas en laboratorio,

con la finalidad de obtener parámetros que son utilizados por el ingeniero geotécnico para analizar el comportamiento del terreno y plantear soluciones al sistema «suelo-fundación».

GEOLOGÍA:

El analizar el contexto geológico en el que se encuentra el proyecto, significa poder comprender la naturaleza de las diferentes amenazas a las que podría estar expuesto el mismo. No se trata de extraer la teoría clásica existente en los libros de geología, sino más bien comprender que un proyecto concebido en una zona del litoral tendrá una amenaza muy diferente al proyecto que sea concebido a piedemonte. Se trata de analizar no sólo la geología regional sino también la local, que muchas veces determina la existencia de amenazas particulares del sitio, tales como: potencial sismicidad localizada o inducida por presencia de algún depósito de agua cercano, fallas geológicas que pueden ocasionar fenómenos de licuación (*pérdida súbita de resistencia al cortante de suelos saturados debido al incremento de presiones de poros ocasionado por vibraciones del terreno por acción sísmica*), o presencia de suelos colapsables o expansivos cuya aparición se encuentra determinada por la geología de la zona.

ASPECTOS SÍSMICOS:

Prácticamente todos los códigos de diseño a nivel mundial suministran una clasificación en función de la amenaza sísmica existente en las diferentes regiones del país (*nulas, bajas, intermedia y elevada*), lo cual permite asignar un coeficiente de aceleración horizontal y vertical del terreno, que al ser multiplicado por la masa sísmica de la edificación nos permite estimar su respuesta y poder así efectuar su diseño estructural. Dentro de este renglón existe un criterio de clasificación universal de suma importancia, que permite estimar la respuesta más realista de la edificación ante un evento sísmico, y se trata de la forma espectral del terreno que depende de la condición geotécnica del sitio (suelos densos o duros Vs suelos duros o compactos). Una forma de caracterizar la forma espectral del terreno, es a través de correlación con ensayos de campo tales como: el ensayo de penetración estándar (SPT), el ensayo

de penetración cónica (CPT) o el ensayo de índice de calidad de la roca (RQD). Ahora bien, esto quiere decir que el Informe Geotécnico nos va a permitir estimar la respuesta sísmica real de la edificación, en vista de que vamos a poder identificar el comportamiento esperado del sitio en el que nos vamos a apoyar, según los lineamientos fijados por el código de diseño sísmico que aplique en el proyecto.

PRESENCIA DE NIVEL FREÁTICO Y/O AGUAS SUBTERRÁNEAS:

Se identifican las profundidades de aguas detectadas en los sondeos, acotando que estos niveles se localizaron en una fecha y condición meteorológica determinada. Esta información será de suma utilidad para el ingeniero geotécnico al momento de emitir recomendaciones de diseño y construcción de los sistemas de fundación, y servirá de alerta a la hora de efectuar excavaciones a cielo abierto y cuáles son las medidas de protección que deben ser acatadas. Esto permitirá identificar posibles patrones de licuación y determinar que tanto pudiese verse afectada la sensibilidad del terreno desde el punto de vista de capacidad portante.

ANÁLISIS DE RESULTADOS DE CAMPO Y LABORATORIO:

En función de los resultados obtenidos en campo y laboratorio, se emite un análisis de tipo cuantitativo y cualitativo que permitirá construir una matriz del comportamiento geotécnico del sitio.

EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE DEL TERRENO EN FUNCIÓN DEL SISTEMA DE FUNDACIÓN SELECCIONADO (DISEÑO POR RESISTENCIA):

Se debe dejar claro que el terreno por sí sólo no va a manifestar una capacidad portante admisible determinada, sino que va a depender del tipo de sistema de fundación seleccionado y de la geometría del mismo, es decir, es incorrecto decir: «ese suelo tiene una capacidad portante de 1 kgf/cm^2 », lo correcto sería decir: “el terreno manifiesta una capacidad portante de 1 kgf/cm^2 para un sistema de fundación diseñado con zapatas de dimensiones $1.5 \text{ m} \times 1.5 \text{ m}$ y para una profundidad de desplante (D_f) de 1.8 m ”; en vista de que cualquier variación en el tipo de cimentación, geometría, dimensiones en planta y profundidad de desplante

determinarán una capacidad portante diferente del sistema “suelo-fundación”. En este punto es importante que el ingeniero geotécnico posea un estimado de las cargas de la edificación, con la finalidad de seleccionar el sistema de fundación más adecuado y pueda además reportar un abanico de posibilidades geométricas y de profundidad para el rango de cargas actuantes. De forma ilustrativa podemos indicar que si el sistema de fundación se compone de zapatas, entonces se deberá elaborar una tabla con diferentes tamaños de zapatas y profundidades de desplante que permita abarcar el rango de cargas actuantes, de forma tal que el ingeniero estructural pueda seleccionar las opciones que mejor se adapten a los requerimientos del proyecto. Bajo el mismo esquema, si se trata de un sistema de fundación con pilotes se deberá disponer de una tabla con diferentes diámetros y longitudes, con la finalidad de seleccionar la mejor solución en función del nivel de carga actuante.

CÁLCULO DE ASENTAMIENTOS ESPERADOS (DISEÑO POR RIGIDEZ):

La rigidez infinita no existe en el terreno de fundación, es decir, todos los sistemas de fundación siempre van a sufrir algún nivel de asentamiento, por lo que se hace necesario que se reporte el nivel de asentamiento o deformación esperada del terreno, en función del esfuerzo actuante y la geometría del sistema de fundación seleccionado. La distorsión angular se define como la relación entre el asentamiento diferencial que se origina entre dos apoyos y la distancia que los separa. Si se dispone de información relacionada con la magnitud de los asentamientos esperados y luces promedio del proyecto, se podrán estimar las distorsiones esperadas y se podrán fijar límites máximos de distorsión en función de la arquitectura del proyecto, tipo de acabados y configuración de miembros estructurales. No es lo mismo fijar una distorsión angular máxima para un proyecto donde predominan las fachadas de vidrio que para una edificación donde predomina la mampostería.

CONCLUSIONES:

Deben ser claras y precisas, sin ambigüedades. Se debe reportar la conclusión de cada aspecto observado en los puntos anteriores; destacando las prohibiciones que apliquen y que puedan estar referidas al uso de un sistema de fundación en particular

o una profundidad límite para algún tipo de excavación. Se concluye en función de los aspectos geológicos, geotécnicos, estructurales, sísmicos, hidráulicos, hidrológicos, y cualquier otro que sea determinante en la solución que deba adoptarse en el proyecto.

RECOMENDACIONES:

De tipo geotécnico y estructural para las diferentes propuestas de cimentación suministradas en el informe, recomendaciones de excavaciones, métodos constructivos, control de deformaciones y distorsión angular, medidas de protección en los procesos constructivos, técnicas para el mejoramiento o estabilización de suelos que pudiesen estar sometidos a algún tipo de amenaza de tipo geológica o geotécnica, tales como presencia de suelos colapsables, licuables o expansivos. En vista de lo amplio que puede llegar a ser las recomendaciones, se sugiere elaborar renglones para las diferentes especialidades involucradas en el proyecto, de forma tal que el informe geotécnico posea un enfoque totalmente práctico y funcional.

ANEXOS:

Es tradición colocar en los anexos: el croquis de ubicación de los sondeos, el perfil probable del terreno, el perfil estratigráfico utilizado en el diseño de las cimentaciones, los registros de campo de los sondeos efectuados, planta tipo de la edificación, las planillas de los ensayos de laboratorio, y cualquier otra información que permita complementar los aspectos reportados en el informe. Si se dispone de un extracto de una publicación donde se indiquen técnicas, sugerencias o consejos para efectuar alguno de los procesos contemplados en el proyecto, es buena idea incluirlo. El informe geotécnico debe ser una guía de ejecución, de la misma forma como lo son los planos de detalles, la memoria descriptiva o incluso el cómputo métrico de obras.

El sistema “suelo-fundación” debe ser analizado como un todo, donde los aspectos geotécnicos y estructurales se convergen en los puntos de apoyo de nuestras edificaciones. La investigación geotécnica es una actividad de ejecución obligatoria cuyo producto será el Estudio Geotécnico, que deberá ser utilizado por los

profesionales involucrados en el proyecto tanto en la fase de concepción del mismo como en su fase de construcción.

DISEÑO GEOTÉCNICO

Para el diseño geotécnico es necesario conocer ciertas propiedades del suelo que son determinadas mediante muestreo y pruebas de laboratorio:

DEFINICIONES

Angulo de fricción interna (ϕ): El ángulo de fricción o ángulo de rozamiento interno es una propiedad de los [materiales granulares](#) el cual tiene una interpretación física sencilla, al estar relacionado con el ángulo de reposo o máximo ángulo posible para la pendiente de un conjunto de dicho material granular. En un material granuloso cualquiera, el ángulo de reposo está determinado por la fricción, la cohesión y la forma de las partículas pero en un material sin cohesión y donde las partículas son muy pequeñas en relación al tamaño del conjunto el ángulo de reposo coincide con el ángulo de rozamiento interno. Es especialmente importante en [mecánica de suelos](#) para determinar tanto la [capacidad portante](#) como la resistencia al deslizamiento de un terreno arenoso. Es la resistencia al deslizamiento causado por la fricción que hay entre las superficies de contacto de las partículas y 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 cuando más finas son las partículas del terreno.

Módulo de Young (E) (Ton/m²): 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

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 las fuerzas aplicadas sobre el mismo

Peso específico () (Ton/m²): Es la relación entre el peso de una sustancia y su volumen

CIMENTACIONES SUPERFICIALES

La parte inferior de una estructura, la cual trasmite las cargas a los estratos de suelo o roca se denomina cimentación. Las cimentaciones se dividen en dos grupos; cimentaciones superficiales y profundas. Se consideran cimentaciones superficiales aquellas que cumplan con la siguiente condición:

—

Dónde:

Df = Profundidad de la cimentación

B = Ancho de la cimentación

En este grupo se incluyen las zapatas aisladas, corridas así como las losas de cimentación.

El diseño debe satisfacer el estado límite de falla, así como también el estado límite de servicio.

ESTADO LÍMITE DE FALLA: CAPACIDAD DE CARGA Y FACTORES DE SEGURIDAD

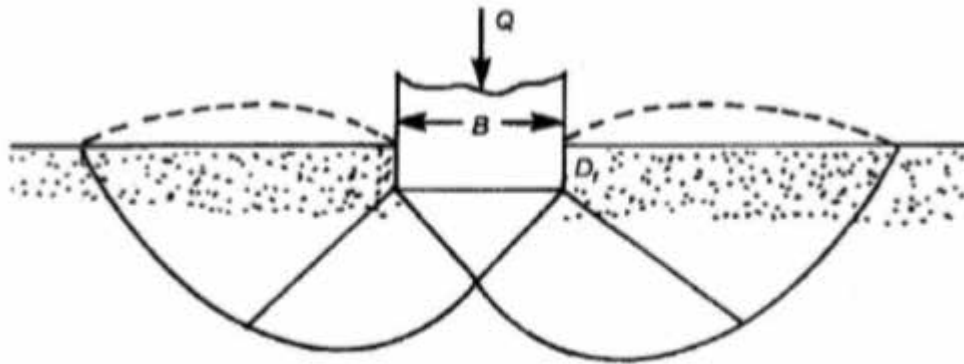
1. Tipos de Falla en Suelos Homogéneos

Se ha establecido que existen tres tipos de falla que ocurren en el suelo cuando la carga supera la capacidad de carga última del suelo. Estas son: falla general por corte, falla local por corte y falla por punzonamiento, y cada una responde a un distinto tipo de suelo.

FALLA GENERAL POR CORTE.

La falla general por corte ocurre en cimentaciones soportadas por arenas densas o arcillas duras. La Figura 1 muestra este tipo de falla. En estos casos, al aumentar la carga, la cimentación sufrirá un asentamiento hasta llegar a la carga última (q_u) en

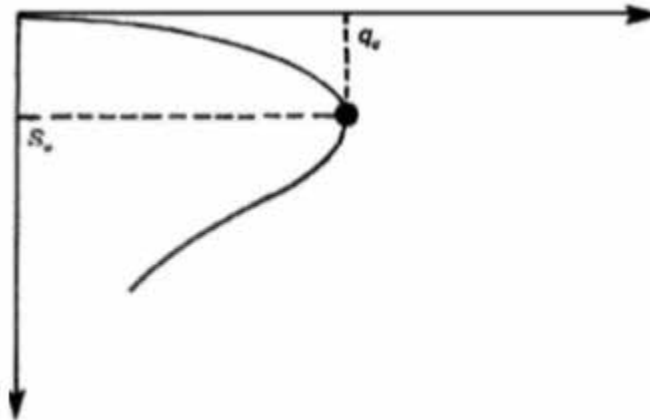
cuyo momento el suelo sufre una falla por corte repentina. La Figura 2 muestra la manera en que se comportaría la curva de carga-aseptamiento en este tipo de falla, como se puede ver, el suelo alcanza una carga última clara.



Mecanismo de Falla General

Figura 1

Fuente: Fratelli



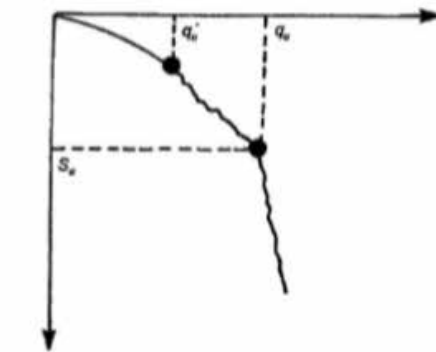
Curva Carga - Asentamiento para Plano de Falla General

Figura 2

Fuente: Fratelli

FALLA LOCAL POR CORTE

La falla local por corte, responde a una arena medio densa y suelos arcillosos medianamente rígidos. En este caso, al aumentar la carga, el suelo se deforma hasta alcanzar un valor de carga q_u' , el cual es menor que la carga última. Luego de alcanzar este valor, al aumentar la carga, la curva carga-asentamiento se vuelve errática hasta alcanzar el valor de q_u , a partir de este punto, la pendiente de la curva se vuelve lineal como se observa en la Figura 3. Se puede notar, que en este tipo de falla, no se alcanza un valor claro de carga última, más bien se obtiene una falla por asentamiento excesivo.



Curva Carga - Asentamiento para Plano de Falla Local

Figura 3

Fuente: Fratelli

FALLA POR PUNZONAMIENTO

La falla por punzonamiento ocurre en arenas sueltas y arcillas blandas. En este caso, como se observa en la Figura 4, la cimentación atraviesa el suelo sin formar una deformación en la superficie. La curva carga-asentamiento no muestra un claro valor de q_u como se observa en la Figura 5.

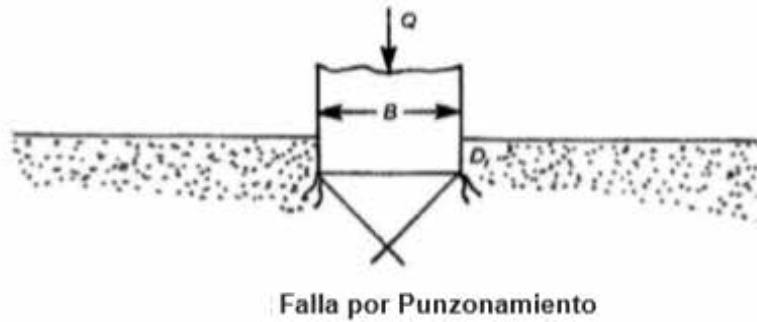


Figura 4
Fuente: Fratelli

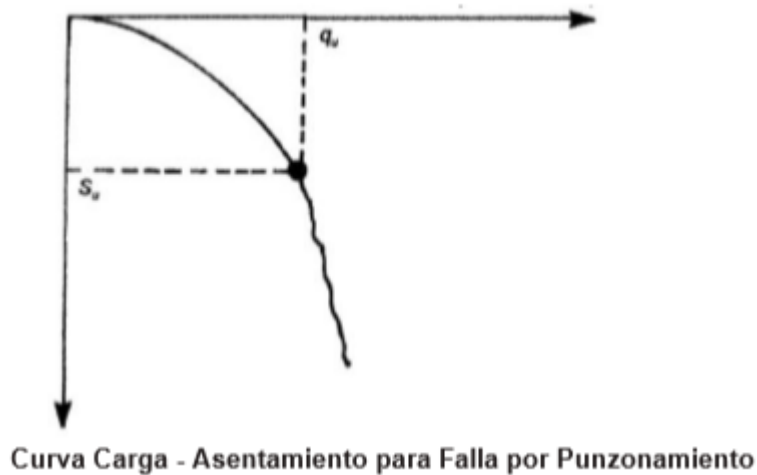


Figura 5
Fuente: Fratelli

2. Tipos de Falla en Suelos Estratificados

Anteriormente se discutió el tipo de falla en suelos que presentan una resistencia de carácter homogénea. En el caso de suelos estratificados se pueden ver dos casos particulares: Suelo Blando sobre suelo Rígido y Suelo Rígido sobre suelo Blando.

SUELO BLANDO SOBRE SUELO RÍGIDO.

En el primer caso, puede ocurrir lo siguiente; en caso de que el suelo blando sea despreciable, deberá ser debidamente reemplazado por un relleno compactado. En caso de que el suelo blando tenga un gran espesor, la falla se dará en el mismo y el mecanismo de falla será el descrito para suelos blandos, sin afectación del suelo rígido. Finalmente, en caso de que el espesor sea intermedio, el suelo blando tendera a estrujarse por un lado, o en otros términos, tendrá una falla local en la parte superior como muestra la Figura 6.

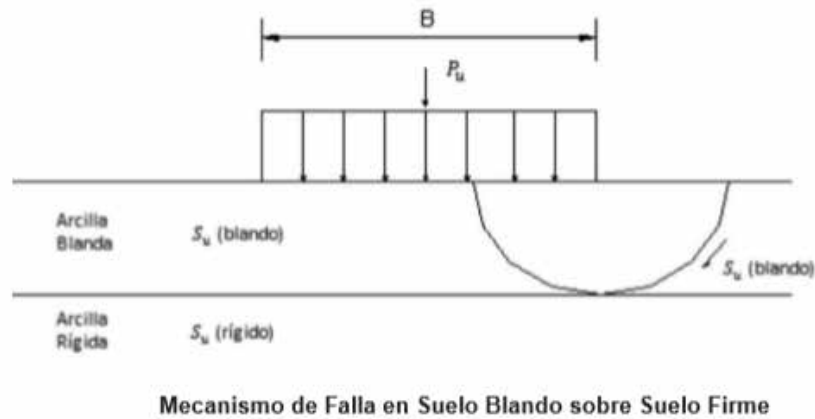


Figura 6

Fuente: Fratelli

SUELO RÍGIDO SOBRE SUELO BLANDO

En este caso, si el suelo rígido es despreciable, el mecanismo de falla se regirá por el comportamiento del suelo blando. En caso de que el suelo rígido tenga un gran espesor, la falla se dará en el mismo y el mecanismo de falla será el descrito para suelos blandos, sin afectación del suelo blando. Finalmente, en el caso intermedio, se puede inferir que la falla atravesara el terreno rígido hacia el blando. Así que en estos casos, se deberá estimar la capacidad última para los dos casos y habrá de determinarse la influencia de cada estrato.

*MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE
CARGA ÚLTIMA*

TERZAGHI, 1948

Para hallar la capacidad de carga última, Terzaghi (1948) propuso una ecuación general para la capacidad de carga de una cimentación superficial continua. Para su derivación, se asume que no existe agua en el suelo, que el ángulo de fricción (ϕ), la forma un plano de falla bajo la cimentación y que este empujará al suelo a los costados permitiendo la penetración de la cimentación. La fórmula general se escribe de la siguiente forma:

—

MEYERHOF (1963)

Sugirió la forma siguiente de la ecuación general de la capacidad de carga, para tomar en cuenta el caso de cimentaciones rectangulares, la resistencia cortante, y la inclinación que pueda tener la carga sobre la cimentación.

—

Donde:

C' = cohesión efectiva (kg/cm^2)

q = esfuerzo efectivo al nivel del fondo de la cimentación (kg/cm^2)

γ = peso específico del suelo (kg/cm^3)

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

F_1 = factores de forma

F_2 = factores de profundidad

F_3 = factores por inclinación de la carga

F_4 = factores de capacidad de carga.

Factores de Capacidad de carga:

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).

—

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

Factores de forma

Para los facto

DeBeer (1970):

— —
—
—

Factores de profundidad

ecuaciones sugeridas por Meyerhof (1963):

Si:

—

Para

Para

Sí;

Para

Factores de inclinación

sugeridas por Meyerhof (1963).

—

MODIFICACION DE LAS ECUACIONES DE LA CAPACIDAD DE CARGA POR NIVEL DE AGUA FREÁTICO

Si el nivel freático está cerca de la cimentación, será necesario modificar las ecuaciones de capacidad de carga, dependiendo de la localización del nivel freático.

CASO I

q en las ecuaciones de capacidad de carga toma la forma.

Dónde:

Además, el valor de γ en el último término de las ecuaciones tiene que ser reemplazado por:

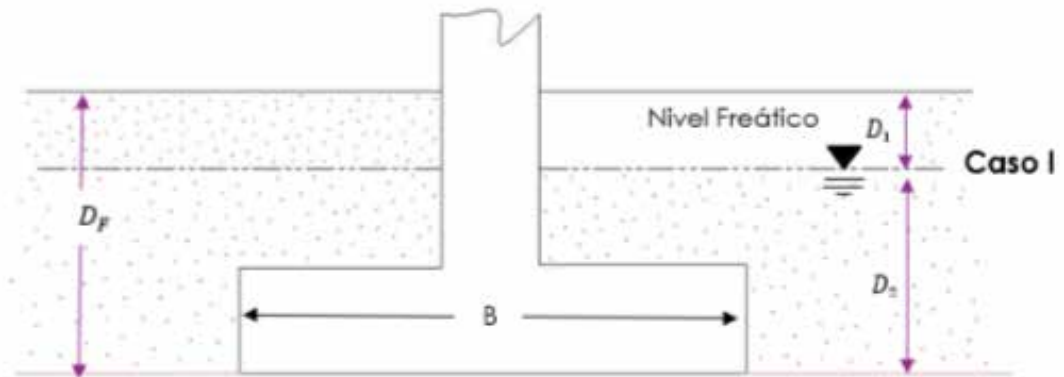


Figura 7

Fuente: Fratelli

CASO II

El factor γ_{sat} en el último término de las ecuaciones de la capacidad de apoyo debe reemplazarse por el factor

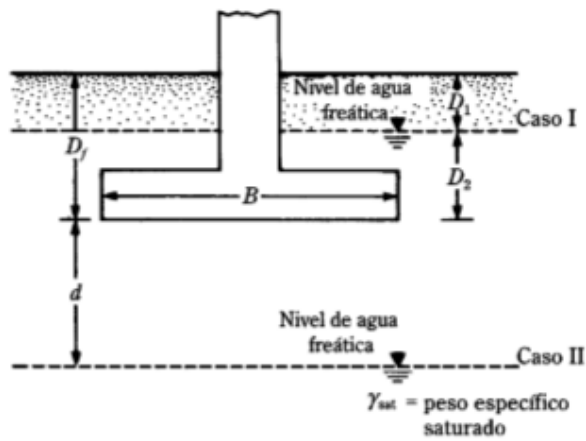


Figura 8

Fuente: Fratelli

Las anteriores modificaciones se basan en la hipótesis de que no existe fuerza de filtración en el suelo.

CASO III

Cuando el nivel a la
capacidad de carga ultima.

FACTOR DE SEGURIDAD.

El cálculo de la capacidad de carga bruta admisible de cimentaciones superficiales requiere aplicar un factor de seguridad (FS) a la capacidad de carga última bruta, o

—

Sin embargo, algunos ingenieros prefieren usar un factor de seguridad de incremento neto del esfuerzo en el suelo

—————

La capacidad de carga última neta se define como la presión última por unidad de área de la cimentación que es soportada por el suelo en exceso de la presión causada por el suelo que la rodea en el nivel de la cimentación. Si la diferencia entre el peso específico del concreto usado para la cimentación y el peso específico del suelo que la rodea se supone insignificante.

Dónde:

Entonces:

—————

El factor de seguridad, puede ser por lo menos de 3 en todos los casos.

EJEMPLO 1

Considerando una cimentación corrida que está construida sobre suelo granular con un ancho de cimentación de $B = 1.2 \text{ m}$ y un nivel de desplante $D_f = 1.2$ 7 kN/ m^3 ; un ángulo de fricción $= 40^\circ$ y una carga última de la cimentación.

—

Sabiendo que $c = 0$ y $B/L = 0$, la ecuación quedaría de la siguiente manera

—

Para $= 40^\circ$,

—

—

—

—

—

—

—

—

Por lo tanto, una vez determinados todos los factores, se reemplaza en la ecuación general;

—

EJEMPLO 2

Para el ejemplo anterior, usando la capacidad de carga última ya calculada. Determinar la carga admisible para una cimentación, si se considera un factor de seguridad de 3.

Calculada la capacidad de carga última, se puede hallar la capacidad de carga admisible, entonces se tiene:

—

Del ejemplo anterior:

—

ESTADO LIMITE DE SERVICIO: ASENTAMIENTOS

El asentamiento total a ser calculado, será el resultado de la suma de los:

- Asentamientos inmediatos.
- Asentamientos por consolidación (primaria y secundaria).

ASENTAMIENTOS INMEDIATOS O ELÁSTICOS

Los asentamientos inmediatos ocurren instantáneamente luego de que la carga es aplicada, y se asume que son elásticos. La deformación para cada elemento puede ser calculada mediante el módulo y la carga actuante en el centro de cada estrato.

La deformación vertical unitaria para cada estrato se calcula de la siguiente manera:

Dónde:

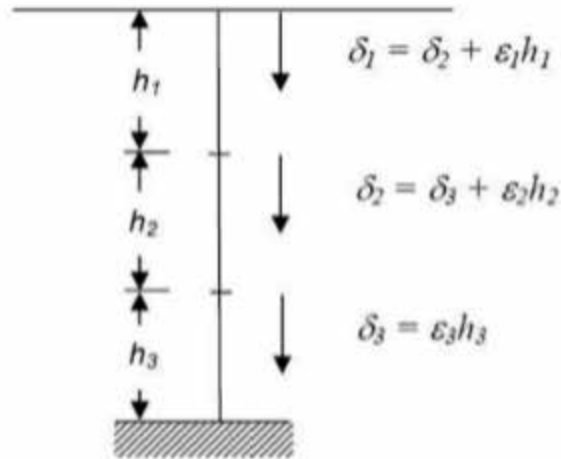
E = módulo elástico del material.

El asentamiento inmediato entonces, es calculado a partir de las deformaciones unitarias. Para cada de estrato, se asume que el punto inferior esta fijo y que el punto superior es el que se desplaza. De esta manera el asentamiento inicial de cada estrato estará dado por:

Dónde:

h = espesor del estrato

El asentamiento total para n número de estratos estaría dado por:



Modelo considerado en el cálculo de asentamientos inmediatos

Figura 9

Fuente: Fratelli

ASENTAMIENTOS INMEDIATOS EN ARCILLAS SATURADAS

El cálculo de asentamiento inmediato se puede estimar mediante la teoría elástica. Janbu, Bjerrum y Kjaernsli (1971) propusieron una ecuación para calcular el asentamiento inmediato mediante gráficas que estiman valores de los coeficientes I_0 y I_1 , los cuales son usados para determinar la ecuación siguiente:

—

Dónde:

iguales a B]

q = esfuerzo de contacto (Carga neta dividida para el área) [Expresado en igual unidad que q]

I_0 = factor de asentamiento adimensional en función de D/B

I_1 = factor de asentamiento adimensional en función de H/B

E_s = módulo de Elasticidad del suelo

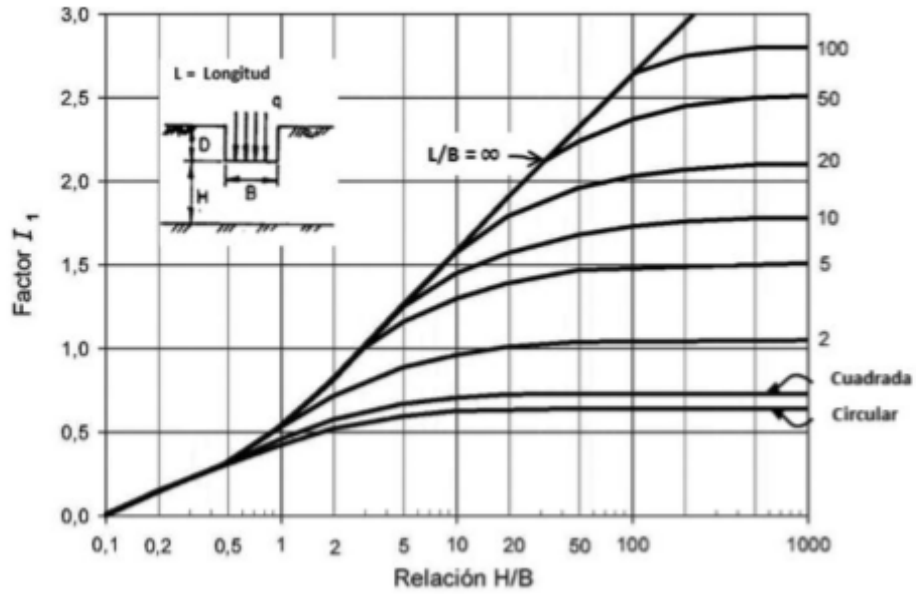
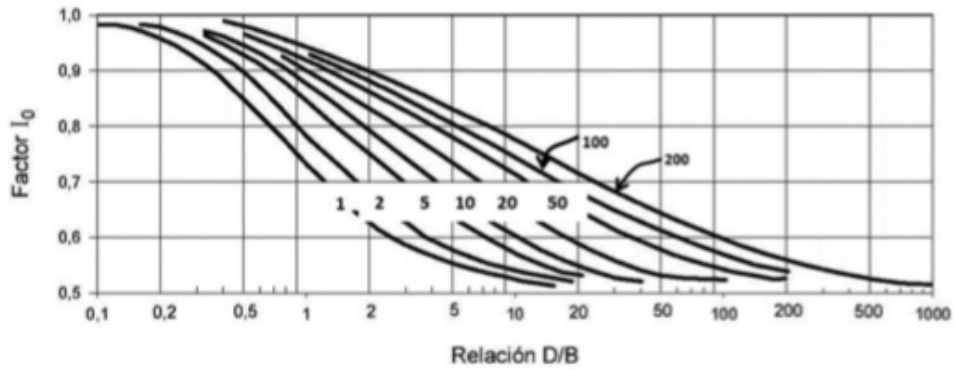


Figura 10

Fuente: Fratelli



Grafica para estimar asentamientos inmediatos de cimentaciones en arcillas

Figura 11

Fuente: Fratelli

ASENTAMIENTOS INMEDIATOS EN ARENA

EL asentamiento de suelos granulares se evalúa usando el factor de influencia semi-empírico propuesto por Schmertmann y Hartman (1978), de acuerdo con este método la ecuación de asentamiento sería:

c_1 = factor de corrección para la profundidad del empotramiento de la cimentación

c_2 = factor de corrección para tomar en cuenta el flujo plástico en el suelo

q = esfuerzo a nivel de la cimentación

I_z = factor de influencia de la deformación unitaria.

La variación del factor de influencia de la deformación unitaria con la profundidad, debajo de la cimentación lo muestra la Figura 12

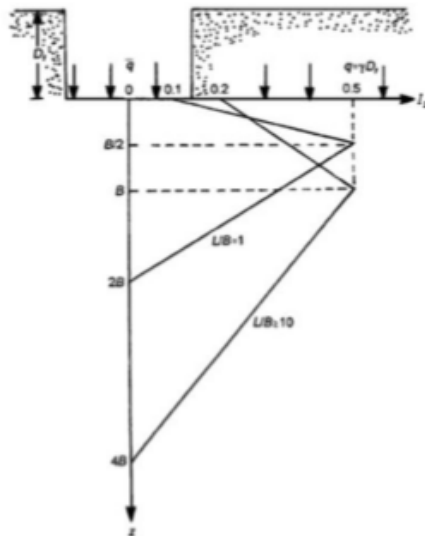


Figura 12 Variación de I_z versus z

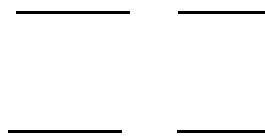
Fuente: Braja M. Das

ASENTAMIENTOS POR CONSOLIDACIÓN PRIMARIA

Hay dos componentes de asentamiento que contribuyen al asentamiento total por consolidación de las arcillas blandas: asentamiento por consolidación primaria

consolidación es un proceso tiempo-dependiente que ocurre debido al drenaje del agua de poros, el cual ocurre durante el incremento del esfuerzo efectivo en el suelo. A menudo, la velocidad de este tipo de asentamiento es estimada por la Teoría de Terzaghi para la consolidación por $c = c_f$ (donde c_f es el grado medio de

donde t_p es el tiempo hasta alcanzar el fin de la Consolidación Primaria, EOP). R_r y C_r son la relación de recompresión y la relación de compresión virgen $e - \log \sigma'_v$).



Dónde:

C_r = índice de recompresión

C_c = índice de compresión

e_o = relación de vacíos inicial o in situ.

Velocidad de Consolidación Primaria Terzaghi definió un coeficiente de consolidación vertical (C_v) que controla el proceso de consolidación y es de hecho una función de los parámetros de permeabilidad y compresibilidad:

$$C_v = \frac{k}{\gamma_w c_v}$$

Dónde:

k = coeficiente de conductividad hidráulica (permeabilidad)

= esfuerzo efectivo de consolidación

CR = la relación de compresión de la ecuación

El tiempo de asentamiento se puede definir con la siguiente formula

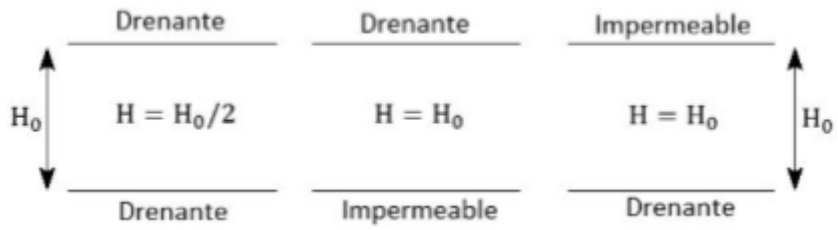


Figura 13. Esquema de altura de drenaje

Fuente: Fratelli

El TU se puede estimar utilizando el siguiente gráfico:

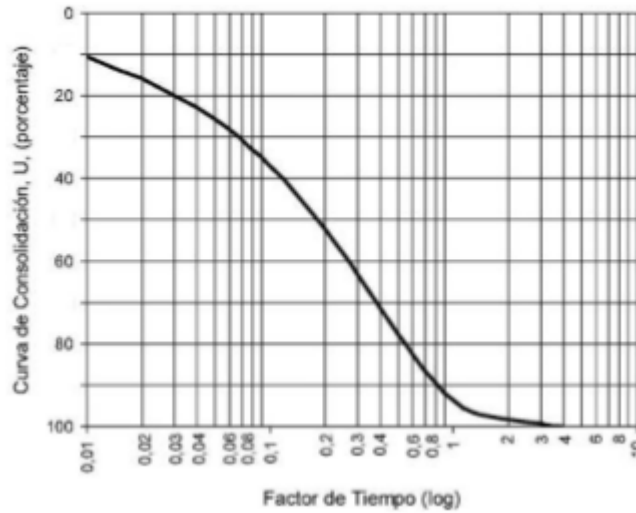


Figura 14. Curva para estimar el factor por tiempo, TU

Fuente: Fratelli

DISEÑO ESTRUCTURAL

Desde el punto de vista estructural, las placas de fundación son similares a entrepisos invertidos, donde las cargas distribuidas resultan las reacciones del suelo, actuando de abajo hacia arriba, y las columnas y muros actúan como apoyos puntuales o lineales.

Cuando las condiciones del subsuelo lo exigen, las placas de fundación deben apoyar sobre pilotes, con espesor suficiente para actuar simultáneamente como cabezales, enlazando los extremos superiores de los mismos. En forma similar al caso de las bases aisladas, la distribución de las presiones de contacto de las placas de fundación con el suelo, apoyadas en terrenos de diferente característica. Para el diseño de las placas de fundación, son asimismo aceptables las hipótesis simplificativas para las bases aisladas.

En general, el espesor de las placas de fundación queda determinado por su resistencia a corte y punzonado, especialmente cuando las columnas están ubicadas cerca de los bordes, pues en este caso el perímetro de punzonado se reduce considerablemente. La tracción diagonal debida al corte y punzonado será resistida únicamente por el concreto, por lo cual la altura de las placas es usualmente elevada, y la rigidez se incrementa consecuentemente.

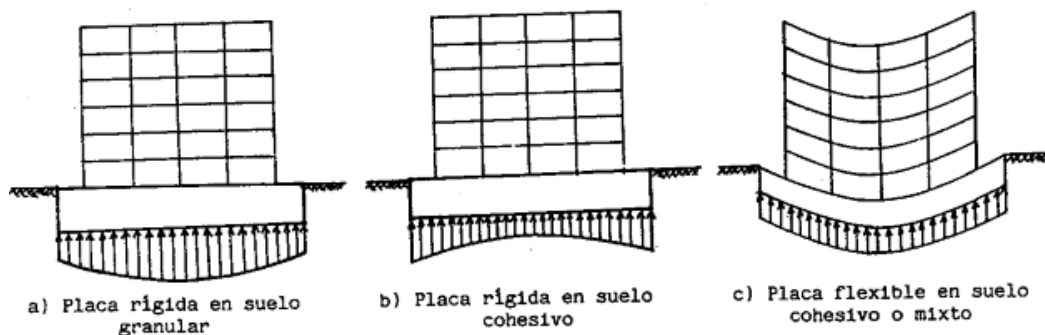


Figura 15: Distribución de presiones bajo placas de fundación

Fuente: Fratelli

Cuando el espesor de las placas se ve limitado por alguna razón constructiva o económica, se deberá colocar armadura especial para absorber los esfuerzos de corte y punzonado, o colocar nervios longitudinales o cruzados conectando las columnas.

En las placas delgadas sin nervios, se puede evidenciar una excesiva deformación por ser más flexible, especialmente en las proximidades de las columnas, debido a la concentración de esfuerzos por flexión y corte, la cual se hace más notable en los suelos blandos.

Las placas de fundaciones se pueden clasificar en:

- a) Placas directas
- b) Placas flotantes

PLACAS DIRECTAS

Las placas directas son las que apoyan sobre el terreno, toda su área en planta, a cualquier profundidad, sin tomar en cuenta el volumen de tierra excavada para la cimentación. Por lo tanto, pueden ser superficiales o profundas, sin que la cota de apoyo sea considerada como un parámetro que afecta el comportamiento del suelo.

FUNDACIONES FLOTANTES

Son las que se basan en la técnica de la flotación, que consiste en ubicar la placa a una profundidad tal que el peso del suelo excavado iguale el transmitido por el cimiento. En consecuencia, los únicos asentamientos que se tomaran en cuenta son los debidos a la recompresión del suelo luego de expandirse durante la excavación.

A las placas flotantes se les conoce también por cimientos de sustitución. La flotación de las placas puede ser total, cuando se sustituye globalmente el peso del suelo excavado por el de la placa cargada, o parcial. La flotación parcial es el resultado de una compensación en un cierto porcentaje del total del peso de la tierra sustituida por la carga de la losa o placa.

La flotación total se basa en el principio de flotación de un barco, el cual desplaza igual peso de agua que el propio, de modo que las presiones a cualquier profundidad en el agua bajo el barco son las mismas, independientemente de la presencia de este.

En las placas flotantes, sin embargo, se debe tomar la precaución de que el peso de la superestructura y propio de la placa sea uniforme en toda el área de apoyo, para que produzca el mismo efecto de la tierra removida. El problema se complica, no obstante, en aquellos suelos con nivel freático alto, donde es necesario ir desagotando el terreno con equipos de bombeo a medida que se va excavando, y luego impermeabilizar perfectamente la placa y los sótanos del edificio, la excavación ininterrumpida del agua subterránea, sin embargo, puede causar serios asentamientos y daño a las construcciones vecinas, lo cual afecta la estabilidad del conjunto. Por lo tanto, las fundaciones de placas flotantes solo se aconsejan en suelos secos o con nivel freático muy profundo. Otro problema que se presenta es la determinación de la magnitud de los esfuerzos de reacción del suelo para el diseño de la placa, y la cuantificación de los asentamientos debido a la compactación que origina el bombeo del agua subterránea.

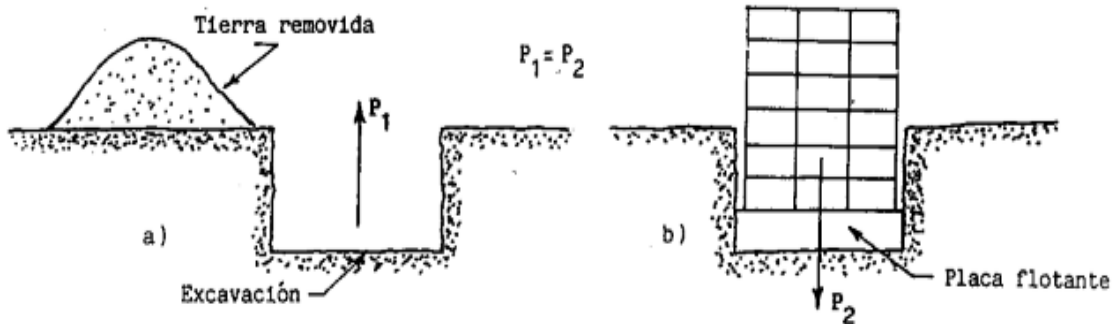


Figura 16: Flotación

Fuente: Fratelli

Por otra parte, las placas de fundación se pueden clasificar según:

- Su sección transversal
- Su forma en planta
- El tipo de sollicitación
- Las cargas que soportan
- La rigidez estructural

Según la sección transversal de las placas, se distinguen:

- 1) Las placas macizas
- 2) Las nervadas
- 3) Las de tipo cajón

PLACAS MACIZAS

Las placas macizas son las más simples, con espesor uniforme entre 0,75 y 2 m de altura, y armadas en dos direcciones ortogonales en forma ininterrumpida, en su borde superior e inferior.

Generalmente las columnas y muros que apoyan en las placas se alinean perpendicularmente entre sí, si bien es posible que también se distribuyan aleatoriamente. En todos los casos se debe verificar que las cargas transmitidas no superen los esfuerzos admisibles del suelo, ni los esfuerzos límites en las secciones de concreto armado, por flexión, corte y punzonado.

Cuando estos esfuerzos en el concreto son excesivos, en las placas macizas se pueden buscar soluciones alternas, entre las cuales se mencionan:

- a) Aumentar la altura útil de la placa
- b) Colocar pedestales en la base de las columnas
- c) Ensachar la base de las columnas en forma de campana
- d) Acartelar la placa en el plano inferior de la fundación, bajo las columnas
- e) Armar la placa con acero a corte y punzonado en la placa.
- f) Construir una placa nervada, con vigas conectando las columnas en el borde superior de la placa.

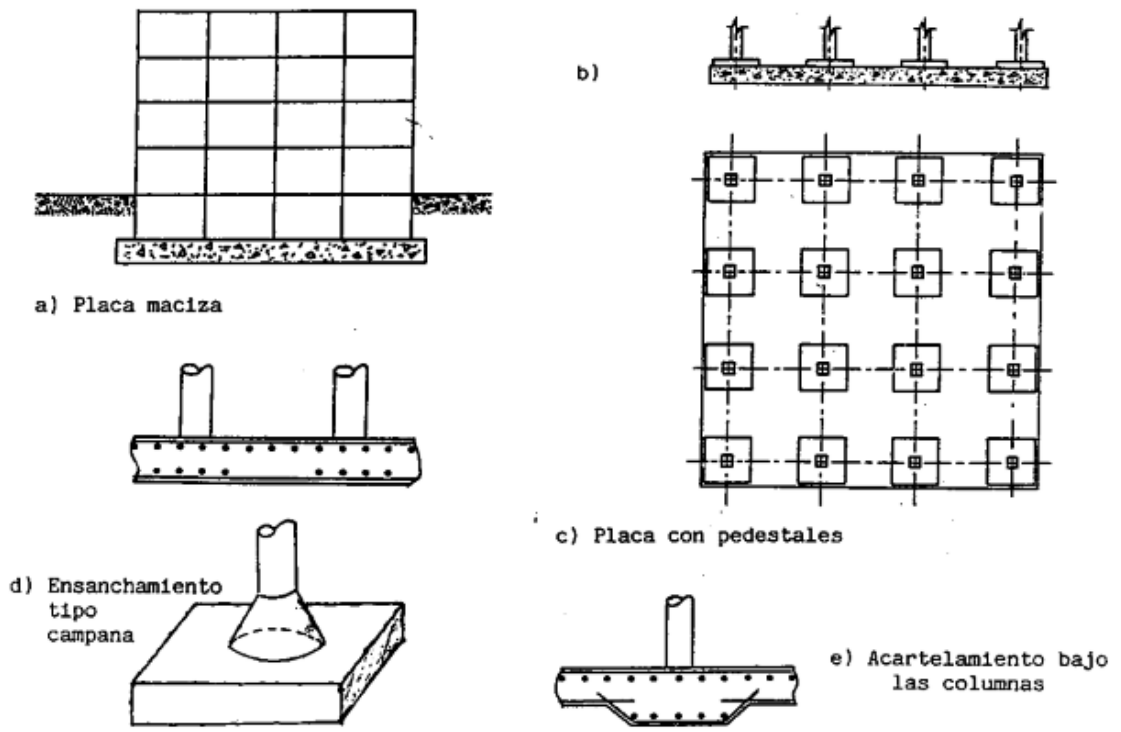


Figura 17: Soluciones alternativas con esfuerzos excesivos

Fuente: Fratelli

PLACAS NERVADAS

Las placas nervadas son las que presentan nervios o viga conectando las columnas, con lo cual se logra incrementa la rigidez de la fundación. Los nervios pueden ubicarse junto al borde inferior o superior de la placa, pero generalmente este último caso es más usual. Los nervios pueden ser unidireccionales o colocados en forma de cuadrícula, ortogonalmente.

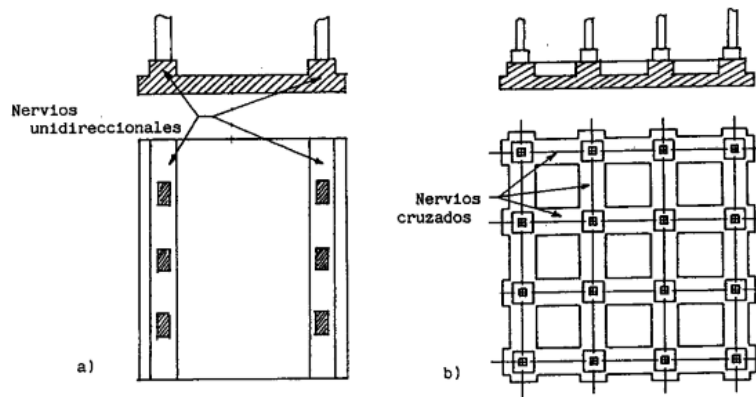


Figura 18: Placas nervadas

Fuente: Fratelli

En el primer caso, la fundación trabaja como una losa transversalmente apoyada en las dos vigas paralelas, es decir, según su luz más corta. A su vez, las vigas longitudinales resultan de forma en T invertida, apoyada en las columnas y solicitadas por la reacción del suelo.

En el segundo caso, los nervios ortogonales trabajan bidireccionalmente como un entramado y dividen la superficie total de la placa en áreas parciales de dimensiones más reducidas. En ambos casos, la presencia de nervios conectando el pie de las columnas elimina el peligro de punzonado en la placa. En el caso a), sin embargo, los esfuerzos por corte suelen controlar el diseño.

Cuando se desea construir una placa muy rígida, que minimice o anule los asentamientos diferenciales, especialmente en suelos débiles y compresibles, o con defectos en el subsuelo, se utilizan placas de fundación en forma de cajón, las cuales permiten aumentar considerablemente la inercia del conjunto con peso reducido, ya que están formadas por placas delgadas rígidamente vinculadas en los nodos, formando vanos interiores que se pueden utilizar como sótanos.

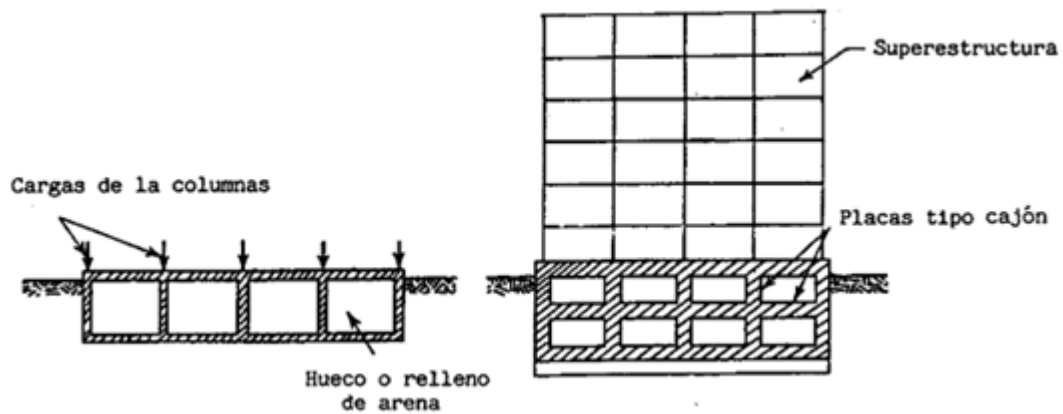


Figura 19: Fundación tipo cajón

Fuente: Fratelli

Según su forma en planta

Esta responde a las necesidades estructurales del edificio y al espacio disponible, si bien por lo general se las diseña cuadradas o rectangulares. En ciertos casos, sin embargo como silos, chimeneas o torres de planta circular, se adopta la forma circular o poligonal concéntrica, para adaptarse mejor al comportamiento del conjunto.

Tipo de solicitación

Las placas resisten las cargas en sentido bidireccional, por lo cual se las arma en forma cruzadas (ver figura). Si trabajan como losas, en forma unidireccional, (ver figura) la armadura principal es siempre la ubicada en dirección ortogonal a las vigas longitudinales que conectan las columnas.

Las cargas que soportan

Las cargas que actúan sobre las placas e fundación pueden ser estáticas o dinámicas. Las primeras son debidas al peso propio y sobrecargas fijas de la superestructura y las dinámicas al viento, sismo, impactos, paso de vehículos, vibraciones de maquinarias, etc.

Las cargas estáticas pueden ser puntuales, como en el caso de las columnas, o lineales, como en los muros, según su eje longitudinal (ver figura). Las reacciones del

suelo serán siempre distribuidas uniformemente en forma lineal, en toda el área de la fundación.

La rigidez estructural.

Según la rigidez relativa de una placa de fundación con respecto al suelo donde apoya, las placas de fundación se clasifican en:

- Placas rígidas.
- Placas flexibles.

PLACAS RIGIDAS

Para las placas rígidas, la distribución en el suelo de fundación de las reacciones resulta uniforme o lineal, con un área comprimida que depende de la ubicación del centro de presiones con respecto al baricentro de la base. En las placas rígidas, la deformación propia no afecta la distribución de estas presiones, y la única deformación que se toma en cuenta es la del suelo al ser comprimido por las cargas debidas a la superestructura.

Las placas macizas pueden resultar rígidas o flexibles, dependiendo de su espesor, de la distancia entre columnas, y de la magnitud de las cargas que estas transmiten a la placa. Para que sean rígidas se deben cumplir ciertas condiciones, entre las cuales se enumeran:

- El estado de sollicitación debe estar controlado por el corte o el punzonado.
- El espesor de la placa debe ser tal que el concreto solo, resista los esfuerzos tangenciales, sin la colaboración de acero de refuerzo por corte.
- Las cargas entre columnas adyacentes no varíen en más del 20% entre sí.
- El espaciamiento entre columnas adyacentes no varíe en más del 20% y sea inferior a:

—

Donde b es el ancho de la columna y L_e se obtiene:



El método usual de diseño de las placas rígidas con columnas doblemente alineadas que cumplen con las condiciones precedentes es el método de las franjas, donde B resulta el ancho de banda obtenido del área tributaria entre filas de columnas adyacentes y K el módulo de balastro. E_c es el módulo de elasticidad del concreto e I el momento de inercia de la sección transversal de la franja.

La resultante de las cargas de las diferentes columnas que apoyan en la placa central de la base para que la placa de fundación se halle totalmente comprimida. Si el centro de presiones coincide con el baricentro mencionado, la distribución de las presiones de contacto resulta uniforme en toda el área de apoyo y se cumple:

$$\text{— Ec.1}$$

Si el centro de presiones no coincide con el baricentro de la placa, pero está contenido en el núcleo central, los esfuerzos en el suelo de fundación, bajo la placa se obtienen:

$$\text{— Ec.2}$$

B_x y B_y son los lados en planta de la placa de fundación y las excentricidades de la resultante de la carga en la base.

En general se exige que toda área de la placa se halle comprimida bajo acción de las cargas estáticamente aplicadas. Se exceptúa el caso de las cargas de sismo, para las cuales se permite que hasta el 25% del área en planta de la base se halle traccionada,

En las placas de fundación nervadas, la rigidez se incrementa por la presencia de las vigas que conectan las columnas.

Cuando los nervios de la placa son cruzados, forman un entramado que divide el área en placas parciales más pequeñas, las cuales pueden ser resueltas aplicando cualquier método convencional de resolución, tales como el del ACI, el del CEB o el método de Marcus Loser.

Cuando existen fallas potenciales en el subsuelo, o se prevean asentamientos diferenciales de importancia bajo columnas muy cargadas, es aconsejable el uso de placas de fundación en forma de cajón, las cuales se resuelven como pórticos hiperestáticos vinculados.

DISEÑO DE UNA LOSA DE FUNDACION MACIZAS.

METODO DE LAS FRANJAS

El método de las franjas se aplica para resolver placas macizas rígidas, con columnas alineadas ortogonalmente que cumplen con las exigencias ya antes mencionadas. Para ello, se divide la placa en bandas o franjas definidas por las líneas medias que separan las diferentes filas de columnas y las analiza como bases continuas independientes.

*EL PROCESO DE APLICACIÓN DEL MÉTODO DE LAS
FRANJAS PARA EL DISEÑO DE LAS PLACAS DE FUNDACIÓN
MACIZAS ES EL SIGUIENTE:*

- 1) Verifique que las columnas estén alineadas en ambas direcciones.
- 2) El espaciamiento entre columnas adyacentes no debe diferir en más del 20%

- 3) Las cargas de las columnas adyacentes no debe superar el 20% de diferencia, con respecto a la más cargada
- 4) Ubique el centro de presiones de la resultante de las cargas y momentos de las columnas, en régimen de servicio.

— Ec.3

- 5) Defina el área requerida en planta de la base:

— Ec.4

- 6) Determine las dimensiones necesarias haciendo coincidir el centro de presiones hallado con el baricentro de la base. Si por razones de espacio en planta esto no fuera posible, en el primer caso tendrá una distribución uniforme de esfuerzos en el suelo, y en el segundo, una distribución lineal, con los esfuerzos en los vértices dados en la ecuación... 10,2
- 7) Mayorar las cargas de las columnas. Cuando en el análisis se desconoce la magnitud de las cargas parciales permanentes y accidentales, en régimen de servicio, para mayorarlas se utiliza un factor de mayoración global igual a 1,6.
- 8) Halle la reacción ficticia mayorada del suelo:

— Ec.5

A es el área total en planta de la placa. La ecuación 5 es aplicable cuando el centro de presiones de la resultante de las cargas mayoradas coincide con el

la

siguiente ecuación:

— — — Ec. 6

- 9) Divida la placa en franjas, con rectas equidistantes de las columnas en ambos sentidos ortogonales. Cada una de las franjas se analizara independientemente.

10) En cada franja, ajuste el valor de las cargas y reacciones de modo que se cumpla:

$$s \quad \text{Ec.7}$$

11)

12) Adopte una altura útil "d" de modo que resulte una sección dúctil en flexión y el concreto solo, pueda resistir los esfuerzos de corte y punzonado, para cualquier franja.

13) Verifique la rigidez de la placa. Para ello calcule la longitud elástica ficticia L_e en cada franja de ancho B:

$$\frac{\text{---}}{\text{---}} \text{Ec.9}$$

(Leer K de tabla)

Para que el espaciamiento S entre ejes de columna cumpla:

$$- \quad \text{Ec. 10}$$

14) Halle el área de acero de la armadura resistente en las dos direcciones ortogonales y verifique acero mínimo y longitud de adherencia y anclaje de las barras. Verifique asimismo los esfuerzos de aplastamiento en el área de contacto de las columnas y la placa.

15) Calcule el peso propio de la base y la tierra de relleno, de modo que resulte

EJEMPLOS DE DISEÑO DE UNA PLACA DE FUNDACION MACIZA APLICANDO EL METODO DE LAS FRANJAS

EJEMPLO

Diseñe la placa de fundación maciza, aplicando el método de las franjas.

$$F'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$$

$$Fy = 3500 \text{ Kg/cm}^2$$

Profundidad de la fundación: 2,8 m

$$\gamma_s = 1800 \text{ Kg/m}^3$$

Las cargas de las columnas son:

Columnas 1 y 4

Columnas 2 y 5

Columnas 3 y 6

$$CP = 60t$$

$$CP = 80t$$

$$CP = 90t$$

$$CV = 70t$$

$$CV = 70t$$

$$CV = 90t$$

Verificar si se cumple:

- 1) Las columnas están alineadas en ambas direcciones. OK!
- 2) El espaciamiento entre las columnas no difiere en más del 20%.
 $20\% \text{ de } 4,2 = 0,84$
 $20\% \text{ de } 5 = 1$
 $5 - 4,2 = 0,8$
OK!
- 3) Las cargas de las columnas adyacentes no difiere en más del 20%.
 $C1 \text{ y } C4 = 130t \quad 20\% = 26$
 $C2 \text{ y } C5 = 150t \quad 20\% = 30$
 $150 - 130 = 20 \text{ OK!}$
 $C2 \text{ y } C5 = 150t \quad 20\% = 30$
 $C3 \text{ y } C6 = 180t \quad 20\% = 36$
 $180 - 150 = 30 \text{ OK!}$
- 4) Se ubica el centro de presiones.

5) El área requerida en planta es:

6) Se determinan las dimensiones en planta, dejando a los lados de las columnas extremas, volados de 75 cm. Por geometría resulta.

$$B_x = 10,7 \text{ m}$$

$$B_y = 6 \text{ m}$$

$$A = 64,2 \text{ m}^2$$

El centro de presiones está dentro del núcleo central de la base, con excentricidad:

$$x = 4,6 - 4,23 = 0,$$

Por tanto, las distribuciones de las presiones de contacto con el suelo de fundación resultan lineales.

7) Las cargas mayoradas de las columnas se obtienen:

$$P_{u1} = 203 \text{ t}$$

$$P_{u2} = 231 \text{ t}$$

$$P_{u3} = 279 \text{ t}$$

El centro de presiones en este caso de carga mayoradas resulta:

$$x_u = 36 \text{ cm}$$

8) Los esfuerzos mayorados en el suelo de fundación se calculan:



$$\max = 2,67 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\min = 1,77 \text{ Kg/cm}^2$$

9) Se divide la placa en franjas, según rectas equidistantes de los ejes de las columnas. Se obtienen dos franjas horizontales simétricas y tres verticales. Cada una de ellas se analizara en forma independiente.

10) se analiza una de las franjas, por ejemplo la franja 4 horizontal.

$$q_{u1} = 1,77 * 300 = 531 \text{ Kg/cm} \quad q_{u2} = 2,67 * 300 = 801 \text{ Kg/cm}$$

Para facilitar el diseño, se adopta un valor promedio de q_u :

$$q_u = (531 + 801) / 2 = 66,6 \text{ t/m}$$

Se trazan los diagramas de momento y corte mayorados. Para mayor seguridad, se adopta el máximo M_u^- .

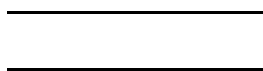
11) Se elige una altura útil: $d = 80 \text{ cm}$

Se verifica a corte y flexión en la franja analizada. El corte máximo a distancia d de la cara de columna es $V_u = 162,5t$.

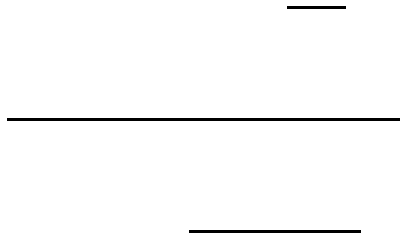


$$7,96 < 8,38 \quad \text{Cumple}$$

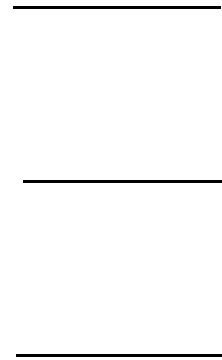
Por flexión, el d necesario es:



Verificación a punzonado:



Se necesitan los tres valores de V_u



En todos los casos resulta:

—

Correcto!

12) Se verifica la rigidez de la franja:

—

Sustituyendo:

Valor de k según tabla:

TIPO DE SUELO		K (Kg/cm ³)
Densidades compactadas	Gravas	
	Buena granulometría	13 a 20
	Granulometría mediana	12 a 18
	Granulometría pobre	11 a 13
	Arenas	
	Buena granulometría	10 a 12
	Granulometría mediana	8 a 11
	Granulometría pobre	7 a 9
	Arenas arcillosas	5 a 8
	Arenas limosas	3 a 7
Densidades no compactadas	Arcillas y limos	
	Poco compresibles	2 a 6
	Limos y suelos orgánicos	
	Compresibles	1 a 3
	Arcillas y limos	
Compresibles	0,7 a 2	
Muy compresibles	0,5 a 1,5	
Densidades no compactadas	Suelos orgánicos	
	Compresibles	0,3 a 1

Tabla 1: Valor del factor K Según el tipo de suelo

Fuente: Maria Graciela Fratelli

K = 4



La separación S entre ejes de columnas cumple:

—

El proceso debe repetirse en forma similar para cada franja de la placa. Por ejemplo, para a franja central, de ancho 4,6 m se obtiene:

En este caso sin embargo no se cumple la ecuación 7 por lo cual se debe ajustar el valor de las cargas y reacciones para que exista equilibrio estático.

Carga promedio:

Se adopta:

Se cumple por lo tanto:

En esta franja, al igual que en todas las restantes, se verifica a flexión y corte en forma similar a la anterior.

13) Diseño de la armadura resistente en las diferentes franjas. Una simplificación consiste en calcular el acero en la franja más cargada, y armar toda la placa uniformemente. Si bien resulta algo más costoso. Por ejemplo para la franja horizontal 4:7



Resulta:

14) comienzo del diseño.

Peso de la placa de base:



PLACAS CON NERVIOS UNIDIRECCIONALES.

Cuando los nervios o viga que conectan las columnas se colocan solo en una dirección, la placa de fundación se transforma en una losa trabajando en el sentido corto de la luz. En forma similar al caso de las placas macizas, para que las

losas resulten rígidas la sollicitación que controla el diseño debe ser el corte, resistido únicamente por el concreto. Los nervios continuos forman vigas T invertidas con la losa de apoyo como ala, y se diseñaran como bases corridas independientes, en su ancho tributario.

Este ancho tributario corresponde a la mitad de las luces que separan los nervios adyacentes de la placa. Ver figura 30. El nervio que conecta las columnas debe tener un ancho b_w no menor al lado mayor de las columnas de esa fila, para asegurar la rigidez del conjunto.

El dimensionado de este tipo de losas y viga T. Como la viga esta sollicitada a momentos positivos y negativos en sus diferentes tramos, es conveniente diseñarla como rectangular de ancho b_w .

Las losas de la fundación se diseñan en la forma usual, como continua, apoyada en los nervios longitudinales, y de ancho unitario. Se debe verificar, al igual que en las placas macizas analizadas, que el centro de presiones de la resultante de las cargas se ubique lo más cercano posible al baricentro de la base. El corte critico en la losa se halla a distancia d de la cara del nervio de la viga.

Para facilitar el diseño, es aceptable obtener los momentos flectores en las losas mediante las envolventes.

PLACAS FLEXIBLES

Cuando las placas de fundación no cumplen con las condiciones de rigidez estipuladas, se comportan como flexibles. Para su resolución, se deben aplicar métodos especiales, entre los cuales se puede mencionar:

- El método aproximado de diseño.
- El método de las diferencias finitas.
- El método de los elementos finitos.

MÉTODO APROXIMADO

El método aproximado de diseño supone que el suelo está formado por un conjunto infinito de resorte individuales e independientes entre sí, cutas constantes

elásticas corresponden al coeficiente de reacción del suelo, o módulo de balastro K, el cual representa la relación existente entre la presión ejercida contra la placa y el asentamiento producido en un determinado punto del suelo.

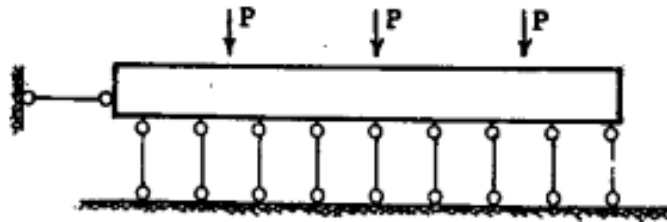


Figura 31

Fuente: Fratelli

Por lo tanto, la placa se comporta como apoyada en un medio elástico, cuya resolución matemática exacta es muy compleja, por lo cual se deben aplicar hipótesis simplificativas a los fines de diseño. La norma ACI 436 propone un método aproximado de diseño para placas de fundaciones flexibles, cuya aplicación requiere seguir los siguientes pasos:

1. Determinar la altura útil de la placa, como si fuera rígida.
2. Determinar la rigidez D de la placa:

$$\text{-----} \quad \text{Ec. 11}$$

son del concreto

3. Hallar el factor de rigidez efectiva L:

$$\text{-----} \quad \text{Ec. 12}$$

El cual es válido en un radio de influencia de $4L$ alrededor de cada columna

4. Leer la magnitud de los factores Z y Z' debidos a Hetenyi (1946) del grafico de la figura ...
5. Calcular los momentos radiales y tangenciales usando las siguientes ecuaciones:

$$- \quad \text{---} \quad \text{Ec.13}$$

$$- \quad \text{---} \quad \text{Ec.14}$$

6. Hallar el valor del corte por unidad de ancho:

$$\text{---} \quad \text{Ec. 15}$$

7. En las placas flexibles, el asentamiento bajo las columnas se obtiene:

$$\text{---} \quad \text{Ec.16}$$

Y la distancia r de la columna:

$$\text{---} \quad \text{Ec.17}$$

la deflexión o corrimiento normal al plano medio inicial de la placa, en un punto de coordenadas x e y . Cuando la placa es ortótropa, la ecuación 18 Adopta la forma:

$$\text{---} \quad \text{---} \quad \text{---} \quad \text{Ec.19}$$

Integrando estas ecuaciones diferenciales de acuerdo con las diversas condiciones posibles de sustentación de los bordes de la placa, se obtiene los valores de :

$$\text{Ec.20}$$

De la superficie media deformada, lo cual permite conocer la magnitud de los momentos flectores, los momentos torsores y los esfuerzos tangenciales en la placa que se analiza. Algunas de estas soluciones se han logrado expresando la carga en términos de doble serie sinusoidal, pero en general la integración de estas ecuaciones es laboriosa aun para los casos más sencillos. Por ello, para determinar la capacidad resistente de una placa en forma más directa, se ha propuesto el método de las diferencias finitas que permite transformar las ecuaciones precedentes en otra ecuación del tipo:

$$\text{---} \quad \text{Ec.21}$$

Que se aplica en los vértices de cuadrados que forman una grilla rodeando al punto central A que se analiza. La reacción del suelo elástico se considera así como la de un resorte aplicado en cada uno de los nodos.

Como resultado, se plantea un sistema de ecuaciones simultáneas que cubren toda el área en estudio. Obviamente, el método exige el uso del computador. Entre los inconvenientes que presenta este método, sin embargo, está el hecho de que se deben tomar en consideración todas las condiciones de borde o frontera, lo cual exige el uso de un elevado número de rutinas, especialmente cuando la placa presenta huecos o discontinuidades.

También la resolución de las placas mediante el método de las diferencias finitas se complica si existen pares en los nodos, pues en este caso las ecuaciones 18 resultan muy complejas.

La grilla que se muestra en la figura 33 puede en algunos casos especiales tener lados desiguales, para ello asimismo incrementa las dificultades de resolución.

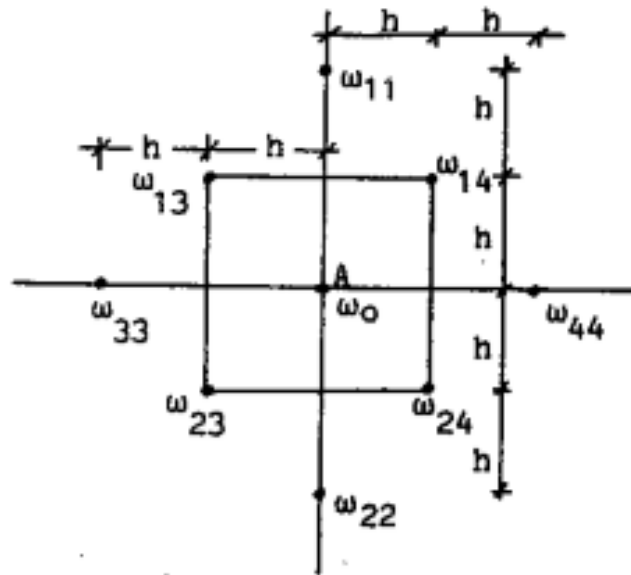


Figura 33

Fuente: Fratelli

METODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS.

Este es el método más usado para la resolución de los problemas del método continuo. El concepto básico de este método, cuando se lo aplica a problemas de análisis estructural, es que el medio continuo puede ser subdividido en regiones o elementos ponderables, en cada uno de los cuales el comportamiento puede describirse por un conjunto de funciones que representan el estado tensional o de desplazamiento de esa región.

En estas subregiones, las propiedades del elemento se plantean con funciones de interpolación, las cuales deben satisfacer las condiciones de equilibrio y

compatibilidad de sus propiedades elásticas. Estas funciones escogidas son aproximadas, por lo cual el método de los elementos finitos resulta una aproximación numérica a la solución del método continuo.

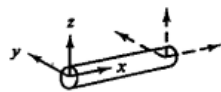
Como el número de variables en el medio continuo es infinito, una forma de simplificar el problema es usar funciones de desplazamiento en puntos discretos del sólido, de modo de mantener la continuidad del medio deformable. El sólido en estudio puede ser una barra estructural, un entramado, un pórtico, una membrana, un muro, una placa de fundación, una presa, un cabezal de pilotes, etc.

En los problemas prácticos de ingeniería estructural, el método de los elementos finitos requiere el planteo y solución de un sistema de ecuaciones algebraicas que involucre la totalidad del medio continuo, y las matrices resultantes de esta operación se resuelven mediante la ayuda del computador digital. Cuando el número de incógnitas es muy grande, se pueden aplicar métodos de condensación matricial para reducir el ancho de banda.

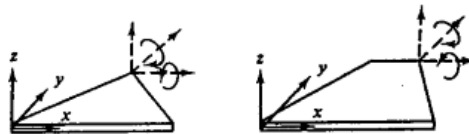
La especial ventaja de este método es la facilidad de programación, debido a su posibilidad de automatización en el proceso de plantear las ecuaciones para resolver el sistema cuando es altamente hiperestático, o bien en el caso de estructuras irregulares o complejas, bajo cualquier condición de carga.

También es muy útil cuando las estructuras presentan huecos discontinuidades, bajo heterogéneas condiciones de borde o apoyo. Pueden usarse diferentes tipos de elementos finitos, como muestra la figura 34. Una barra aislada como la del esquema a), se utiliza, al conectarla con otras similares, para la resolución de cerchas planas o espaciales.

Los elementos básicos en el análisis aplicando los criterios de los elementos finitos en placas planas son esencialmente los de forma triangular o rectangular, los cuales se pueden agrupar o ensamblar de diferentes maneras para componer elementos hexagonales, octagonales, etc., en cada uno de los cuales se analizan los tres desplazamientos generales de cada esquina o nodo, para determinar el estado de sollicitaciones resultantes.



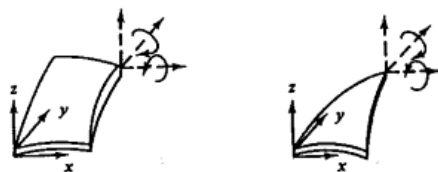
a) Miembro de cercha



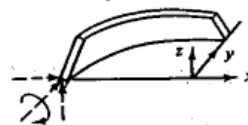
b) Flexión de placas planas



c) Elementos sólidos



d) Elementos curvos de cáscaras o membranas



e) Sólido axisimétrico

Figura 34

Fuente: Fratelli

La unión de los diferentes elementos finitos cubre todo el medio continuo configurando una malla, la cual debe ser tanto más pequeña cuanto más refinada sea la solución buscada, de modo que un elemento e forma triangular con determinadas dimensiones iniciales, puede subdividirse como muestra la figura 35 hasta la aproximación deseada.

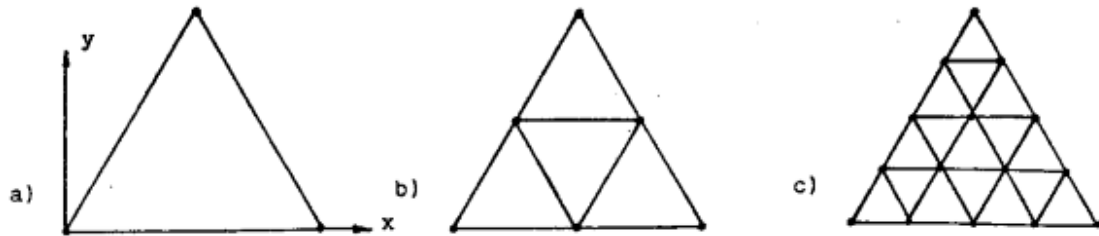


Figura 35

Fuente: Fratelli

En elemento plano más sencillo y compatible, adaptable a casi todos los contornos es el triángulo, pero no es omnidireccional. Al subdividirlo, (esquemas b y c) se aumenta el número de grados de libertad, lo cual permite obtener un elemento más flexible, con resultados de mayor precisión.

En el análisis tridimensional, se emplean elementos finitos sólidos. En este caso, el tetraedro o el hexaedro son las formas más usuales, las cuales se emplean frecuentemente en la determinación del estado tensional en presas, estructuras volumétricas tales como las bases sin armar, cabezales de pilotes, etc. También se utilizan en modelos para estudiar problemas de rocas o de mecánica de suelos.