



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL PROGRAMA PARA EL DISEÑO DE ZAPATAS
AISLADAS**

Diego Rolando Santizo Estrada

Carné: 201113857

Asesorado por el Msc. Ing. Erik Flores Aldana

Guatemala, enero de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL PROGRAMA PARA EL DISEÑO DE ZAPATAS
AISLADAS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

DIEGO ROLANDO SANTIZO ESTRADA
ASESORADO POR EL MSC. ING. ERIK FLORES ALDANA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, ENERO DE 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIA	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. José Estuardo Galindo Escobar
EXAMINADOR	Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
EXAMINADOR	Ing. José Mauricio Arriola Donis
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL PROGRAMA PARA EL DISEÑO DE ZAPATAS AISLADAS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 14 de enero de 2022.

Diego Rolando Santizo Estrada



EEPFI-PP-0403-2022

Guatemala, 14 de enero de 2022

Director
Armando Fuentes Roca
Escuela De Ingenieria Civil
Presente.

Estimado Mtro. Fuentes

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.

El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **PROGRAMA PARA EL DISEÑO DE ZAPATAS AISLADAS**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Nuevas Tecnologías en Ingeniería Estructural - Software**, presentado por el estudiante **Diego Rolando Santizo Estrada** carné número **201113857**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en CIENCIAS en Estructuras.

Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

Mtro. Erik Flores Aldana
Asesor(a)

ERIKFLORESALDANA
ING. CIVIL
MSC. ESTRUCTURAS
COL. #3174

Mtro. Armando Fuentes Roca
Coordinador(a) de Maestría



Mtro. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería

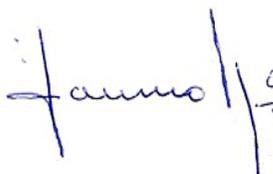




EEP.EIC.0403.2022

El Director de la Escuela De Ingenieria Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **PROGRAMA PARA EL DISEÑO DE ZAPATAS AISLADAS**, presentado por el estudiante universitario **Diego Rolando Santizo Estrada**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Mtro. Armando Fuentes Roca
Director
Escuela De Ingenieria Civil

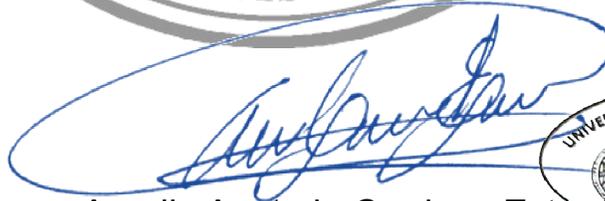
Guatemala, enero de 2022



LNG.DECANATO.OI.004.2023

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL PROGRAMA PARA EL DISEÑO DE ZAPATAS AISLADAS**, presentado por: **Diego Rolando Santizo Estrada**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada

Decana



Guatemala, enero de 2023

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por darme la vida y el tiempo necesario para alcanzar esta meta.
Mis padres	Rolando Santizo y Yara Estrada de Santizo por siempre apoyarme en cada momento de mi vida.
Mis hermanas	Yara y María Renee Santizo por darme su cariño incondicional.
Mi Abuelita	María Luisa Calderón por ser un ejemplo de perseverancia y cariño desinteresado.
Mi Abuelita	Yolanda Barrientos por las alegrías y cuidado que me brindo a lo largo de su vida.
Mi Abuelito	Ángel Santizo que siempre ha sido es mi ejemplo a seguir.
Mi Familia	Quienes siempre serán lo más importante en mi vida.
Mi Novia	Mariana Gonzales por su cariño, acompañarme y apoyarme en cada momento favorable o adverso para que este logro sea alcanzado.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por brindarme la oportunidad de formarme profesionalmente en esta casa de estudios.
Mi Asesor	Ing. Erik Flores Que me ha compartido sus conocimientos, guiado y formado en el ámbito laboral, como también por la ayuda brindada en mi trabajo de graduación.
Fam. Flores Hernández	Por sus consejos, cariño y oportunidad de empezar mi carrera profesional.
Fam. Pérez Ruiz, Fam. Ruiz García y Fam. Lorenzana	Por sus consejos, cariño incondicional, atención, paciencia y sobre todo por haberme acogido como parte de su familia.
Mis Amigos	Por siempre ser una ayuda y apoyo en las diferentes circunstancias de mi vida.

ÍNDICE GENERAL

INDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XIII
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
4. JUSTIFICACIÓN	11
5. OBJETIVOS	13
5.1. General.....	13
5.2. Específicos	13
6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN	15
7. MARCO TEÓRICO.....	17
7.1. Propiedades mecánicas del terreno	17
7.1.1. Tipos de suelos.....	18
7.1.1.1. Suelo rocoso.....	19
7.1.1.2. Suelo arenoso.....	19
7.1.1.3. Suelo limoso	21
7.1.1.4. Suelo arcilloso	22
7.1.2. Clasificación del tipo de suelo.....	23

7.2.	Cimentaciones	24
7.2.1.	Tipos de cimentación	24
7.2.1.1.	Cimentaciones directas o superficiales	24
7.2.1.2.	Cimentaciones semiprofundas o pilas de cimentación	25
7.2.1.3.	Cimentaciones profundas o pilotes	25
7.3.	Tipos de cimentaciones superficiales.....	27
7.3.1.	Zapatas aisladas concéntricas	27
7.3.2.	Zapatas aisladas excéntricas	27
7.3.3.	Zapatas medianeras.....	28
7.3.4.	Zapatas esquineras.....	28
7.3.5.	Zapatas combinadas	28
7.3.6.	Zapatas corridas.....	28
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	31
9.	METODOLOGÍA	35
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	37
11.	CRONOGRAMA	39
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO.....	41
13.	REFERENCIAS	43
14.	APÉNDICES	47

15.	ANEXOS	49
15.1	Combinaciones de cargas.....	49
15.1.1	Cargas de gravedad.....	49
15.1.2	Cargas de sismo.....	49
15.2	Cargas para dimensionar cimientos.....	49
15.2.1	Combinaciones gravitacionales.....	49
15.2.2	Solicitaciones sísmicas.....	49

INDICE DE ILUSTRACIONES

1. Composición de suelo.....	18
2. Suelo rocoso.....	19
3. Suelo arenoso.....	20
4. Suelo limoso.....	21
5. Suelo arcilloso.....	22
6. Clasificación de las cimentaciones en función de la profundidad de apoyo.	26
7. Tipos de cimentaciones superficiales	29

TABLAS

I. Clasificación del tipo de suelo.....	23
II. Metodología	36
III. Cronograma de actividades	39
IV. Recursos necesarios para la investigación	41

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
\emptyset	Ángulo de fricción interna del suelo
H	Altura de cimentación
As	Área de acero
As _b	Área de acero balanceado
As _{max}	Área de acero máximo
As _{min}	Área de acero mínima
As _{tem}	Área de acero por temperatura
A _g	Área gruesa del elemento
B	Base de la cimentación
q _{adm}	Carga admisible de suelo
W	Carga o peso de elemento
CM	Carga muerta
CV	Carga viva
q _s	Carga ultima de suelo
Cu	Cohesión del suelo
w	Contenido de humedad
V _n	Cortante ultimo de diseño
V	Corte
V _a	Corte actuante
V _{cm}	Corte por carga muerta
V _{cv}	Corte por carga viva
V _r	Corte resistente
V _u	Corte ultimo
ρ	Cuantilla de acero
D	Desplante de cimentación

\varnothing_v	Diámetro de varilla
t	Espesor de cimentación
e_x	Excentricidad sobre eje x
e_y	Excentricidad sobre eje y
FS	Factor de seguridad
PI	Índice de plasticidad
L	Longitud de la cimentación
M_{cm}	Momento de carga muerta
M_{cv}	Momento de carga viva
M_d	Momento de diseño
γ	Peso específico del suelo
d	Peralte efectivo
rec	Recubrimiento de elementos de concreto
V_c	Resistencia a cortante del concreto
N	Resistencia a la penetración estándar
s	Resistencia al corte de suelo no drenado
f'c	Resistencia máxima a la compresión del hormigón
Fy	Resistencia máxima a la tensión del acero
V	Velocidad de onda de corte

GLOSARIO

ACI 318-19	Requisitos de reglamento para concreto estructural y comentario.
AGIES	Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica.
Carga axial	Fuerza actuante a lo largo de un solo eje de un elemento.
Carga de diseño	Fuerza utilizada para calcular las dimensiones apropiada de los elementos, para resistir las cargas a las que será sometido.
Carga mayorada	Fuerzas actuantes sobre un elemento sometidas a factores de mayoración, estipulada en las normas, para determinar la carga de diseño.
Cohesión	Es una característica de los suelos que permite, según sus fuerzas internas, mantener unidas sus partículas.
Compresión triaxial	Es un estudio o ensayo del suelo que consiste en aplicar presiones laterales y axiales diferentes a una muestra o espécimen de forma cilíndrica para estudiar su comportamiento.
Cortante	Fuerza externa aplicada de forma perpendicular a la cimentación.

Cuantía de acero	Área de acero por área de concreto necesaria para resistir las cargas actuantes en el elemento.
Estudio de suelos	Conjunto de ensayos realizados a una muestra de suelo, alteradas o inalteradas, para determinar sus propiedades físicas y mecánicas de este.
ETABS	<i>Extended Three Dimensional Analysis of Building System</i> es un programa que sirve para el análisis y diseño estructural de edificaciones de diferentes materiales basado en el método de los elementos finitos.
Excentricidad	Distancia del centro geométrico al punto de aplicación de las cargas o producido por el momento generado por las cargas.
Factor de seguridad	Unidad adimensional que reduce la resistencia del elemento estructural para proveer un margen entre las fuerzas actuantes y resistentes, debido a incertezas de los datos o la complejidad para prever el comportamiento del suelo.
Falla	Situación donde el elemento estructural cede las fuerzas actuantes, provocando fisuras, agrietamientos, elongaciones, rupturas parciales o totales, dichas fallas pueden ser dúctiles o frágiles.

Flexión	Resultado de aplicar una fuerza perpendicular al elemento, provocando esfuerzos a tensión en la cara opuesta a la cara aplicada y compresión en la cara donde se aplica la fuerza.
Inercia	Es la propiedad que tienen los cuerpos de permanecer en su estado de reposo relativo o movimiento relativo, en general se entiende como la resistencia que opone la materia a modificar su estado de movimiento.
Longitud de desarrollo	Es la mínima medida de una varilla anclada al concreto, para evitar que falle por adherencia.
Momento	Se la llama momento o torque de una fuerza a la capacidad de dicha fuerza para producir un giro o rotación alrededor de un punto.
Punzonamiento	Esfuerzo generado por fuerzas de tensión aplicadas tangencialmente al soporte, produciendo un corte bidireccional en la cimentación.

RESUMEN

Las cimentaciones los elementos estructurales donde se apoyan las estructuras, por la cual son de vital importancia para las mismas. Dichas cimentaciones pueden ser clasificadas en superficiales, semiprofundas y profundas, dependiendo de la profundidad a las que son apoyadas.

La profundidad y tipología de las cimentaciones es determinada por el estudio de suelos realizado y a los datos proporcionados por el geotécnico, se selecciona la cimentación y profundidad adecuada para la estructura o caso en particular.

En la actualidad existen diversos programas utilizados para el cálculo y diseño de las cimentaciones, que facilitan el trabajo del ingeniero estructural o responsable de los calculo, pero estos programas no son desarrollados para calcular y diseñar las cimentaciones específicamente con las normas guatemaltecas vigentes y en idioma español.

El presente trabajo de investigación pretende proveer al ingeniero estructural o responsable del cálculo y diseño de cimentaciones, una herramienta que facilite el cálculo y diseño de zapatas superficiales en Guatemala, bajo las normas guatemaltecas vigentes y en idioma español.

1. INTRODUCCIÓN

Dentro de la ingeniería estructural se utilizan diferentes herramientas y programas para ayudar y facilitar los cálculos en los elementos, pero también existen programas especializados destinados a simplificar el proceso de diseño. En esta investigación se desarrollará un programa para el cálculo y diseño de cimentaciones superficiales.

La cimentación en las edificaciones es uno de los elementos más importantes en las estructuras, siendo su función principal transmitir las cargas hacia el suelo. El comportamiento de la cimentación depende tanto del tipo de suelo, como también de la tipología de la cimentación, temas que se abordarán en el primer capítulo.

En el programa que se desarrollará en esta investigación, se realizan los cálculos necesarios para diseñar las cimentaciones superficiales descritos en el segundo capítulo. Dicho programa también contará con herramientas de beneficio del usuario, como esquemas de diseño, diagramas de corte y momento y tabla de resumen. El programa será realizado en el tercer capítulo, de manera que siga los lineamientos de las normas vigentes en Guatemala.

En el capítulo cuarto se describe las revisiones que se realizarán para comprobar que los cálculos realizados por el programa son correctos y aplicables en las estructuras, brindando una fiabilidad y confianza en los resultados presentados.

2. ANTECEDENTES

El desarrollo de nuevas tecnologías, en los últimos años, ha impulsado nuevos métodos para el cálculo de cimentaciones. Los cálculos son realizados por medio de programa que simplifican el diseño y dan mayor confiabilidad en los resultados. En esta investigación se desarrollará un programa que incluya los diversos factores para el cálculo y diseño de zapatas asiladas.

En el libro de Análisis y diseño de cimientos (Bowles, 1997) se describe la clasificación de las cimentaciones aisladas, desarrollando los tipos y sus respectivas subdivisiones, según la tipología de la cimentación. Para efectuar de una manera correcta los cálculos y análisis en la cimentación se debe diferenciar y seleccionar el tipo más adecuado según la estructura y tipo de suelo.

También es importante definir el tipo de suelo donde se llevará acabo la construcción, este se obtendrá a partir de un estudio geotécnico, definido en la norma (AGIES, NSE-2-2018, Demandas estructurales y condiciones de carga, 2018, pág. 4.2 y 4.3), que categoriza los suelos de la A al F, del más firme al más blando, respectivamente.

Conjunto con el normativo anterior y el trabajo de investigación (Patzán, 2009), que nos brinda el apoyo para el cálculo de la capacidad soporte de los suelos, como también nos provee los ensayos que se deben realizar a los suelos para determinar tanto su capacidad como los modos de falla a través de sus distintos tipos. Con esto podemos elegir de mejor manera la cimentación a utilizar, siguiendo los lineamientos de la norma NSE-2 y la capacidad del suelo.

Para la realización del diseño de zapatas también se debe contar con materiales como el acero de refuerzo y el concreto, que ofrecen las características para resistir las cargas transmitidas a la cimentación.

El acero está especificado según la norma NTG 36016 (COGUANOR, 2017), que se basa en la norma ASTM A706/A706M-14 (ASTM International, 2014), pero modificada para la inclusión de ensayos, inspección y marcado para el mercado guatemalteco. Esta norma asegura la resistencia y propiedades físico-mecánicas que debe poseer el acero de refuerzo, para desarrollar su trabajo de manera correcta.

Los cálculos para el diseño del concreto en las zapatas serán conforme a la norma (AGIES, NSE-7.1-2018, Diseño de edificaciones de concreto reforzado, 2018), que corresponde y detalla los requerimientos mínimos necesarios para el diseño de elementos de concreto reforzado. De esta manera nos cercioramos de que los elementos diseñados sean estructuralmente adecuados para las cargas aplicadas sobre la cimentación.

El anterior normativo se basa en el ACI 318S-14 (ACI, Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary, 2014), para los lineamientos de los elementos de concreto reforzado, pero, aunque se permita diseñar con el ACI 318S-14 para efecto del desarrollo del presente trabajo y cálculos de los elementos se usará la norma ACI 318S-19 (ACI, Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary, 2019).

El trabajo de investigación de (Sanchez, 2020), que nos brinda una guía como desarrollar el análisis, cálculos y diseños de los diferentes tipos de

cimentaciones. Se detalla los requerimientos, chequeos y comprobaciones para asegurarse que los cálculos realizados son correctos.

En el ámbito se encuentran diversos aportes al tema de investigación, utilizando programas o herramientas existentes para el diseño de cimentaciones.

El programa desarrollado por (Ninaraqui), titulado “Diseño de Zapata Aislada”, realiza el cálculo y chequeo de una zapata aislada, utilizando una calculadora programable HP 50g, en la cual se instala el programa especializado en el diseño de zapata, llamado “Zapata Aislada UJCM Edwinn”. Este programa aporta una idea clara de los cálculos a realizar en una zapata aislada, pero con un bajo nivel de detalle y limitado uso.

También se efectuó el trabajo experimental de (Sánchez, 2017), nombrado “Desarrollo de una Aplicación Basada en MATLAB para el Cálculo de Cimentaciones sobre un Lecho Elástico”, utiliza la herramienta MATLAB para el diseño de cimentaciones en suelos blandos. A través del anterior trabajo podemos obtener ciertos criterios para elegir la tipología de zapata según las propiedades físicas y mecánicas del suelo que, al ser blando requiere de una demanda mayor de resistencia para el elemento.

En este mismo programa se formuló otro trabajo de graduación experimental, llevado a cabo por (Moreta, 2017), que lleva el título de Desarrollo de una Aplicación Basada en MATLAB para el Cálculo de Cimentaciones Superficiales Aisladas, a diferencia del primer precedente este es realizado en computadora, pero sin especificar un solo tipo de suelo.

El diseño de zapatas incluye una variedad de tipos expresados anteriormente e incluidos en el trabajo de graduación realizado por (Cifuentes

Rueda y Malagon Torres, 2018), llamado Software de Aplicación para el Análisis y Diseño Estructural de Cimentaciones Superficiales, que hace referencia al cálculo de las cimentaciones superficiales, basados y realizados con normativa propia del lugar, que ofrece una alta variedad de análisis y casos posibles para la cimentación.

En el cálculo de zapata también se comprende el diseño de zapatas por carga biaxial, cálculos y consideraciones hechas por (Malca, 2005) en el trabajo denominado Desarrollo de un Software para el Diseño de Zapatas Rectangulares por Flexión Biaxial, en el cual el trabajo se centra únicamente en el cálculo estructural de una zapata superficial rectangular, bajo una columna sometida a carga biaxial, generando tanto tensión como compresión en la zapata. Este deduce que las zapatas en ciertos momentos por geometría o tipología deben ser excéntricas, modificando el cálculo, a comparación de las zapatas concéntricas.

Anterior al avance tecnológico actual, se utilizaban programas para el diseño de zapatas como SAFE, en donde (Cabrera, 2010) realizó su trabajo de graduación, titulado Aplicación del Programa SAFE al Diseño de Cimentaciones Comunes en la Construcción, dicho programa desempeñaba sus cálculos a través de un modelado de la cimentación, en 2D o 3D, y presentaba los resultados en tablas resumen o gráficos. Por medio de este tipo de programas se facilitaba mucho el diseño estructural hasta la dificultad de adquirirlos cada vez fue más difícil y se regresó a utilizar hojas electrónicas.

Y como en todos los programas especializados, lo que se pretende es desarrollar una herramienta que nos lleve a un cálculo de cimentaciones y que, comparados a los programas en el mercado, adquiridos por un alto costo, los resultados del diseño sean los más precisos, y sean igualmente efectivos, esto

fue lo desarrollado por (Flores, 2019), en el trabajo de graduación llamado Implementación de un Programa para los Procesos de Análisis, Diseño y Dibujo de Zapatas.

Gracias a todos estos estudios e investigaciones y al avance de la tecnología, el desarrollo propio de un programa especializado en diseño y cálculo de cimentaciones es muy viable, y dichos programas llegando a desempeñarse tan bien como los que actualmente circulan en mercado, adquiriéndolos por medio de un pago anual de licencia, que a su vez no están adaptados para las normas que se manejan en los diferentes países.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La carencia de uso de programas especializados para el diseño de zapatas superficiales eleva el margen de errores en el cálculo estructural y minimiza la eficiencia de los recursos de tiempo y esfuerzo.

Por diversos motivos la aplicación de programas especializados para el diseño de zapatas superficiales, a este día en Guatemala, no se ha diversificado, ya que actualmente en el mercado se cuentan con escasos programas, siendo uno SAFE de CSI Structures, este siendo desarrollado por una empresa americana que puede dificultar su manejo como su obtención.

Las causas principales que limitan el aprovechamiento de esta herramienta podrían reducirse en la adquisición onerosa del programa y el idioma usado para el desarrollo del programa es extranjero. Debido a estas problemáticas se recurre a la aplicación de los recursos a disposición, como lo son los cálculos manuales o por medio de hojas de cálculo, que a su vez deriva en una alta demanda de tiempo y posibles errores en el cálculo, debido a la intervención y dependencia humana. Estos resultados son válidos toda vez que sean aplicados correctamente tanto el programa como los criterios de ingeniería.

Los errores o cálculos inexactos en el diseño de zapatas pueden producir fallas en los elementos, desde asentamientos diferenciales, que pueden conllevar a daños irreparables hasta el colapso, provocando pérdidas económicas y en casos extremos ocasionar pérdidas de vidas. Por tanto, dichos cálculos deben generar la confianza y seguridad mínima requerida, para asegurar que las zapatas soportarán las cargas para las cuales fueron diseñadas.

Los efectos perjudiciales de la falta de programas no solo se ven reflejados en las estructuras, también se ve afectado el recurso humano en el proceso de diseño, involucrando el tiempo requerido para realizar el cálculo y factores poco usuales, pero recurrentes como la modificación o rediseño de una estructura, que desemboca en efectuar el proceso de diseño de la cimentación desde el principio, alterando tanto el tiempo del proyecto en desarrollado como los proyectos posteriores, ya sea por una falta de margen de tiempo entre ellos o por los plazos de tiempo solicitados por los clientes.

Con lo anteriormente descrito se formula la siguiente pregunta principal:

¿Se puede desarrollar un programa especializado para el diseño de zapatas superficiales?

Del mismo modo, se formulan las siguientes preguntas secundarias:

- ¿Qué cálculos y resultados determinará el programa?
- ¿Para qué tipos de zapatas superficiales se podrá utilizar el programa?
- ¿Qué idioma se utilizará para el desarrollo del programa?
- ¿Cómo presentará el programa los resultados de los cálculos realizados y el diseño de zapata?
- ¿Qué normas serán empleadas en el programa?

4. JUSTIFICACIÓN

El uso de herramientas o programas especializados en el análisis y comportamiento de las edificaciones o elementos estructurales a diseñar, son de vital importancia para el cálculo de los elementos, determinando con mayor precisión las cargas a las que serán sometidos.

Estos programas cada vez son más y más específicos en las áreas de aplicación, de forma que los diseños cada vez son más eficientes y disminuyendo tanto el tiempo empleado para el diseño como el costo de ejecución del proyecto.

Esta investigación es realizada para poder desarrollar un programa especializado en el cálculo y diseño de zapatas superficiales de modo que, sea regulado bajo las normas actualizadas y vigentes utilizadas en Guatemala, además de ser elaborado en el idioma oficial, castellano.

Con este programa se pretende obtener un programa adaptado a las necesidades y demandas en Guatemala para el correcto y eficiente diseño de zapatas superficiales.

La presente investigación forma parte de la línea de nuevas tecnologías en Ingeniería Estructural, que pertenece al pensum de estudios de la Maestría en Estructuras, de la Facultad de Ingeniería, USAC, específicamente en la sub-línea de Software.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Desarrollar un programa especializado en el diseño de zapatas superficiales, adecuado a las normas y códigos de Guatemala.

5.2. Específicos

- Realizar los cálculos, comprobaciones y detalles del diseño de zapata, a través de tablas y esquemas, por medio del programa en tiempo real.
- Graficar los diagramas de corte y momento generados en la zapata.
- Elaborar el programa en idioma español y compatible con Windows, cumpliendo lo establecido en la norma NSE 7.1 de AGIES, Diseño de concreto reforzado, y el capítulo 13 del ACI 318S-14, Cimentaciones.
- Generar resúmenes y reportes finales instantáneos por proyecto, mediante una herramienta incorporada en el programa.
- Diferenciar y categorizar los distintos tipos de zapatas superficiales en el programa, por medio de opciones.

6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

Por medio del presente trabajo se desarrollará un programa especializado para el cálculo y diseño de zapatas asiladas, fundamentado en las normas utilizadas en Guatemala, en idioma español, para simplificar el uso y manejo del programa.

Asimismo, dicho programa permitirá diferenciar la tipología de las zapatas, esto para facilitar tanto el ingreso de las cargas y datos de diseño, como también los cálculos efectuados para el diseño de la cimentación. Los tipos de zapatas superficiales en los que se podrá emplear el programa serán las concéntricas, de borde, de esquina, combinadas y corridas.

El programa proveerá a través de los cálculos las dimensiones del elemento, como el refuerzo, los diagramas de corte y momento producido, según las cargas proporcionadas. Todos los cálculos, chequeos y revisiones realizados para el diseño se brindarán por medio de una memoria de cálculo, que a su vez podrá ser obtenida mediante tablas de resumen, como también otorgará los esquemas del diseño de la zapata, para la realización de los planos estructurales y construcción de esta.

El programa optimizará el tiempo empleado para el diseño de zapatas, puesto que se realizarán los cálculos automáticamente, según las combinaciones de las normas y tipología de la zapata, por ende, reduciendo los posibles errores o inexactitudes provocados por la intervención humana, excepto por el diámetro de refuerzo utilizado en la sección, que será elegido según el criterio del ingeniero estructural.

Los profesionales de la ingeniería Estructural, vinculada al diseño de edificaciones que utilicen zapatas asiladas para los elementos de cimentación, como también para las estructuras existentes, donde se deba evaluar si el elemento provee los requisitos necesarios para soportar las cargas y momentos transmitidos a la cimentación, verificando si el diseño calculado y construido es el adecuado.

Asimismo, el sector estudiantil de ingeniería civil y arquitectura, en los cursos de estructuras y cimentaciones, que mediante el programa pueden cerciorarse de que los cálculos, criterios y normas utilizadas en sus diseños efectuados sean correctos, y de no ser de esta manera, en caso de ser erróneos, visualizar de forma rápida y efectiva en donde y como se comete el error.

El sector de dibujantes, que realizan los planos estructurales de las edificaciones, que apoyándose en los esquemas generados por el programa se les facilita efectuar los dibujos y situar las zapatas del proyecto de una forma eficaz y clara.

Finalmente, las empresas o personas que tienen como responsabilidad, ejecutar la construcción de las estructuras, en este caso la cimentación, minimizando las posibles confusiones en campo, a la hora de la construcción, por medio de la verificación en el programa del correcto posicionamiento y diseño en cada zapata, debido a que esta herramienta es portable y se puede visualizar en el momento que sea requerida.

7. MARCO TEÓRICO

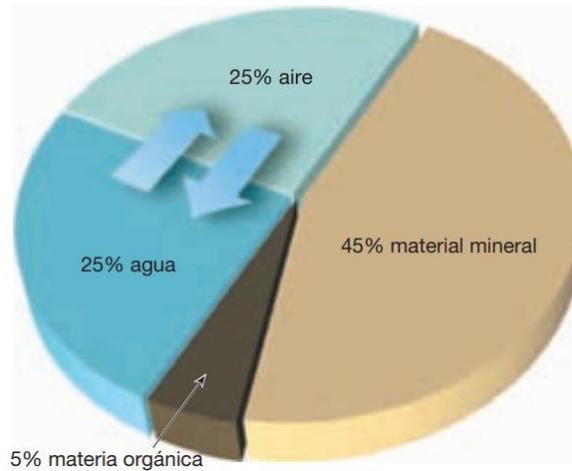
7.1. Propiedades mecánicas del terreno

El suelo es una combinación de materia mineral y orgánica, agua y aire: la porción del regolito que sustenta el crecimiento de las plantas. Aunque las proporciones de los principales componentes que hay en el suelo varían, siempre están presentes los mismos cuatro componentes (Figura 1). Alrededor de la mitad del volumen total de un suelo superficial de buena calidad está compuesto por una mezcla de roca desintegrada y descompuesta (materia mineral) y de humus, los restos descompuestos de la vida animal y vegetal (materia orgánica). La otra mitad consiste en espacios porosos entre las partículas sólidas donde circula el aire y el agua. (Tarbuck y Lutgens, 2005).

Aunque la porción mineral del suelo suele ser mucho mayor que la porción orgánica, el humus es un componente esencial. Además de ser una fuente importante de nutrientes vegetales, el humus potencia la capacidad del suelo para retener agua. Dado que las plantas precisan aire y agua para vivir y crecer, la porción del suelo consistente en espacios porosos que permiten la circulación de esos fluidos es tan vital como los constituyentes del suelo sólido. (Tarbuck y Lutgens, 2005).

El suelo para las estructuras es de vital importancia, siendo este el que según sus características influye en la fuerza sísmica transmitida en las estructuras. También afecta dependiendo a que distancia se encuentra el estrato idóneo o con mejores condiciones para la cimentación, de esto depende la tipología de la cimentación afectando directamente en el costo de la ejecución del proyecto.

Figura 1. **Composición de suelo**



Fuente: Edward J. Tarbuck, Frederick K Lutgens (2005). *Ciencias de la tierra, una introducción a la geología física*. (8va Ed.), pág. 187

7.1.1. Tipos de suelos

Los suelos más comunes encontrados en Guatemala son:

- Rocoso
- Arenoso
- Limoso
- Arcilloso

7.1.1.1. Suelo rocoso

Se define suelo rocoso al suelo con un agregado sólido, formado por rocas compuestas de uno o varios minerales. En mecánica de rocas se habla en muchas ocasiones de roca o roca intacta para referirse a un elemento de roca que no presenta discontinuidades observables. (Ramíres Oyanguren y Alejano Monge, 2004)

Figura 2. **Suelo rocoso**



Fuente: Twenergy.com (2021). *Tipos de suelos*. Consultado el 27 de agosto de 2021.

Recuperado de: <https://twenergy.com/ecologia-y-reciclaje/tipos-de-suelos/>

7.1.1.2. Suelo arenoso

Son los tipos de tierras o suelos que están constituidos por partículas muy pequeñas de rocas desgastadas, minerales no metálicos y textura granular. Además, con poca estructura, cuyo tamaño es entre 0,063 y 2 mm y se caracterizan por un contenido de más del 70 % de arena en su primera capa de profundidad. (encolombia, 2020)

“En estos casos, los constructores tienden a hacer cimentaciones más profundas, ya que a medida que el suelo es más profundo, mayor es la estabilidad.” (Fultrum, 2021, p.1)

Poseen muy poca materia orgánica, poco fértiles, requieren de un riego continuo, un trabajo constante y el más ligero y poroso de todos los suelos. Asimismo, propenso a la erosión, capacidad de drenaje fácil, habilidad de calentarse rápidamente en primavera y se encuentran en zonas secas, templadas y húmedas. (encolombia, 2020)

Figura 3. **Suelo arenoso**



Fuente: Twenergy.com (2021). *Tipos de suelos*. Consultado el 27 de agosto de 2021.
Recuperado de: <https://twenergy.com/ecologia-y-reciclaje/tipos-de-suelos/>

7.1.1.3. Suelo limoso

Estos son suelos de grano fino con escasa plasticidad, y se caracterizan por ser estériles, pedregosos y porque filtran el agua con gran facilidad. Este tipo de suelo posee una granulometría comprendida entre la arena fina y la arcilla. (Fultrum, 2021)

El limo se adhiere a los dedos, no es pegajoso, es débilmente moldeable, tiene una superficie áspera y rasposa luego de apretarlo entre los dedos y una sensación harinosa. (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación , 2009)

Figura 4. Suelo limoso



Fuente: Geotecnia. ONLINE (2021). *Limo*. Consultado el 27 de agosto de 2021. Recuperado de: <https://www.diccionario.geotecnia.online/palabra/limo/>

7.1.1.4. Suelo arcilloso

Las arcillas son cualquier sedimento o depósito mineral formado por partículas muy pequeñas cuyo tamaño es inferior a los 0,002mm, y que se componen principalmente de silicatos de aluminio hidratados. Se caracterizan por ser plásticas cuando se las humedecen y por la sonoridad y dureza al calentarla por encima de los 800°C. Como fue mencionado anteriormente, provienen de la alteración fisicoquímica, por acción principalmente del agua, de minerales que forman parte de otras rocas preexistentes (feldespatos, piroxenos y micas), surgiendo así los “minerales de la arcilla”, en función de que roca se altera y en qué grado. Cuando se refiere a la arcilla no se habla de un único material de composición simple, sino de uno muy diverso en origen y composición. (Zapata, 2018)

Figura 5. Suelo arcilloso



Fuente: Tendenzias.com (2021). *Suelos arcillosos. Características y cuidados*. Consultado el 27 de agosto de 2021. Recuperado de: <https://tendenzias.com/hogar/suelos-arcillosos-caracteristicas-y-cuidados/>

7.1.2. Clasificación del tipo de suelo

A continuación, se muestra la tabla I que detallan el tipo de suelo

Tabla I. Clasificación del tipo de suelo

Clase de Suelo	Nombre Perfil de Suelo	PROPIEDADES PROMEDIO EN LOS PRIMEROS 30 METROS		
		Velocidad de onda de corte v (m/s)	Resistencia a la penetración estándar, N	Resistencia al corte de suelo no drenado, s (kpa)
A	Roca dura	$v > 1500$	N/A	N/A
B	Roca	$750 < v \leq 1500$	N/A	N/A
C	Suelo denso y roca suave	$365 < v \leq 750$	$N > 50$	$s \geq 100$
D	Perfil de suelo rígido	$185 < v \leq 365$	$15 \leq N \leq 50$	$50 \leq s \leq 100$
E	Perfil de suelo suave	$V < 185$	$N < 15$	$s < 0$
E	-	Cualquier perfil con más de 3 metros de suelo con las siguientes características: 1. Índice de plasticidad $PI > 20$ 2. Contenido de humedad $w \geq 40\%$ 3. Resistencia al corte de suelo no drenado < 25 kPa		
F	-	Cualquier perfil con contenido de suelo que tenga una o más de las siguientes características: 1. Suelos vulnerables a fallas o colapsos bajo cargas sísmicas, así como suelos licuables, arcillas altamente sensibles, suelos débilmente cementados. 2. Turbas y/o arcillas altamente orgánicas ($H > 3$ metros de turba o arcilla altamente orgánica) 3. Arcillas altamente plásticas ($H > 8$ metros con coeficiente de plasticidad $P > 75$) 4. Arcillas en estratos de gran espesor, suave/medio rígidas ($H > 36$ metros)		

Fuente: AGIES, Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica (2018).

Normas de Seguridad Estructural para Guatemala, NSE 2.1. Estudios Geotécnicos. Pág. A-1

7.2. Cimentaciones

El objetivo de una cimentación es proporcionar el medio para que las cargas de la estructura, concentradas en la columna o en muros, se transmitan al terreno produciendo en este un sistema de esfuerzos que puedan ser resistidos con seguridad sin producir asentamiento, o con asentamientos tolerables, ya sean estos uniformes o diferenciales. (Villalaz, 2004)

7.2.1. Tipos de cimentación

Los tipos de cimentaciones básicamente se dividen en tres tipos:

- Cimentaciones directas o superficiales
- Cimentaciones semi profundas o pilas de cimentación
- Cimentaciones profundas o pilotes

7.2.1.1. Cimentaciones directas o superficiales

Son aquellas que se apoyan en las capas superficiales o poco profundas del suelo, por tener éste suficiente capacidad portante o por tratarse de construcciones de importancia secundaria y relativamente livianas. En este tipo de cimentación, la carga se reparte en un plano de apoyo horizontal. (tecnología, 2021). Donde $D/B < 4$ y $D < 3$ m.

7.2.1.2. Cimentaciones semiprofundas o pilas de cimentación

Pozos de cimentación o caissons: Son en realidad soluciones intermedias entre las superficiales y las profundas, por lo que en ocasiones se catalogan como semiprofundas. Algunas veces estos deben hacerse bajo agua, cuando no puede desviarse el río, en ese caso se trabaja en cámaras presurizadas. Arcos de ladrillo sobre machones de concreto o mampostería. Muros de contención bajo rasante: no es necesario anclar el muro al terreno. Micropilotes, son una variante basada en la misma idea del pilotaje, que frecuentemente constituyen una cimentación semiprofundas. (tecnología, 2021). Donde $4 \leq D/B \leq 8$ y $3 \text{ m} \leq D \leq 6 \text{ m}$.

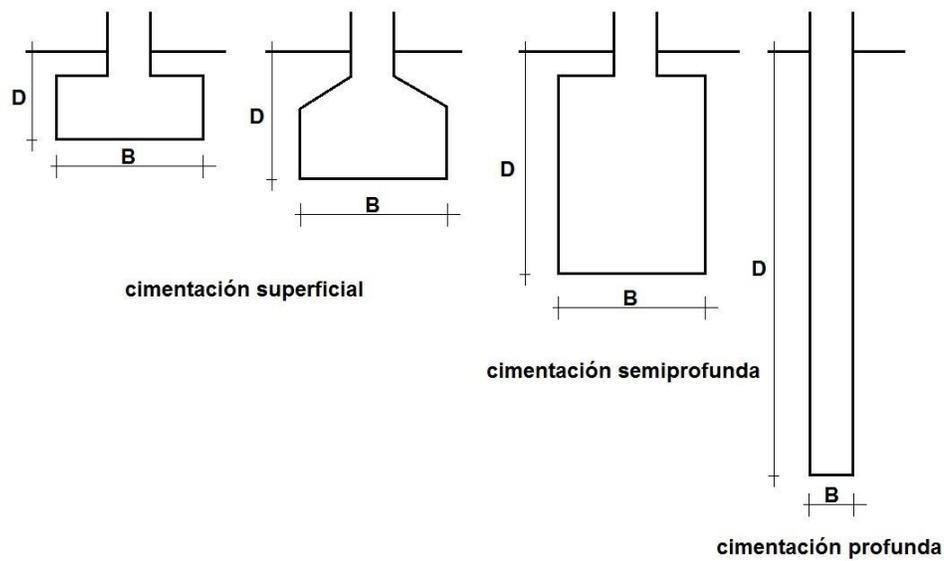
7.2.1.3. Cimentaciones profundas o pilotes

Se basan en el esfuerzo cortante entre el terreno y la cimentación para soportar las cargas aplicadas, o más exactamente en la fricción vertical entre la cimentación y el terreno. Deben ubicarse más profundamente, para poder distribuir sobre una gran área, un esfuerzo suficientemente grande para soportar la carga. Algunos métodos utilizados en cimentaciones profundas son: Pilotes: son elementos de cimentación esbeltos que se hincan (pilotes de desplazamiento prefabricados) o construyen en una cavidad previamente abierta en el terreno (pilotes de extracción ejecutados in situ). Antiguamente eran de madera, hasta que en los años 1940 comenzó a emplearse el concreto. Pantallas: es necesario anclar el muro al terreno. Pantallas isostáticas: con una línea de anclajes Pantallas hiperestáticas: dos o más líneas de anclajes.

Los pilotes son miembros estructurales con un área de sección transversal pequeña en comparación con su longitud. Se hincan en el suelo a base de golpes generados por maquinaria especializada, en grupos o en filas, conteniendo cada uno el suficiente número de pilotes para soportar la carga de una sola columna o muro.

Tipos de pilotes, los pilotes se construyen en una gran variedad de materiales, longitud y forma de su sección, y que se adaptan a diversas necesidades de carga, colocación y economía. (tecnología, 2021). Donde $D/B > 8$ y $D > 6$ m.

Figura 6. **Clasificación de las cimentaciones en función de la profundidad de apoyo.**



Fuente: Víctor Yepes Piqueras (2020). *Procedimientos de construcción de cimentaciones y estructuras de contención*. (2da Ed.) p. 3

7.3. Tipos de cimentaciones superficiales

Los tipos de zapatas superficiales a estudiar en esta investigación serán:

- Zapatas aisladas concéntricas
- Zapatas aisladas excéntricas
- Zapatas medianeras
- Zapatas esquineras
- Zapatas combinadas
- Zapatas corridas

7.3.1. Zapatas aisladas concéntricas

Las zapatas concéntricas son un tipo de zapatas aisladas donde el centro geométrico de la zapata y el pilar o columna, están alineados. Su geometría puede variar dependiendo si existe o no momento en la zapata, si está simplemente sometida a cargas axiales tiende a ser cuadrada, de lo contrario su forma puede cambiar debido a la presión de suelo.

7.3.2. Zapatas aisladas excéntricas

Este tipo de zapatas son idénticas a las zapatas concéntricas con la particularidad que el centro geométrico del pilar o columna tiene cierta excentricidad con el centro geométrico de la zapata, produciendo que los esfuerzos transmitidos al suelo sean variables.

7.3.3. Zapatas medianeras

Estas zapatas como las anteriormente descritas tienen cierta similitud, con la diferencia que la excentricidad entre la columna y la zapata solo es generada en un eje, provocado por la posición de la columna, estando dicha columna pegada al lindero en una sola cara.

7.3.4. Zapatas esquineras

La zapata esquinera a diferencia de la medianera esta se ve limitada en dos caras por los linderos, haciendo que este tipo de zapata tenga la mayor excentricidad entre la zapata y la columna, provocando que los esfuerzos transmitidos al suelo varíen en cada una de sus esquinas.

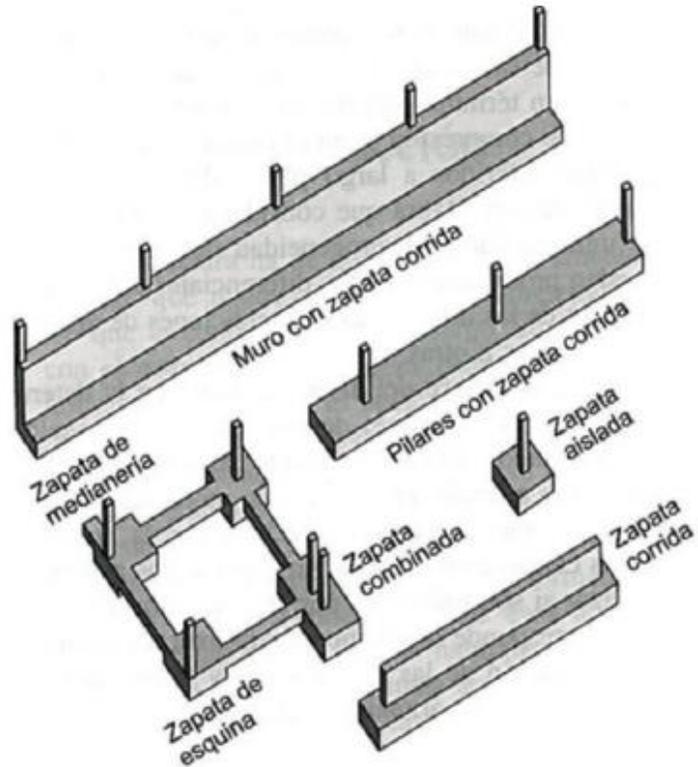
7.3.5. Zapatas combinadas

Son las zapatas generadas por dos o más apoyos de pilares o columnas, que se encuentran a una distancia tan corta que las cimentaciones se traslapan, siendo necesario cimentarlas en una sola zapata. Este tipo de zapata puede tener la combinación de cualquiera de los anteriores casos.

7.3.6. Zapatas corridas

Las zapatas corridas o también llamadas cimiento corrido, son empleadas en casos muy particulares, como en la cimentación de muros; donde es indispensable que el muro tenga una cimentación a lo largo del mismo.

Figura 7. Tipos de cimentaciones superficiales



Fuente: Strutralia (2021). *Cimentación superficial: ¿cuándo se utiliza y qué tipos existen?*

Consultado el 27 de agosto de 2021. Recuperado de:

<https://blog.structuralia.com/cimentacion>

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

HIPÓTESIS

RESUMEN DEL MARCO TEÓRICO

INTRODUCCIÓN

1. Suelo

1.1. Tipos de suelos

1.1.1. Suelo rocoso

1.1.2. Suelo arenoso

1.1.3. Suelo limoso

1.1.4. Suelo arcilloso

1.2. Cimentaciones

1.3. Tipos de cimentación

1.3.1. Cimentaciones directas o superficiales

1.3.2. Cimentaciones semiprofundas

1.3.3. Cimentaciones profundas

1.4. Tipos de cimentaciones superficiales

1.4.1. Zapatas aisladas

1.4.1.1. Zapatas concéntricas

1.4.1.2. Zapatas excéntricas

1.4.1.3. Zapatas medianeras

1.4.1.4. Zaparas esquineras

- 1.4.2. Zapatas combinadas
- 1.4.3. Zapatas corridas
- 1.5. Carga ultima de diseño
- 1.6. Combinaciones de cargas
- 2. Procedimiento para el cálculo y diseño de zapatas
 - 2.1. Zapata aislada
 - 2.1.1. Predimensionamiento
 - 2.1.2. Diagramas de corte y momento
 - 2.1.3. Chequeo por corte
 - 2.1.3.1. Corte en una dirección
 - 2.1.3.2. Corte en dos direcciones
 - 2.1.4. Chequeo por punzonamiento
 - 2.1.5. Chequeo por flexión
 - 2.2. Zapata combinada
 - 2.2.1. Predimensionamiento
 - 2.2.2. Diagramas de corte y momento
 - 2.2.3. Chequeo por corte
 - 2.2.3.1. Corte en una dirección
 - 2.2.3.2. Corte en dos direcciones
 - 2.2.4. Chequeo por punzonamiento
 - 2.2.5. Chequeo por flexión
 - 2.2.5.1. Refuerzo para momento positivo
 - 2.2.5.2. Refuerzo para momento negativo
 - 2.3. Zapata corrida
 - 2.3.1. Predimensionamiento
 - 2.3.2. Diagramas de corte y momento
 - 2.3.3. Chequeo por corte
 - 2.3.4. Chequeo por flexión
 - 2.3.5. Acero por contracción y temperatura

- 3. Desarrollo del programa
 - 3.1. Implementación del procedimiento
 - 3.1.1. Zapata aislada
 - 3.1.1.1. Concéntrica
 - 3.1.1.2. Excéntrica
 - 3.1.1.3. Medianera
 - 3.1.1.4. Esquinera
 - 3.1.2. Zapata combinada
 - 3.1.3. Zapata corrida
 - 3.2. Manual
- 4. Análisis comparativo programa versus cálculos manuales
 - 4.1. Zapata aislada
 - 4.1.1. Cálculos manuales
 - 4.1.2. Cálculos por programa
 - 4.1.3. Comparación y análisis de resultados
 - 4.2. Zapata combinada
 - 4.2.1. Cálculos manuales
 - 4.2.2. Cálculos por programa
 - 4.2.3. Comparación y análisis de resultados
 - 4.3. Zapata corrida
 - 4.3.1. Cálculos manuales
 - 4.3.2. Cálculos por programa
 - 4.3.3. Comparación y análisis de resultados

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

APÉNDICES

ANEXOS

9. METODOLOGÍA

El alcance será descriptivo, correlacional y exploratorio. Exploratorio debido que no existe un programa desarrollado con base en las normas de Guatemala; correlacional dado que los resultados obtenidos por medio del programa serán comparados con los datos obtenidos con los cálculos convencionales y descriptiva ya que, se debe realizar un manual de uso del programa para su correcta utilización.

El tipo de metodología es tanto cualitativo como cuantitativo, debido que se deberá comparar los resultados para calibrar de forma correcta el programa y también se debe a que en los resultados se obtendrá el diseño de las zapatas, aunque el diámetro de refuerzo será el único dato sujeto a criterio del calculista, mas no el espaciado.

El estudio se hará de manera experimental, puesto que el desarrollo del programa como también la calibración de este, se debe hacer a ensayo y error, por lo tanto, se deberá utilizar el método científico en esta investigación.

Tabla II. **Metodología**

Campo	Variable	Tipo	Definición Técnica	Definición Operativa	Indicadores
Cimentaciones	Zapatas Superficiales	Descriptiva Correlativa Exploratoria	Desarrollar un programa especializado en el diseño de zapatas superficiales, en idioma español basado en las normas de Guatemala.	Por medio del programa, y datos obtenidos o calculados previamente; carga axial y momento de la columna y datos técnicos del suelo, se calculan y diseñan las diferentes tipologías de zapatas superficiales.	Chequeo por: Punzonamiento Flexión y Corte

Fuente: Elaboración propia.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Por medio de análisis multivariable de los datos solicitados para el cálculo de las zapatas (carga y momento en la columna y datos técnicos del suelo) se obtendrá las dimensiones y refuerzo de la zapata superficial, correspondiente a la tipología necesaria para la situación involucrada. Así como también el cálculo del diámetro de refuerzo sugerido, pero sujeto a criterio del calculista, como también el espaciamiento necesario para el mismo.

Revisión Bibliográfica: se efectuará una indagación y revisión en los documentos respecto a las revisiones necesarias para el correcto cálculo y diseño de zapatas, también se revisarán los manuales y normativos para cumplir con la normativa de Guatemala y los textos que desarrollen adecuadamente la capacidad soporte del suelo. Para este momento son de relevancia los antecedentes descritos con anterioridad, para disponer de la información y programas previamente realizados.

Investigación en Obra: al ser una investigación del tipo experimental, y los cálculos en los cuales se basará el programa ya están definidos, la investigación se centrará en el adecuado funcionamiento del programa, conteniendo los tipos de zapatas descritas previamente. Y estudiando los diferentes programas en el mercado para adaptar características útiles en el programa.

Análisis Numérico y Diseño: este se realizará siguiendo los pasos y conceptos siguientes:

- Investigación de tipologías de zapatas superficiales.
- Obtener, examinar e implementar las normas de Guatemala y las normas para el diseño de elementos estructurales de concreto reforzado, ACI vigente y actualizado.
- Determinar las revisiones necesarias para los diferentes tipos de zapatas superficiales.
- Definir las herramientas que el programa ofrecerá a los usuarios.
- Analizar la estructura del programa, para una fácil utilización.
- Establecer las variables que el programa solicita para el cálculo dependiendo de la tipología.
- Desarrollar el programa cumpliendo con los pasos anteriores.
- Analizar y comparar los resultados obtenidos por el programa con los cálculos manuales realizados, de manera de encontrar posibles problemas de ejecución o programación.
- Diagnosticar, calibrar o solucionar los posibles fallas o errores analizados.
- Conclusión y discusión del programa y de los resultados obtenidos.

11. CRONOGRAMA

Tabla III. Cronograma de actividades

Actividad	Mes 1				Mes 2				Mes 3			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Cálculos para diseño de cimentaciones superficiales	■											
Planteamiento del diseño del programa		■										
Formulación de herramientas en el programa			■									
Desarrollo del programa				■	■	■	■	■	■	■	■	■

Actividad	Mes 4				Mes 5				Mes 6			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Desarrollo del programa	■	■	■									
Revisión y pruebas del programa				■								
Ajustes y calibración del programa					■	■	■					
Comparación de cálculos manuales vs programa								■	■	■		
Zapata corrida (comparación)								■				
Zapata concéntrica (comparación)								■				
Zapata excéntrica (comparación)									■			
Zapata medianera (comparación)										■		
Zapata esquina (comparación)											■	
Zapata combinada (comparación)												■
Elaboración del manual de usuario												■

Fuente: elaboración propia

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

- Factibilidad técnica

Se contará con un asesor que apoye y revise la investigación, para asegurar que el programa de desempeño conforme a lo estipulado.

Para el desarrollo de programa se contará con el apoyo de un ingeniero en sistemas, que realizará la programación y diseño del programa.

- Factibilidad Económica

Tabla IV. **Recursos necesarios para la investigación**

#	Actividad	Unidad	Cantidad	Precio	Total (Q)
1	Asesoramiento del trabajo de graduación	Global	1	2,500	2,500
2	Desarrollo del Programa	Global	1	16,000	16,000
3	Impresiones de borradores del trabajo final	Global	3	350	1,050
4	Impresión del trabajo final	Global	1	1,500	1,500
Total, de elaboración de investigación					21,050

Fuente: Elaboración propia.

Con relación a la tabla anterior, se determina que esta investigación es viable en el aspecto económico, ya que, los gastos serán cubiertos en su totalidad por el maestrante.

13. REFERENCIAS

1. ACI, A. C. (2014). *Building code requirements for structural concrete and commentary*.
2. ACI, A. C. (2019). *Building code requirements for structural concrete and commentary*.
3. AGIES, A. G. (2018). *NSE 2.1-2018, Estudios geotécnicos*. (págs. 4-2 a 4-3). Guatemala.
4. AGIES, A. G. (2018). *NSE-2-2018, Demandas estructurales y condiciones de carga*. (págs. 8-3 y 9-3). Guatemala.
5. AGIES, A. G. (2018). *NSE-7.1-2018, Diseño de edificaciones de concreto reforzado*. Guatemala.
6. ASTM International, A. S. (2014). *ASTM A706/A706-14*.
7. Bowles, J. E. (1997). *Análisis y diseño de cimientos*. McGraw-Hill Book Co.
8. Cabrera, I. C. (2010). *Aplicación del programa SAFE al diseño de cimentaciones comunes en la construcción*. Guatemala.
9. Cifuentes Rueda, N., & Malagon Torres, G. (2018). *Software de aplicación para el análisis y diseño estructural de cimentaciones superficiales*. Bogota.

10. COGUANOR, C. G. (2017). *NTG 36016:2017*. Guatemala.
11. encolombia. (13 de octubre de 2020). *Suelos arenosos*. Obtenido de encolombia:
<https://encolombia.com/economia/agroindustria/agronomia/suelos-arenosos/>
12. Flores, I. N. (2019). *Implementación de un programa para los procesos de análisis, diseño y dibujo de zapatas*. Peru.
13. Fultrum. (27 de agosto de 2021). *Tipos de suelo en la construcción*. Obtenido de Fultrum: <https://www.fultum.com.mx/tipos-de-suelo-en-la-construccion>
14. geotecnia.ONLINE. (27 de agosto de 2021). *Limo*. Obtenido de geotecnia.ONLINE:
<https://www.diccionario.geotecnia.online/palabra/limo/>
15. GF, E. d. (27 de julio de 2021). *Tipos cimentaciones superficiales o directas: Zapatas, losas y pozos de cimentación*. Obtenido de Geotecnia Fácil: <https://geotecniafacil.com/tipos-cimentaciones-superficiales-o-directas/>
16. Malca, I. C. (2005). *Desarrollo de un software para el diseño de zapatas rectangulares por flexión biaxial*. Peru.
17. Moreta, I. P. (2017). *Desarrollo de una Aplicación Basada en MATLAB para el Cálculo de Cimentaciones Superficiales Aisladas*. Ecuador.

18. Ninaraqui, E. A. (s.f.). *Diseño de zapata aislada*. Bolivia.
19. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación . (2009). *Guía para la descripción de suelos*. Roma: FAO.
20. Patzán, I. J. (2009). *Guía práctica para el cálculo de capacidad de carga en cimentaciones superficiales, losas de cimentación, pilotes y pilas perforadas*. Guatemala.
21. Ramírez Oyanguren, P., & Alejano Monge, L. (2004). *Mecánica de rocas: Fundamentos e ingeniería de taludes*.
22. Sánchez, I. A. (2017). *Desarrollo de una aplicación basada en MatLab para el cálculo de cimentaciones sobre un lecho elástico*. Ecuador.
23. Sanchez, I. A. (2020). *Diseño de zapata aislada central, excéntrica, esquinera y su procedimiento constructivo de un edificio de hormigón armado de 5 pisos*. Quito.
24. Strutralia. (27 de agosto de 2021). *Cimentación superficial: ¿cuándo se utiliza y qué tipos existen?*. Obtenido de Strutralia: <https://blog.structuralia.com/cimentacion>
25. Tarbuck, E. J., & Lutgens, F. K. (2005). *Ciencias de la tierra, una introducción a la geología física* (8va ed.). Madrid: Pearson Prentice Hall.

26. tecnología, P. v. (27 de agosto de 2021). *Tipos de Cimientos*. Obtenido de Portafolio visual de tecnología 1: <https://sites.google.com/site/portafoliovirtualdetecnologia1/tipos-de-cimientos>
27. Tendenzias.com. (27 de agosto de 2021). *Suelos arcillosos. Características y cuidados*. Obtenido de Tendenzias.com : <https://tendenzias.com/hogar/suelos-arcillosos-caracteristicas-y-cuidados/>
28. twenergy. (27 de agosto de 2021). *Tipos de suelos*. Obtenido de twenergy: <https://twenergy.com/ecologia-y-reciclaje/tipos-de-suelos/>
29. Villalaz, C. (2004). *Mecánica de suelos y cimentaciones*. (pág. 259). Limusa, Mexico: LIMUSA, S.A.
30. Yepes Piqueras, V. (2020). *Procedimientos de construcción de cimentaciones y estructuras de contención*. Valencia.
31. Zapata, R. (2018). *Tipos de suelos: caracterización de los suelos arcillosos y limosos*. Argentina.

14. APÉNDICES

Apéndice 1. Metodología

Campo	Variable	Tipo	Definición Técnica	Definición Operativa	Indicadores
Cimentaciones	Zapatas Superficiales	Descriptiva Correlativa Exploratoria	Desarrollar un programa especializado en el diseño de zapatas superficiales, en idioma español basado en las normas de Guatemala.	Por medio del programa, y datos obtenidos o calculados previamente; carga axial y momento de la columna y datos técnicos del suelo, se calculan y diseñan las diferentes tipologías de zapatas superficiales.	Chequeo por: Punzonamiento Flexión y Corte

Fuente: Elaboración propia.

Apéndice 2. Recursos necesarios para la investigación

Apéndice 3.

#	Actividad	Unidad	Cantidad	Precio	Total (Q)
1	Asesoramiento del trabajo de graduación	Global	1	2,500	2,500
2	Desarrollo del Programa	Global	1	16,000	16,000
3	Impresiones de borradores del trabajo final	Global	3	350	1,050
4	Impresión del trabajo final	Global	1	1,500	1,500
Total, de elaboración de investigación					21,050

Fuente: Elaboración propia.

15. ANEXOS

Según (AGIES, NSE-2-2018, Demandas estructurales y condiciones de carga, 2018, págs. 8-3 y 9-3)

15.1. Combinaciones de cargas

15.1.1. Cargas de gravedad

$1.4M$	(CR1)
$1.2M + 1.6V + 0.5(V_t \text{ o } P_L \text{ o } A_R)$	(CR2)
$1.2M + V + 1.6(V_t \text{ o } P_L \text{ o } A_R)$	(CR3)

15.1.2. Cargas de sismo

$1.2 M + V + S_{vd} \pm S_{hd}$	(CR4)
$0.9M - S_{vd} \pm S_{hd}$	(CR5)
$1.0M - S_{vd} \pm S_{hd}$	(CR5-a)

15.2. Cargas para dimensionar cimientos

15.2.1. Combinaciones gravitacionales

$M + V_P$	(CCS1)
$M + V + (V_t \text{ o } P_L \text{ o } A_R)$	(CCS2)

15.2.2. Solicitaciones sísmicas

$M + V_P + 0.7 K_z S_v \pm 0.7 K_z S_h$	(CCS3)
$M \pm K_z S_h$	(CCS4)