



**UNIVERSIDAD LATINA  
DE COSTA RICA**

POWERED BY **Arizona State University**

**UNIVERSIDAD LATINA DE COSTA RICA**

**SEDE DE SAN PEDRO**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS, TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN**

**Y COMUNICACIÓN.**

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

Licenciatura en Ingeniería Civil

Tesis de Grado:

**ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LA UTILIZACIÓN DE  
CIMENTACIONES FLOTANTES (LOSAS) Y CIMENTACIONES  
CORRIDAS EN LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS  
UNIFAMILIARES, RESISTENCIA  
Y COSTOS, EN FUNCIÓN DEL TIPO DE SUELO ARCILLOSO Y  
ARENOSO.**

Autor:

Greddy Vargas Aguilar

**San Pedro, 04 de mayo del 2023**



## TRIBUNAL EXAMINADOR

Este proyecto titulado: Análisis comparativo entre la utilización de cimentaciones flotantes (losas) y cimentaciones corridas en la construcción de viviendas unifamiliares, resistencia y costos, en función del tipo de suelo arcilloso y arenoso, por el (la) estudiante: VARGAS AGUILAR GREDDY, fue aprobado por el Tribunal Examinador de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Latina, Sede San Pedro, como requisito para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil:

JOSE JOAQUIN RODRIGUEZ RODRIGUEZ (FIRMA)  
 Firmado digitalmente por JOSE JOAQUIN RODRIGUEZ RODRIGUEZ (FIRMA)  
 Fecha: 2023.05.03 09:06:44 -06'00'

José Joaquín Rodríguez Rodríguez  
 Tutor

ERICK GUSTAVO CRUZ PADILLA (FIRMA)  
 Firmado digitalmente por ERICK GUSTAVO CRUZ PADILLA (FIRMA)  
 Fecha: 2023.05.02 21:31:56 -06'00'

Erick Cruz Padilla  
 Lector

RAFAEL KAUFFMANN INCER (FIRMA)  
 Firmado digitalmente por RAFAEL KAUFFMANN INCER (FIRMA)  
 Fecha: 2023.05.03 08:45:50 -06'00'

Rafael Kauffman Incer  
 Lector

## DECLARACIÓN JURADA

Yo, Greddy Vargas Aguilar, estudiante de la Universidad Latina de Costa Rica, declaro bajo la fe de juramento y consciente de las responsabilidades penales de este acto, que soy Autor Intelectual del Trabajo de Graduación titulado:

Análisis comparativo entre la utilización de cimentaciones flotantes (losas) y cimentaciones corridas en la construcción de viviendas unifamiliares, resistencia y costos, en función del tipo de suelo arcilloso y arenoso.

Por lo que libero a la Universidad de cualquier responsabilidad en caso de que mi declaración sea falsa.

Firmo en Cartago, 4 de mayo de 2023.



---

Greddy Vargas Aguilar

## Licencia De Distribución No Exclusiva (carta de la persona autora para uso didáctico)

### Universidad Latina de Costa Rica

<b>Yo (Nosotros):</b>	Greddy Vargas Aguilar
<b>De la Carrera / Programa:</b>	Ingeniería Civil Licenciatura
<b>Modalidad de TFG:</b>	Tesis
<b>Titulado:</b>	Análisis comparativo entre la utilización de cimentaciones flotantes (losas) y cimentaciones corridas en la construcción de viviendas unifamiliares, resistencia y costos, en función del tipo de suelo arcilloso y arenoso.

Al firmar y enviar esta licencia, usted, el autor (es) y/o propietario (en adelante el “AUTOR”), declara lo siguiente: **PRIMERO:** Ser titular de todos los derechos patrimoniales de autor, o contar con todas las autorizaciones pertinentes de los titulares de los derechos patrimoniales de autor, en su caso, necesarias para la cesión del trabajo original del presente TFG (en adelante la “OBRA”). **SEGUNDO:** El AUTOR autoriza y cede a favor de la UNIVERSIDAD U LATINA S.R.L. con cédula jurídica número 3-102-177510 (en adelante la “UNIVERSIDAD”), quien adquiere la totalidad de los derechos patrimoniales de la OBRA necesarios para usar y reusar, publicar y republicar y modificar o alterar la OBRA con el propósito de divulgar de manera digital, de forma perpetua en la comunidad universitaria. **TERCERO:** El AUTOR acepta que la cesión se realiza a título gratuito, por lo que la UNIVERSIDAD no deberá abonar al autor retribución económica y/o patrimonial de ninguna especie. **CUARTO:** El AUTOR garantiza la originalidad de la OBRA, así como el hecho de que goza de la libre disponibilidad de los derechos que cede. En caso de impugnación de los derechos autorales o reclamaciones instadas por terceros relacionadas con el contenido o la autoría de la OBRA, la responsabilidad que pudiera derivarse será exclusivamente de cargo del AUTOR y este garantiza mantener indemne a la UNIVERSIDAD ante cualquier reclamo de algún tercero. **QUINTO:** El AUTOR se compromete a guardar confidencialidad sobre los alcances de la presente cesión, incluyendo todos aquellos temas que sean de orden meramente institucional o de organización interna de la UNIVERSIDAD **SEXTO:** La presente autorización y cesión se registrará por las leyes de la República de Costa Rica. Todas las controversias, diferencias, disputas o reclamos que pudieran derivarse de la presente cesión y la materia a la que este se refiere, su ejecución, incumplimiento, liquidación, interpretación o validez, se resolverán por medio de los Tribunales de Justicia de la República de Costa Rica, a cuyas normas se someten el AUTOR y la UNIVERSIDAD, en forma voluntaria e incondicional. **SÉPTIMO:** El AUTOR acepta que la UNIVERSIDAD, no se hace responsable del uso, reproducciones, venta y distribuciones de todo tipo de fotografías, audios, imágenes, grabaciones, o cualquier otro tipo de

presentación relacionado con la **OBRA**, y el **AUTOR**, está consciente de que no recibirá ningún tipo de compensación económica por parte de la **UNIVERSIDAD**, por lo que el **AUTOR** haya realizado antes de la firma de la presente autorización y cesión. **OCTAVO**: El **AUTOR** concede a **UNIVERSIDAD.**, el derecho no exclusivo de reproducción, traducción y/o distribuir su envío (incluyendo el resumen) en todo el mundo en formato impreso y electrónico y en cualquier medio, incluyendo, pero no limitado a audio o video. El **AUTOR** acepta que **UNIVERSIDAD.** puede, sin cambiar el contenido, traducir la **OBRA** a cualquier lenguaje, medio o formato con fines de conservación. **NOVENO**: El **AUTOR** acepta que **UNIVERSIDAD** puede conservar más de una copia de este envío de la **OBRA** por fines de seguridad, respaldo y preservación. El **AUTOR** declara que el envío de la **OBRA** es su trabajo original y que tiene el derecho a otorgar los derechos contenidos en esta licencia. **DÉCIMO**: El **AUTOR** manifiesta que la **OBRA** y/o trabajo original no infringe derechos de autor de cualquier persona. Si el envío de la **OBRA** contiene material del que no posee los derechos de autor, el **AUTOR** declara que ha obtenido el permiso irrestricto del propietario de los derechos de autor para otorgar a **UNIVERSIDAD** los derechos requeridos por esta licencia, y que dicho material de propiedad de terceros está claramente identificado y reconocido dentro del texto o contenido de la presentación. Asimismo, el **AUTOR** autoriza a que en caso de que no sea posible, en algunos casos la **UNIVERSIDAD** utiliza la **OBRA** sin incluir algunos o todos los derechos morales de autor de esta. **SI AL ENVÍO DE LA OBRA SE BASA EN UN TRABAJO QUE HA SIDO PATROCINADO O APOYADO POR UNA AGENCIA U ORGANIZACIÓN QUE NO SEA UNIVERSIDAD U LATINA, S.R.L., EL AUTOR DECLARA QUE HA CUMPLIDO CUALQUIER DERECHO DE REVISIÓN U OTRAS OBLIGACIONES REQUERIDAS POR DICHO CONTRATO O ACUERDO.** La presente autorización se extiende el día 4 de mayo de 2023 a las 16:00

Firma del estudiante(s):



## **Agradecimiento**

Doy gracias infinitas primero a Dios y a nuestra madre la Virgen María, por darme las fuerzas de iniciar este camino hasta el día de hoy cuando primero ellos he de finalizarlo para iniciar una etapa nueva en mi vida.

Gracias absolutas a mi familia, a mi esposa e hija a las cuales amo por sobre todas las cosas, a mis padres quienes hicieron de mi lo que soy, dado que siempre me impulsaron a no dar marcha atrás y en los momentos difíciles siempre fueron un apoyo incondicional para continuar y ser lo que soy hasta el día de hoy.

Gracias a mis hermanos, al director de la escuela, a las coordinadoras, a los profesores y profesoras, a los administrativos, a los misceláneos, a los encargados de seguridad; en fin, a cada una de las personas que conocí en este viaje y donde cada uno de ellos formó parte de mi vida universitaria, haciéndome mejor persona, mejor profesional y mejor ser humano.

¡Gracias Totales!

## Resumen

El presente trabajo recopila información pertinente referida a los tipos de suelos más significativos para la ingeniería civil en lo que respecta a la construcción de viviendas unifamiliares, estos tipos de suelo que se han de estudiar son los arcillosos y los arenosos, a los cuales se les zonifica en aquellas áreas donde tienen mayor influencia. Se realizan cálculos relacionados con su consolidación, asentamiento y capacidad portante; así también se observa la afectación de la humedad, agua y nivel freático para con las arcillas expansivas y compresivas y para con las arenas sueltas y compactas en lo referido al nivel de licuefacción que puedan presentar.

Por otra parte, se examinan las cimentaciones superficiales, específicamente las placas corridas y las losas de cimentación o losas flotantes, a las cuales se les calcula la capacidad de carga última en función de la falla por corte, sea esta general o local y de su geometría para el caso de ambos tipos de cimentaciones superficiales.

En base a una comparativa entre la capacidad portante, factores que afectan lo que un suelo soporta y la capacidad de carga de la cimentación según las teorías de Terzaghi y Meyerhof, apoyado en determinar la capacidad admisible con el fin de aportar un factor de seguridad a la cimentación, se determina que cimentación es más apta para el tipo de suelo en el cuál se construirá, sin dejar de lado factores económicos que hagan de una u otra cimentación más accesible y funcional para el cliente e ingeniero a cargo.

## Summary

The present work collects pertinent information referring to the most significant types of soils for civil engineering with regard to the construction of single-family homes, these types of soil that have to be studied are clayey and sandy, to which zone in those areas where they have the most influence. Calculations related to its consolidation, settlement and bearing capacity are made; thus, the affectation of humidity, water and groundwater level is also observed for the expansive and compressive clays and for the loose and compact sands in relation to the level of liquefaction that they may present.

On the other hand, the superficial foundations are examined, specifically the strip plates and the foundation slabs or floating slabs, for which the ultimate load capacity is calculated based on the shear failure, be it general or local and its geometry for the case of both types of superficial foundations.

Based on a comparison between the bearing capacity, factors that affect what a soil supports and the load capacity of the foundation according to the theories of Terzaghi and Meyerhof, supported by determining the admissible capacity in order to provide a safety factor for the foundation, it is determined which foundation is more suitable for the type of soil in which it will be built, without neglecting economic factors that make one or another foundation more accessible and functional for the client and engineer in charge.



## Índice de Contenidos

Capítulo 1. Introducción .....	1
1.1 Antecedentes .....	1
1.2 Planteamiento del problema.....	2
1.3 Hipótesis .....	3
1.4. Objetivo general.....	4
1.5 Objetivos específicos .....	4
1.6 Justificación .....	5
1.7 Alcances y limitaciones .....	6
1.7.1 Alcances.....	6
1.7.2 Limitaciones .....	6
1.8 Impacto .....	7
Capítulo 2. Fundamentación teórica .....	8
2.1 Marco Teórico-Conceptual .....	8
2.1.1 Caracterización del tipo de suelo .....	8
2.1.2 Generalidades: Suelos Arcillosos .....	13
2.1.3 Generalidades: Suelos Arenosos.....	14
2.1.4 Fallas en suelos .....	15
2.1.5 Esfuerzos en suelos.....	19
2.1.6 Caracterización del tipo de cimentación.....	28
2.1.7 Capacidad carga ultima cimentaciones superficiales: Placas corridas.....	37
2.1.8 Capacidad carga ultima cimentaciones superficiales: Losas flotantes.....	49
2.2 Marco Situacional .....	50
Capítulo 3. Marco Metodológico.....	52
3.1 Paradigma, enfoque metodológico y métodos de investigación .....	53
3.2 Categorías de análisis de la investigación.....	55

3.3 Población y muestra, Técnicas de muestreo .....	61
3.4 Técnicas e instrumentos para la recolección de datos.....	63
3.5 Técnicas e instrumentación para el procesamiento y análisis de datos.....	65
Capítulo 4. Análisis de Resultados .....	65
Capítulo 5. Conclusiones .....	86
Capítulo 6. Recomendaciones .....	88
Referencias Bibliográficas.....	89
Anexos .....	94
Glosario .....	97

## Índice de Tablas

Tabla 1. <i>Límites de tamaño de suelos arcillosos</i> .....	13
Tabla 2. <i>Relación de vacíos, contenido de agua y peso específico seco: Arcillas</i> .....	14
Tabla 3. <i>Límites de tamaño de suelos arenosos</i> .....	14
Tabla 4. <i>Relación de vacíos, contenido de agua y peso específico seco: Arenas</i> .....	15
Tabla 5. <i>Angulo de fricción y Cohesión. Suelo arcilloso-arenoso. Prueba Corte Directo y Axial</i> ..	26
Tabla 6. <i>Factores de reducción <math>\phi</math> para la capacidad soportante de los suelos</i> .....	32
Tabla 7. <i>Factores de seguridad para capacidad de soporte</i> .....	33
Tabla 8. <i>Factores de seguridad para cargas excéntricas</i> .....	33
Tabla 9. <i>Tabla de Variables</i> .....	59
Tabla 10. <i>Suelos arcillosos vs. Suelos arenosos</i> .....	66
Tabla 11. <i>Zonas y suelos asociados. San José y Cartago</i> .....	68
Tabla 12. <i>Valores promedio y desviación estándar de los parámetros de cohesión no drenada, peso específico total y grado de saturación de los suelos</i> .....	68
Tabla 13. <i>Zonas y suelos asociados. Heredia y Alajuela</i> .....	69
Tabla 14. <i>Valores promedio y desviación estándar de los parámetros de cohesión no drenada, peso específico total y grado de saturación de los suelos</i> .....	69
Tabla 15. <i>Valores promedio y desviación estándar de los parámetros de cohesión no drenada</i> .....	70
Tabla 16. <i>Valores promedio y desviación estándar de los parámetros de peso específico</i> .....	70
Tabla 17. <i>Valores promedio y desviación estándar de los parámetros de ángulo de fricción efectivo</i> .....	71
Tabla 18. <i>Valores promedio y desviación estándar de los parámetros de grado de saturación</i> .....	71
Tabla 19. <i>Valores críticos para arcillas y arenas obtenido de la bibliografía</i> .....	75
Tabla 20. <i>Valores críticos para arcillas y arenas según distribución país por provincias</i> .....	75
Tabla 21. <i>Valores críticos para arcillas y arenas obtenido de las Tablas 20 y 21</i> .....	75
Tabla 22. <i>Esfuerzo efectivo para arcillas y arenas</i> .....	77
Tabla 23. <i>Esfuerzo efectivo para arcillas y arenas saturadas</i> .....	77

Tabla 24. <i>Cálculo Capacidad de soporte ultima. Placa Corrida</i> .....	78
Tabla 25. <i>Cálculo Capacidad de soporte ultima. Losa Cimentación</i> .....	79
Tabla 26. <i>Capacidad de carga admisible.</i> .....	79
Tabla 27. <i>Comparación Capacidad admisible. Considerando el esfuerzo efectivo.</i> .....	80
Tabla 28. <i>Pasos constructivos. Cimentaciones superficiales</i> .....	82
Tabla 29. <i>Costo material para un metro cuadrado de Placa Corrida</i> .....	84
Tabla 30. <i>Costo material para un metro cuadrado de Losa Cimentación</i> .....	85

## Índice de Figuras

Figura 1. <i>Mapa de Suelos de Costa Rica</i> .....	11
Figura 2. <i>Falla por corte general del suelo</i> .....	16
Figura 3. <i>Falla por corte local del suelo</i> .....	17
Figura 4. <i>Falla al corte por punzonamiento</i> .....	17
Figura 5. <i>Prueba de Corte Directo</i> .....	27
Figura 6. <i>Prueba Triaxial</i> .....	27
Figura 7. <i>Gráfica: Angulo de fricción</i> .....	27
Figura 8. <i>Prueba Consolidada-Drenada</i> .....	27
Figura 9. <i>Prueba Consolidada- No Drenada</i> .....	28
Figura 10. <i>Prueba Consolidada-No Drenada</i> .....	28
Figura 11. <i>Prueba No Consolidada- No Drenada</i> .....	28
Figura 12. <i>Factores de capacidad de carga para la ecuación general de capacidad de soporte</i> ....	31
Figura 13. <i>Placa Corrida: Falla por capacidad de carga ultima</i> .....	38
Figura 14. <i>Factores de capacidad de carga de Terzaghi. Falla General por corte del suelo</i> .....	40
Figura 15. <i>Factores capacidad de carga modificados de Terzaghi. Falla Local corte del suelo</i> ....	42
Figura 16. <i>Cimentación superficial con presencia de nivel freático</i> .....	44
Figura 17. <i>Factores de la capacidad de carga. Teoría de Meyerhof</i> .....	47
Figura 18. <i>Mapa Tipo de suelos</i> .....	51
Figura 19. <i>Zonificación Geotécnica GAM</i> .....	67
Figura 20. <i>Zonas con datos de cohesión no drenada, peso específico y grado de saturación para el GAM</i> .....	72
Figura 21. <i>Zonas con datos de cohesión no drenada y peso específico para Guanacaste, Puntarenas y Limón</i> .....	72
Figura 22. <i>Zonas datos ángulo de fricción efectivo para Guanacaste, Puntarenas y Limón</i> .....	73
Figura 23. <i>Zonas con datos de grado de saturación para Guanacaste, Puntarenas y Limón</i> .....	73

Figura 24. <i>Cohesión no drenada y peso específico para Costa Rica</i> .....	74
Figura 25. <i>Ángulo de fricción efectivo para Costa Rica</i> .....	74
Figura 26. <i>Grado de saturación para Costa Rica</i> .....	74
Figura 27. <i>Fundación para viviendas de un piso</i> .....	83

## **Capítulo 1. Introducción**

### **1.1 Antecedentes**

La ingeniería, desde sus primeros indicios en la antigua Mesopotamia y el antiguo Egipto, pasando con el transcurso del tiempo por la edad contemporánea y hasta nuestros tiempos, ha planteado una disciplina que se ha acostumbrado a enfrentar diversos retos en pos de satisfacer una necesidad humana, donde el anhelo de edificar una mejor condición de vida se ha impuesto.

No por nada se le ha planteado al ser humano la necesidad de crear para mejorar y esto nos lleva a considerar la ingeniería como el “conjunto de conocimientos orientados a la invención y utilización de técnicas para el aprovechamiento de los recursos naturales o para la actividad industrial” (Diccionario de la Lengua Española, 2021).

Estos conocimientos, esta inventiva nos ha llevado a crear, a construir en el ámbito civil inmuebles que de una u otra manera vienen a generar prosperidad económica y personal. Pero claramente esta innovación parte desde las bases, todo inicia desde abajo y si bien esto puede tomarse como una ley de la vida, para lo que nos atañe en la ingeniería civil; a ciencia cierta una edificación parte desde las bases, desde los cimientos, desde la propia conformación y tipo de suelo donde se ha de cimentar la edificación a construir.

Partiendo de este hecho, se plantea el reto de evaluar el comportamiento de las cimentaciones superficiales, específicamente en aquellas donde se requiere un cimiento tipo placa corrida o aislada y/o un cimiento tipo losa, acorde a la zona donde se desarrolle la obra. En el mundo tenemos innumerables ejemplos del uso de este tipo de cimentación, donde se han presentado fallas suscitadas por el tipo de suelo en el cual se cimentó, tal es el caso de la ciudad de México, donde el uso de ambas cimentaciones superficiales se ha aplicado; en el caso de las placas corridas y/o aisladas funciona hasta cierto punto, pero se presentan asentamientos diferenciales, mientras que en los casos donde se utiliza losas las excavaciones han sido un problema, dado que las arcillas tipo expansivas del suelo ocasionan agrietamiento de taludes y de la excavación. Otro caso fue el ocurrido en Transcona, Canadá en el año 1913, cuando un silo de grano colapso, debido a que la cimentación tipo losa en conjunto con el peso del edificio provocó un asentamiento, producto de la existencia de una capa de suelo arcilloso expansivo la cual se desconocía. También se puede enunciar la construcción de las torres BP12A y BP12B en la plaza Lusail, construido en el proyecto

denominado Lusail City, para el mundial de Qatar 2022 que en un inicio se consideró que tenía suelos muy buenos aptos para cimientos superficiales, pero que al colindar con el mar existía la posibilidad de falla, por lo que en la excavación de cerca de 21 m de profundidad se optó por construir una losa de cimentación de 3,50 m de espesor por un área de 2000 m<sup>2</sup> con cimentaciones profundas. (<https://www.youtube.com/watch?v=zcHNX4iTghw>).

Delgado (1996) habla que nuestro país no escapa a problemas ocasionados por correlación suelos-cimientos y “en sus apartados 1.1 y 1.2 hace referencia a los suelos colapsables y a los rellenos mal compactados, respectivamente. En el capítulo V, se toca el tema de las soluciones de cimentación sobre suelos colapsables, destacándose la recomendación de losas rígidas de fundación como una alternativa viable, sin entrar en un análisis profundo” (como se cita en Mata, 2005, p.5). Asimismo, se encuentran estudios que abordan la problemática de suelos arcillosos y/o arenosos en el asentamiento de las cimentaciones superficiales, donde el tipo de suelo, su composición y estratos definen en menor o mayor medida como se puede comportar el cimiento.

Aunque Costa Rica tenga una extensión pequeña, existen todos los tipos de suelos problemáticos mencionados, para lo cual se deben realizar las investigaciones geológicas y geotécnicas adecuadas dirigidas a buscar soluciones estructurales optimizadas tanto desde el punto de vista económico como constructivo.

Los análisis geotécnicos que no representen la realidad del sitio pueden generar problemas de tipo económico-financiero, al hacer pre-venta de proyectos basados en diseño arquitectónico, cuyo costo real al final de la construcción resulta mucho mayor, ya que durante esta etapa se afrontan los problemas. (Laporte, 2007, párr. 5-6).

## **1.2 Planteamiento del problema**

En la actualidad la utilización de losas de concreto flotante y placas aisladas y/o corridas como cimentaciones superficiales son un determinante y el punto de partida para cualquier obra de índole civil que se desarrolla dentro y fuera del país. En lo que respecta a nuestro entorno país, el uso de uno u otro sistema es usual, pero en muchos casos, no en todos, se presenta el uso de las mismas a gusto del profesional o del cliente final, sin tener



en muchos casos sustento técnico que dé cabida a reconocer si su uso es el adecuado en función del área donde se desarrolle el proyecto.

El problema radica en la mejor toma de decisión que se pueda realizar en base al tipo de suelo donde se erguirá el futuro inmueble, decisión que no es arbitraria, sino que debe sustentarse en factores como la capacidad admisible, estabilidad al volcamiento, asentamiento, la carga que aporta el inmueble y el tipo de composición del estrado de suelo donde se asiente la obra.

Muchas personas inmersas en el tema, desde entidades públicas como las municipalidades y en entes privados como el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA), abogan y exigen el uso de herramientas técnicas, como los estudios de suelos que brinden un panorama claro de donde se construirá; no obstante, se ha alcanzado el objetivo de manera parcial, dado que es una práctica usual en grandes proyectos, pero en obras menores no mayores a 200 m<sup>2</sup>, se carece de este control y en pocas palabras se construye donde sea, tentando a la suerte sobre el éxito o no de la estabilidad estructural de la vivienda.

Se cuestiona el hecho de la relación suelo-cimiento, donde se valore si estamos construyendo sobre una arcilla o una arena y si ha de predominar el factor económico, profesional y/o la salud humana, sin omitir la idea clara de elegir la cimentación más adecuada según el tipo de suelo y dándole al cliente una solución con la mejor relación costo-beneficio.

Es acá donde se plantea la pregunta: ¿Cuál tipo de cimentación superficial en su comparativa, resulta idónea según el tipo de suelo ya sea este arcilloso o arenoso, desde el punto de vista económico, constructivo y mejor relación suelo-cimiento?

### **1.3 Hipótesis**

La presente tesis de investigación aborda temas de conocimiento ingenieril y geotécnico ya estudiados, que no dan pie a generar una hipótesis, pues el rumbo que toma el estudio es el de afianzar lo que ya se conoce solo que apuntando a un norte no muy explorado como lo son las viviendas unifamiliares en su relación con el tipo de suelo donde se construyen.

Entonces no es una suposición de algo que no existe, es afianzar un procedimiento existente, optimizándolo con el fin de establecer qué tipo de cimentación puedo usar que me

de rendimiento en cuanto a resistencia y economía, y que concientice al beneficiario en lo importante de conocer sobre que suelo va a construir.

#### **1.4 Objetivo general**

Analizar el uso de las cimentaciones superficiales en la construcción de viviendas unifamiliares, mediante la comparación económica y de resistencia en función del tipo de suelo sobre el cual se cimente, para establecer cuál se adecua de mejor manera al tipo de suelo sin ir en detrimento de la calidad y la economía.

#### **1.5 Objetivos específicos**

1. Definir las características de las cimentaciones superficiales; placas corridas y/o aisladas y losas de cimentación, con el fin de enmarcar sus diferencias, semejanzas y usos adecuados dentro de la ingeniería civil, mediante la investigación apoyada en textos, códigos y experiencias profesionales.

2. Categorizar los tipos de suelo presentes en el país, con el fin de establecer de manera macro un panorama aproximado de las regiones que tengan suelos arcillosos y/o arenosos, para delimitar a priori las ventajas que un tipo de cimentación pueda tener con respecto a la otra y así fijar los parámetros previos de la comparación, mediante el uso de documentación técnica de instituciones públicas del estado que tenga relación con suelos y sector construcción.

3. Considerar el suelo predominante según la región del país, con el fin de definirlo como objeto de estudio; clasificarlo y categorizarlo según su naturaleza, establecer las características de este, su capacidad admisible y capacidad portante, con el objeto de establecer cual cimentación puede ser más adecuada en la relación suelo-cimiento, mediante la indagación de reglamentos municipales de estudios de suelos y referencias de laboratorios de suelos y organizaciones especializadas en el tema.

4. Comparar las técnicas de construcción de ambas cimentaciones superficiales, con el objetivo de marcar las diferencias constructivas, resistencias, materiales a utilizar y características que las hacen viables para ser utilizadas en determinado tipo de suelo, mediante el recurso de la investigación documental e investigación en campo comparando las experiencias propias de los profesionales consultados.

5. Contrastar las bondades constructivas de ambas cimentaciones desde un punto de vista económico y de viabilidad de suelo, para emitir un criterio apoyado en los resultados obtenidos que orienten el estudio a la elección de la cimentación más apropiada, sopesando cuál de ellas puede ser más y mejor utilizada sin verse afectada por las condiciones mencionadas.

## **1.6 Justificación**

Costa Rica como país busca entrar en un constante desarrollo; desarrollo que es impulsado por la construcción, la cual dinamiza la economía, abriendo nuevas oportunidades de inversión y empleo, inyectando capital fresco a una economía que lo necesita. Bajo esta premisa la construcción toma preponderancia, pero no todo acaba ahí, se requiere adaptabilidad al entorno y conceptualizar la construcción de la mano con las características propias del país, con el fin de construir acorde al tipo de suelo de cada región, priorizando la cimentación más adecuada como un arma que evite desastres o pérdidas humanas.

Basado en lo anterior, lo que se busca con este estudio es dar una herramienta que, a partir de un análisis del pro y contras de cada una de las cimentaciones superficiales, brinde un panorama claro de que cimentación es más apropiada según el tipo de suelo sobre el cual se desea construir. Se busca erradicar la problemática de construir donde sea y como sea, sin importar el que pasará mañana. Entonces, se aborda un elemento muy importante en la construcción como lo es el cimiento, pero no solo como la base de nuestra vivienda, sino como un elemento que debe soportar las presiones contra el suelo y las cargas transmitidas por la estructura, en otras palabras, se considera el suelo como un todo para poder construir y así evitar desastres futuros.

Lo que se quiere es comparar las cimentaciones superficiales por placa corrida y/o aislada y las cimentaciones superficiales de losa flotante, para así valorar cuál de ellas trabaja de mejor manera bajo condiciones de estrés con respecto al suelo, manteniendo una resistencia acorde a la normativa vigente y sin afectar en demasía la economía del proyecto.

El estudio ha de fortalecer el uso de las cimentaciones superficiales en la construcción de viviendas unifamiliares, pero de una manera consiente e informada, con la utilización de herramientas que generen una visión real del suelo y que sirva de punto de

partida para lograr definir cuál cimiento es el más apropiado generando seguridad y un impacto económico al proceso constructivo.

Los resultados esperados darán lugar a una noción clara y amplia de cual cimiento es más óptimo para cada tipo de suelo, sectorizando el uso recomendado de una cimentación y brindando estabilidad y seguridad, donde los encargados de las obras, constructores, maestros de obra y las propias familias entre otros involucrados, podrán dar paso a la tranquilidad de que el cimiento de la vivienda es adecuado y no improvisado.

## **1.7 Alcances y limitaciones**

### **1.7.1 Alcances**

1. Se caracterizan las cimentaciones superficiales por placa corrida y/o aislada y su utilización adecuada en el sector construcción, considerando la resistencia, usos según tipo de suelo arcillosos y arena; economía en cuanto a su construcción y aplicación.

2. Se identifican las cimentaciones superficiales por losa flotante y su utilización adecuada en el sector construcción, considerando la resistencia, usos según tipo de suelo arcilloso y arenas; economía en cuanto a su construcción y aplicación.

3. Se realiza una comparativa entre el proceso de construcción de cada cimentación y su función con respecto al tipo de suelo arcilloso y arenoso, determinando las condiciones críticas de cada suelo.

4. Se realiza una comparativa sobre las ventajas y desventajas económicas de cada uno de los sistemas de cimentación, con el objetivo de brindar una solución informada del cómo construir los cimientos de las viviendas unifamiliares, de una manera económica y funcional.

5. Se estima cual tipo de cimentación superficial acorde al tipo de suelo de la zona representa una mejora económica en su utilización.

### **1.7.2 Limitaciones**

1. No se considera el estudio de un caso en específico que abarque un suelo de un lugar determinado, lo que se desea es dar una visión generalizada del país sectorizado por el tipo de suelo predominante.

2. No se abordarán técnicas de laboratorio para establecer cual cimentación es más resistente o no. Se considera evaluar técnicas ya realizadas para crear un ponderado y definir cuál resiste más en relación al ambiente en el que se vaya a ubicar.

3. Se eximirá el estudio de suelos aplicado en sitio y solo se considera documentos y datos proporcionados por laboratorios autorizados producto de pruebas ya practicadas.

4. Se establecerá el mejor sistema de cimentación desde el punto de vista económico-funcional, no se realizarán pruebas prácticas o técnicas.

5. Se establece la relación de la cimentación con el tipo de suelo arcilloso o arenoso basado en estudios ya realizados, no se realizarán un estudio exhaustivo in situ.

### **1.8 Impacto**

La necesidad de manejar las viviendas unifamiliares de la manera más adecuada, impulsa el hecho de tomar una cimentación superficial y caracterizarla un poco más allá de lo que en la práctica se conoce. El abordar de la manera más honesta la relación estrecha que las cimentaciones tienen con el suelo y sus distintos estratos, fortalece la práctica de la buena construcción incluyendo la clase baja como parte del sistema constructivo del país.

La construcción que se encasilla en el régimen simplificado y con áreas muy por debajo de las máximas establecidas, muchas veces se desprecian, esto se desea cambiar con este estudio, que se le dé la importancia a la cimentación, que se considere de manera profesional el suelo donde se ha de asentar la huella de la vivienda, creando conciencia en el beneficiario final sobre lo importante que se vuelve una buena práctica constructiva sobre un determinado suelo.

Con el estudio en cuestión se quiere incidir en la elección idónea de una cimentación superficial acorde al tipo de suelo de determinada región, sin eximir al usuario o encargado del proyecto del uso de la herramienta del estudio de suelos, pero si brindando una referencia para la toma de decisiones, teniendo uso pleno de lo que una cimentación adecuada significa, aún más cuando se conoce el tipo de suelo y mejor aun si el coste económico es el justo a pagar por el elemento constructivo que realmente se requiere.

## **Capítulo 2. Fundamentación teórica.**

### **2.1 Marco Teórico-Conceptual**

Para el desarrollo adecuado de este capítulo se recuerda de una manera entendible, los conceptos de cimentaciones superficiales, sean estas las construidas como una placa corrida o una losa flotante, así como las características de éstas. También se quiere definir los tipos de suelo objeto de este estudio como lo son los suelos arcillosos y arenosos, sus características, capacidad portante y admisible en relación al tipo de cimentación superficial a utilizar. Por otro lado, se definen las principales características y propiedades económicas y funcionales de la interacción cimiento-suelo, todo lo anterior con la finalidad de familiarizarse con los diversos conceptos, comprendiendo a cabalidad el cómo las cimentaciones superficiales interactúan con el suelo, con el fin de dar una idea de cuál cimentación es más apta según en suelo donde se levante el proyecto.

Las cimentaciones en la ingeniería civil han sido objeto de estudios constantes durante la evolución de esta rama académica. En Costa Rica tenemos como principal ente rector al Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica (CFIA) y la Asociación Costarricense de Geotecnia fundamenta su normativa y regulaciones en la creación del Código de Cimentaciones de Costa Rica.

#### **2.1.1 Caracterización del tipo de suelo**

Desde la perspectiva que atañe a la investigación planteada se estudiarán las características de dos tipos de suelo, los arcillosos y los arenosos y su comportamiento al ser afectados por factores de carga de cimentaciones superficiales, así como los posibles cambios en sus propiedades físicas. La propiedad del suelo es vital pues sobre él se levanta una edificación que implica la prevalencia de la vida humana, por ello es importante el diseñar con respecto a sus características geotécnicas, debido esto a que se convierten en el medio soportante de las edificaciones civiles.

El concepto de suelo es aplicable a la rama en la que se establezca el estudio, para el caso que nos compete se puede definir como “el agregado no cementado de granos minerales y materia orgánica descompuesta (partículas sólidas) junto con el líquido y gas que ocupan los espacios vacíos entre las partículas sólidas (Braja M. Das, 2012, pág. 1).

Esta definición no es más que el recordatorio que el ingeniero civil debe conocer las propiedades del suelo sobre el cual se ha de cimentar una edificación, con el fin de identificar la capacidad de drenar el agua, su capacidad a compresión, su resistencia al corte y la capacidad de soporte de carga. (Braja M. Das, 2012, pág. 1).

Las propiedades del suelo se engloban en una clasificación con estándares internacionales que son dictadas por la *American Association of State Highway Officials* (AASHTO), la cual es un sistema de clasificación de suelos que separa a estos en siete grupos principales que van desde el A-1 a A-7, donde los suelos encasillados en los grupos A-1, A-2 y A-3 son materiales granulares, y los suelos agrupados en A-4, A-5, A-6 y A-7, son materiales arcillosos.

Esta clasificación, lejos de conocer todas las características químicas de los suelos y de clasificarlos desde un punto de vista granulométrico, lo que plantea es que a partir del hecho que el ingeniero civil conozca el tipo de suelo con el cual se está lidiado, éste tiene la capacidad de delimitar la capacidad portante y/o soportante del suelo; donde esta capacidad está dada por la resistencia del suelo a la carga aplicada sin que existan fallas en él. La distribución y la magnitud de la carga que aporte la cimentación superficial delimita en gran medida la distribución de las cargas de la edificación que afectan o no a las mismas cimentaciones y por ende al suelo.

#### Tipos de suelos:

Como se ha mencionado, nos atañe el quehacer de las cimentaciones sobre suelos arcillosos y arenosos. Es importante destacar que nuestro país presenta una diversidad de suelos considerable y como si fuera poco muchos de ellos desde el punto de vista de la ingeniería pueden representar un problema para la cimentación de una edificación, aún más cuando el crecimiento demográfico exige mayor construcción, pero sin dejar de lado la calidad, seguridad y responsabilidad en la misma.

#### Suelos Arcillosos:

Estos suelos tienen la particularidad de ser expansivos y se encuentran principalmente en zonas bajas producto del arrastre por la erosión desde las montañas aledañas, por ello son propios de zonas de llanuras, valles o mesetas circundadas por

sistemas montañosos. Son fáciles de identificar por su coloración, pueden ser de color negro, café amarillento (más común), gris oscuro o gris claro y se ubican en diversas zonas del Valle Central y fuera de él, como en Cañas, Liberia, Filadelfia entre otros; también se encuentran en sectores de la provincia de Limón y el sector Occidental del Valle Central, con grosores que van desde 0,5 m hasta los 4,0 m. Este tipo de suelo arcilloso resulta peligroso para la ingeniería civil, dado que su propiedad de ser expansivo también le da la capacidad de ser compresivo cuando pierde la humedad contenida entre sus partículas, lo que ocasiona asentamientos homogéneos o diferenciales en las cimentaciones superficiales o levantamientos de las mismas de darse el proceso de expansión a adquirir humedad.

#### Suelos Arenosos:

Estos suelos están mayoritariamente conformados por arenas finas, con poca o casi nula presencia de limos o arcillas. Son depositados principalmente por acción de los vientos y escorrentías en los lugares más bajos, cercanos a zonas marítimas, donde el suelo es formado por estratos de arena fina colocados uno sobre otro. Este tipo de suelo de igual manera representa un reto para la ingeniería ya que en presencia de sismos recurrentes o fuertes y/o niveles freáticos altos, son susceptibles a perder estabilidad y son un riesgo para la cimentación superficial construida, dado que significan una pérdida de la capacidad de soporte y admisible del suelo llevando a la cimentación a desplazamientos o asentamientos que afectan la edificación. Se encuentran en zonas de la provincia de Limón, Puntarenas, sectores de Tilarán y Orotina entre otros. El principal problema al que nos enfrentamos con este tipo de suelo es la licuefacción, asentamientos, desplazamientos, volcamientos producto de la acción del nivel freático y de la sismicidad.

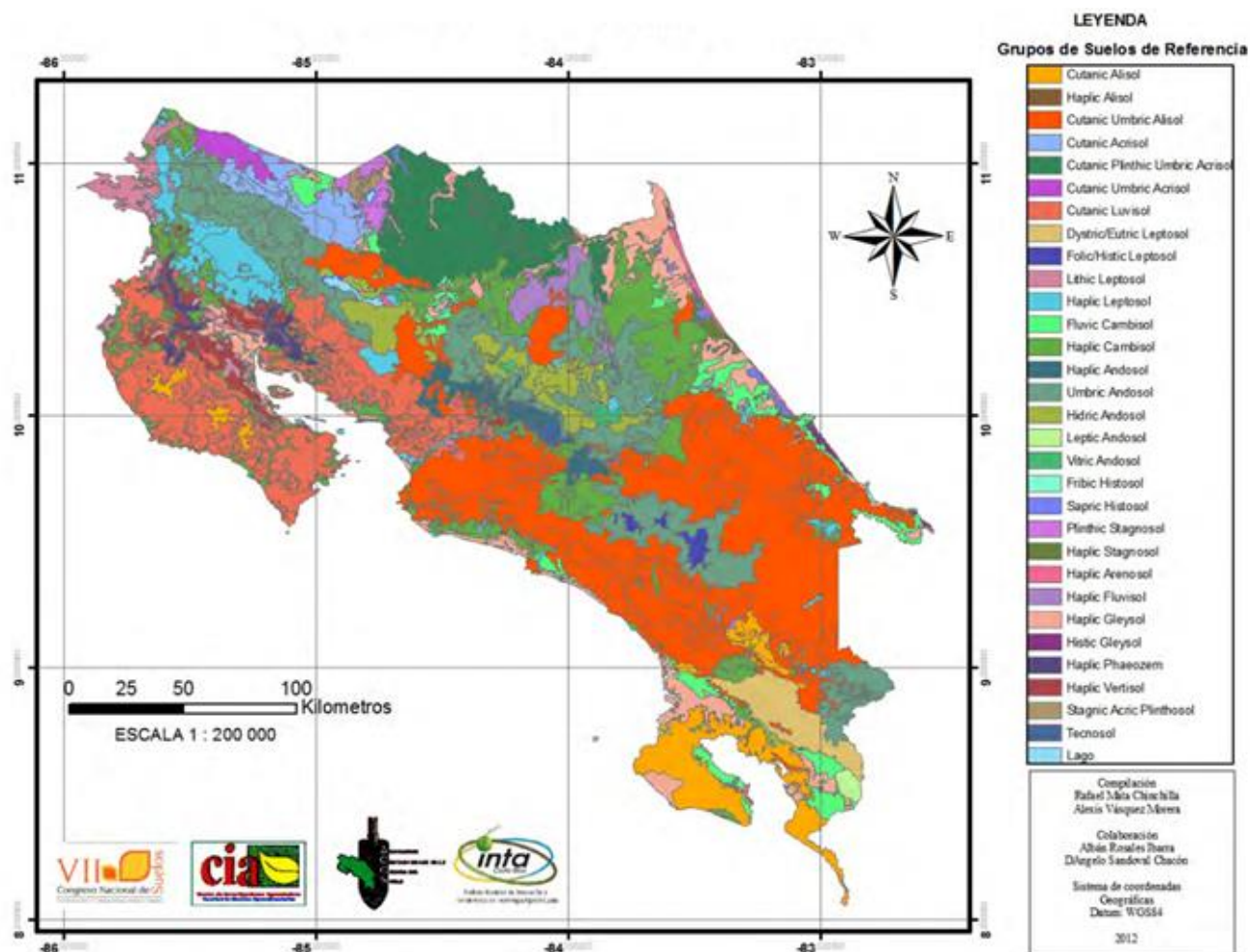
Nuestro país presenta diversidad de tipos de suelos, dentro de los cuales se ubican los arcillosos y los arenosos, esto se refleja en el hecho que al construir en determinada zona del país no implica que otra construcción a escasos metros o kilómetros de distancia presente el mismo tipo de suelo, lo que hace incidir al ingeniero en la necesidad recurrente de realizar estudios de suelo que le permita identificar la mejor práctica constructiva para salvaguardar la vida humana.



A continuación, se muestra el Mapa de suelos de Costa Rica con información de los tipos de suelo predominantes por región.

Figura 1.

*Mapa de suelos de Costa Rica*



Fuente (<http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/av-1630.pdf>,2012)

Tomando la Figura 1 como referencia y adaptándola a los tipos de suelos arcillosos y arenosos, estos se clasifican como:

*Suelos de corte arcilloso:*

ACRISOLES: Suelos que tienen mayor contenido de arcilla en el subsuelo que en el suelo superficial como resultado de procesos pedogenéticos (especialmente

migración de arcilla). Tienen en determinadas profundidades una baja saturación con bases y arcillas de baja actividad. Se presentan en las llanuras del norte, las estribaciones de la cordillera de Talamanca hacia el atlántico y el pacífico y los valles internos del sur del país (<http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/AV-1630>, Av-1823, 2012)

**ALISOLES:** Son suelos similares al anterior excepto que tienen una baja saturación con bases a ciertas profundidades y arcillas de alta actividad en todo el horizonte árgico (que tiene un contenido en arcilla netamente mayor que el horizonte situado encima (rico en arcilla)). De igual forma se presentan en las llanuras del norte, las estribaciones de la cordillera de Talamanca hacia el atlántico y el pacífico y los valles internos del sur del país. (<http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/AV-1630>, Av-1823, 2012)

**LUVISOLES:** Son suelos donde la arcilla y el paso de arcilla de un estrato a otro es dominante. Son predominantes principalmente en el pacífico norte. (<http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/AV-1630>, Av-1823, 2012)

**VERTISOLES:** Son suelos arcillosos, que se expanden y contraen debido a cambios en el contenido de humedad, formando grietas en la época seca. Presentan alto contenido de bases y bajos contenidos de azufre. Se presentan en el bacín del río Tempisque, el más importante río del pacífico norte del país. Estos suelos se ubican en la zona de Guanacaste específicamente en los cantones de Liberia, Carrillo, Nicoya, Bagaces, Cañas y Abangares. También algunos sectores de Puntarenas, Alajuela (Los Chiles), Cartago y San José (Santa Ana). Este orden de suelos equivale a 788,34 km<sup>2</sup> que corresponden aproximadamente al 1,56% del territorio nacional. (<http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/AV-1630>, Av-1823, 2012)

*Suelos de corte arenoso:*

**ARENOSOLES:** Suelos arenosos que se presentan en playas del litoral pacífico y atlántico. (<http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/av-1630>, 2012, párr. 13-14).

### 2.1.2 Generalidades: Suelos Arcillosos.

Las arcillas por lo general se componen de partículas microscópicas menores a 0.002 mm y su nombre es dado básicamente por el tamaño de su partícula, o sea por ejemplo una muestra de arcilla no está conformada exclusivamente por este mineral, puede contener otros y tienen la particularidad que al mezclarse con agua desarrollan plasticidad, mantienen una estructura laminar con capacidad de expandirse o contraerse y normalmente esta mezclada con materia orgánica.

Tabla 1.

*Límites de tamaño de suelos arcillosos*

<b>Organización</b>	<b>Tamaño de partícula de arcilla (mm)</b>
Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT)	< 0.002
Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA)	< 0.002
Asociación Americana de Funcionarios del Transporte y Carreteras Estatales (AASHTO)	< 0.002
Sistema unificado de clasificación de suelos (U.S. Army Corps of Engineers; U.S. Bureau of Reclamation; American Society for Testing and Materials)	Finos (Limos y Arcillas) < 0.002

Fuente (Elaboración propia)

El suelo arcilloso por lo general en estado seco forma terrones duros que no pueden romperse de manera fácil, una vez humedecido es suave al tacto, pegajoso y puede generar machas en los dedos.

Los suelos de este tipo tienen características en su estado natural que son aplicables a la hora de realizar los cálculos requeridos, además son importantes porque dependiendo de sus cualidades o características que lo hacen particular se puede establecer de primera entrada que tan compacto o no es el suelo, además de poder palpar que tan húmedo está, entre otras propiedades físicas que el suelo posee, por ello se enuncia en la siguiente tabla propiedades importantes a considerar.

Tabla 2.

*Relación de vacíos, contenido de agua y peso específico seco: Arcillas.*

<b>Suelo</b>	<b>Relación de vacíos (e)</b>	<b>Contenido de agua(saturado) (%)</b>	<b>Peso específico sat. (<math>\gamma_{sat}</math>) (kN/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Peso específico seco (<math>\gamma_d</math>) (kN/m<sup>3</sup>)</b>
Arcilla firme	0.6	22	20.2	16.6
Arcilla suave	1.20	45	17.3	12.0
Arcilla organiza suave	3.0	110	14.0	6.7

Fuente (Elaboración propia)

### 2.1.3 Generalidades: Suelos Arenosos.

Las arenas al igual que las arcillas se componen de partículas que según la organización que las catalogue van desde los 4.75 mm hasta los 0.075 mm y están formadas principalmente por cuarzo y feldspatos. Según la organización que rige la clasificación de las arenas se define el tamaño de partícula de la siguiente forma:

Tabla 3.

*Límites de tamaño de suelos arenosos*

<b>Organización</b>	<b>Tamaño de partícula de arena (mm)</b>
Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT)	2 a 0.06
Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA)	2 a 0.05
Asociación Americana de Funcionarios del Transporte y Carreteras Estatales (AASHTO)	2 a 0.075
Sistema unificado de clasificación de suelos (U.S. Army Corps of Engineers; U.S. Bureau of Reclamation; American Society for Testing and Materials)	4.75 a 0.075

Fuente (Elaboración propia)

El suelo arenoso por lo general es áspero al tacto y puede romperse de manera fácil, una vez humedecido es suave al tacto, es no pegajoso y no machas los dedos. Los suelos de

este tipo tienen características en su estado natural que son aplicables a la hora de realizar los cálculos requeridos y que al igual que las arcillas son útiles a la hora de determinar sus propiedades físicas.

Tabla 4.

*Relación de vacíos, contenido de agua y peso específico seco: Arenas.*

Suelo	Relación de vacíos (e)	Contenido de agua(saturado) (%)	Peso específico sat. ( $\gamma_{sat}$ ) (kN/m <sup>3</sup> )	Peso específico seco ( $\gamma_d$ ) (kN/m <sup>3</sup> )
Arena suelta uniforme	0.85	32	18.5	14.3
Arena densa uniforme	0.51	19	20.4	17.0
Arena bien gradada suelta	0.67	25	19.4	15.6
Arena bien gradada densa	0.43	16	21.2	18.2

Fuente (Elaboración propia)

#### 2.1.4 Fallas en suelos

Cuando la capacidad última de carga es alcanzada, la falla ocurre y se presenta al crearse una superficie de falla en el suelo por debajo de la cimentación superficial, que podrá avanzar hacia uno o ambos lados, en otras palabras, el cimiento podrá tener un asentamiento homogéneo y/o diferencial, este último provoca volcamiento, fallas del cimiento y por ende de la edificación. Normalmente esta falla diferencial podría ser repentina y con frecuencia se sigue de inclinaciones fuertes que origina el colapso, a su vez se puede clasificar en:

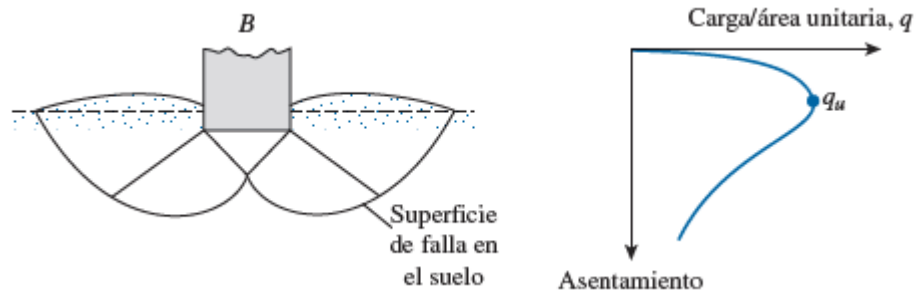
##### Falla por corte general:

Si se tiene en nuestro caso un suelo del tipo arenoso o un suelo arcilloso sobre el cual se aplica una carga que puede ir en aumento, entonces el asentamiento que ésta provoque también aumenta, dando lugar a una variación de la carga por unidad de área a la que se conoce como:  $q$ . En determinado instante, la carga por unidad de área  $q$  iguala a la capacidad de carga última de la cimentación  $q_u$  y se produce asentamiento. Para este instante

el suelo sufre una falla al corte y la zona de falla en uno o de ambos lados de la cimentación se extiende a la superficie del terreno.

Figura 2.

*Falla por corte general del suelo.*



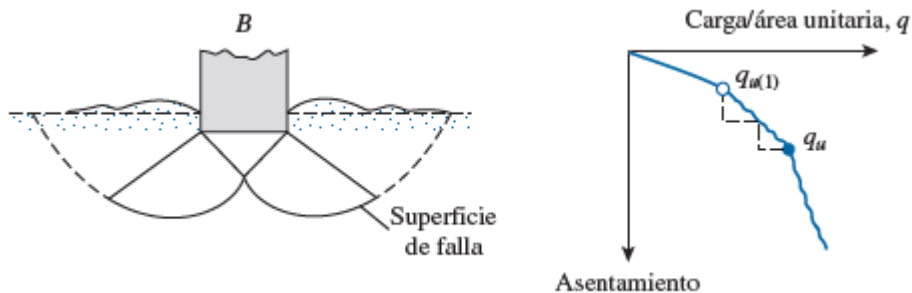
Fuente: (Braja M. Das,2012)

*Falla por corte local:*

Si la cimentación superficial se posa sobre el suelo en estudio que sería el arenoso o arcilloso ocurre lo mismo que el caso anterior; la carga ira en aumento, entonces el asentamiento aumenta, dando lugar a una variación de la carga por unidad de área a la que se conoce como:  $q$ ; sin embargo, la superficie de falla en el suelo se extiende de manera gradual hacia fuera desde la cimentación, cuando la carga por área unitaria sobre el cimientto es igual a  $q_u$ , el movimiento de la cimentación se acompaña de sacudidas repentinas. Una mayor carga estará acompañada de grandes incrementos en los asentamientos de la cimentación, donde nunca se observará un valor máximo de  $q$ .

Figura 3.

*Falla por corte local del suelo.*



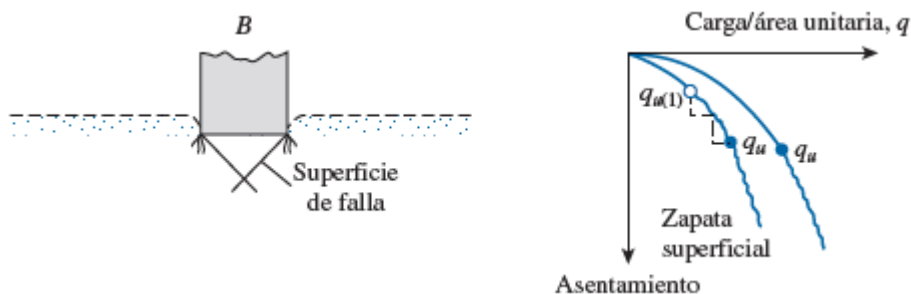
Fuente: (Braja M. Das,2012)

*Falla al corte por punzonamiento:*

Si la cimentación se sitúa sobre un suelo arenoso y/o arcilloso donde sus partículas están muy separadas, o sea un suelo suelto, la falla no se extiende hasta la superficie del terreno; el cimiento se hunde, punzando el terreno con un desplazamiento casi vertical y sin observarse un valor de carga más allá de la carga última de falla  $q_u$ .

Figura 4.

*Falla al corte por punzonamiento.*



Fuente: (Braja M. Das,2012)

Como se observa la falla del suelo se puede encasillar en los tres tipos descritos anteriormente. El suelo ya sea este arcilloso o arenoso en condiciones blandas o compactas puede fallar al ser forzado a ir hacia abajo sin afectar el terreno de manera superficial, presentando un hundimiento o consolidación del estrato del suelo que se ubica por debajo del cimiento, así también el suelo puede verse obligado a separarse del cimiento y la falla tiende a propagarse hacia afuera provocando abultamiento o levantamiento del terreno adyacente a la cimentación, pero si el suelo adyacente tiene una alta compresibilidad, la falla

no se extiende y toma forma de “abanico” dando lugar a un esfuerzo cortante local. Por último, la cimentación producto de un aumento de carga paulatino sufrirá un desplazamiento hacia abajo, lo que se conoce como falla general por esfuerzo cortante.

Normalmente, la afectación que el cimiento superficial provoca sobre los estratos del suelo arcillosos y/o arenoso puede presentarse de una manera perpendicular al suelo generando capacidades de carga que puede ser explicadas por teorías como las expuestas por Terzaghi o Meyerhof, que en muchos casos aplican a suelos homogéneos, pero en casos donde se cuenta con dos o más estratos de suelo heterogéneos por debajo de la cimentación se debe considerar lineamientos adicionales que se refieren específicamente a la región donde se desarrolla el proyecto, es acá donde para nuestro país juega un papel importante el Código de Cimentaciones de Costa Rica. Si se tienen suelos estratificados, no homogéneos el código plantea lo siguiente:

- a. Si los parámetros de resistencia al corte ( $c' \setminus f'$ ) de las capas que se encuentran dentro del bulbo de esfuerzos aún con valores significativos, no varían en más de un 10%, se puede trabajar con los valores promedio de dichos parámetros.
- b. Si bajo el nivel de desplante y dentro de la profundidad significativa aparecen capas suaves por encima de capas duras, se deberán utilizar los parámetros de las capas suaves para la estimación de la capacidad de soporte.
- c. Si a determinada profundidad, tal que se considere aún bajo la influencia del bulbo de esfuerzos, aparecen capas duras por encima de las capas suaves, se deberá verificar que los esfuerzos en la parte inferior de las capas duras no excedan el valor de capacidad soportante admisible de las capas suaves.
- d. En el caso de suelos arcillosos y cuando la diferencia entre la rigidez de las capas sea pequeña (del orden de 5 %), de tal forma que no pueda decirse que una de ellas sea extremadamente dura o suave, en relación con la otra, se podrán utilizar teorías especialmente concebidas para estos casos (e.g. Button o similares).

(Código de Cimentaciones de Costa Rica, 2009, pág. 59-60).



### 2.1.5 Esfuerzos en suelos

Con este apartado lo que se quiere es dar al profesional responsable de la obra una herramienta previa que funcione para el cálculo de la distribución de los esfuerzos en la sección transversal donde se asienta el cimiento. Este proceso es previo al cálculo de la capacidad de carga y admisible del suelo con el fin de determinar los asentamientos en suelos compresibles. Este cálculo determina que porcentaje del esfuerzo aplicado al suelo es tomado por vacíos los cuales pueden estar saturados de humedad o no y que porcentaje del esfuerzo es tomado por las partículas de suelo en sí. Lo anterior se refiere al cálculo del esfuerzo efectivo.

Por otro lado, el uso de una cimentación implica que el suelo sufra cambios producto de la carga que ésta, más la carga del edificio ejercen sobre él, en otras palabras, se incrementa el esfuerzo ya que no solo aplica el esfuerzo del suelo, sino también se suma el esfuerzo del cimiento.

#### Esfuerzo efectivo:

Cuando se tiene en sitio un suelo saturado completamente impermeable, o sea que no permite más contenido de agua del que ya posee, el cálculo del esfuerzo efectivo va de la mano con el peso específico saturado del suelo y el peso específico del agua que se ubica sobre él. Se considera este estado estático con el fin de tomar como referencia un estado crítico donde en el caso de suelo saturado emula una arcilla expansiva o una arena en estado de licuefacción.

$$\sigma' = H_A \gamma_{seco} + H_{NF} \gamma_{sat} \quad (1) \quad \text{Esfuerzo Total}$$

$$u = H_{NF} \gamma_w \quad (2) \quad \text{Esfuerzo Neutro}$$

$$\sigma = \sigma' + u \quad (3) \quad \text{Esfuerzo Efectivo}$$

Donde,

$\gamma_w$  = peso específico del agua = **9.81 kN/m<sup>3</sup>**

$\gamma_{seco}$  = peso específico del suelo seco

$u$  = presión de poro de agua para esfuerzo neutro

$\gamma_{sat}$  = peso específico del suelo saturado (por debajo del nivel freático)

$H_{NF}$  = altura del nivel del agua desde el nivel freático hasta estrato impermeable

$H_A$  = distancia entre el punto A (superficie del suelo) y el nivel freático

Entonces con los datos básicos se considera obtener el esfuerzo efectivo para una arcilla y una arena en particular considerando un estrato sin saturar y un estrato saturado. A continuación, se detallará el proceso para encontrar el esfuerzo efectivo a manera de ejemplo, para el resto de condiciones o situaciones que se presenten se sigue el proceso de igual manera para la condición estática.

Arcilla firme sin saturar:

Se obtiene los datos de la tabla 5 a una profundidad máxima de 2 m.

**Esfuerzo Total:**

$$\sigma' = H_A \gamma_{seco} + H_{NF} \gamma_{sat}$$

$$\sigma' = H_A \gamma_{seco}$$

$$\sigma' = 2 * 16.6$$

$$\sigma' = 33.2 \text{ kN/m}^2$$

**Esfuerzo Neutro:**

$$u = H_{NF} \gamma_w$$

$$u = 0$$

**Esfuerzo Efectivo:**

$$\sigma = \sigma' + u$$

$$\sigma = 33.2 + 0$$

$$\sigma = 33.2 \text{ kN/m}^2$$

Arcilla firme saturada:

Se obtiene los datos de la tabla 5 suponiendo dos estratos de arcilla a 2 m de profundidad cada una.

**Esfuerzo Total:**

$$\sigma' = H_A \gamma_{seco} + H_{NF} \gamma_{sat}$$

$$\sigma' = 2 * 16.6 + 2 * 20.2$$

$$\sigma' = 73.6 \text{ kN/m}^2$$

**Esfuerzo Neutro:**

$$u = H_{NF}\gamma_w$$

$$u = 2 * 9.81$$

$$u = 19.62 \text{ kN/m}^2$$

**Esfuerzo Efectivo:**

$$\sigma = \sigma' + u$$

$$\sigma = 73.6 + 19.62$$

$$\sigma = 93.22 \text{ kN/m}^2$$

Arena densa uniforme sin saturar:

Se obtiene los datos de la tabla 7 a una profundidad máxima de 2 m.

**Esfuerzo Total:**

$$\sigma' = H_A\gamma_{seco} + H_{NF}\gamma_{sat}$$

$$\sigma' = H_A\gamma_{seco}$$

$$\sigma' = 2 * 17$$

$$\sigma' = 34 \text{ kN/m}^2$$

**Esfuerzo Neutro:**

$$u = H_{NF}\gamma_w$$

$$u = 0$$

**Esfuerzo Efectivo:**

$$\sigma = \sigma' + u$$

$$\sigma = 34 + 0$$

$$\sigma = 34 \text{ kN/m}^2$$

Arena densa uniforme saturada:

Se obtiene los datos de la tabla 7 suponiendo dos estratos de arena a 2 m de profundidad cada una.

**Esfuerzo Total:**

$$\sigma' = H_A\gamma_{seco} + H_{NF}\gamma_{sat}$$

$$\sigma' = 2 * 17 + 2 * 20.4$$

$$\sigma' = 74.8 \text{ kN/m}^2$$

**Esfuerzo Neutro:**

$$u = H_{NF}\gamma_w$$

$$u = 2 * 9.81$$

$$u = 19.62 \text{ kN/m}^2$$

**Esfuerzo Efectivo:**

$$\sigma = \sigma' + u$$

$$\sigma = 74.8 + 19.62$$

$$\sigma = 94.42 \text{ kN/m}^2$$

Con estos ejemplos se obtiene el esfuerzo efectivo necesario para el cálculo de las cargas portantes y admisibles.

#### Consolidación del suelo:

El proceso de consolidación del suelo actúa de manera particular en los suelos de tipo arcillosos, básicamente por su capacidad a expandirse y/o contraerse. Los suelos arcillosos presentan mayores esfuerzos de carga y esto se refleja en las presiones que puede tener al verse sus partículas obligadas a unirse más de lo habitual, lo que presiona los espacios vacíos entre ellas. Estos espacios por las características que la arcilla presenta se vuelven lentos a la hora de tratar de disipar esta presión por lo que el esfuerzo total aplicado en la superficie del terreno se transmite tal cual a los estratos inferiores sin que exista disipación de este esfuerzo. En este instante de aplicación del esfuerzo sobre el terreno el tiempo  $t = 0$  y la presión de los espacios vacíos o poros  $u$  es igual al esfuerzo por la nula disipación de esta presión, por lo tanto:

**Esfuerzo Neutro:**

$$\Delta u = H_{NF}\gamma_w = \Delta\sigma'$$

$$\Delta u = \Delta\sigma' \quad (4)$$

**Esfuerzo Efectivo:**

$$\Delta\sigma = \Delta\sigma' + \Delta u$$

$$\Delta\sigma' = \Delta\sigma - \Delta u \quad (5)$$

Este proceso de consolidación se extiende en el tiempo  $t = \infty$ , por lo que el esfuerzo efectivo se representa con la ecuación

$$\Delta\sigma' = \Delta\sigma - \Delta u = \Delta\sigma' = \Delta\sigma - 0 = \Delta\sigma' = \Delta\sigma \quad (6)$$

La consolidación prorrogada en el tiempo ocasiona asentamiento del suelo y cuando la presión alcanza su punto máximo después del esfuerzo efectivo se dice que el suelo entra en presión de preconsolidación y cuando la presión de esfuerzo efectivo es igual al esfuerzo de preconsolidación se dice que el suelo está consolidado, pero si la presión de esfuerzo efectivo es menor al esfuerzo de preconsolidación se dice que el suelo este sobreconsolidado.

#### Índice de compresión y expansión:

El índice de compresión representado por el símbolo  $C_c$ , puede variar de gran manera en dependencia del tipo del suelo sobre el cual se determine la relación de vacíos con respecto a los esfuerzos presente en el suelo, mientras que el índice de expansión el cual se simboliza como  $C_s$ , viene a ser de 1/4 a 1/5 del índice de compresión por lo que se le conoce con el nombre de índice de recompresión y representa la relación del esfuerzo con la relación de vacíos final.

#### Ecuación índice de compresión

$$C_c = 0.009(LL - 10) \quad (7)$$

Dónde: LL = Límite líquido.

#### Ecuación índice de expansión

$$C_s = \frac{e_3 - e_4}{\log\left(\frac{\sigma_4}{\sigma_3}\right)} \quad (8)$$

Tanto el índice de compresión como de expansión son variables que se requieren para el cálculo del asentamiento por consolidación, el cual es ocasionado por la carga que se aplicada sobre el terreno que vendrá a ser extra a la carga propia del suelo.

#### Asentamiento por consolidación:

El asentamiento por consolidación está determinado por el espesor del estrato y se calcula como:

$$S_c = \frac{\Delta e}{1 + e_0} * H_c \quad (9)$$

Donde

$S_c$  = asentamiento por consolidación primario

$\Delta e$  = cambio total de la relación de vacíos ocasionada por la aplicación de la carga adicional

$e_0$  = relación de vacíos del suelo antes de la aplicación de la carga.

Para el caso específico de suelos arcillosos donde se considera que la consolidación en términos generales es estable o normal en el tiempo, se planteó que el esfuerzo efectivo será igual al esfuerzo total, por ellos se puede plantear la ecuación para este tipo de arcillas consolidadas normales como

$$\Delta_e = C_c * \log \frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma'}{\sigma'_0} \quad (10)$$

Donde

$\sigma'_0$  = esfuerzo efectivo promedio sobre la capa de arcilla

$\Delta\sigma' = \Delta\sigma$  (presión agregada)

Ahora al combinar la ecuación del asentamiento por consolidación más la ecuación para determinar el asentamiento de los suelos arcillosos consolidados, se genera una ecuación general para el cálculo del asentamiento por consolidación donde además de contemplar el asentamiento primario originado por una carga adicional se contempla el asentamiento del suelo producto de la presión de poros dentro de sus partículas. Esta ecuación se define como:

$$S_c = \frac{C_c * H_c}{1 + e_0} * \log \frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma'}{\sigma'_0} \quad (11)$$

Como ya se mencionó si la presión de esfuerzo efectivo es menor al esfuerzo de preconsolidación, se dice que el suelo este sobreconsolidado. Entonces si se requiere calcular el asentamiento en suelos arcillosos sobreconsolidados se toma la ecuación anterior con la variante de que se omite el índice de compresión y este se sustituye por el límite de expansión, dado que la presión en los vacíos del suelo es máxima y no tiene más espacio para comprimirse.

$$S_c = \frac{C_s * H_c}{1 + e_0} * \log \frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma'}{\sigma'_0} \quad (12)$$

Resistencia al corte del suelo:

Considerando el esfuerzo efectivo que previamente en este documento se mostró la manera de como calcularlo, se puede formular la ecuación del cálculo a la resistencia al corte del suelo como sigue:

$$s = c' + \sigma' \tan \Phi' \quad (13)$$

Donde

$\sigma'$  = esfuerzo normal efectivo en el plano del corte

$c'$  = Cohesión o resistencia no drenada

$\phi'$  = ángulo de fricción por esfuerzo efectivo

Acá es importante considerar que, si tenemos un suelo arcilloso o arenosos es su estado normal de consolidación, o sea sin verse afectado por presiones adicionales en los poros, la cohesión de ellos tendrá el valor de 0, ahora bien, la cohesión será mayor a 0 en aquellos casos donde las arcillas y/o arenas tenga un aumento en las presiones pasando a un estado de sobreconsolidación. La cohesión y ángulo de fricción del tipo de suelo que se estudió se obtienen normalmente de pruebas de laboratorio como la prueba de corte directo o la triaxial.

Tabla 5.

*Angulo de fricción y Cohesión. Suelo arcilloso-arenoso. Prueba Corte Directo y*

*Axial.*

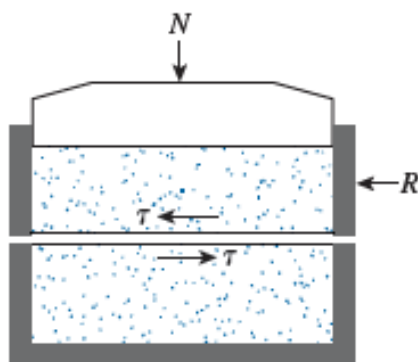
<b>Tipo de prueba</b>	<b>Tipo de suelo</b>	<b>Ecuación Angulo de Fricción</b>	<b>Ecuación Cohesión</b>
<b>Prueba corte directo</b>	Arenoso	Esfuerzo Normal $\sigma' = \frac{N}{A}$ Esfuerzo Cortante $s = \frac{R}{A}$ Donde N = Carga normal R = Fuerza cortante A = Área transversal de la base de la caja mostrada en la Figura 6. Angulo de fricción $\Phi' = \tan^{-1} \left( \frac{s}{\sigma'} \right)$	A partir del cálculo del ángulo de fricción se usa la ecuación lineal descrita en la Figura 8 para despejar la ecuación de la cohesión. $s = c' + \sigma' \tan \Phi'$ Al conocer s, $\sigma'$ y $\phi'$ , se replante la ecuación: $c' = s - \sigma' \tan \Phi'$ Cohesión $c' = s - \sigma' \tan \Phi'$
<b>Prueba Triaxial</b>	Arcilloso	<p style="text-align: center;">Para el cálculo de ángulo de fricción y cohesión se realiza una aproximación por el criterio de falla de Mohr-Coulomb y la envolvente que genera al realizar el trazo de esta sobre los círculos de Mohr. Esta aproximación se realiza según las Figura 9., Figura 10., Figura 11. y Figura 12.</p> <p><b>Consolidada-Drenada</b></p> Esfuerzo Efectivo principal mayor $\sigma_3 + \Delta\sigma_f = \sigma_1 = \sigma_1'$ Esfuerzo Efectivo principal menor $\sigma_3 = \sigma_3'$ Arcilla normal consolidada $c' = 0$	<p><b>Consolidada- No Drenada</b></p> Esfuerzo Total principal mayor $\sigma_3 + \Delta\sigma_f = \sigma_1$ Esfuerzo Total principal menor $\sigma_3$ Esfuerzo Efectivo principal mayor $(\sigma_3 + \Delta\sigma_f) - u_f = \sigma_1'$ Esfuerzo Efectivo principal menor $\sigma_3 - u_f = \sigma_3'$ Arcilla normal consolidada $c' = 0$



		<p><b>No Consolidada- No Drenada</b>                  Esfuerzo Total principal mayor  <math>\sigma_3 + \Delta\sigma_f = \sigma_1</math>                  Esfuerzo Total principal menor  <math>\sigma_3</math>                  Arcilla normal no consolidada, no drenada <math>\phi' = 0</math></p>
--	--	--

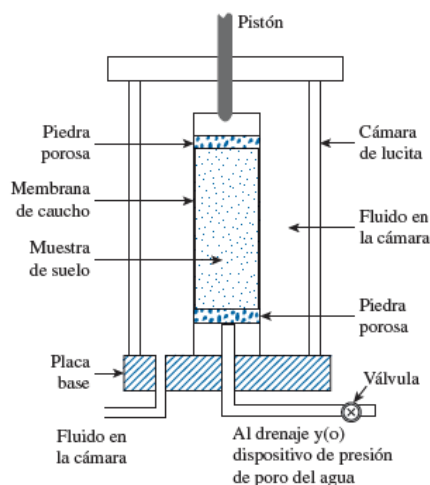
Fuente (Elaboración propia).

Figura 5.  
*Prueba de Corte Directo*



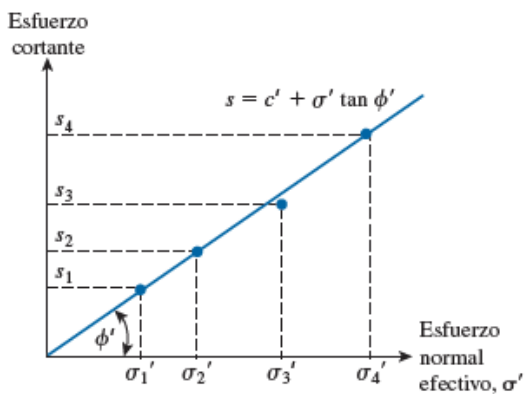
Fuente (Braja M, 2012).

Figura 6.  
*Prueba Triaxial*



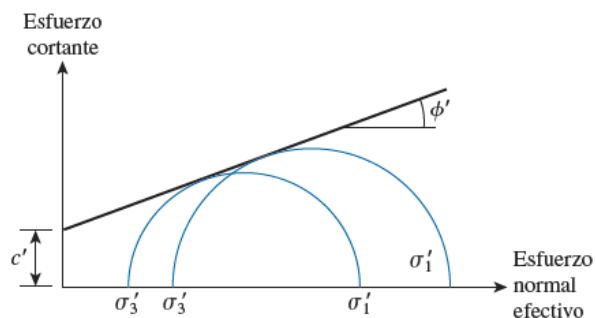
Fuente (Braja M, 2012).

Figura 7.  
*Gráfica: Angulo de fricción.*



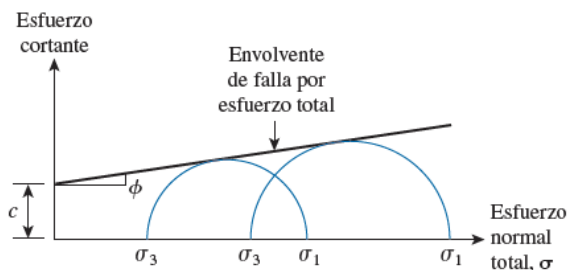
Fuente (Braja M, 2012).

Figura 8.  
*Prueba Consolidada-Drenada*



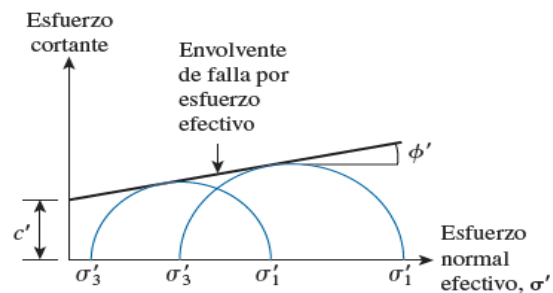
Fuente (Braja M, 2012).

Figura 9.  
Prueba Consolidada- No Drenada



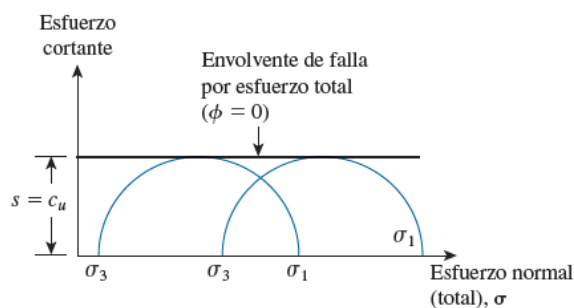
Fuente (Braja M, 2012).

Figura 10.  
Prueba Consolidada- No Drenada



Fuente (Braja M, 2012).

Figura 11.  
Prueba No Consolidada- No Drenada



Fuente (Braja M, 2012).

### 2.1.6 Caracterización del tipo de cimentación

La cimentación tiene como principal función el soportar la edificación y transmite las cargas asociadas al inmueble directamente al suelo, siendo éste parte integral de la relación edificación-cimiento-suelo. Para efectos del enfoque del estudio este se realiza sobre las cimentaciones superficiales, las cuales se pueden definir como aquellos “tipos de cimientos en que la relación  $D_f/B$  ( $D_f$  = nivel de desplante,  $B$  = ancho del cimiento), es menor o igual que 1”. (Código de Cimentaciones de Costa Rica, 2009, pág. 51).

Cuando en el estudio de suelos realizado por el profesional responsable de la obra se determina que a poca profundidad (0,5 m a 4,0 m), existe una capa de suelo que resiste el aporte de la edificación transmitida al cimiento, entonces se usa la cimentación superficial;

por lo anterior es que se estudia la relación de los cimientos superficiales con suelos arcillosos y/o arenosos presentes a poca profundidad apenas por debajo de la capa orgánica del terreno.

Los cimientos superficiales a abordar son el cimiento corrido o placa corrida que habitualmente son construidos por debajo de los muros de la edificación en zanjas previamente construidas y a lo largo de cada una de las paredes de la huella del inmueble, con el fin de que las cargas de la estructura se repartan sobre la superficie de la placa. Por otro lado, también se aborda la cimentación de losa flotante o losa de cimentación la cual capacita al inmueble a construirse sobre una superficie mayor, distribuyendo así de mejor forma y de manera uniforme las cargas que el inmueble trasmite al suelo mediante el cimiento.

*Profundidad y rigidez de la cimentación superficial:*

La profundidad de la cimentación debe velar por la no falla por cortante del suelo y ante situaciones de socavamiento provocadas por efecto del agua, asegurando que no existan deformaciones importantes en el inmueble o el suelo, buscando de una u otra forma que se construya sobre suelo adecuado, no orgánico ni poco consolidado, siempre partiendo del análisis y de los resultados de capacidad admisible y portante del suelo que arroja el estudio de suelo elaborado por un laboratorio certificado. Por su parte la rigidez del cimiento construido a partir de concreto reforzado debe tratarse como tal y debe verificarse que la dimensión máxima del cimiento sea menor al efecto de las presiones por debajo y por encima del cimiento que provocan un efecto no planar y dan como resultado un giro o momento aplicado al cimiento que deriva en levantamientos o volcamientos.

Los tipos de suelos en estudio como ya se ha mencionado en reiteradas situaciones es arenoso y/o arcilloso, son suelos blandos que benefician las presiones por debajo de la cimentación, lo que permite una distribución plana de ella y da lugar al diseño de la cimentación mediante el uso del método rígido.

$$L < \frac{1}{4} * \frac{\pi}{\sqrt{\frac{K_{s1}B}{4E_cI}}} \quad (14)$$

Donde,

L = Dimensión máxima del cimiento.

B = Ancho del cimiento.

$E_c$  = Modulo de elasticidad del concreto.

I = Momento de inercia de la sección transversal del cimiento.

$K_{s1}$  = Modulo de reacción vertical del suelo.

(Código de Cimentaciones de Costa Rica, 2009, pág. 53).

Capacidad soportante de la cimentación:

Para obtener la capacidad soportante se recurre a dos métodos bien conocidos, el más práctico y usual es la utilización de estudios en sitio elaborados por un laboratorio especializado en la materia y si se carece de este por cualquier situación se recurre al uso de fórmulas de equilibrio limite, para el cálculo de la capacidad de carga como:

$$q_{ult} = \frac{\gamma_1 B}{2} N_\gamma + c N_c + \gamma_2 D_f N_q \quad (15)$$

Donde,

$q_{ult}$  = Capacidad de soporte ultima (kPa).

B = Ancho mínimo de la cimentación (m).

c = Cohesión del material (kPa).

$\gamma_1$  = Peso volumétrico del suelo por debajo del nivel de desplante ( $\text{kN/m}^3$ ).

$\gamma_2$  = Peso volumétrico del suelo por encima del nivel de desplante ( $\text{kN/m}^3$ ).

$D_f$  = Nivel de desplante (en el caso de sótanos usar la mínima) (m).

$N_\gamma$ ,  $N_c$ ,  $N_q$  = Factores de capacidad de carga.

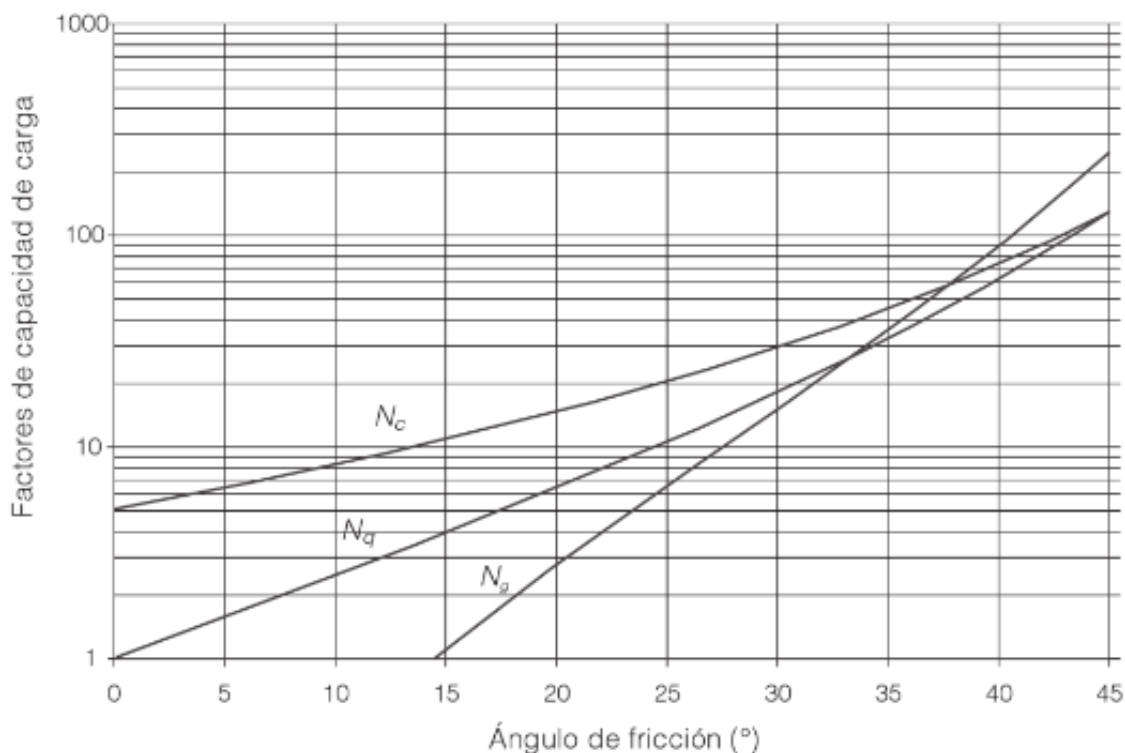
(Código de Cimentaciones de Costa Rica, 2009, pág. 54-55).

Por otra parte, se puede contemplar el peso del suelo sobre la cimentación. Acá se trabaja con una capacidad de soporte ultima neta definida como:

$$q_{um} = \frac{\gamma_1 B}{2} N_\gamma + c N_c + \gamma_2 D (N_q - 1) \quad (16) \quad (\text{Código de Cimentaciones de Costa Rica, 2009, pág. 55}).$$

Figura 12.

*Factores de capacidad de carga para la ecuación general de capacidad de soporte*



Fuente (Código de Cimentaciones de Costa Rica, 2009, pág. 56).

### Capacidad soportante de diseño para la cimentación:

Para el diseño de la cimentación superficial se debe relacionar el cómo interactúa el cimiento con el suelo sobre el cual se construye. Siendo así en suelos arcillosos de contextura dura, el diseño se relaciona con el uso de factores de seguridad que culmina con asentamientos admisibles para la edificación; ahora que si se tienen suelos arcillosos suaves el asentamiento puede ser más de lo que se admite poniendo en riesgo a la edificación corriendo el riesgo de falla por cortante.

Por otro lado, si el suelo sobre el cual construimos la cimentación es arenoso denso, de igual manera se apela al uso de factores de seguridad para asentamientos admisibles y si

por el contrario se tiene suelos arenosos sueltos, la capacidad de soporte se rige por asentamientos, cayendo en peligro de falla por cortante.

Debido a lo anterior es preponderante el tener presente el cálculo del estado límite de falla de la capacidad de soporte de la cimentación, para lo cual se utiliza:

Método de diseño por resistencia:

Uso de factores de reducción para la capacidad de soporte ultima donde el suelo debe satisfacer la relación:

$$q_{um\acute{a}x} \leq \Phi * q_n \quad (17)$$

Donde,

$q_{um\acute{a}x}$  = Esfuerzo máximo transmitido al suelo por la cimentación con las cargas ultimas (kPa).

$q_n$  = Capacidad soportante nominal del suelo (kPa). Este es equivalente al  $q_{ult}$  del CCCR-2009.

(Código de Cimentaciones de Costa Rica, 2009, pág. 45).

Tabla 6.

*Factores de reducción  $\phi$  para la capacidad soportante de los suelos*

<b>Combinación de carga</b>	<b>Relación <math>q_{umin} / q_{um\acute{a}x}</math></b>	<b>Factor <math>\phi</math></b>
Combinaciones 6-1 y 6-2	Mayor o igual que 0.25	0.45
	Menor que 0.25	0.60
Combinaciones 6-3 y 6-4	Mayor o igual que 0.25	0.65
	Menor que 0.25	0.85

Fuente (Tabla 13-1, CSCR-2010, pág. 13/2)

Método de diseño por esfuerzos de trabajo:

Se utilizan los factores de seguridad (FS) que como regla tendrá un valor de 3.0 para terrenos de tipo normal, sin ser nunca menor a 2.0, relacionando con la capacidad de soporte ultima para obtener el esfuerzo admisible.

$$q_{adm} = \frac{q_n}{FS} \quad (18)$$

Tabla 7.

*Factores de seguridad para capacidad de soporte*

<b>Condición de carga</b>	<b>Factor de seguridad tradicional</b>
Estática	3.0
Estática + Dinámica	2.0

Fuente (Tabla 3-2, CCCR-2009, pág. 46)

Cuando se tiene condiciones de cargas excéntricas se usa los factores de seguridad (FS) establecidos en la siguiente tabla.

Tabla 8.

*Factores de seguridad para cargas excéntricas*

<b>Condición de carga</b>	<b>Factor de seguridad tradicional</b>
Estática	3.0
Estática + Dinámica	2.0

Fuente (Tabla 3-3, CCCR-2009, pág. 47)

*Calculo del nivel freático:*

La capacidad portante de la cimentación en relación al suelo debe considerar el nivel freático que alcance el suelo arcilloso o arenoso, el cual se toma en cuenta cuando esté situado por encima de la profundidad de cimentación con el fin de calcular la presión lateral del terreno en la base de la misma. Si el nivel freático está a la altura de la profundidad de

cimentación o la supera el análisis debe considerar el peso específico sumergido del terreno y la presión lateral efectiva.

Ahora bien, si el nivel freático está por debajo de la profundidad de cimentación o es igual o menor al ancho de la cimentación, entonces:

$$\gamma = \gamma' + \left(\frac{Z_w}{B}\right) * (\gamma_m - \gamma') \quad (19)$$

Donde:

$\gamma$  = Peso volumétrico medio a considerar.

$\gamma'$  = Peso volumétrico sumergido.

$\gamma_m$  = Peso específico húmedo

$Z_w$  = Profundidad del nivel freático por debajo de la profundidad de cimentación.

En el caso que el nivel freático este aún más por debajo del ancho de la cimentación se ha de considerar el peso específico húmedo.

#### Problemas asociados a la relación Suelo-Cimiento:

Como ya se ha mencionado un hecho simple que ayuda a evitar estos tipos de problemas es la practica idónea de realizar siempre un estudio de suelo para el proyecto en cuestión, así mismo es muy relevante el tener noción del tipo de suelo según la zona en la que nos encontremos, con el fin de detectar o al menos anticipar la presencia de suelos no aptos para la construcción, grietas objeto de fallas geológicas o masas de agua que representen un problema de inundación o deslizamiento, entre otros.

Por su parte la cimentación superficial a usarse debe concordar con el medio donde se va a desarrollar la obra y debe ir acorde al tipo y propiedades del suelo y del medio en que se construya; es acá donde se debe relacionar la cimentación con el tipo de suelo, ya que si se tiene un suelo arenoso, se tiene que desarrollar un cimiento que impida los asentamientos a corto plazo o durante el proceso constructivo, ahora bien si la obra se desarrolla en zona costera donde estas arenas son más afectadas por al alto nivel freático y se pueda dar el fenómeno de la licuefacción, hay que prever el cómo se va a cimentar para evitar problemas.



Si en caso contrario la obra se desarrolla en suelo arcilloso el proceso se puede revertir ya que se tendrían asentamientos y/o abultamientos del suelo a mediano o largo plazo, especialmente en presencia de arcillas expansivas, las cuales al existir humedad originan irregularidades o cambios en su volumen.

Para ambos tipos de suelo sin importar su tipo de cimentación superficial, es muy importante el comportamiento sísmico, dado que las oscilaciones provocadas por las ondas del sismo perturban las arenas especialmente si están muy sueltas y a las arcillas expansivas que en general al tener sus partículas muy separadas generan desplazamientos y asentamientos que pueden hacer que la estructura falle por consolidación de suelo o volcamiento de la misma.

#### *Cimientos sobre arcillas expansivas:*

Es recomendable el remover y sustituir, las arcillas expansivas, aun así, la sustitución parcial en combinación con técnicas que impermeabilicen y aíslen el suelo con respecto a la cimentación puede ser una solución al problema, de no ser así el nivel de cimentación debe ser tal que asegure la edificación, siendo recomendable la construcción del cimiento por debajo de la capa expansiva de arcilla (entre 1,0 y 2,0 m de profundidad). Esto se logra con la remoción de la arcillas hasta llegar al estrato de suelo con mejores condiciones constructivas o se puede hacer uso de los rellenos de sustitución.

En caso de que no se pueda realizar o cumplir con lo anterior es permitido el construir sobre la arcilla expansiva, pero solo si se utilizan cimientos rígidos, con cimentaciones superficiales en concreto reforzado que garanticen la no presencia de asentamientos o abultamientos diferenciales, o sea que el movimiento del cimiento sea plano.

Otro hecho no despreciable en la construcción de cimientos sobre arcillas expansivas es la presión de hinchamiento máxima a la que se someta; lo adecuado es realizar estudios o ensayos para determinar este hinchamiento y así tener presente las presiones y la distribución de estas bajo el cimiento, presiones que por las características de la arcilla serán de expansión empujando o en su defecto atrayendo al cimiento. Estas presiones especialmente donde se presente los valores mayores o las presiones mayores, deben ser controlables en el diseño del cimiento con el fin de evitar alguna deformación o fractura en ella.

Como recomendaciones para mitigar la activación de estas arcillas por presencia de humedad se puede considerar evitar el plantar árboles o drenajes que representen humedad cerca de la huella de la vivienda o también se pueden construir aceras perimetrales que impermeabilicen la zona, así mismo en el proceso de construcción se puede estabilizar la huella con una mezcla de cal-cemento que de una u otra forma impermeabilice el suelo presente.

#### *Cimientos sobre arenas:*

Para este tipo de suelo toma aún más relevancia el realizar estudios de suelo para conocer qué tan granular o que tan dispersas pueden estar sus partículas, ya que esto puede hacerlo propenso a procesos peligrosos como la licuefacción o desplazamiento por vibraciones sísmicas. Si el sitio no presenta problemas de licuefacción o de nivel freático alto se puede construir, pero tomando las previsiones del caso con el fin de estabilizar la huella de la edificación; por el contrario, si existe presencia de niveles freáticos altos con la agravante de procesos de licuefacción las cimentaciones superficiales se descartan y se debe adoptar técnicas de cimentaciones profundas que por el momento no serán materia de este estudio.

#### *Consideraciones de diseño de placas corridas y/o aisladas:*

El espesor del cimiento debe asegurar su rigidez, donde para el caso de placas o cimientos corridos deben construirse en concreto reforzado con armadura tipo “T” invertida, asegurando que el diseño planteado cumpla con la resistencia a flexión y la resistencia a esfuerzo cortante que se da por la acción de la columna sobre la placa. Las cargas a utilizar serán mayoradas según lo establece el CSCR-2010.

Los asentamientos ya sea estos normales o diferenciales donde entra a relucir acciones como volcamiento, deben estar dentro de los parámetros apropiados con el objetivo que no exceden las capacidades admisibles; capacidades que son la base para el diseño adecuado del cimiento en función del asentamiento producido.

El cómo se diseñe el concreto armado de la placa debe ir de acuerdo a lo que establece el CSCR-2010 para este apartado.

Consideraciones de diseño para Losas de fundación:

Si se cumple la ecuación que se describió en el punto referido a: Profundidad y rigidez de la cimentación superficial; se establecen losas que tendrán una rigidez grande con presiones uniformes si no existe presencia de excentricidad. Ahora si la losa es flexible por ende no cumple la ecuación y las presiones no serán uniformes, ubicando las mismas principalmente donde se unen las columnas a la cimentación, por ello deben usarse en terrenos planos que perpetúen asentamientos regulares.

En el caso que se tenga suelos en presencia de arcillas expansivas que permitan también compresión, la losa debe ser preferiblemente plana, que no tenga cargas excéntricas con el fin de no ocasionar ningún tipo de ladeo, buscando siempre en el diseño que las cargas estén preferiblemente en el centroide de la losa dando lugar a presiones uniformes por debajo de ella. Cuando la losa tiene excentricidad se debe considerar con un factor de seguridad que controle la falla del suelo por cortante con el fin de evitar asentamientos en terrenos con suelos muy suaves.

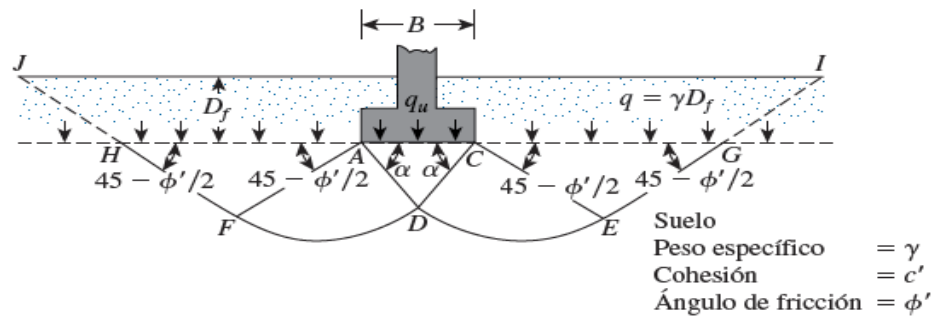
### **2.1.7 Capacidad carga última cimentaciones superficiales: Placas corridas**

Para el cálculo de la carga última se usará la teoría propuesta por Terzaghi, quien es el precursor de la evaluación de la capacidad de la carga última para cimentaciones superficiales. Terzaghi (1943) propone, “una cimentación es superficial si su profundidad ( $D_f$ ), es menor que o igual a su ancho” (como se cita en Braja M, 2012, p.136). Pero investigaciones posteriores a lo expuesto por Terzaghi indican que la profundidad ( $D_f$ ), será igual a 3 o 4 veces su ancho.

Otro hecho sugerido por Terzaghi, fue que si se tiene una cimentación superficial por placa corrida la superficie de falla en el suelo ante carga última puede entenderse como similar al asentamiento provocado por punzonamiento que ocurre en las placas aisladas producto de la carga última que ejerce el cimiento en la superficie de contacto con el suelo. Así mismo el suelo que va desde la base del cimiento que está en contacto con el fondo del suelo hacia la superficie del terreno se puede entender como una sobrecarga equivalente,  $q = \gamma D_f$  ( $\gamma$ , peso específico del suelo).

Figura 13.

*Placa Corrida: Falla por capacidad de carga ultima*



Fuente (Braja M, 2012).

Basado en lo anterior se definen ecuaciones en el entendido que la cimentación esté sujeta a **falla general por corte del suelo**, por ende, la ecuación para el cálculo de la capacidad de carga ultima de Terzaghi *para cimentaciones corridas*, se define como

$$q_u = c'N_c + qN_q + \frac{1}{2}\gamma BN_\gamma \quad (20)$$

Donde

$c'$  = cohesión del suelo

$\gamma$  = peso específico del suelo

$q = \gamma D_f$

$N_c, N_q, N_\gamma$  = factores de capacidad de carga

Cabe destacar que los factores de capacidad de carga se pueden obtener en función del ángulo de fricción del suelo o mediante la aplicación de ecuaciones. Las ecuaciones que se plantean para determinar los factores de capacidad de carga son:

$$N_c = \cot \Phi' * [N_q - 1] \quad (21) \quad N_q = \frac{e^{2*(3\pi/4 - \Phi'/2) \tan \Phi'}}{2 * \cos\left(45 + \frac{\Phi'}{2}\right)^2} \quad (22)$$

$$N_\gamma = \frac{1}{2} * \left(\frac{K_{p\gamma}}{\cos(\Phi')^2} - 1\right) * \tan \Phi' \quad (23)$$

Donde

$K_{p\gamma}$  = coeficiente de presión pasiva

Considerando de igual forma una **falla general por corte del suelo**, Terzaghi también propone una ecuación para el cálculo de la capacidad de carga última cuando se tienen cimentaciones superficiales *cuadradas y/o circulares*, entonces:

*Para cimentaciones superficiales cuadradas:*

$$q_u = 1.3 * c'N_c + qN_q + 0.4 * \gamma B N_\gamma \quad (24)$$

*Para cimentaciones superficiales circulares:*

$$q_u = 1.3 * c'N_c + qN_q + 0.3 * \gamma B N_\gamma \quad (25)$$

Para las ecuaciones de capacidad de carga última cuando existe **falla general por corte del suelo**, Terzaghi propone se debe calcular de manera correspondiente los factores de carga  $N_c$ ,  $N_q$ ,  $N_\gamma$  para cada una de ellas mediante el despeje del cálculo de los factores de carga; en su defecto Terzaghi también propone una tabla donde se relaciona los factores de carga con respecto al ángulo de fricción, que de una u otra manera viene a simplificar el uso de los factores sin tener que recurrir a las ecuaciones planteadas. A continuación, en la Figura 15., se detallan los factores de carga según ángulo de fricción.

Figura 14.

*Factores de capacidad de carga de Terzaghi. Falla General por corte del suelo.*

$\phi'$	$N_c$	$N_q$	$N_\gamma^a$	$\phi'$	$N_c$	$N_q$	$N_\gamma^a$
0	5.70	1.00	0.00	26	27.09	14.21	9.84
1	6.00	1.10	0.01	27	29.24	15.90	11.60
2	6.30	1.22	0.04	28	31.61	17.81	13.70
3	6.62	1.35	0.06	29	34.24	19.98	16.18
4	6.97	1.49	0.10	30	37.16	22.46	19.13
5	7.34	1.64	0.14	31	40.41	25.28	22.65
6	7.73	1.81	0.20	32	44.04	28.52	26.87
7	8.15	2.00	0.27	33	48.09	32.23	31.94
8	8.60	2.21	0.35	34	52.64	36.50	38.04
9	9.09	2.44	0.44	35	57.75	41.44	45.41
10	9.61	2.69	0.56	36	63.53	47.16	54.36
11	10.16	2.98	0.69	37	70.01	53.80	65.27
12	10.76	3.29	0.85	38	77.50	61.55	78.61
13	11.41	3.63	1.04	39	85.97	70.61	95.03
14	12.11	4.02	1.26	40	95.66	81.27	115.31
15	12.86	4.45	1.52	41	106.81	93.85	140.51
16	13.68	4.92	1.82	42	119.67	108.75	171.99
17	14.60	5.45	2.18	43	134.58	126.50	211.56
18	15.12	6.04	2.59	44	151.95	147.74	261.60
19	16.56	6.70	3.07	45	172.28	173.28	325.34
20	17.69	7.44	3.64	46	196.22	204.19	407.11
21	18.92	8.26	4.31	47	224.55	241.80	512.84
22	20.27	9.19	5.09	48	258.28	287.85	650.67
23	21.75	10.23	6.00	49	298.71	344.63	831.99
24	23.36	11.40	7.08	50	347.50	415.14	1072.80
25	25.13	12.72	8.34				

Fuente (Braja M, 2012).

Es importante tener presente que, si las cimentaciones superficiales presentan una **falla local por cortante en suelos** como se denota en la Figura 2, las ecuaciones para el cálculo de la capacidad de carga ultima sufren algunas variantes, tales como:

*Para cimentaciones superficiales placa corrida:*

$$q_u = \frac{2}{3} * c'N'c + qN'q + \frac{1}{2} * \gamma BN'\gamma \quad (26)$$

*Para cimentaciones superficiales cuadradas:*

$$q_u = 0.867 * c'N'c + qN'q + 0.4 * \gamma BN'\gamma \quad (27)$$

Para cimentaciones superficiales *circulares*:

$$q_u = 0.867 * c'N'_c + qN'_q + 0.3 * \gamma BN'_\gamma \quad (28)$$

Al igual que en las ecuaciones propuestas por Terzaghi de **falla general por corte del suelo** los factores de capacidad de carga (ahora modificados), se pueden obtener en función del ángulo de fricción del suelo (el cual ahora se calcula), o mediante la aplicación de ecuaciones. Las ecuaciones que se usan en **falla local por cortante en suelos** son idénticas a las ya enuncias, por ello los factores de capacidad de carga modificados se obtienen aplicando las ecuaciones:

$$N'_c = \cot \Phi' * [N'_q - 1] \quad (29) \quad N'_q = \frac{e^{2*(3\pi/4 - \Phi'/2) \tan \Phi'}}{2 * \cos\left(45 + \frac{\Phi'}{2}\right)^2} \quad (30)$$

$$N'_\gamma = \frac{1}{2} * \left( \frac{K_{p\gamma}}{\cos(\Phi')^2} - 1 \right) * \tan \Phi' \quad (31)$$

Donde

$K_{p\gamma}$  = coeficiente de presión pasiva

$$\Phi' = \tan^{-1}\left(\frac{2}{3} * \tan \Phi\right)$$

Para las ecuaciones de capacidad de carga ultima cuando existe **falla local por cortante en suelos**, Terzaghi propone que se debe calcular de manera correspondiente los factores de carga modificados  $N'_c$ ,  $N'_q$ ,  $N'_\gamma$  para cada una de ellas mediante el despeje del cálculo de los factores de carga modificados; en su defecto Terzaghi también propone una tabla donde se relaciona los factores de carga modificados con respecto al ángulo de fricción, que de una u otra manera viene a simplificar el uso de los factores sin tener que recurrir a las ecuaciones planteadas. A continuación, en la Figura 16., se detallan los factores de carga según ángulo de fricción.

Figura 15.

*Factores capacidad de carga modificados de Terzaghi. Falla Local corte del suelo.*

$\phi'$	$N'_c$	$N'_q$	$N'_\gamma$	$\phi'$	$N'_c$	$N'_q$	$N'_\gamma$
0	5.70	1.00	0.00	26	15.53	6.05	2.59
1	5.90	1.07	0.005	27	16.30	6.54	2.88
2	6.10	1.14	0.02	28	17.13	7.07	3.29
3	6.30	1.22	0.04	29	18.03	7.66	3.76
4	6.51	1.30	0.055	30	18.99	8.31	4.39
5	6.74	1.39	0.074	31	20.03	9.03	4.83
6	6.97	1.49	0.10	32	21.16	9.82	5.51
7	7.22	1.59	0.128	33	22.39	10.69	6.32
8	7.47	1.70	0.16	34	23.72	11.67	7.22
9	7.74	1.82	0.20	35	25.18	12.75	8.35
10	8.02	1.94	0.24	36	26.77	13.97	9.41
11	8.32	2.08	0.30	37	28.51	15.32	10.90
12	8.63	2.22	0.35	38	30.43	16.85	12.75
13	8.96	2.38	0.42	39	32.53	18.56	14.71
14	9.31	2.55	0.48	40	34.87	20.50	17.22
15	9.67	2.73	0.57	41	37.45	22.70	19.75
16	10.06	2.92	0.67	42	40.33	25.21	22.50
17	10.47	3.13	0.76	43	43.54	28.06	26.25
18	10.90	3.36	0.88	44	47.13	31.34	30.40
19	11.36	3.61	1.03	45	51.17	35.11	36.00
20	11.85	3.88	1.12	46	55.73	39.48	41.70
21	12.37	4.17	1.35	47	60.91	44.45	49.30
22	12.92	4.48	1.55	48	66.80	50.46	59.25
23	13.51	4.82	1.74	49	73.55	57.41	71.45
24	14.14	5.20	1.97	50	81.31	65.60	85.75
25	14.80	5.60	2.25				

Fuente (Braja M, 2012).

Factor de seguridad:

El factor de seguridad se utiliza para el cálculo de la capacidad de carga permisible bruta, también conocida como carga admisible bruta. El factor de seguridad se simboliza como FS y en la ecuación de cálculo de capacidad admisible se aplica como

$$q_{perm} = \frac{q_u}{FS} \quad (32)$$



El cálculo de la capacidad de carga última neta, se refiere a la capacidad que posee el suelo por debajo de la profundidad de cimentación, de soportar, las sobrepresiones que ejerce el suelo por encima de la base de la cimentación, medido por unidad de área de la cimentación. El cálculo se lleva a cabo mediante la relación que existe entre la capacidad de carga última bruta ( $q_u$ ) y la sobrecarga equivalente a  $q = \gamma D_f$  ( $\gamma$ , peso específico del suelo).

$$\text{Si } q_{\text{net.ult}} = q_u - q \quad (33)$$

Entonces tomado la ecuación de capacidad permisible, se tiene

$$q_{\text{perm.neta}} = \frac{q_u - q}{FS} \quad (34)$$

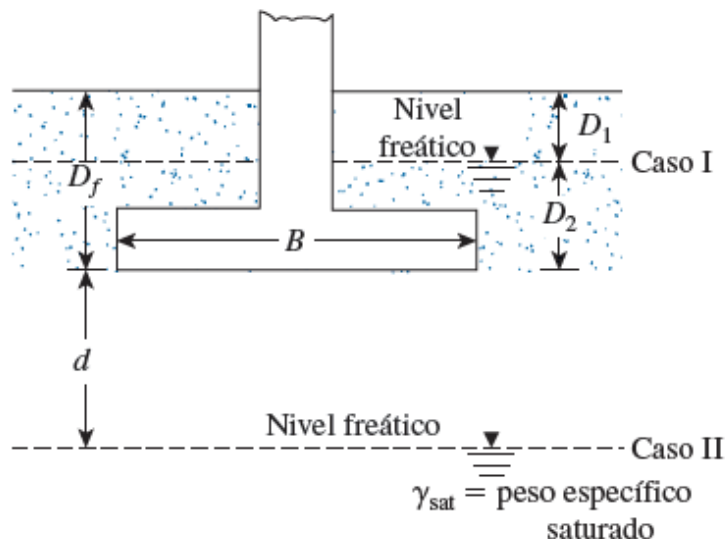
El factor de seguridad (FS), a utilizar para condiciones estáticas definido en la Tabla 2., el cual es igual a **3.0**, será el factor mínimo a utilizar en el cálculo de capacidad permisibles neta y/o bruta.

Capacidad de carga última para cimentaciones superficiales con presencia de nivel freático:

Es importante hacer notar que las ecuaciones mencionadas anteriormente para el cálculo de la capacidad de carga última, se aplicaron bajo la consideración o suposición que la cimentación superficial está muy por encima del nivel freático, pero es necesario contemplar que se darán casos en los cuales el nivel freático este por encima de la cimentación superficial; lo que provoca ciertos cambios en las ecuaciones dadas, para adaptarlas a la presencia de agua, la cual influye en el cálculo de la capacidad de carga última de la cimentación.

Figura 16.

*Cimentación superficial con presencia de nivel freático.*



Fuente (Braja M, 2012).

**Caso 1:** Tomando como referencia la figura anterior, si el nivel freático está entre la razón  $0 \leq D_1 \leq D_f$ , el valor de capacidad de carga ( $q$ ), que se encuentra presente en cada una de las ecuaciones de capacidad de carga última ( $q_u$ ), para los casos de falla general por corte del suelo y falla local por cortante en suelos, cambia por la expresión de capacidad de sobrecarga efectiva ( $q$ ).

$$q = D_1\gamma + D_2(\gamma_{sat} - \gamma_w) \quad (35)$$

Donde

$\gamma_{sat}$  = peso específico saturado del suelo

$\gamma_w$  = peso específico del agua

En este caso la profundidad de cimentación ( $D_f$ ), se divide en dos tramos, donde el primero de ellos se encuentra a una profundidad  $D_1$ , desde la superficie hasta la línea del nivel freático, multiplicado por el peso específico del suelo por debajo de la línea de terreno que está no saturado, o sea seco; mientras el otro tramo está a una profundidad  $D_2$ , desde la

línea de nivel freático hasta donde el cimiento alcanza el nivel de desplante, multiplicado por la diferencia del peso específico saturado menos el peso específico del agua.

**Caso 2:** Tomando como referencia la Figura 16., si el nivel freático esta entre la razón  $0 \leq d \leq B$ , el valor del peso específico del suelo ( $\gamma$ ) presente al final de cada una de las ecuaciones de capacidad de carga ultima ( $q_u$ ), para los casos de falla general por corte del suelo y falla local por cortante en suelos, cambia por la expresión

$$\bar{\gamma} = \gamma' + \frac{d}{B}(\gamma - \gamma') \quad (36)$$

Mientras que el cálculo de la capacidad de carga ( $q = \gamma D_f$ ), se mantiene, o sea no cambia la manera en la que se calcula.

**Caso 3:** Tomando como referencia la Figura 16., si el nivel freático está en la razón  $d \geq B$ , el agua no influirá en el cálculo de la capacidad de carga última.

*Ecuación general de la capacidad de carga ultima: Teoría de Meyerhof.*

Meyerhof (1963), sugirió la forma siguiente de la ecuación general de la capacidad de carga

$$q_u = c' N_c F_{cs} F_{cd} F_{ci} + q N_q F_{qs} F_{qd} F_{qi} + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma F_{\gamma s} F_{\gamma d} F_{\gamma i} \quad (37)$$

Donde

$c'$  = cohesión

$q$  = esfuerzo efectivo al nivel del fondo de la cimentación

$\gamma$  = peso específico del suelo

$B$  = ancho o diámetro de la cimentación

$F_{cs}$ ,  $F_{qs}$ ,  $F_{\gamma s}$  = factores de forma

$F_{cd}$ ,  $F_{qd}$ ,  $F_{\gamma d}$  = factores de profundidad

$F_{ci}, F_{qi}, F_{\gamma i}$  = factores de inclinación de la carga

$N_c, N_q, N_\gamma$  = factores de capacidad de carga

La ecuación general planteada por Meyerhof soluciona ciertos problemas que evidencian las ecuaciones de la capacidad de carga última planteadas por Terzaghi. Meyerhof con la aplicación de esta ecuación general, además de cubrir las cimentaciones corridas, cuadradas y circulares contempla el cálculo de la capacidad de carga última para las cimentaciones rectangulares. Por otro lado, toma en consideración la resistencia a corte que se origina desde el nivel de desplante de la cimentación hasta la superficie del terreno y la posibilidad que la carga normal aplicada a la cimentación no este perpendicular, sino inclinada.

Factores de capacidad de carga:

Los factores de capacidad se calculan con las ecuaciones siguientes:

$$N_c = (N_q - 1) * \cot \Phi' \quad (38) \quad N_q = \tan \left( 45 + \frac{\Phi'}{2} \right)^2 * e^{\pi \tan \Phi'} \quad (39)$$

$$N_\gamma = 2 * (N_q + 1) * \tan \Phi' \quad (40)$$

Así mismo los factores de capacidad de carga se pueden tomar de un tabla que relaciona cada uno de los factores con su correspondiente ángulo de fricción, por lo que para proceder de una forma más expedita se puede obviar las ecuaciones y se obtiene el  $N_c, N_q$  y  $N_\gamma$ , mediante la tabla de la Figura 17

Figura 17.

*Factores de la capacidad de carga. Teoría de Meyerhof.*

$\phi'$	$N_c$	$N_q$	$N_\gamma$	$\phi'$	$N_c$	$N_q$	$N_\gamma$
0	5.14	1.00	0.00	26	22.25	11.85	12.54
1	5.38	1.09	0.07	27	23.94	13.20	14.47
2	5.63	1.20	0.15	28	25.80	14.72	16.72
3	5.90	1.31	0.24	29	27.86	16.44	19.34
4	6.19	1.43	0.34	30	30.14	18.40	22.40
5	6.49	1.57	0.45	31	32.67	20.63	25.99
6	6.81	1.72	0.57	32	35.49	23.18	30.22
7	7.16	1.88	0.71	33	38.64	26.09	35.19
8	7.53	2.06	0.86	34	42.16	29.44	41.06
9	7.92	2.25	1.03	35	46.12	33.30	48.03
10	8.35	2.47	1.22	36	50.59	37.75	56.31
11	8.80	2.71	1.44	37	55.63	42.92	66.19
12	9.28	2.97	1.69	38	61.35	48.93	78.03
13	9.81	3.26	1.97	39	67.87	55.96	92.25
14	10.37	3.59	2.29	40	75.31	64.20	109.41
15	10.98	3.94	2.65	41	83.86	73.90	130.22
16	11.63	4.34	3.06	42	93.71	85.38	155.55
17	12.34	4.77	3.53	43	105.11	99.02	186.54
18	13.10	5.26	4.07	44	118.37	115.31	224.64
19	13.93	5.80	4.68	45	133.88	134.88	271.76
20	14.83	6.40	5.39	46	152.10	158.51	330.35
21	15.82	7.07	6.20	47	173.64	187.21	403.67
22	16.88	7.82	7.13	48	199.26	222.31	496.01
23	18.05	8.66	8.20	49	229.93	265.51	613.16
24	19.32	9.60	9.44	50	266.89	319.07	762.89
25	20.72	10.66	10.88				

Fuente (Braja M, 2012).

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

Estos factores son producto de resolver las siguientes ecuaciones:

$$F_{cs} = 1 + \left(\frac{B}{L}\right) * \left(\frac{N_q}{N_c}\right) \quad (41)$$

$$F_{qs} = 1 + \left(\frac{B}{L}\right) * \tan \Phi' \quad (42)$$

$$F_{\gamma s} = 1 - 0.4 * \left(\frac{B}{L}\right) \quad (43)$$

Factores de profundidad:

Estos factores deben de cumplir dos condiciones y según la que corresponda así se formulan las ecuaciones para el cálculo respectivo.

$$\text{Condición 1: } \frac{D_f}{B} \leq 1 \quad (44)$$

Para  $\phi = 0$

$$F_{cd} = 1 + 0.4 * \left(\frac{D_f}{B}\right)$$

$$F_{qd} = 1$$

$$F_{\gamma d} = 1$$

Para  $\phi' > 0$

$$F_{cd} = F_{qd} - \frac{1 - F_{qd}}{N_c * \tan \Phi'}$$

$$F_{qd} = 1 + 2 \tan \Phi' (1 - \sin \Phi')^2 \left(\frac{D_f}{B}\right)$$

$$F_{\gamma d} = 1$$

$$\text{Condición 2: } \frac{D_f}{B} > 1 \quad (45)$$

Para  $\phi = 0$

$$F_{cd} = 1 + 0.4 * \tan^{-1} \left(\frac{D_f}{B}\right)$$

$$F_{qd} = 1$$

$$F_{\gamma d} = 1$$

Para  $\phi' > 0$

$$F_{cd} = F_{qd} - \frac{1 - F_{qd}}{N_c * \tan \Phi'}$$

$$F_{qd} = 1 + 2 \tan \Phi' (1 - \sin \Phi')^2 \tan^{-1} \left(\frac{D_f}{B}\right)$$

$$F_{\gamma d} = 1$$

Factores de inclinación:

Las ecuaciones para el factor de inclinación son las siguientes:

$$F_{ci} = F_{qi} = \left(1 - \frac{\beta^\circ}{90^\circ}\right)^2 \quad (46) \quad F_{\gamma i} = \left(1 - \frac{\beta}{\Phi'}\right) \quad (47)$$

$\beta$  = inclinación de la carga sobre la cimentación respecto a la vertical.

### 2.1.8 Capacidad carga ultima cimentaciones superficiales: Losas flotantes

Para el cálculo de la carga ultima en losas flotantes aplica la ecuación general de la capacidad de carga de Meyerhof, con la variante de que B en la ecuación hace alusión a la dimensión menor que la losa posea, entonces la ecuación es:

$$q_u = c'N_cF_{cs}F_{cd}F_{ci} + qN_qF_{qs}F_{qd}F_{qi} + \frac{1}{2}\gamma BN_\gamma F_{\gamma s}F_{\gamma d}F_{\gamma i} \quad (48)$$

Por tal motivo los factores de carga que Meyerhof establece mediante la utilización de ecuaciones o la tabla de la Figura 17., en relación al ángulo de fricción, funcionan de igual manera para determinar la carga última de las losas flotantes o losas de cimentación. Así también las ecuaciones que Meyerhof plantea para los factores de forma, profundidad e inclinación son aplicables para determinar las variables a usar en la ecuación general.

Capacidad neta ultima:

Esta capacidad se mantiene tal cual, y como se estableció en el apartado de Factor de seguridad, entonces la ecuación es:

$$q_{neta.ult} = q_u - q \quad (49)$$

El factor de seguridad que se utiliza para el cálculo de la capacidad de carga permisible, depende del tipo de suelo sobre el cual se cimente la losa, es así que en un suelo arcilloso el factor de seguridad no debe ser menor a **3.0**, bajo carga permanente o temporal

máximas, pero si se presentan condiciones más extremas, el factor de seguridad oscila entre **1.75 a 2.0**. En el caso de suelos arenosos el factor de seguridad es de **3.0**.

$$q_{perm} = \frac{q_u}{FS} \quad (50)$$

Para los casos que presentan arcillas saturadas donde el ángulo de fricción es igual a 0 y posee una carga normal, la ecuación general de Meyerhof para el cálculo de la carga última se sustituye por:

$$q_u = c_u N_c F_{cs} F_{cd} + q \quad (51)$$

Donde

$c_u$  = cohesión no drenada

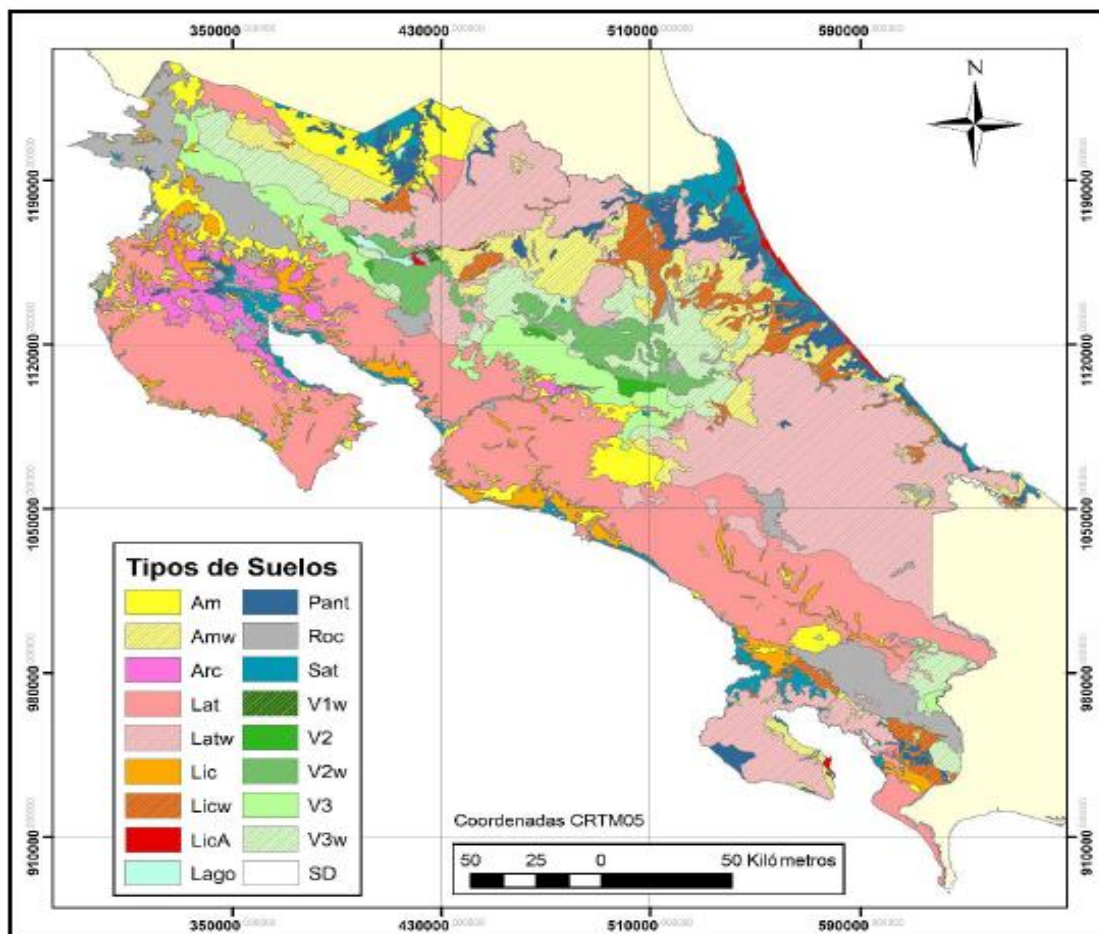
En cada uno de los pasos restantes, ecuaciones o la tabla de la Figura 18., los factores de forma, profundidad e inclinación son aplicables para determinar las variables a usar en la ecuación general.

## 2.2 Marco Situacional

Es de considerar que el estudio planteado no tiene o no abarca una zona en específico por lo que no se ubica en determinado lugar que permita establecer la zona de influencia del trabajo a presentar, pero dado que se desea dar una visión generalizada de los tipos de suelo según zona de influencia se puede situar el estudio en las características y condiciones de suelo presentes en la zona donde mayoritariamente tiene presencia.



Figura 18.

*Mapa Tipo de suelos.*

Fuente: Código de Cimentaciones de Costa Rica

El mapa no implica que el estudio se vaya a llevar a cabo en todas las zonas del país que se marcan con presencia de arcillas o arenas, lo que se desea es ubicar aquellas zonas donde se da la presencia de arcillas o arenas sin importar el tipo, color, forma o características físico-químicas de estas. El país como es notorio tiene variedad de tipos de suelos y en el mapa se observa el cómo las zonas coloreadas hacen referencia a distintos tipos de arcillas mientras que los distintos tipos de arenas se concentran cerca de las zonas marítimas, en el litoral pacífico y atlántico.

### **Capítulo 3. Marco Metodológico.**

El presente estudio lo que busca es dar un panorama general con un enfoque cualitativo de los tipos de suelos, es especial los arcillosos y arenosos, ubicándolos en la región de predominancia de una manera macro para plantear las características básicas de éste y unirlos en una relación simbiótica con el o los tipos de cimentación superficial que mejor se adapta a ellos.

De una manera ordenada se analizan las características propias de un suelo arenoso y un suelo arcilloso, sus particularidades, zona de influencia, agentes mediadores en su comportamiento físico volumétrico, todo con base a estudios previamente realizados y donde lo que se desea extraer es el como ellos se comportan ante presencia de humedad, nivel freático, altas temperaturas entre otros. Los tipos de suelos en estudio se distribuyen de manera desordenada por el territorio nacional, pero, aunque se tenga un suelo en el área metropolitana su composición química y física es idéntica que, si se encontrase en la zona norte, vertiente del caribe o en el pacífico; en lo que se tiene que aundar es en qué factores lo afectan y que tan preponderante es la afectación al suelo para que este influya en mayor o menor medida en el desarrollo de una cimentación superficial.

Por otra parte, se desea relacionar el suelo con el tipo de cimentación superficial mas adecuado, con el fin de poder elegir y recomendar de una forma inicial que cimentación es más idónea, en base a las condiciones presentes de construcción, condiciones de suelo predominante y valores claves como resistencia, capacidad portante y capacidad admisible, sin dejar de lado requerimientos económicos y de seguridad que capaciten la elección realizada como la más adecuada.

La idea del estudio se acompaña de una comparativa entre las cimentaciones superficiales por placa corrida y losa de cimentación, también conocida como losa flotante, donde su epicentro está en saber cuál de los dos tipos de cimentación elegidos es el más apropiado en función del tipo de suelo, llevándolo en una dirección de calidad y economía.

Como punto de partida se identifican las cualidades generales de cada tipo de suelo con el fin de crear un perfil de cada uno de ellos, aunado a esto se determinan que zonas del país presentan esta condición de suelo de manera mayoritaria buscando una relación zona-suelos que de una manera general de la idea de que suelo estoy pisando si como ingeniero me encuentro en determinada zona del país.

Seguidamente aplicando un criterio similar al párrafo anterior se toma cada una de las cimentaciones superficiales y se apuntan las características más preponderantes, así como capacidad de soporte, capacidad admisible con respecto al suelo, materiales y proporciones, cuando y donde usarlas, en fin, toda información que sea idónea para saber de qué tipo de cimentación superficial se está hablando.

Como paso siguiente es relacionar la cimentación con el suelo, considerando que cimiento se adecua en mayor o menor medida a las necesidades de los suelos presentes, comparando que características hacen a un suelo más apto para soportar equis cimiento y que cimentos según sus características es el más adecuado para utilizar en un suelo equis.

Por último, el estudio se abocará a establecer y recomendar que cimiento es más adecuado según suelo en compañía de una seguridad económica y en pos de fortalecer las buenas practicas constructivas para beneficio del profesional y del cliente.

### **3.1 Paradigma, enfoque metodológico y métodos de investigación.**

En este apartado se puede entender por paradigma como un sistema teórico dominante en la ciencia en cada periodo de su historia, que organiza y dirige la investigación científica en determinada dirección, también permite el surgimiento de ciertas hipótesis e inhibe el desarrollo de otras, así como centra la atención de quien investiga en determinados aspectos de su objeto de estudio y oscurece otros. (Guardián, 2007, pág. 60).

Partiendo de la definición anterior se puede decir que en este apartado se establecen las técnicas del como la investigación se llevará a cabo, en otras palabras, se definirá como se desarrolla el proceso investigativo. Este proceso para lo que nos compete se vuelve en una investigación de tipo interpretativo donde la cualidad del fenómeno en estudio es interpretada valga la redundancia, en base a la comprensión de la realidad.

#### *Metodología de la investigación:*

La investigación tiene un carácter informativo, donde se recopilan datos de estudios e investigaciones ya realizadas. Se desea interpretar y comprender la dinámica ya establecida en la caracterización de los suelos, o sea, que aspectos median para conocer si un suelo es arcilloso o arenoso o que cimentación es más adecuada por encima de la otra cuando tenemos

determinado tipo de suelo, así se obtienen datos cualitativos bajo una dinámica ya construida por expertos o investigadores que han definido con diversas técnicas el comportamiento de un tipo de suelo y de un tipo de cimentación en específico. Es así que la investigación es pura en su conceptualización, donde los resultados vienen dados por conceptos teóricos ya estudiados y donde su resultado será de carácter teórico, correlacionando la información cotejada con las características de cada elemento en estudio y determinando que cimiento en función del suelo es más idóneo y cual significa un ahorro económico para con el cliente y desarrollador del proyecto. La fuente como ya se dejó entrever es meramente documental, donde no media ningún tipo de método experimental, si no que se valida en la mezcla de investigación apoyada en documentos, estudios, determinaciones y conclusiones de expertos y la etnográfica donde se realiza una participación de carácter observacional sobre los distintos comportamientos de los elementos involucrados, con el fin de seleccionar cual opción es la mejor desde el punto de vista funcional y económico.

Como se mencionó, la investigación se enfoca en ser meramente cualitativa donde lo que se desea es entender a profundidad que suelos presenta nuestro país y especialmente donde se pueden ubicar los suelos arcillosos y arenosos en el contexto nacional, con el fin de establecer el tipo de cimentación superficial más adecuado desde el punto de vista de resistencia sin afectar el trasfondo económico que no deja de ser preponderante en la elección del sistema constructivo a utilizar; en otras palabras se quiere tomar este contexto y analizar que atributos hacen más valida una u otra opción, así como darle una interpretación en la cual de manera sencilla el lector del presente trabajo pueda identificar los componentes característicos que una cimentación superficial ha de tener para ser aplicable al suelo sobre el cual se construya, sin incrementar la inversión y sin poner en peligro el inmueble y a las personas que lo habiten. El enfoque que se desea dar es el de tomar las opiniones de investigaciones previas, estudiar los comportamientos de los elementos y generar una expectativa en la cual se pueda decir con exactitud que conviene más al proyecto; se quiere complementar lo ya estudiado dando al blanco en un hecho aprendido, pero no individualizado en nuestra realidad país, la cual va más allá al procurar el obtener resultados de carácter valioso que no dependen de cálculos, pues estos ya están hechos, sino que aporten para abordar lo desatendido que esta el sector de vivienda unifamiliar en lo referente al suelo sobre el cual se construye.

En síntesis, el método de investigación que se usa se enfoca en realizar un estudio a conciencia de las características más importantes de los tipos de suelo y de los tipos de cimentación superficial que se pueda encontrar en la literatura o trabajos previos, también es muy útil el recurrir a su vez a referencias nacionales que permitan identificar las zonas del país donde se presenta determinado tipo de suelo, evaluar la presencia de estos en estratos superficiales donde ha de tener relevancia con respecto al cimiento superior y contrastar las características de suelo arcilloso y arenoso que nuestro país presenta, lo anterior con el objetivo de percibir la afectación que pueden tener los suelos al ser influenciados por una carga axial vertical, representada por una cimentación superficial. Es importante el tener la perspectiva de realizar una comparativa desde el punto de vista de costos en materiales de construcción que conlleva la construcción de un metro cuadrado de una placa corrida y de una losa flotante, con el fin de evaluar sus costos y así tenerlo como parámetro valuador, el cual ha de sumarse a las características y función que el cimiento pueda tener sobre un tipo de suelo determinado y sobre el cual se construirá.

### **3.2 Categorías de análisis de la investigación.**

En este apartado del trabajo de investigación se hace referencia a la estrategia que se llevará a cabo para concretar la metodología a usar en torno al trabajo a desarrollar. La idea es describir el para qué y por qué se está desarrollando el estudio y para ello se toman las herramientas más adecuadas para llegar a obtener un resultado acorde a lo planteado.

#### *Cimentaciones superficiales:*

Las cimentaciones de una edificación pueden ser tanto superficiales como profundas, en este estudio el enfoque es aquellas que están en las primeras capas del suelo, las que están más superficiales y que como tal están diseñadas para soportar edificaciones de índole familiar o industrial, las cuales son las que nos atañen en este estudio. Se desarrollan las características de estas cimentaciones, específicamente las placas corridas y las losas flotantes, con el fin de conocer las diferencias que existen entre ellas, enfocándose en sus aplicaciones en la construcción, la estructura constructiva (como se construye), cada una de ellas, indagar cuales elementos las hacen semejantes entre si y especialmente que elementos

las hacen diferentes al punto de hacer a una de ellas única con respecto a la otra. El principal método a usar para establecer esta correlación entre ambas cimentaciones es la investigación y auscultación de material bibliográfica elaborado por profesionales en el tema donde se pueda constatar que elementos caracterizan a una u otra cimentación, así como aquellos procesos y materiales constructivos que cada una de ellas contempla sumado esto a las disposiciones legales y de normativa que rijan la adecuada construcción de ellas dentro de nuestro país.

### Tipos de suelos:

Una cimentación no podría existir sin un suelo el cual la soporte y esto significa un reto para el profesional, pues da la casualidad que el suelo no tiene un carácter homogéneo, por el contrario, es totalmente heterogéneo, al punto que dentro de un mismo terreno se pueden tener características de suelo muy distintas a otro ubicado en un punto distinto dentro de la misma área.

Bajo esta premisa que es aplicable a todo el país se aborda una temática en la cual de una manera macro se toman las regiones del país donde exista predominancia de tipos de suelos arcillosos y/o tipos de suelo arenosos, sin dejar pasar que nuestro país presenta depósitos de estos tipos de suelo en todas sus regiones, pero existen algunas con mayor concentración de estos, por tal motivo el enfoque es referenciar las zonas donde existe mayor concentración, ya que si por las vísperas se saca el día, estos lugares son más propensos a fallas en los cimientos y en las estructuras habitacionales debido a la falla en el suelo. Por morfología nuestro país tiene depósitos de suelos arcillosos clasificados en vertisoles, alfisoles y ultisoles, entre otros, con porcentajes que van desde el 2% (vertisoles), 11% (alfisoles), hasta el 37 % (ultisoles) (Alvarado, 2014) y (López, 2013), del territorio nacional, siendo en regiones pertenecientes a la costa pacífica, costa atlántica y llanuras de Guanacaste donde se ubican de manera mayoritaria; por otro lado, los suelos arenosos se enmarcan en la clasificación de suelo arenosoles y se ubican principalmente en zonas costeras o litorales como en el pacífico y el atlántico.

Con esta caracterización se busca conocer las bondades de ambos tipos de suelos, así como sus deficiencias y emparejarlos con los dos tipos de cimentación para observar cuál de

ellas trabaja de mejor manera con el suelo presente en la zona y a partir de este primer filtro ver qué condiciones de suelo son necesarias de mejorar, tales como compactación, sustitución de suelo entre otros.

El alcance de este apartado se sustenta en la información de tipos de suelos encontrados en organizaciones gubernamentales y trabajos de expertos sobre que predomina en el país en material de suelos y el comportamiento de estos al someterse a cargas portantes para a partir de acá definir que tanto soporta el suelo en las condiciones encontradas en la naturaleza y recomendar cual o cuales cimentación superficial se adapta de una manera tal que salvaguarde la vida de la estructura y de las personas.

#### *Estudio, caracterización y clasificación del suelo:*

Ya se conoce que para este trabajo el suelo arenoso y arcilloso demandan la atención del análisis que se realiza de ellos en comparación con el tipo de cimentación. Dado esto se pretende clasificar cada tipo de suelo con apoyo de la literatura que hace referencia a ellos, más aportes de empresas especializadas en el tema de suelos y las normativas internas de las municipalidades de la zona, para así definir las características que enmarcar que un suelo sea de un tipo u otro, además de definir tipologías propias de ellos, como su capacidad portante y soportante, que tanta carga admiten sin que se deformen, el grado de expansión o contracción en el caso de las arcillas y de licuefacción en arenas, entre otros, con el objetivo de dimensionar su impacto si no son tratados con el debido respeto constructivamente hablando.

La intención es plasmar una clasificación propia donde aparte de lo que ya se conoce de cada tipo de suelo se pueda acopiar ciertas cualidades que se relacionen específicamente con nuestro país y a partir de ahí hacer una clasificación tipo dual, donde se recojan rasgos distintos del cada tipo de suelo y así tener un parámetro de que factores ya sean climáticos, humanos o ambientales influyen al tipo de suelo y como el tipo de suelo influye a la cimentación, para así contar con una perspectiva individualizada de cada tipo de suelo y poder decidir de la manera más oportuna cuál de ellos se adapta de mejor forma, según las condiciones que éste presente y que le confiera a la cimentación propuesta, para que ella cumpla con lo que el tipo de suelo le demanda.

*Características constructivas de las cimentaciones superficiales:*

Cada tipo de cimentación superficial que se estudia posee características que lejos de su proceso constructivo las diferencian entre sí, en términos de su prestancia para poder desarrollar una obra que cumpla cabalmente con lo descrito en los reglamentos y normativas dispuestas para tal fin. Pero, para determinar las bondades que ellas ofrecen hay que recurrir a sus bases, que son parte de su definición, entonces se aborda la posibilidad de estudiar las técnicas constructivas de cada una de ellas para realizar un marco comparativo donde se defina, que se requiere para construir una u otra cimentación y establecer un cuadro comparativo de las virtudes particulares y ver cuál de ellas tiene una afectación positiva o negativa para con el proceso constructivo y a partir de ahí definir a priori cual es mejor desde un punto de vista operativo.

Se desea además de la comparativa física, obtener un vistazo de las características que hacen de una buena cimentación un elemento que no falle, a no ser por influencia de otros elementos o situaciones que tengan relación con su funcionalidad; es por esto que se comparan resistencias comunes pero capaces de aportar a una buena cimentación, con el fin de establecer cuál de ellas se puede utilizar según el tipo de suelo donde se vaya a apoyar.

Para establecer de una manera expedita lo expuesto anteriormente se estudia aquellos recursos que guíen a determinar las características integrales de cada cimentación, así como el aporte de experiencias de profesionales sobre los hechos que se deben considerar a la hora de construir una cimentación en el contexto en el que nos encontremos.

*Comparar la relación cimentación–suelo, desde un punto de vista constructivo-económico:*

Luego de realizar la evaluación de los suelos, sus características y de las cimentaciones y su comportamiento constructivo, así como de la interrelación funcional que existe entre ambos, es importante demostrar no solo el impacto que ellos poseen de manera directa con el inmueble a construir, sino también cual brinda una ventaja económica al proceso de construcción, ya que como es bien sabido la obra debe tener un equilibrio en el ámbito económico para representar un rendimiento real en torno a lo que el profesional y el cliente quieren para con el proyecto.



Acá se encapsula el significado de una cimentación y su relación con el suelo para tomarlo como referencia de cuál es la mejor elección para el proyecto, se evacua la duda de que relación es más rentable desde el punto de vista económico sin menoscabar la importancia de la calidad constructiva, en otras palabras se enuncian criterios claros que permitan el discernir entre una cimentación y otra, en dependencia del tipo de suelo donde se construirá, siempre volteando un ojo al área económica, donde claro esta se desea el no pagar caprichos pero sin desmeritar la calidad del producto final.

La relación que se pueda establecer va en función de la calidad, pero no solo la constructiva, si no también, la calidad de vida, donde se otorga al cliente una obra que le asegure que el suelo sobre el cual se cimente da seguridad y no será factor para perder la inversión o la vida de alguno de los que habitan la vivienda. El enfoque va más allá de lo meramente material, abarca la humanidad del profesional y del cliente, dado que queremos como profesionales brindar un producto a cambio de una remuneración, pero sin enmascarar horrores que perjudiquen a los de una u otra manera a los involucrados. El objetivo se cumple con el acatamiento de lo expuesto ya que se brinda una comparativa integral de la interacción suelo-cimiento-costos sin desplazar la ética personal con respecto a la ética profesional.

Tabla 9.

*Tabla de Variables*

<b>Objetivos específicos</b>	<b>Variables Independientes</b>	<b>Herramientas por utilizar</b>	<b>Variables Dependientes</b>
Definir las características de las cimentaciones superficiales; placas corridas y/o aisladas y losas de cimentación, con el fin de enmarcar sus diferencias, semejanzas y usos adecuados dentro de la ingeniería civil, mediante la investigación apoyada en textos, códigos y experiencias profesionales.	Características, clasificación, diferencias y similitudes de la cimentación superficial.	Documentación bibliográfica	Definir que hace una cimentación diferente a la otra.
Categorizar los tipos de suelo presentes en el país, con el fin de establecer de manera macro un panorama	Características, clasificación, diferencias y	Documentación bibliográfica	Definir que hace un suelo diferente al otro.

<p>aproximado de las regiones que tengan suelos arcillosos y/o arenosos, para delimitar a priori las ventajas que un tipo de cimentación pueda tener con respecto a la otra y así fijar los parámetros previos de la comparación, mediante el uso de documentación técnica de instituciones públicas del estado que tenga relación con suelos y sector construcción.</p>	<p>similitudes de los tipos de suelo.</p>		
<p>Considerar el suelo predominante según la región del país, con el fin de definirlo como objeto de estudio; clasificarlo y categorizarlo según su naturaleza, establecer las características de este, su capacidad admisible y capacidad portante, con el objeto de establecer cual cimentación puede ser más adecuada en la relación suelo-cimiento, mediante la indagación de reglamentos municipales de estudios de suelos y referencias de laboratorios de suelos y organizaciones especializadas en el tema.</p>	<p>Clasificación del suelo predominante en estudio por región y revisar factores de capacidades y resistencia.</p>	<p>Documentación bibliográfica</p>	<p>Identificar tipos de suelo en estudio y ubicarlos en zonas más importantes.</p>
<p>Comparar las técnicas de construcción de ambas cimentaciones superficiales, con el objetivo de marcar las diferencias constructivas, resistencias, materiales a utilizar y características que las hacen viables para ser utilizadas en determinado tipo de suelo, mediante el recurso de la investigación documental e investigación en campo comparando las experiencias propias de los profesionales consultados.</p>	<p>Definir cuál cimentación se acopla a un determinado tipo de suelo</p>	<p>Documentación bibliográfica y análisis comparativo individualizado</p>	<p>Revisar factores positivos y negativos y seleccionar la mas adecuada</p>

---

<p>Contrastar las bondades constructivas de ambas cimentaciones desde un punto de vista económico y de viabilidad de suelo, para emitir un criterio apoyado en los resultados obtenidos que orienten el estudio a la elección de la cimentación más apropiada, sopesando cuál de ellas puede ser más y mejor utilizada sin verse afectada por las condiciones mencionadas.</p>	<p>Seleccionar mejor relación económica cimiento-suelo en función de la buena práctica constructiva.</p>	<p>Documentación bibliográfica y análisis comparativo individualizado</p>	<p>Revisar factores positivos y negativos y seleccionar la más adecuada desde un punto de vista económico.</p>
--	--	---	--

---

Fuente (Elaboración propia)

### 3.3 Población y muestra, Técnicas de muestreo.

Cuando se tiene acceso a una muestra de población representativa para la determinación de los datos a someter a estudio, se cuenta con un punto de partida de índole cuantitativo que genera una muestra que permite extrapolar los datos recopilados para su análisis, llegando a resultados que van a impactar de manera positiva o negativa al trabajo en desarrollo. Así mismo la o las técnicas que se desarrollen para realizar el muestreo se enfocan en el individuo; en aquella persona que por su papel o por el ámbito en el que se desenvuelve es factor importante para la investigación. Pero acá es donde se marca la diferencia ya que el estudio que se plantea maneja un enfoque cualitativo donde la población, muestra y técnicas de muestreo se fundamentan no en el individuo físico, sino en el individuo material, en el individuo que ha dejado plasmado su conocimiento y que ha sido validado por otros profesionales y por el entorno laboral en el que se ha desarrollado, entonces este apartado se enfoca desde una perspectiva bibliográfica y fundamentado en leyes y normativas aplicables al país.

#### Población:

La población a la que se ha de referir la investigación se desenvuelve en el ámbito de conocer, caracterizar y clasificar los tipos de suelos predominantes en el país según la zona de interés, así como las cimentaciones que se adecuan a los tipos de suelos existentes y la relación estrecha que existe entre ellos. Como ya se ha mencionado se indagará en material

bibliográfico sobre las cimentaciones con las que se trabajan hoy en día y se extrae el tipo de cimentación que se requiere para dar respuesta al planteamiento del problema, así como sus cualidades, características y factores que motivan el uso o no de una de ellas, así también se realizara un análisis de los datos obtenidos con el fin de discernir cuál de ellas es más viable desde el punto de vista constructivo y económico y lograr un balance para conocer, cuál es más usada en determinada situación, el cómo se usa y que criterio median para su uso. La población para esta investigación es el conjunto de material escrito, tesis de grado, artículos de revista entre otros que contenga la teoría requerida para dar una idea clara sobre el tema en estudio. Al establecer una población objetivo desde la perspectiva humana el círculo se cierra bastante y solo se puede mencionar al gremio de ingenieros, el cual sería una referencia pues no se abordaría como conjunto.

De igual forma para el caso de los tipos de suelo se analizarán con los mismos recursos, el cómo estos se clasifican y las características físicas que ellos poseen, además del comportamiento ante diversas variables ambientales y de sometimiento a esfuerzos impuestos por sobrecarga y carga del mismo suelo hacia la cimentación. Aquí el factor humano se enfoca en aportes que entes especializados en temas de suelos aporten a la investigación.

Por último, pero no menos importante la población objeto de estudio también ha de abarcar las comparaciones de las cimentaciones versus los tipos de suelo y la elección más idónea que se haga de cual tipo de cimiento usar en base a su funcionalidad y economía.

#### Muestra:

La muestra que se analiza inicia con lo que respecta a las cimentaciones, las llamadas cimentaciones superficiales, en específico las placas corridas y las losas flotantes, a las cuales se les determina sus características, usos, cualidades y ventajas o desventajas que puedan tener entre si y la relación que están tendrán con los tipos de suelos, los cuales se someterán a estudio pero solo en aquellos casos donde estos sean arcillosos con característica expansivas y/o compresivas y los arenosos ubicados principalmente en zonas litorales donde los suelos de este tipo se ven más afectados por la alta humedad y son propensos a licuefacción.

Por otro lado, el país a nivel de tipos de suelos no se analiza por completo, solo algunas zonas donde existen mayor predominancia de estos suelos, datos que serán guiados por información contenida en registros de entes del gobierno y por normativas y reglamento internos de los municipios destacados en esas zonas.

Al querer establecer una muestra de población se puede aunar a toda la muestra material el criterio de algunos profesionales del área en estudio que signifiquen un factor de apoyo a lo ya establecido en la bibliografía y documentos relacionados.

#### Técnicas de muestreo:

Al hablar de la técnica que se utiliza para la investigación, se podría encasillar en un muestreo donde la simplicidad de la obtención de la información prevalece, ya que cualquier documento, revista, tesis, libro entre otros, que tenga relación con el tema a investigar tienen las mismas posibilidades de aportar a la investigación, aporte que enriquece con estudios, opiniones, posiciones e investigación previamente fundamentada el trabajo a realizar en el presente estudio.

Se puede decir claramente que la selección de la muestra a usar es exclusivamente conveniente al objetivo de la investigación permitiendo discriminar que texto es viable o necesario para lo que se desea plasmar en el trabajo y donde el enfoque está más que todo en recopilar toda la información pertinente en torno al concepto de cimentaciones superficiales, tipos de suelos y realizar una comparativa a consciencia para llegar a las conclusiones que sustenten la elección y/o recomendación de determinado elemento en conjunción con el ambiente constructivo, humano y económico en el que se desarrolle.

### **3.4 Técnicas e instrumentos para la recolección de datos.**

Las técnicas e instrumentos que se utilicen en el proceso investigativo excluye en gran medida a las posibles personas involucradas y se enfatiza básicamente en aplicar las técnicas necesarias para extraer los datos precisos desde la teoría que circunde a la investigación, pero si pueden tener cierto papel preponderante en la emisión de criterios profesionales y aportes de índole documental con opiniones o aseveraciones sobre el tema en estudio.

### Técnicas para la recolección de datos:

Las técnicas que abordan este apartado son la revisión bibliográfica documental y es pertinente enclaustrar entre ellas, las opiniones y criterios que puedan emitir ciertos participantes del proceso de construcción de cimientos y evaluadores de las condiciones idóneas del suelo.

### Instrumentos para la recolección de datos:

La investigación que se plantea es cualitativa y de este enfoque depende el que instrumentos para la recolección de datos utilizar, ya que no se recopilan datos numéricos, sino que se considera información previamente sustentada y de la cual se parte para enfocarse en tres tipos de instrumentos que sostengan el estudio que se realiza.

### Observación, Análisis y Entrevistas:

Las tres técnicas que se utilizan parten de la observación de cada uno de los textos, documentos, material de carácter bibliográfico, revistas, entre otros, con el fin de extraer y discernir cual información aporta a enriquecer lo expuesto en esta investigación. Con la observación se puede auscultar una cantidad de datos de una forma sencilla sin depender de mecanismos complejos y de paso entre más se averigüe sobre el tema se puede definir su comportamiento y evaluar bajo qué condiciones opera. Posterior e ello viene el análisis, pero enfocado en otras fuentes no físicas, sino más bien digitales, donde revisando opiniones abiertas al público de blogs de opinión profesional, por ejemplo, permite recabar evidencia sobre experiencias, estudios, condiciones constructivas y otro sin fin de criterios sobre el objeto de estudio. Por ultimo las entrevistas, acá se prevé manejar no entrevistas de carácter formal sino informal, donde la opinión personal y experiencias vividas de ciertos involucrados en el proceso fundamenten a criterio personal que es más idóneo en el proceso constructivo con respecto a las cimentaciones superficiales según tipo de suelo y por contraparte qué opinión le merece a los expertos en suelos en el hecho de construir cimentaciones superficiales sin tan siquiera tener claro sobre qué tipo de suelo se cimenta.

### **3.5 Técnicas e instrumentación para el procesamiento y análisis de datos.**

Los criterios e información obtenida del proceso de recolección de datos se procesan con el objetivo de clasificar cada uno de los elementos que aporten al estudio para primero que nada forjar una idea concreta de lo que encierra y significa una cimentación, un suelo y las relaciones simbióticas entre ellos y a partir de esto estudiar las posibles variables y relaciones que existan para así poder emitir un criterio fundamentado de cuál es la mejor solución humana y económicamente hablando.

#### *Procesamiento y Análisis de datos:*

Este apartado busca el recoger toda la información por medio de los instrumentos ya expuestos con anterioridad y plasmarlos de tal manera que signifiquen una guía para definir qué puntos o caracteres de los diversos elementos involucrados determinan los pasos a seguir en la investigación en materia de definir que cimentación y/o que suelo se acoplan de mejor manera a las condiciones país, además de proporcionar un vistazo de las regiones donde se puede tener mayor prevalencia de un tipo de suelo y que cimiento es más adecuado para subsanar problemas de fallas en ellos mismos. Todo esto con la clara idea de establecer una comparativa para obtener datos reales sobre que cimiento conviene ingenierilmente hablado a una zona, combinándolo con criterios económicos y humanos que íntegramente brinden una solución que ataque todos los frentes y cumpla con la reglamentación vigente sin atentar con la estabilidad económica y mental de los involucrados en el proceso.

### **Capítulo 4. Análisis de Resultados.**

Para el análisis de resultados se abordan dos frentes preponderantes para la investigación, los cuales han de permitir el enumerar las características que diferencian las cimentaciones superficiales y los tipos de suelos características de Costa Rica según la clasificación en general de estos, versus la relación que la cimentación a usar tenga con el suelo sobre el cual se ha de cimentar.

#### *Cimentación superficial:*

Para el país el ente que rige en materia de edificaciones es el CFIA con la implementación de Código Sísmico y lo que este código persigue es la seguridad y la

estabilidad que la edificación tenga a partir de un buen diseño del cimiento en función a las cargas y reacciones que actúen sobre ella.

### **Suelos:**

Por otro lado, el Código de Cimentaciones de Costa Rica (CCCR), establece entre otras, como el país se subdivide desde el punto de vista geotécnico, donde cada zona ha de presentarnos un tipo de suelo distinto al de las otras áreas. La meta es plasmar aquellas zonas donde mayoritariamente predominan las arcillas y las arenas, que por cierto es la mayoría en nuestro país y de acá partir para encausar la comparativa de cual cimentación es más idónea según el suelo donde se cimente.

### **Características de los suelos presentes en el país:**

Con el estudio de la bibliografía se entiende que el país abarca distintos tipos de suelos donde se tienen desde arcillas comunes y/o expansivas, limos, rellenos o granulares gruesos y/o finos, donde como ya se mencionó el objeto de estudio es las arcillas y granulares finos (arenas).

Tabla 10.

Suelos arcillosos vs. Suelos arenosos

	Características		Características
Suelos arcillosos	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Se hinchan con humedad y se contraen sin ella.</li> <li>2. Se ubican en capas más superficiales del suelo.</li> <li>3. El clima es importante a considerar.</li> </ol>	<b>Suelos arenosos</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Posee más capacidad de soporte.</li> <li>2. Estable ante clima y presencia de humedad.</li> <li>3. Se erosionan lo que es un problema</li> <li>4. Susceptible a sismos por la granulometría de sus partículas.</li> </ol>

Fuente (Elaboración propia)

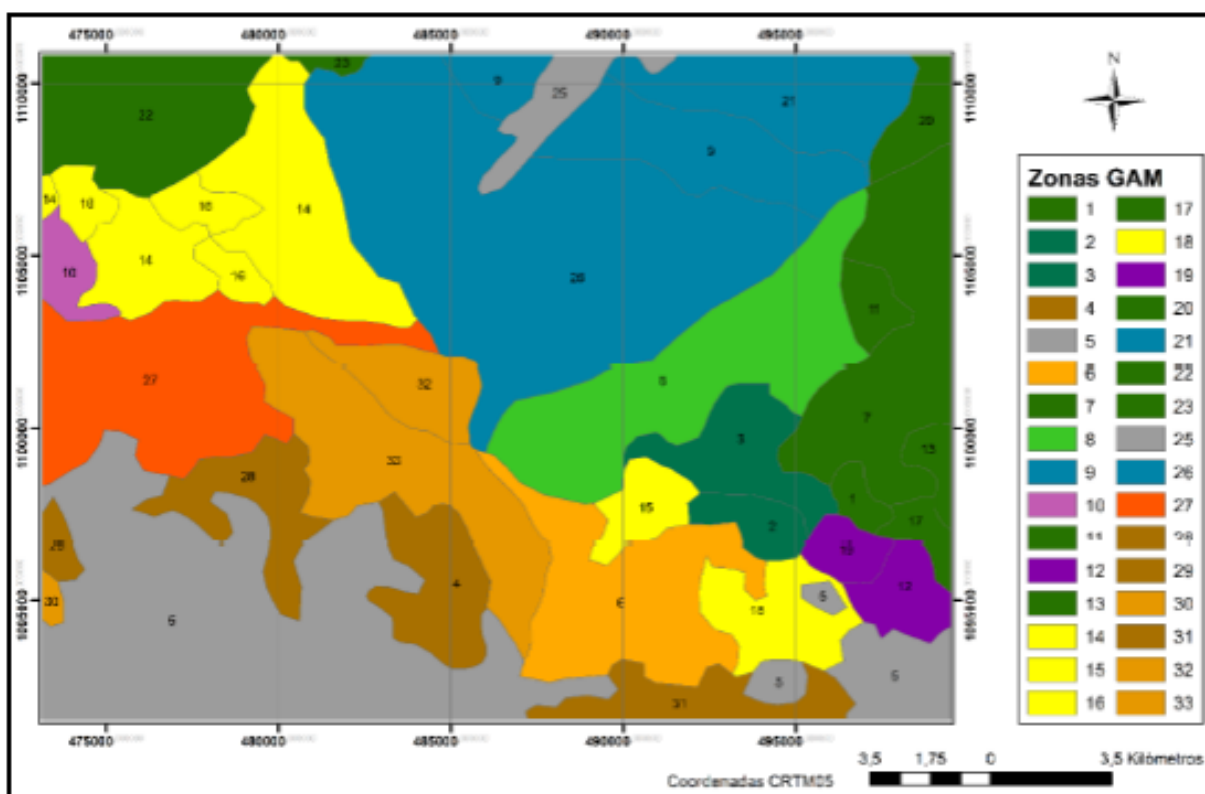


**Datos obtenidos para clasificación del suelo:**

Para el desarrollo de este apartado se toman los datos preliminarmente obtenidos por estudios basados en el CCCR, así como en trabajos de tesis de grado donde se consideró la geotecnia del suelo y su división según zona de estudio.

Figura 19.

***Zonificación Geotécnica GAM***



Fuente Código de Cimentaciones de Costa Rica

**GAM. Sectores San José y Cartago:**

Se encontró con que existían zonas con características iguales o similares entre ellas (Valverde, E. 2012), entonces se extraen los datos que se hacen necesarios para el estudio en cuestión.

Tabla 11.

Zonas y suelos asociados. San José y Cartago.

Zonas	Descripción
<b>4,28,29,31</b>	Arcilla gris y café CH, de alto potencial de expansión (CCCR,2012)
<b>5,6</b>	Arcilla gris CH, muy alto potencial de expansión (CCCR,2012)
<b>16,30,32,33</b>	Arcilla gris CH, con un potencial de expansión muy alto (CCCR,2012)
<b>10</b>	Arcilla rojiza CH, de alto potencial de expansión (CCCR,2012)
<b>18</b>	Arcilla gris CH, nivel freático se ubica a menos de 10 m todo el año (CCCR,2012)
<b>27</b>	Arcilla negra superficial, subyacida por arcilla gris (muy alto potencial de expansión) (CCCR,2012)

Fuente (Elaboración propia)

Valverde, E.2012 logro determinar los valores promedio y desviación estándar de los parámetros de cohesión no drenada, peso específico total y grado de saturación de los suelos en estudio.

Tabla 12.

Valores promedio y desviación estándar de los parámetros de cohesión no drenada, peso específico total y grado de saturación de los suelos.

Zonas	Suelo	Cohesión (t/m <sup>2</sup> )		Peso específico (t/m <sup>3</sup> )		Saturación (%)		Ángulo de fricción (°)
		$\bar{x}$	$S_x$	$\bar{x}$	$S_x$	$\bar{x}$	$S_x$	
<b>4,28,29,31</b>	CH	11,46	6,54	1,80	0,05	89,39	6,78	21,1
<b>5,6</b>	CH+CL	9,50	6,10	1,79	0,07	90,46	7,22	21,0
<b>16,30,32,33</b>	CL	10,82	7,26	1,85	0,06	82,26	8,82	22,0
	CH	8,49	6,55	1,78	0,06	92,11	8,36	20,8
<b>10</b>	CH	8,49	6,55	1,78	0,06	92,11	8,36	20,8
<b>18</b>	CH	8,49	6,55	1,78	0,06	92,11	8,36	20,8
<b>27</b>	CL+CH	11,86	6,13	1,82	0,07	86,90	9,34	21,5

Fuente (Elaboración propia)

GAM. Sectores Heredia y Alajuela:

De manera similar al caso anterior se extraen los datos que se hacen necesarios para el estudio en cuestión.

Tabla 13.

Zonas y suelos asociados. Heredia y Alajuela.

Zonas	Descripción
<b>4,28,29,31</b>	Entre 10 m a 15 m de espesor. Suelo tipo MH y estratos tipo CH. Potencial de expansión.
<b>14,15,16</b>	Suelo tipo MH y CH. Potencial de expansión.
<b>6,30,32,33</b>	Arcilla CH, con un potencial de expansión muy alto
<b>27</b>	Arcilla negra superficial, subyacente por arcilla gris (muy alto potencial de expansión) (CCCR,2012)

Fuente (Elaboración propia)

De igual forma se determinan los valores promedio y desviación estándar de los parámetros de cohesión no drenada, peso específico total y grado de saturación de los suelos en estudio.

Tabla 14.

Valores promedio y desviación estándar de los parámetros de cohesión no drenada, peso específico total y grado de saturación de los suelos.

Zonas	Suelo	Cohesión (t/m <sup>2</sup> )		Peso específico (t/m <sup>3</sup> )		Saturación (%)		Ángulo de fricción (°)
		$\bar{x}$	S <sub>x</sub>	$\bar{x}$	S <sub>x</sub>	$\bar{x}$	S <sub>x</sub>	
<b>4,28,29,31</b>	CH	11,46	6,54	1,80	0,05	89,39	6,78	21,1
<b>14,15,16</b>	CH	13	6,5	1,79	0,06	93,1	6,95	21,0
<b>6,30,32,33</b>	CH	--	--	--	--	--	--	--
<b>27</b>	CH	13,3	6,7	1,8	0,07	90,3	9,65	21,1
	CL	9,8	4,8	1,85	0,04	82,2	6,75	22,0

Fuente (Elaboración propia)

Provincia de Guanacaste, Limón y Puntarenas:

Para estas provincias se utilizó características del clima, precipitación promedio y desviación estándar del ángulo de fricción, debido a la presencia de arena (Bravo, A. 2013), entonces se extraen los datos que se hacen necesarios para el estudio en cuestión.

Tabla 15.

Valores promedio y desviación estándar de los parámetros de cohesión no drenada.

Zonas	Suelo	Promedio (t/m <sup>2</sup> )	Desviación estándar (t/m <sup>2</sup> )
<b>Guanacaste</b>	Limo arenoso	8,14	3,19
	Limo arenoso arcillosos	7,08	5,44
	Limo arcilloso	4,41	3,27
	Limo arcilloso arenoso	6,61	3,86
	Suelos arcillosos	7,74	4,48
<b>Puntarenas</b>	Arcillosos	6,38	4,98
<b>Limón</b>	Arcillosos	6,30	3,81

Fuente Bravo, A (2013)

Tabla 16.

Valores promedio y desviación estándar de los parámetros de peso específico.

Zonas	Suelo	Promedio (t/m <sup>3</sup> )	Desviación estándar (t/m <sup>3</sup> )
<b>Guanacaste</b>	Limo arenoso (Liberia-Papagayo)	1,73	0,04
	Limo arenoso (Santa Cruz)	1,78	0,03
	Limo arenoso (Nicoya-Tilarán)	1,75	0,05
	Limo arenoso arcilloso	1,84	0,21
	Limo arcilloso	1,75	0,05
	Limo arcilloso arenoso	1,78	0,02
	Arcilla	1,78	0,02
	Arcilla arenosa	1,78	0,04
<b>Puntarenas</b>	Arcillosos	1,76	0,05
<b>Limón</b>	Arcillas	1,77	0,04
	Restos de Arcillas	1,74	0,11

Fuente Bravo, A (2013)

Tabla 17.

Valores promedio y desviación estándar de los parámetros de ángulo de fricción efectivo.

Zonas	Suelo	Promedio (°)	Desviación estándar (°)
<b>Guanacaste</b> y	Pacífico Norte	25,40	4,02
	Pacífico Central	27,49	5,15
<b>Puntarenas</b>	Pacífico Sur	25,64	6,68
<b>Limón</b>	Moín – Centro Limón	26,24	3,31
	Guácimo - Pococí	24,62	4,61

Fuente Bravo, A (2013)

Tabla 18.

Valores promedio y desviación estándar de los parámetros de grado de saturación.

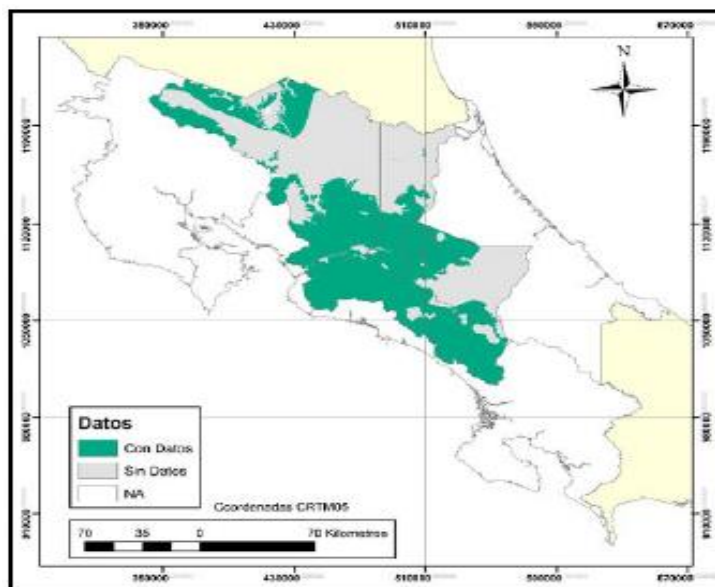
Zonas	Suelo	Promedio (%)	Desviación estándar (%)
<b>Guanacaste</b>	Liberia - Papagayo	69,07	13,15
	Santa Cruz	78,08	13,82
	Nicoya - Tilarán	90,52	8,28
<b>Puntarenas</b>	Pacífico Norte	83,49	13,47
	Pacífico Central	86,34	10,06
	Pacífico Sur	86,92	11,08
<b>Limón</b>	General	95,99	7,52
	Moín – Centro Limón	93,91	7,43
	Guácimo - Pococí	98,94	6,63

Fuente Bravo, A (2013)

Gracias a los datos generados se pueden obtener mapas que representan de manera macro la distribución país de aquellas zonas donde para suelos arcillosos y arenosos se obtuvo cohesión no drenada, peso específico, ángulo de fricción y grado de saturación.

Figura 20.

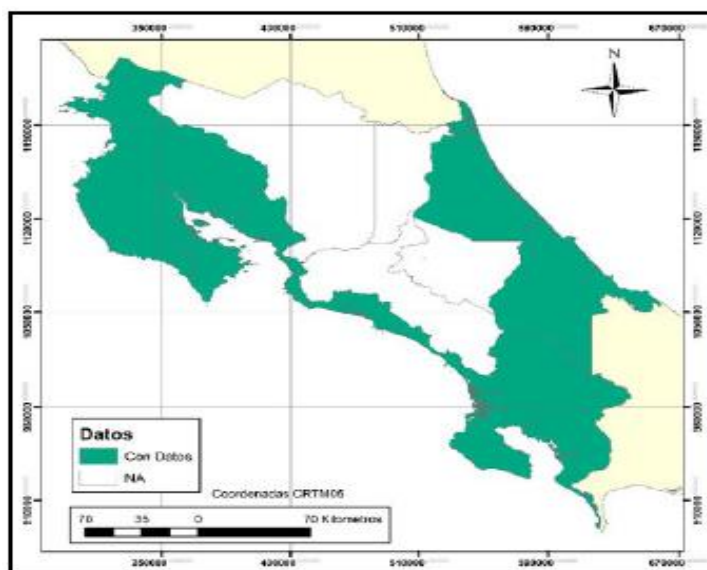
*Zonas con datos de cohesión no drenada, peso específico y grado de saturación para el GAM*



Fuente Brizuela, S (2016).

Figura 21.

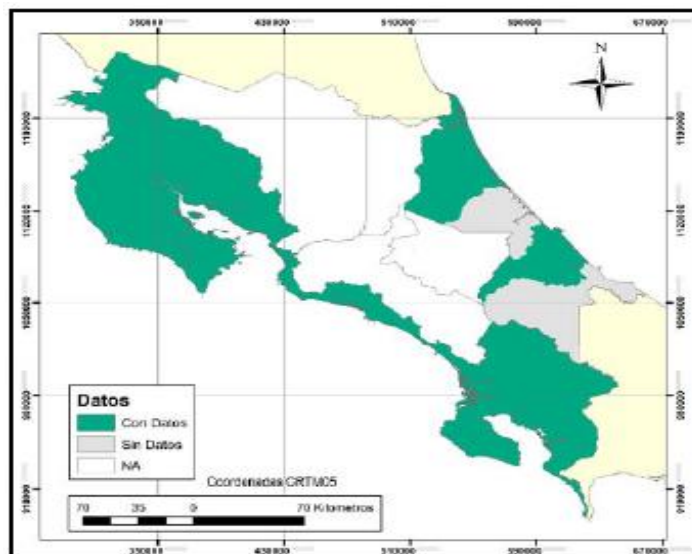
*Zonas con datos de cohesión no drenada y peso específico para Guanacaste, Puntarenas y Limón*



Fuente Brizuela, S (2016).

Figura 22.

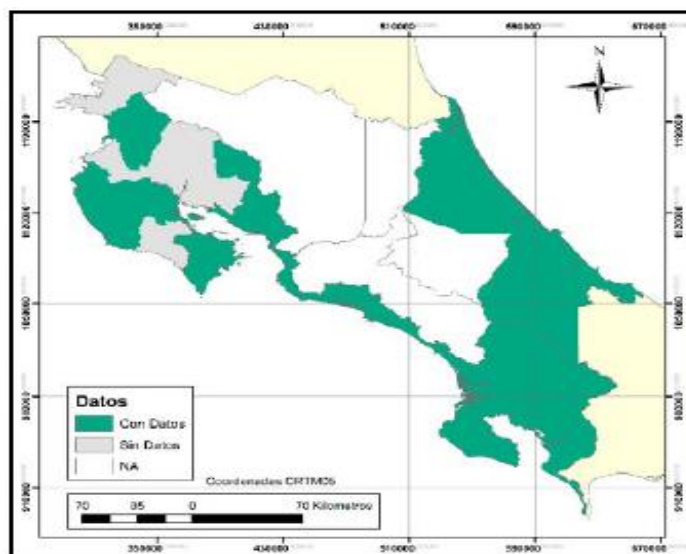
*Zonas datos ángulo de fricción efectivo para Guanacaste, Puntarenas y Limón*



Fuente Brizuela, S (2016).

Figura 23.

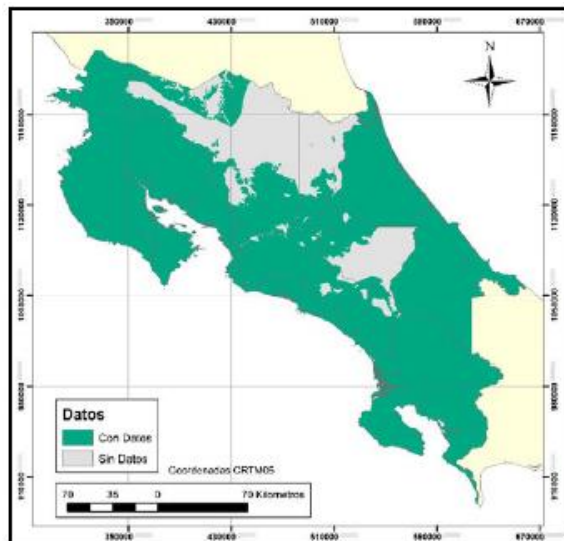
*Zonas con datos de grado de saturación para Guanacaste, Puntarenas y Limón*



Fuente Brizuela, S (2016).

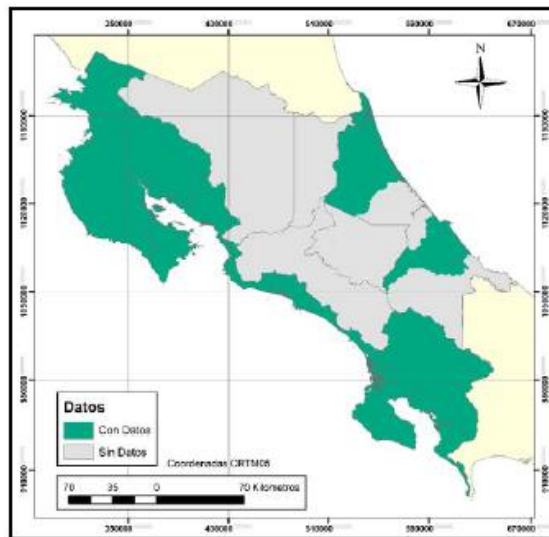
Con estos datos por zona se puede generar una visión más general de las diferentes condiciones de suelos arcillosos y arenosos en todo el país.

Figura 24.  
*Cohesión no drenada*  
*y peso específico para Costa Rica*



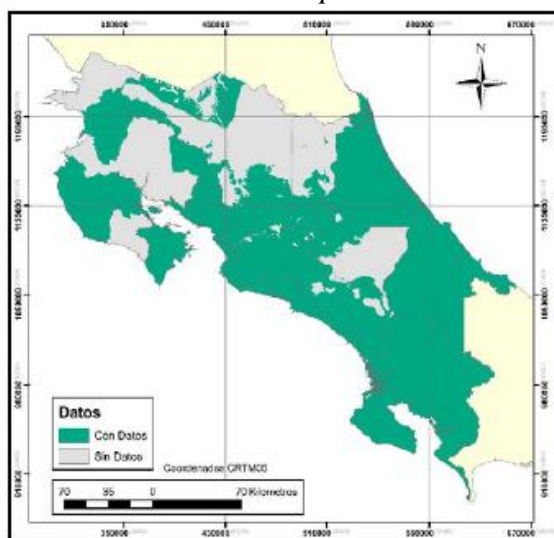
Fuente Brizuela, S (2016).

Figura 25.  
*Ángulo de fricción efectivo*  
*para Costa Rica*



Fuente Brizuela, S (2016).

Figura 26.  
*Grado de saturación para Costa Rica*



Fuente Brizuela, S (2016).



Comparación datos teóricos vs datos país:

Se realiza una comparativa entre los datos encontrados en la teoría y los arrojados en el estudio realizado para obtener valores críticos para los suelos arcillosos y arenosos.

Tabla 19.

Valores críticos para arcillas y arenas obtenido de la bibliografía.

Suelo	Relación de vacíos obtenido de Tabla 2 y 4	Saturación obtenida de Tabla 2 y 4 (%)	Peso específico promedio obtenido de Tabla 2 y 4 (kN/m <sup>3</sup> )
<b>Arcilla</b>	1,20	110	16,6
<b>Arena</b>	0,85	32	18,2

Fuente (Elaboración Propia)

Tabla 20.

Valores críticos para arcillas y arenas según distribución país por provincias.

Suelo	Cohesión obtenida de Tabla 12 y 14 (T/m <sup>2</sup> )	Saturación obtenida de Tabla 12 y 14 (%)	Peso específico obtenido de Tabla 12 y 14 (T/m <sup>3</sup> )	Ángulo de fricción obtenido de Tabla 12 y 14 (°)
GAM: San José, Cartago, Heredia y Alajuela.				
<b>Arcilla</b>	13,3	93,1	1,85	22,00
<b>Arena</b>	--	--	--	--
Suelo	Cohesión obtenida de Tabla 15 a 18 (T/m <sup>2</sup> )	Saturación obtenida de Tabla 15 a 18 (%)	Peso específico obtenido de Tabla 15 a 18 (T/m <sup>3</sup> )	Ángulo de fricción obtenido de Tabla 15 a 18 (°)
Provincias: Guanacaste, Puntarenas y Limón				
<b>Arcilla</b>	7,74	98,94	1,78	27,49
<b>Arena</b>	8,14	69,07	1,78	25,40

Fuente (Elaboración Propia)

Tabla 21.

Valores críticos para arcillas y arenas obtenido de las Tablas 19 y 20.

Suelo	Relación de vacíos	Cohesión (T/m <sup>2</sup> )	Saturación (%)	Peso específico (T/m <sup>3</sup> )	Ángulo de fricción (°)
<b>Arcilla</b>	1,20	13,3	110	1,85	27,49
<b>Arena</b>	0,85	8,14	69,07	1,78	25,40

Fuente (Elaboración Propia)

Análisis de los suelos encontrados:

Para el área metropolitana compuesta por las provincias de San José, Cartago, Heredia y Alajuela, los suelos presentan características mayoritariamente arcillosas, con presencia de limos y suelos blandos, donde las arcillas significan el 40% por distribución de suelos, pero por área ocupada por este tipo de suelo supera el 80% por estar presente en cantones con mayor cobertura territorial. Por otro lado, la presencia de arenas para el GAM prácticamente se descarta en lo que respecta a suelos para construcción.

Dados estos resultados para el GAM hablamos de suelos arcillosos con ángulo de fricción máximo de  $27,49^\circ$ , con valores críticos de Cohesión de  $13,3 \text{ T/m}^2$ , saturación de 93,1% y con peso específico de  $1,85 \text{ T/m}^3$ .

Para el resto de provincias circundantes al GAM como lo son Guanacaste, Puntarenas y Limón existe una mayor diversidad de suelos, esto quiere decir que mayoritariamente se tiene presencia de arenas, pero en combinación con limos para las áreas comprendidas entre Liberia y Papagayo, Santa Cruz y de Nicoya a Tilarán, esto en la provincia de Guanacaste, pero también se tienen en esta provincia, limos con arcillas y arenas, o arcillas con arenas, con una mayor presencia de arcillas hacia provincias como Puntarenas y Limón.

Dadas estas características hablamos de suelos arenosos y arcillosos, pero con mezcla de limos con ángulo de fricción crítico para las arenas de  $25,40^\circ$ , con una Cohesión crítica para las arenas de  $8,14 \text{ T/m}^2$  y para las arcillas de  $7,74 \text{ T/m}^2$ , además de una saturación del 90,52% (Guanacaste), del 86,92% (Puntarenas) y del 98,94% (Limón). Por su parte el peso específico ronda en promedio  $1,78 \text{ T/m}^3$ .

Partiendo de las ecuaciones 1,2 y 3 relacionadas con el esfuerzo efectivo en estado crítico del suelo se puede establecer que el esfuerzo efectivo de una arcilla y una arena de manera general han de estar en función de la profundidad de desplante desde la superficie hasta donde se alcance el nivel freático multiplicado por su respectivo peso específico. El nivel de desplante o profundidad del cimiento, la literatura lo ubica 3 o 4 veces el ancho de la cimentación, por lo que en placas comunes con un  $B = 0,60 \text{ cm}$  o con un  $B = 0,80 \text{ cm}$ , se puede hablar de una media de profundidad de cimiento de 2,40 m aproximadamente; lo que para nuestro caso establece un esfuerzo efectivo de arcilla y arenas de:

Tabla 22.

*Esfuerzo efectivo para arcillas y arenas*

	Suelo	Profundidad cimentación (m)	Peso específico (T/m <sup>3</sup> )	Esfuerzo Efectivo (T/m <sup>2</sup> )
GAM	Arcilloso	2,40	1,85	<b>4,44</b>
Guanacaste, Puntarenas y Limón	Arenoso con presencia de arcilla	2,40	1,78	<b>4,27</b>

Fuente (Elaboración propia)

Ahora bien, si la arcilla o la arena están en estado de saturación lo que transformaría a estas en una arcilla expansiva y una arena en estado potencial de licuefacción el esfuerzo efectivo cambia su condición.

Tabla 23.

*Esfuerzo efectivo para arcillas y arenas saturadas*

	Suelo	Profundidad cimentación (m)	Peso específico (T/m <sup>3</sup> )	Peso específico saturado Tabla 2 y 4 (T/m <sup>3</sup> )	Esfuerzo Efectivo (T/m <sup>2</sup> )
GAM	Arcilloso	2,40	1,85	2,02	<b>6,90</b>
Guanacaste	Arenoso con presencia de arcilla	2,40	1,78	2,04	<b>6,80</b>
Puntarenas	Arcilloso	2,40	1,76	2,02	<b>6,70</b>
Limón	Arcilloso	2,40	1,77	2,02	<b>6,70</b>

Fuente (Elaboración propia)

Análisis de la capacidad portante y diseño de cimentaciones superficiales:

Dado que se carece de estudios de suelo que permitan determinar la capacidad portante del suelo, se puede llegar a este, mediante el uso de fórmulas de equilibrio límite, la cual está definida según la ecuación 15 y ecuación 16 de este trabajo; de igual forma se pueden aplicar la ecuación 20 de Terzaghi, donde los factores de capacidad de carga se obtienen de la figura 14. Al partir de la premisa de una cimentación tipo placa corrida, con un  $B = 0,60$  m para una vivienda unifamiliar básica con un área de  $42 \text{ m}^2$ , con un perímetro de zanjo de 40 m, se obtiene la capacidad de soporte última, según el tipo de suelo.

Tabla 24.

*Cálculo Capacidad de soporte última. Placa Corrida*

Suelo	Peso específico ( $\text{T/m}^3$ )	B (m)	L (m)	Cohesión ( $\text{T/m}^2$ )	$D_f$ (m)	Angulo fricción ( $^\circ$ )	Factores capacidad carga	Capacidad soporte última ( $\text{T/m}^2$ )
Arcilloso (GAM)	1,85	0,60	40	13,3	2,40	22,00	$N_y = 5,09$ $N_c = 20,27$ $N_q = 9,19$	<b>314,02</b>
Arcilloso (Provincias)	1,78	0,60	40	7,74	2,40	27,49	$N_y = 12,63$ $N_c = 30,40$ $N_q = 16,84$	<b>313,99</b>
Arenoso (Provincias)	1,77	0,60	40	8,14	2,40	25,40	$N_y = 8,94$ $N_c = 25,91$ $N_q = 13,32$	<b>272,26</b>

Fuente (Elaboración propia)

En la tabla siguiente se obtiene mediante la ecuación general de Meyerhof (ecuación 37), la capacidad de soporte última para una cimentación superficial de losa flotante con dimensiones de 6 m de ancho por 7 m de largo para un área de  $42 \text{ m}^2$ , donde la profundidad de esta como mínimo será de 0.80 m.

Tabla 25.

*Cálculo Capacidad de soporte ultima. Losa Cimentación*

Suelo	Peso específico (T/m <sup>3</sup> )	B (m)	L (m)	Cohesión (T/m <sup>2</sup> )	D <sub>f</sub> (m)	Angulo fricción (°)	Factores capacidad carga	Capacidad soporte ultima (T/m <sup>2</sup> )
Arcilloso (GAM)	1,85	6	7	13,3	0,80	22,00	$N_y=7,13$ $N_c=16,88$ $N_q=7,82$	<b>370,30</b>
Arcilloso (Provincias)	1,78	6	7	7,74	0,80	27,49	$N_y=15,53$ $N_c=24,83$ $N_q=13,92$	<b>382,53</b>
Arenoso (Provincias)	1,77	6	7	8,14	0,80	25,40	$N_y=8,94$ $N_c=25,91$ $N_q=13,32$	<b>326,44</b>

Fuente (Elaboración propia)

Según la ecuación 32 se define la capacidad admisible para la placa corrida y la losa de cimentación según el tipo de suelo y área de influencia.

Tabla 26.

*Capacidad de carga admisible.*

Suelo	Capacidad de carga admisible. Placa corrida (T/m <sup>2</sup> )	Capacidad de carga admisible. Losa Cimentación (T/m <sup>2</sup> )
Arcilloso (GAM)	<b>314,02</b>	<b>370,30</b>
Arcilloso (Provincias)	<b>313,99</b>	<b>382,53</b>
Arenoso (Provincias)	<b>272,26</b>	<b>326,44</b>

Fuente (Elaboración propia)

Análisis comparativo capacidad admisible:

Considerando que ya se poseen los datos de capacidad admisible del suelo y de las cimentaciones superficiales, se puede establecer la relación que la cimentación tiene en su base con respecto al suelo, punto que es crítico para saber cómo interactúa cada cimentación en relación a la falla que se pueda presentar en el suelo. Así mismo al presentarse suelos cohesivos donde su peso específico a de ser menor en su base, este se desprecia pues se parte de un suelo uniforme y se maneja el peso específico general como factor de seguridad al cálculo en la relación.

Tabla 27.

*Comparación Capacidad admisible. Considerando el esfuerzo efectivo.*

Suelo	Cimentación superficial	Peso específico (T/m <sup>3</sup> )	D <sub>f</sub> (m)	B (m)	L (m)	q <sub>u</sub> (T/m <sup>2</sup> )	q <sub>u</sub> en la base de la cimentación. (T/m <sup>2</sup> )
Arcilloso (GAM)	Placa corrida	1,85	2,40	0,60	40	314,02	<b>530,72</b>
Arcilloso (GAM)	Losa Cimentación	1,85	0,80	6	7	370,30	<b>956,00</b>
Arcilloso (Provincias)	Placa corrida	1,78	2,40	0,60	40	313,99	<b>544,98</b>
Arcilloso (Provincias)	Losa Cimentación	1,78	0,80	6	7	382,53	<b>1019,74</b>
Arenoso (Provincias)	Placa corrida	1,77	2,40	0,60	40	272,26	<b>486,45</b>
Arenoso (Provincias)	Losa Cimentación	1,77	0,80	6	7	326,44	<b>882,49</b>

Fuente (Elaboración propia)

### **Características de las cimentaciones superficiales:**

Las características que se desean mostrar son aquellas que permitan comparar las técnicas de construcción de ambas cimentaciones superficiales, con el objetivo de marcar las diferencias constructivas, resistencias, materiales a utilizar entre otros.

#### **Placas corridas:**

La placa corrida es un elemento de concreto reforzado donde el acero de refuerzo esta embebido en cierta cantidad de concreto con un espesor de recubrimiento acorde al diseño planteado. Estas placas deben contener una cantidad de acero tanto longitudinal y transversal previamente diseñado de acuerdo a las demandas, que ha de cumplir con un refuerzo mínimo. Un elemento por considerar es si la cimentación requiere un mejoramiento de suelo o no, lo que se conoce como sustitución, lo cual se ha de determinar en función del suelo y la composición de este, donde usualmente un concreto empobrecido o un agregado granular compactado ayuda a estabilizar la placa.

#### **Losas de cimentación:**

La losa de cimentación puede ser usada en la construcción de viviendas con la recomendación por parte del código sísmico del uso de vigas bajo cada pared que provean de la resistencia adecuada afirmando una conducta rígida, dando lugar a una sola pieza de losa. Para viviendas unifamiliares donde su sistema constructivo no permita o no requiera el uso de esta viga se omite dando lugar a una losa sin este tipo de refuerzo estructural.

### **Comparación de las técnicas constructivas de las cimentaciones superficiales:**

La cimentación y la técnica que se utilice para con ella siempre ha de estar en función del terrero sobre el cual se desee cimentar. Por esto es primordial conocer el tipo de terreno y las cualidades soportantes que este posea. Según la situación país en este tema, de entrada, es sencillo considerar que, en suelos arcillosos, si este no presenta horizontes blandos, además de una cohesión aceptable y no se presentan niveles freáticos o entrada de humedad hacia estos trabaja de manera adecuada con placas corridas siempre y cuando no exceda el desplante, pero si alguno de estos factores se vuelve critico hay que considerar la losa de cimentación la cual además de poder edificar en suelos menos soportantes y con condiciones más críticas elimina los asentamientos que pueden ser un problema ocurrente en las placas corridas.

Tabla 28.

*Pasos constructivos. Cimentaciones superficiales*

	Pasos constructivos		Pasos constructivos
<b>Placa corrida</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Limpieza capa vegetal.</li> <li>2. Niveles y áreas.</li> <li>3. Excavación cimientado terminado.</li> <li>4. Excavación zanjas de placas.</li> <li>5. Sustitución/Compactado/Sello.</li> <li>6. Armadura general.</li> <li>7. Encofrado o Formaleta.</li> <li>8. Colado de concreto.</li> <li>9. Fraguado.</li> <li>10. Desencofrado.</li> <li>11. Relleno.</li> </ol>	<b>Losa cimentación</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Limpieza capa vegetal.</li> <li>2. Niveles y áreas.</li> <li>3. Excavación.</li> <li>4. Sustitución/Compactado.</li> <li>5. Instalación mecánica.</li> <li>6. Encofrado perimetral.</li> <li>7. Impermeabilización.</li> <li>8. Malla Acero y armadura.</li> <li>9. Colado de concreto.</li> <li>10. Fraguado.</li> <li>11. Codal y aplanchado.</li> <li>12. Desencofrado.</li> </ol>

Fuente (Elaboración propia)

**Viabilidad constructiva de las cimentaciones superficiales:**

Básicamente se considera la relación suelo-cimiento y mayormente aquel suelo que este por debajo de la cimentación dado que en las cimentaciones superficiales se evitan las cargas laterales, pues se contrarrestan por el confinamiento que el mismo suelo o el relleno que se agregue ejerce sobre el cimiento. Siendo así, las cargas verticales son las únicas que pueden afectar la capacidad de carga del suelo.

*Placas corridas:* En suelos arcillosos se debe cuidar la consolidación que la edificación proyecta sobre el cimiento y de este al suelo, todo medido a partir de las cargas axiales que por cargas permanente y temporales aporte la vivienda, pues este proceso de consolidación con el tiempo lleva al cimiento a tener asentamientos, donde de ser diferenciales dan lugar a fallas o fractura del propio cimiento y de los elementos sobrepuestos sobre él.

*Losas de cimentación:* En suelos arcillosos con este tipo de cimentación se evade prácticamente la posibilidad de tener asentamientos diferenciales y lo que se puede dar es el proceso de consolidación del suelo, pero de manera regular. La losa es viable cuando la placa



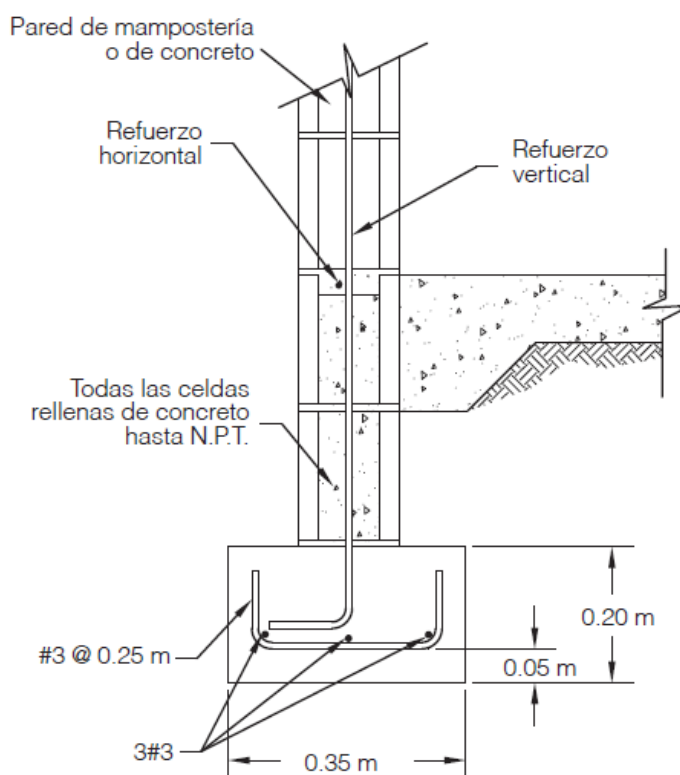
corrida excede el 50% del área total del inmueble y en presencia de suelos de mala calidad, por ejemplo, en caso de suelos granulares, arenas, mal consolidadas donde la fricción de sus partículas no es adecuada y con presencia de cohesión aparente provocada por niveles freáticos que supongan una baja calidad del suelo.

**Economía constructiva de las cimentaciones superficiales:**

Para el caso específico de las placas corridas, considerando la construcción de un cimiento para una vivienda unifamiliar de 42 m<sup>2</sup>, con 40 metros lineales de placa (Anexo F.), donde el Código Sísmico de Costa Rica en su sección 17/5.a establece ancho mínimo de 35 cm con espesor mínimo de 20 cm, donde el acero de refuerzo se establece como mínimo en 3 varillas #3 longitudinales y varillas #3 cada 25 cm transversales en forma de U (CSCR,2010), se obtiene:

Figura 27.

*Fundación para viviendas de un piso*



Fuente Código Sísmico de Costa Rica (2010).

Tabla 29.

*Costo material para un metro cuadrado de Placa Corrida*

Materiales	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
Limpieza capa vegetal (20 cm)	8,4 m <sup>3</sup>	¢12 500/m <sup>3</sup>	¢105 000
Trazado	42 m <sup>2</sup>	¢1 500/m <sup>2</sup>	¢63 000
Excavación	8,4 m <sup>3</sup>	¢12 500/m <sup>2</sup>	¢105 000
Sustitución/Sello	1,4 m <sup>3</sup>	¢80 000/m <sup>3</sup>	¢112 000
Concreto premezclado 210 Kg/cm <sup>2</sup> 0,35 m x 0,20 m x 40 m	2,8 m <sup>3</sup>	¢80 000/m <sup>3</sup>	¢224 000
Varilla #3 longitudinales	20 unidades	¢2 160	¢43 200
Varilla #3 transversales @25 cm	16 unidades	¢2 160	¢34 560
Otros (alambre negro, “helados”, mano de obra)	1 global	¢686 760	¢686 760
<b>Total:</b>			<b>¢1 373 520</b>

Fuente (Elaboración propia)

Para la Tabla 29 se toman los costos Unitarios de fuentes informativas como Grupo Orosi y pagina web de Construplaza.

Para el caso específico de las losas de cimentación, considerando la construcción de un cimiento para una vivienda unifamiliar de 42 m<sup>2</sup> (Anexo F.), el Código Sísmico de Costa Rica en su sección 13.10.3 recomienda el uso de una viga bajo cada una de las paredes la cual para el cálculo de la siguiente tabla se obviará tomando como criterio que no se requiere su uso, entonces:

Tabla 30.

*Costo material para un metro cuadrado de Losa Cimentación*

Materiales	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
Limpieza capa vegetal (15 cm)	6,3 m <sup>3</sup>	¢12 500/m <sup>3</sup>	¢78 750
Trazado	42 m <sup>2</sup>	¢1 500/m <sup>2</sup>	¢63 000
Excavación	6,3 m <sup>3</sup>	¢12 500/m <sup>2</sup>	¢78 750
Concreto premezclado 210 Kg/cm <sup>2</sup> 6 m x 7 m x 0,15 m	6,3 m <sup>3</sup>	¢80 000/m <sup>3</sup>	¢504 000
Varilla #3 longitudinales en malla	56 unidades	¢2 160	¢120 960
Otros (alambre negro, “helados”, mano de obra)	1 global	¢845 460	¢845 460
<b>Total:</b>			<b>¢1 690 920</b>

Fuente (Elaboración propia)

Para la Tabla 30 se toman los costos Unitarios de fuentes informativas como Grupo Orosi y pagina web de Construplaza.

Para ambos comparativos se toman los elementos que representan mayor coste en la construcción de la placa corrida o losa de cimentación con el fin de no entrar en cotización de elementos menores que no han de significar un incremento significativo.

## Capítulo 5. Conclusiones.

- Nuestro país posee una diversidad de suelos que da pie a considerar que en regiones o zonas donde se puede considerar que el suelo es homogéneo, este no cumple esta condición y se tienen suelos distintos a pocos metros de distancia.

- En el GAM se puede hablar mayoritariamente de suelos arcillosos con características expansivas en algunas zonas producto de la saturación, pero que a su vez son bastante cohesivos, evidenciando suelos que pueden cumplir los parámetros para construcción siempre y cuando el nivel freático o el acceso de agua a estos no los altere volviéndolos expansivos.

- Para las provincias de Guanacaste, Puntarenas y Limón, existe una mayor presencia de arenas las cuales se encuentran mezcladas junto con limos y arcillas, con la tendencia de ser más arcillosos hacia las provincias de Puntarenas y Limón en zonas alejadas de la costa. Estos suelos de igual manera presentan cohesiones razonables (arenas y arcillas) y ángulos de fricción importantes (arenas) que permiten eventualmente el cimentar una edificación, pero tienen altos porcentajes de saturación de suelos lo que si no se tiene la prevención adecuada pueden ocasionar desde suelos expansivos-compresivos hasta licuefacción del mismo.

- Los suelos del GAM son más estables en general que los suelos de las provincias, lo que, en referente a cimentaciones, el uso de placa corrida o losa de cimentaciones es un asunto de criterio del profesional, ya que para viviendas unifamiliares de una planta la losa puede ser excesiva, mientras la placa parece la idónea, pero si se consideran viviendas de dos plantas de menos de 200 m<sup>2</sup> donde las cargas puntuales y de momento sobre el cimiento son mayores la placa puede ser mejor solución para evitar problemas de volcamiento o asentamiento diferencial.

- En el caso de las provincias por las condiciones de suelos predominantes hay que realizar una evaluación del terreno para definir si la placa corrida especialmente el tipo T invertida funciona o si por el contrario la sola presencia de arenas vaticina el uso de losas de cimentación.

- El costo de las placas corridas para este tipo de vivienda es mucho menor al costo de la losa de cimentación y el hecho está en las dimensiones de la misma. Para

edificaciones mayores el uso de la losa se vuelve más viables que el de las placas pues hay un mayor ahorro en mano de obra y tiempos de construcción, pero para vivienda unifamiliares el uso de la losa se vuelve un poco excesivo en costos a no ser que el suelo así lo amerite y donde la placa corrida no funcione.

- En general Costa Rica es diverso en suelos y al hablar de suelo arcilloso y arenoso en determinada región es muy difícil, tanto así que dentro de una misma huella de vivienda podemos tener variantes de suelo que no conocemos, por ello lo ideal es realizar estudios de suelos calificados y no dejar todo a la experiencia del profesional. De no poder hacerse por el costo que esto significa, el profesional debe considerar el conocer los estratos de suelos que se tiene en el sitio mediante excavaciones puntuales que permitan conocer sobre que suelo ha de cimentar.

- Para viviendas unifamiliares de una planta el uso de la losa de cimentación económicamente hablando se considera más costosa que la placa corrida especialmente por la cantidad de acero y la recomendación del CFIA del uso de una viga bajo cada ubicación de pared. Además, la sollicitación de cargas de esta vivienda suele ser normalmente bajo. El determinante sería el tipo de suelo donde este demande el uso necesario de la losa de cimentación.

- Para viviendas unifamiliares de dos plantas el uso de la losa de cimentación económicamente hablando se considera más beneficiosa que la placa corrida debido a la sollicitación de cargas de esta vivienda que suele ser mayor, por los aportes del entrecimso rígido y estructura de la vivienda, además que los tiempos en horas construcción y mano de obra puede ser menor bajado los costos comparables a la placa o por debajo de esta.

## Capítulo 6. Recomendaciones.

- Nuestro país en casos de viviendas unifamiliares no puede dejar de lado la necesidad de realizar estudios de suelos o crear mecanismos que le permitan al profesional cerciorarse del tipo de suelo sobre el cual está cimentando.

- La oportunidad de crear un mapa zonal apoyado en estudios complementarios como los realizados por el MAG es tangible al punto de que se puede tener más claro que lugares presentan un tipo u otro de suelo.

- Dado que para el GAM las cimentaciones superficiales por placa corrida son más adecuadas por la existencia de suelos arcillosos y por el factor económico, es necesario considerar el realizar un mejoramiento del suelo mediante el uso de un concreto de sello de unos 10 cm como mínimo o en su defecto usar un material granular compactado (lastre no mayor a 25 mm), en dos capas de 10 cm cada uno, además de asegurar la no entrada de humedad a la cimentación mediante la impermeabilización perimetral del cimiento con el fin de evitar que se activen potenciales arcillas expansivas. Si el suelo a poca profundidad presenta mucha saturación se recomienda valorar el uso de losa de cimentación para evitar asentamientos diferenciales en la placa que provoquen falla en la estructura de la vivienda.

- Para Guanacaste donde las arenas predominan se debe verificar de forma más atenta el suelo y su estructura para ver si este es más arenoso-arcilloso, o más arenoso-limoso, esto ya que dependiendo de ello así se determina la cimentación más adecuada con el fin de tener una perspectiva de terreno, pero si es preferible el realizar el estudio de suelo previo al inicio de la obra, para a ciencia cierta conocer si se requiere placa o losa.

- Para Puntarenas y Limón cerca de la costa donde las arenas predominan, de entrada, el uso de losa de cimentación es lo más adecuado y lejos de la costa, aunque existen más arcillas hay que valorar superficialmente el estado de saturación de estas para tener punto de partida si se debe usar una cimentación u otra.

- Se debe sopesar la diferencia de costos entre ambas cimentaciones pues, aunque la placa corrida resulta más económica para viviendas de poca área, cuando esta última aumenta la losa gana importancia ya que esta reduce los tiempos de mano de obra y en la construcción además de tener un elemento monolítico que se comporta mejor ante sismos.

## Referencias Bibliográficas

Real Academia Española. (2021). Diccionario de la Lengua Española.  
<https://dle.rae.es/ingenier%C3%ADa>

Marchal, Raul J. (2012). Problemas de cimentación en la ciudad de México: Comportamiento de las cimentaciones. Geotecnia, marzo-mayo (223), 15-18.  
[https://issuu.com/helios\\_comunicacion/docs/geotecnia\\_223\\_marzo.mayo\\_baja](https://issuu.com/helios_comunicacion/docs/geotecnia_223_marzo.mayo_baja)

Adelfang, Javier. (2022). Construcción: la mecha que enciende la economía de Costa Rica. Inversión Inmobiliaria.  
[https://www.inversioninmobiliariacr.com/es/finanzas/item/2722-construccion\\_-la-mecha-que-enciende-la-economia-de-costa-rica#:~:text=Durante%202021%20se%20reportaron%2C%20aproximadamente,laboral%20ocupada%20en%20el%20pa%C3%ADs.](https://www.inversioninmobiliariacr.com/es/finanzas/item/2722-construccion_-la-mecha-que-enciende-la-economia-de-costa-rica#:~:text=Durante%202021%20se%20reportaron%2C%20aproximadamente,laboral%20ocupada%20en%20el%20pa%C3%ADs.)

Asociación Costarricense de Geotecnia. (2002). Código de Cimentaciones de Costa Rica: Comisión Código de Cimentaciones de Costa Rica (2da. Edición.). Editorial Tecnológica de Costa Rica.

Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica. (2010). Código Sísmico de Costa Rica: Revisión 2014 (5ta. Edición.). Editorial Tecnológica de Costa Rica.

Braja M, D. (2012). Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones. (7ta. Edición.) Editorial Cengage Learning.

Braja M, D. (2015). Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. (4ta. Edición.) Editorial Cengage Learning.

- Tapia, I., Cáceres, D. (2020, 15 de abril). Consultorio de la Construcción: Métodos en las fases del proyecto Lusail Tower en Qatar. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=zcHNX4iTghw>.
- Molla, M., Carbonell, J., Fernández, J.L., Cantó, T., Rives, J.V., Kostenko, V. (2011, 25 de mayo). Colapso de estructuras por fallo de terreno o cimentación. YouTube. <https://youtu.be/b9T1UXGEgXA>
- Mata, R. (2005). Análisis de asentamientos de losas de fundación sobre rellenos de suelo colapsable mediante la aplicación de un modelo físico. [Informe de Trabajo de Graduación]. Universidad de Costa Rica. <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/bitstream/123456789/1489/1/25917.pdf>
- Mata, R. (2020). El mapa de suelos de Costa Rica con la leyenda WRB [Resumen]. Ministerio de Agricultura y Ganadería. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/av-1630.pdf>
- Ramírez, D. (2008). Programa para diseño de cimentaciones superficiales. [Informe de Trabajo de Graduación]. Instituto Tecnológico de Costa Rica. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/6259/programaparadisenoedecimentacionessuperficiales.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Laporte, G. (2007, septiembre). Reflexiones sobre cimentaciones en condiciones problemáticas. ResearchGate. [https://www.researchgate.net/publication/305722104\\_Reflexiones\\_sobre\\_Cimentaciones\\_en\\_Condiciones\\_Problematicas](https://www.researchgate.net/publication/305722104_Reflexiones_sobre_Cimentaciones_en_Condiciones_Problematicas)
- Fernández, R. (2015). Capacidad portante con fines de cimentación mediante los ensayos SPT y corte directo en el distrito de Aguas Verdes-Tumbes. [Informe de Trabajo de Graduación]. Universidad Nacional de Cajamarca. <https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/1640/TESIS%20RFG%202015.pdf?sequence=1&isAllowed=y>



- Bravo, A. (2013). Diseño probabilístico de cimentaciones superficiales cuantificando la incertidumbre asociada a los cambios en el grado de saturación de los suelos de Guanacaste, Puntarenas y Limón. [Informe de Trabajo de Graduación]. Universidad de Costa Rica. <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/handle/123456789/4163>
- Sáenz, S. (2018). Diseño geotécnico de cimentaciones superficiales continuas sobre suelos estratificados. [Informe de Trabajo de Graduación]. Universidad de Costa Rica. <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/bitstream/123456789/7466/1/43780.pdf>
- Turcios, D. (2020). Comparación de diseño estructural para cimentaciones superficiales utilizando el método rígido convencional y el método Winkler por elementos finitos. [Informe de Trabajo de Graduación]. Instituto Tecnológico de Costa Rica. [https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/12457/TFG\\_David\\_Turcios\\_Medina.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/12457/TFG_David_Turcios_Medina.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Berrocal, JC. (2013). Métodos analíticos y numéricos aplicados al diseño de cimentaciones superficiales considerando su interacción con el suelo. [Informe de Trabajo de Graduación]. Universidad Nacional de Ingeniería. <https://docplayer.es/43545443-Universidad-nacional-de-ingenieria-facultad-de-ingenieria-civil-tesis.html>
- Velásquez, FA. (2013). Eficiencia teórica de cuatro tipos de cimentación superficial para una institución educativa. [Informe de Trabajo de Graduación]. Universidad Privada del Norte. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/13331>
- Alvarado, A. (2014). Arcillas identificadas en suelos de Costa Rica a nivel generalizado durante el período 1931-2014: II. Mineralogía de arcillas en suelos con características vérticas y oxídico caoliníticas. [Agronomía Costarricense 38(1)]. Ministerio de Agricultura y Ganadería. [www.mag.go.cr/rev\\_agr/index.html](http://www.mag.go.cr/rev_agr/index.html)

- Orlandi, S., Manzanal, D., Espelet, M., Ruiz, A. (2015). Sobre el empleo de suelos como relleno bajo contrapisos y losas flotantes: dos patologías en estudio. [Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente]. <https://www.editoriasagai.org.ar/ojs/index.php/rgaia/article/view/103>
- Solano, M. (2005). Análisis y diseño de losas de fundación. [Informe de Trabajo de Graduación]. Instituto Tecnológico de Costa Rica. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/6205/analisisydisenodelosaspafundacion.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- López, A. (2018). Variación de los parámetros de consolidación en limos expuestos a condiciones medioambientales de alta humedad. [Informe de Trabajo de Graduación]. Universidad Latina de Costa Rica. <https://repositorio.ulatina.ac.cr/handle/20.500.12411/979>
- Salome, ED. (2022). Análisis comparativo de las teorías de capacidad de carga en cimentaciones superficiales, Cullpa Alta El Tambo – Huancayo 2021. [Informe de Trabajo de Graduación]. Universidad Peruana Los Andes. [https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/66565/browse?type=title&sort\\_by=1&order=ASC&rpp=30&etal=1&null=&offset=114](https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/66565/browse?type=title&sort_by=1&order=ASC&rpp=30&etal=1&null=&offset=114)
- Geotecnia Fácil. ¿Qué es el nivel freático? Definición, diferencias con el nivel piezométrico y sus consecuencias en las obras. <https://geotecniafacil.com/que-es-el-nivel-freatico-definicion-piezometrico/>
- Valverde, E. (2012). Diseño probabilístico de cimentaciones profundas cuantificando la incertidumbre asociada al grado de saturación en San Jose y Cartago. [Trabajo de Graduación]. Universidad de Costa Rica. <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/bitstream/123456789/3404/1/34551.pdf>

Bravo, A. (2013). Diseño probabilístico de cimentaciones superficiales cuantificando la incertidumbre asociada a los cambios en el grado de saturación de los suelos de Guanacaste, Puntarenas y Limón. [Trabajo de Graduación]. Universidad de Costa Rica. <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/handle/123456789/4163>

Brizuela, S. (2016). Diseño de un programa computacional para el análisis probabilístico de cimentaciones superficiales y muros de retención. [Trabajo de Graduación]. Universidad de Costa Rica. <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/bitstream/123456789/3575/1/40285.pdf>

**Anexos**

Anexo A. Fotografía del silo de grano antes de su colapso. Transcona, Canadá, año 1913.



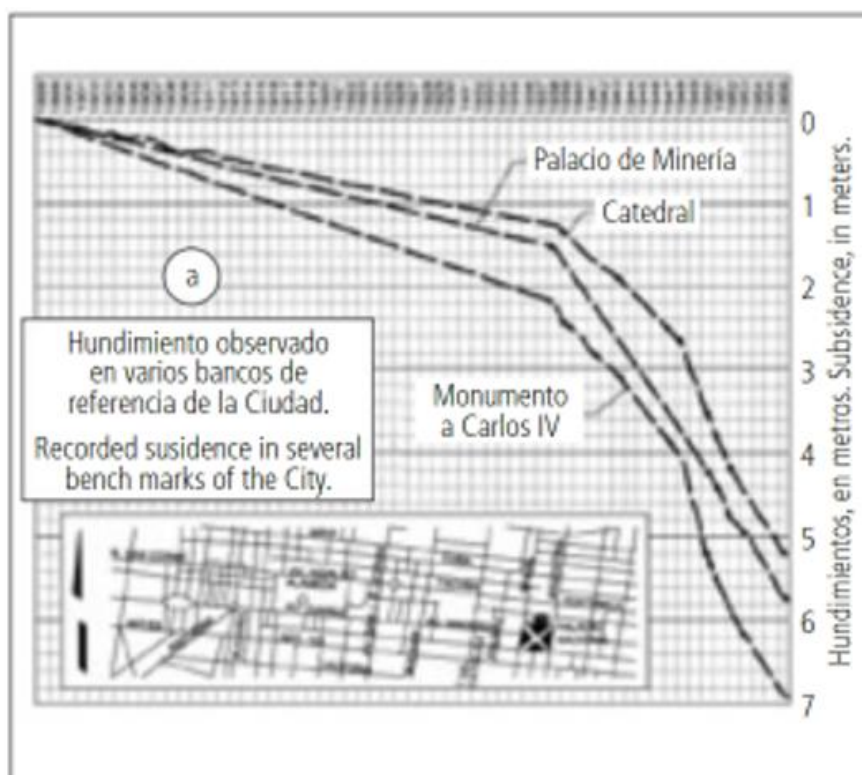
Anexo B. Fotografía del silo de grano después del colapso. Transcona, Canadá, año 1913.



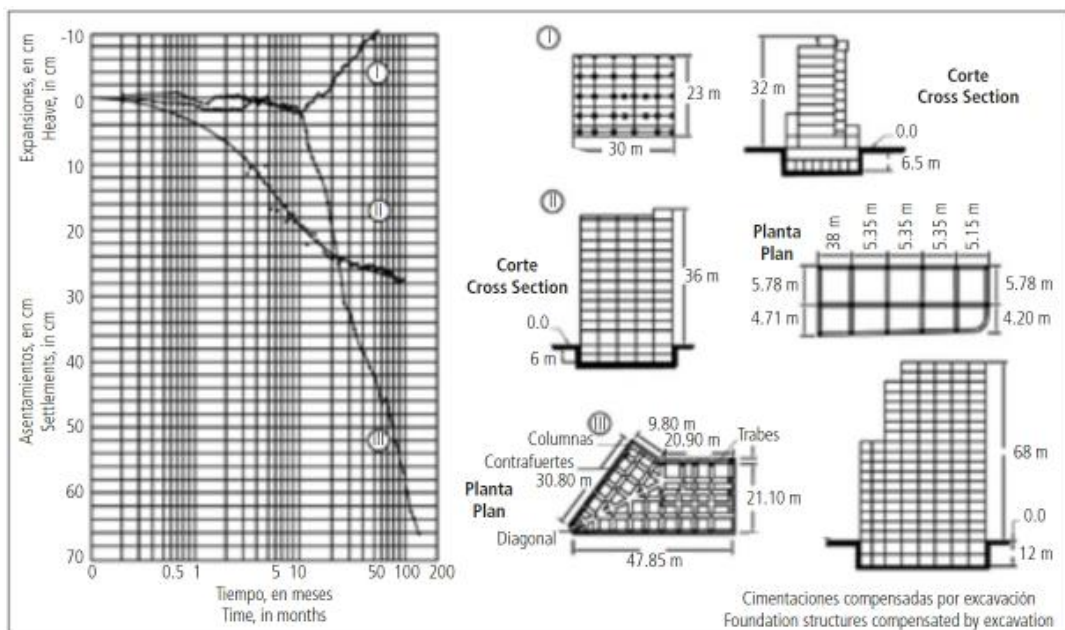
Anexo C. Fotografía de Lusail Towers. Qatar, año 2020.



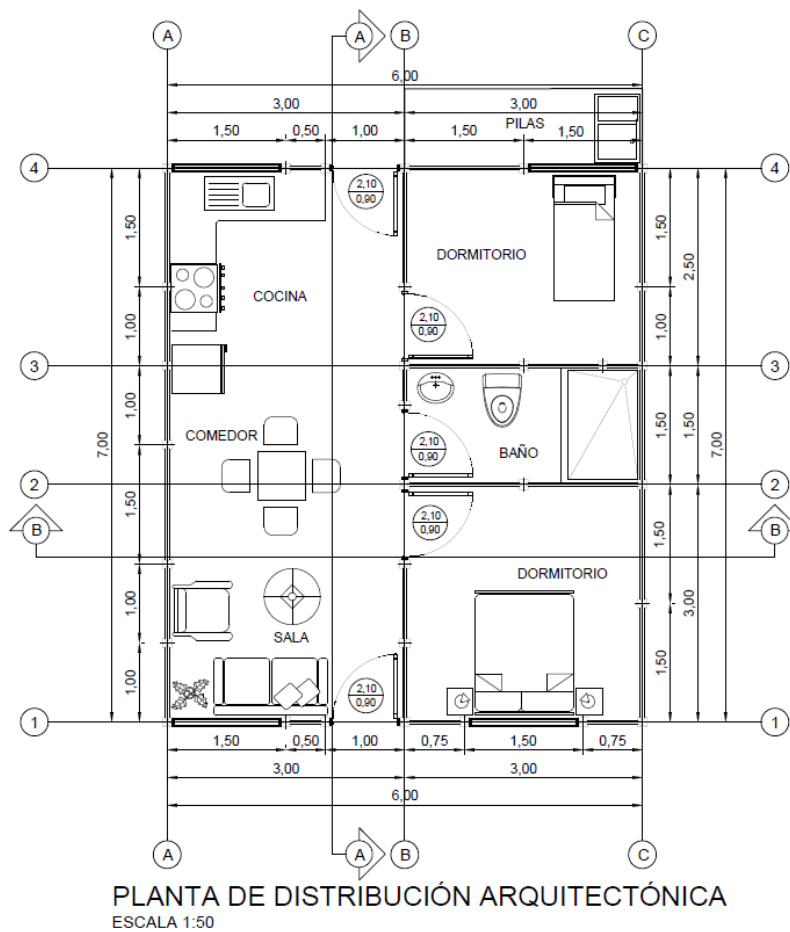
Anexo D. Registro histórico del hundimiento. Monumentos de la ciudad de México.



Anexo E. Predicción de hundimientos relativos. Edificios de la ciudad de México.



Anexo F.  
Vivienda unifamiliar  
de 42 m<sup>2</sup> con  
dimensión lineal de  
placa de 40 metros.



## **Glosario**

### 1. Cimentación:

Los cimientos o bases de una vivienda. Normalmente son colocados con el fin de soportar la carga de la vivienda, son los elementos sobre los cuales se levantan las paredes y columnas de la vivienda.

### 2. Cimentación corrida y/o aislada:

Elementos de concreto armado que se colan sobre una zanja perimetral o en un agujero individual, con el fin de soportar las paredes y columnas de la vivienda.

### 3. Losas flotantes:

Tipo de cimentación con elementos de concreto armado que se colan sobre el suelo firme, ocupando un área en metros cuadrados mayor al de la cimentación corrida y/o aislada.

### 4. Inmuebles:

Se considera un inmueble a cualquier tipo de edificación, sea un edificio o vivienda unifamiliar, casa, choza, entre otros, que cumplen con la condición de estar sobre el suelo sin posibilidad de moverse.

### 5. Vivienda unifamiliar:

Se relaciona el término a las viviendas de pocos metros cuadrados, normalmente de una planta, donde habita una sola familia dentro de una propiedad con un único dueño.

### 6. Capacidad admisible:

Se refiere a la capacidad de soporte que tiene un tipo determinado de suelo, al peso que ejerce una edificación sobre él.

### 7. Capacidad portante:

Se refiere a fracción de presión que se establece entre el tipo de suelo determinado y la cimentación.

#### 8. Estratos:

Cada una de las capas superficiales que componen el suelo donde se construirá la vivienda.

#### 9. Asentamiento:

Se refiere al acomodo o compactación del suelo producto de la acción de sumarle carga proveniente de la cimentación y la edificación sobre él.

#### 10. Volcamiento:

Es un proceso similar al asentamiento solo que acá se suman fuerzas laterales aplicadas al cimiento y/o a la edificación que provocan la falla del suelo y el cimiento vuelque.

#### 11. Nivel freático:

Este se define como el nivel de agua más alto que se puede encontrar en el suelo. En muchos textos se conceptualiza como, el lugar donde la presión del agua es igual a la de la presión atmosférica. (Geotecnia Fácil)

#### 12. Licuefacción:

Este es un proceso que sucede principalmente en suelos arenosos y donde debido a la saturación de estos suelos producto de la alta concentración de humedad o agua, provoca que pierda su firmeza al punto de fluir en condiciones de sismo o cargas de empuje sobre él.

#### 13. Arcillas Expansivas y compresivas:

La característica de expansión o compresión de las arcillas se produce cuando se da un cambio en el volumen en ellas producto de la humedad presente o ausente en el suelo. En otras palabras, la expansión de las arcillas se da al aumentar su volumen debido al agua presente y la compresión se da por cargas de empuje que hacen que la humedad se pierda y se compacten.



#### 14. Angulo de fricción y cohesión:

La cohesión se puede definir como el que tan unidas estén las partículas que conforman el suelo. A mayor cercanía de las partículas la cohesión es alta como en el caso de las arcillas y a mayor separación la cohesión es nula como en el caso de las arenas.

El caso del ángulo de fricción se refiere a la resistencia que existe entre las partículas del suelo. A mayor fricción o resistencia los suelos tienden a ser granulares mientras que a menos fricción tienen a ser más finos.

#### 15. Esfuerzos:

Los esfuerzos en suelos se definen como la carga que es aplicada a ellos producto de elementos no naturales construidos sobre el como las cimentaciones, o cargas ejercidas por el mismo peso del suelo.