

**TITULO: Diseño de cimentaciones superficiales corridas de hormigón armado integrado a un entorno CAD**

**TITLE: Design of continuous superficial foundations of reinforced concrete integrated into a CAD environment**

Claudia Lucila Pino Hernández<sup>1</sup>, Luis Wilfredo Hernández González<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Inel, Cuba, [claudia@hol.inel.une.cu](mailto:claudia@hol.inel.une.cu); <sup>2</sup> Universidad de Holguín, Cuba, [wilfredo@uho.edu.cu](mailto:wilfredo@uho.edu.cu)

**RESUMEN**

Las cimentaciones juegan un papel decisivo en la resistencia de cualquier edificación. Frecuentemente, al diseñarlas, se incurren en diversos errores de cálculo debido, entre otras causas, a la gran cantidad de ecuaciones, variables y metodologías; así como, no se logra una solución adecuada que concilie la seguridad y minimice el costo. Por tanto, el objetivo del presente trabajo es plantear un modelo conceptual para describir el proceso de diseño de una cimentación superficial corrida de hormigón armado, el cual tiene en cuenta los aspectos siguientes: la definición de los parámetros de entrada, el predimensionamiento de la cimentación, el chequeo de los aspectos geotécnicos y estructurales, la determinación de los factores de seguridad y la determinación del acero de refuerzo. Para ello, se analizan brevemente los requisitos, las tecnologías y los métodos empleados; así como, los programas computacionales utilizados en el diseño de la cimentación. Además, se propone un algoritmo para el diseño integrado a un entorno CAD que permite obtener combinaciones adecuadas de los parámetros constructivos principales de una cimentación superficial corrida.

Palabras clave: diseño; cimentaciones; algoritmo; CAD.

**ABSTRACT**

The foundations play a decisive role in the resistance of any building. Frequently, when designing them, various calculation errors are incurred due, among other causes, to the large number of equations, variables and methodologies, as well as, an adequate solution that reconciles safety and minimizes cost is not achieved. Therefore, the objective of this work is to propose a conceptual model to describe the design process of a reinforced concrete foundation, which takes into account the following aspects: the definition of the input parameters, the pre-dimensioning, the check of the geotechnical and structural aspects, the determination of the safety factors and the determination of the reinforcing steel. To do this, the requirements, technologies and methods used are analyzed briefly, as well as the computer programs used in the design of the foundation. In addition, an algorithm is proposed for the design integrated to a CAD environment that allows obtaining adequate combinations of the main construction parameters of a continuous superficial foundation.

Keywords: design; foundations; algorithm; CAD.

## 1. INTRODUCCIÓN

La cimentación puede definirse en general como el conjunto de elementos de cualquier edificación cuya misión es transmitir al terreno que la soportan las acciones procedentes de la estructura. Su diseño dependerá por tanto no solo de las características del edificio sino también de la naturaleza del terreno. El suelo influye por su capacidad soportante, por su deformabilidad, por la existencia de nivel freático, entre otros. En el tipo de estructuras son determinantes las cargas, las tolerancias a los asentamientos.

Es un hecho conocido, que para que una estructura ofrezca seguridad y trabaje correctamente debe tener una cimentación adecuada. Esta situación en muchas ocasiones pasa inadvertida pues no se le brinda la importancia y atención necesaria que ella requiere. La construcción de una cimentación debe tener un estudio más sistemático, es decir, su diseño debe contemplar todos y cada uno de los factores que motivan sus características; así como, también los que afectarían su desempeño correcto en su vida útil.

Las cimentaciones se clasifican en cimentaciones superficiales y profundas, entre las superficiales se encuentran las cimentaciones aisladas, corridas o continuas, losas de cimentación, entre las más usadas, de las cuales se derivan otras muchas. Dentro de las cimentaciones profundas encontramos los pilotes ya sean prefabricados o fundidos in situ.

Las zapatas son la solución más usada, debido a que es la más económica, de más fácil ejecución y se adapta bien a terrenos resistentes. Es además, una solución interesante para luces importantes. Específicamente la zapata corrida es una zapata continua que servirá como cimentación generalmente a un muro de hormigón armado. Esta solución es muy apta tanto para edificios residenciales como industriales con sótanos que requieran de muros de contención.

Al desarrollar un diseño de cimentaciones, se incurren en diversos errores de cálculo debido a la gran cantidad de ecuaciones, variables de diseño y metodologías. El proceso de diseño generalmente se realiza manualmente o con programas abiertos que permiten la manipulación de su código base; por tal razón, ésta investigación tuvo la finalidad de desarrollar una herramienta computacional que facilitará el dimensionamiento de cimentaciones superficiales corridas tipo zapata en tiempos de diseño óptimos.

Partiendo de todo lo antes visto se aprecia la necesidad de disponer de un algoritmo que permita el diseño de cimentaciones superficiales corridas de hormigón armado para facilitar el trabajo ingenieril de estas estructuras.

Para lograr este diseño y confección de un programa que permitirá la obtención de resultados más precisos en el menor tiempo posible y una mejor comprensión de los diferentes parámetros a implementar, se elaborará una herramienta computacional integrada a un entorno CAD, mediante la cual se realizará la programación de una cimentación superficial corrida convirtiéndola en una herramienta de uso para la optimización del tiempo de trabajo, de cualquier ingeniero que necesite aplicar este tipo de cimentación para sus proyectos.

## 2. DESARROLLO

### 2.1. Factores que determinan el tipo de cimentación

Para el diseño de la cimentación se deben satisfacer adecuadamente varios requisitos, por tanto, el mismo no solo dependerá de las características del edificio sino también de la naturaleza del terreno. Los puntos a evaluar se pueden englobar de la manera siguiente:

- **Cargas:** Para realizar el diseño de la cimentación de cualquier estructura, se evalúan las acciones a las que ésta estará sometida: acciones permanentes (incluyendo el peso propio), acciones variables (incluyendo la carga viva) y las acciones accidentales (incluyendo sismo y viento). Una vez conocidas estas solicitaciones es necesario conocer su distribución y determinar la magnitud de los esfuerzos que serán aplicados al suelo.
- **Mecánica de suelos:** Permite determinar la configuración y composición de los diferentes estratos, así como las propiedades intrínsecas, mecánicas e hidráulicas del subsuelo. Esta información sirve de base para la adecuada selección de los estratos de apoyo y de los elementos que transmitirán las cargas al subsuelo.

- Técnica y económica: Con el propósito de que la construcción de la cimentación sea viable, es necesario definir el procedimiento constructivo que se aplicará considerando los recursos existentes, respetando las especificaciones geotécnicas y estructurales, considerando también que la solución conduzca a tiempos de ejecución aceptables y convenientes, preservando constantemente la calidad de los elementos.

## **2.2 Principios de diseño de las cimentaciones superficiales**

La tecnología y los métodos empleados han tenido un adelanto enorme en los últimos años, como consecuencia de los nuevos retos a los que la ingeniería se enfrenta, de la constante investigación y de la alta demanda de conocimientos cada vez más especializados. Estos métodos han evolucionado como se muestra a continuación:

- Método de los esfuerzos admisibles (MEA): Fue uno de los primeros métodos, el cual con el tiempo fue desechado, ya que con el mismo no se puede medir de forma exacta cual es la seguridad que se introduce en el diseño, además, en el término que representa la acción de las cargas no se toma en cuenta la seguridad, y el modelo que se asume para el diseño se aleja demasiado del comportamiento real.
- Método del Factor de Seguridad Global (MFSG): En este modelo se parte de introducir un único coeficiente de seguridad que evalúa todas las inexactitudes cometidas en la obtención de los distintos parámetros que intervienen en el diseño, y que determina cuanto se aleja el diseño de la zona de falla. Con el empleo de estos coeficientes se garantiza el trabajo de la base en la zona de linealidad entre las deformaciones y las tensiones.
- Método de los Estados Límites (MEL): En este método se establecen dos condiciones límites de diseño:
  - 1<sup>er</sup> Estado Límite: En el que se diseña para lograr la resistencia y estabilidad de la estructura, con los valores de cálculo.
  - 2<sup>do</sup> Estado Límite: El que garantiza el servicio y utilización de la estructura, se chequean factores como la deformación y la fisuración de la misma para los valores reales de servicio.

## **2.3 Formulación del modelo para el diseño de cimientos superficiales corridos de hormigón armado**

En esta investigación, el modelo se basa en cimentaciones superficiales corridas, las cuales son empleadas generalmente cuando se trata de superestructuras de muros de carga, transmitiendo las cargas actuantes sobre la totalidad de la construcción al terreno, es decir corresponde a una interfaz suelo estructura.

### **1. Diseño geotécnico de cimentaciones superficiales corridas:**

Durante el diseño de cimentaciones superficiales es necesario determinar el área de la cimentación a partir de los aspectos geotécnicos, para lo cual será necesario garantizar que exista la seguridad adecuada contra la falla por capacidad de carga del suelo y que las deformaciones que se produzcan no dañen a la estructura. Este debe abarcar como requisitos fundamentales los siguientes:

- a) Adecuada resistencia al vuelco.
- b) Adecuado factor de seguridad a la falla por capacidad de carga.
- c) Adecuado factor de seguridad al deslizamiento.

Estos tres primeros requisitos se agrupan bajo el Diseño por Estabilidad o Primer Estado Límite, que no es más que el estado donde se garantiza que no falle parcial o totalmente la estructura. En este estado se diseña para lograr la resistencia y estabilidad de la estructura, con los valores de cálculo, en el cual se introducen coeficientes de seguridad para las cargas y las propiedades de los suelos.

- d) Que la base bajo la cimentación no se deforme tanto que dañe a alguno de los elementos soportados.

Este criterio está relacionado con el diseño por Deformación o Segundo Estado Límite o Estado Límite de Servicio, siendo este en el que se garantizan todas las condiciones que puedan afectar la funcionalidad de la estructura.

- e) Que la cimentación tenga una profundidad de cimentación  $d_f$  tal, que la haga segura ante fenómenos indeseables.

Este requisito tiene carácter general y debe ser satisfecho en todos los casos, pues estar situado a una profundidad adecuada impide posibles daños a la construcción que sustenta, debido a cambios climáticos, socavaciones o acciones que pueden generar futuras construcciones.

## 2. Diseño estructural de cimentaciones superficiales corridas:

El diseño estructural se realiza a partir de un adecuado balance entre las funciones propias que la estructura puede cumplir, a partir de sus características naturales específicas y sus capacidades. De acuerdo a este criterio y tomando como base las cargas de la superestructura, se establecen como requisitos fundamentales a cumplir:

- Adecuada resistencia del hormigón y el acero a emplear.
- Adecuado espesor del plato.
- Adecuadas cuantías y posición del refuerzo del plato y del pedestal.
- Adecuadas dimensiones del pedestal.

Diseñar estructuralmente el cimiento a partir de la distribución de presiones de contacto que se asuma para el mismo, garantizando que el peralte del cimiento sea capaz como mínimo, de soportar las solicitaciones de punzonamiento y cortante que se generen y que además se coloque el refuerzo necesario para tomar las tracciones que surgen en la cara inferior de la base del cimiento y la posibles tracciones que aparezcan en la cara superior del mismo.

El espesor del plato se fijará de una de las condiciones que resulte crítica entre las siguientes:

- a) Resistencia al punzonamiento.
- b) Resistencia al cortante.
- c) Resistencia a la flexión (positiva y/o negativa).

Por lo anterior, el primer diseño condiciona al segundo, o sea, la elección del tipo de distribución de presiones para el diseño estructural está en función de los resultados del diseño geotécnico, lo que demuestra la continuidad que debe existir entre el diseño geotécnico y estructural de la cimentación, como elemento único.

## 2.4. Programas computacionales utilizados en el diseño de cimentaciones superficiales corridas

La educación actual y los estándares exigidos para los nuevos profesionales hacen necesarios la utilización de la tecnología como herramienta fundamental en el desarrollo de la Ingeniería Civil, es por esto que la implementación de programas computacionales para el cálculo de cimentaciones superficiales, toma una gran connotación dentro del desarrollo competitivo de esta carrera. Actualmente en las empresas encargadas del proceso de diseño de este tipo de elementos por lo general se cuenta con poco tiempo para hacer el diseño de las mismas, ya que en una construcción las cimentaciones es lo primero que se construye y lo último que se diseña siendo en muchas ocasiones para el proyectista que las calcula un problema a la hora de la toma de decisiones de cuál es la más factible para darle solución al problema que se está enfrentando, por lo que no siempre se obtienen las mejores soluciones desde el punto de vista de seguridad y economía, afectando negativamente en la eficiencia y productividad de la empresa.

En el mercado existen disímiles softwares para el cálculo de cimentaciones, pero en el caso específico de nuestro país la obtención de este tipo de programas es costosa, además de que son de difícil manejo y están adaptados a normativas específicas de las regiones donde fueron desarrollados.

A continuación se recoge una muestra de algunos de los sistemas automatizados que favorecen el diseño de cimentaciones en algunas de las empresas de nuestro país:

- STAAD.foundation: es una herramienta complementaria del programa STAAD.Pro para el cálculo de zapatas para todos los esfuerzos.
- GEO5- Zapata: Este programa se utiliza para diseñar zapatas sometidas a una carga general. El análisis de verificación puede ser llevado a cabo utilizando el Método de los Estados Límites, Factor de Seguridad y trae incorporado aspectos de numerosas normativas europeas.
- SAFE: Programa exclusivo de la empresa del programa SAP 2000(Computer and Structure) uno de los más utilizados mundialmente para el cálculo estructural, el mismo es compatible con los últimos sistemas operativos, pero de muy difícil obtención.
- Robot Structural Analysis.
- ABAQUS (Nonlinear and dynamic analyses).
- COSMOS (General purpose FEA).

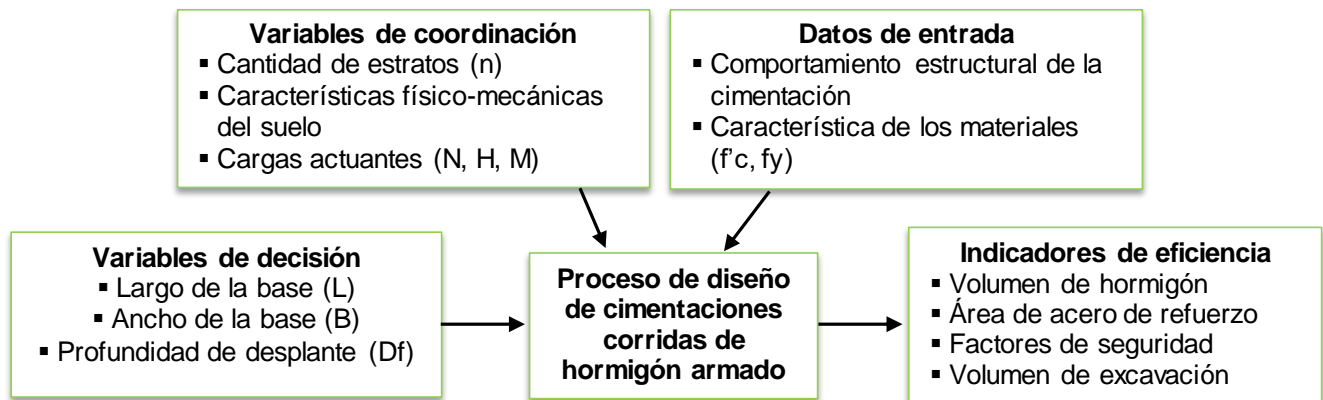
## 2.5. Análisis del proceso de diseño de cimentaciones superficiales corridas

Las variables de diseño son un conjunto de parámetros en cuyos términos se describe el objeto a diseñar mediante un modelo de diseño. Es importante señalar que las constantes y variables de diseño han de definir completamente las propiedades fundamentales de la formulación matemática. El diseñador, por tanto, debe realizar esta elección adecuadamente de manera que el diseño sea admisible y satisfactorio.

Variables desde el punto de vista físico:

1. Propiedades físicas o mecánicas de los materiales: Resistencia del hormigón y del acero,  $f'_c$  y  $f_y$ .
2. Áreas y formas de las secciones transversales: Peralto ( $d$ ), ancho y largo ( $B$  y  $L$ ), etc.
3. Tipología estructural: Condiciones de apoyo; requerimientos de continuidad entre diferentes elementos.
4. Cargas: Valores de solicitaciones a nivel de cimentación,  $M$ ,  $H$ ,  $N$  derivadas de la acción de cargas temporales ó vivas, cargas permanentes ó muertas, carga ecológica de viento, cargas tecnológicas, etc., y sus combinaciones probables para cada estado límite o condición de diseño.
5. Parámetros físico-mecánicos de suelos: Peso específico de los suelos ( $\gamma$ ), ángulo de fricción interna ( $\phi$ ), módulo de deformación ( $E$ ), parámetro de resistencia a cortante tomado fue la cohesión ( $c$ ), etc.

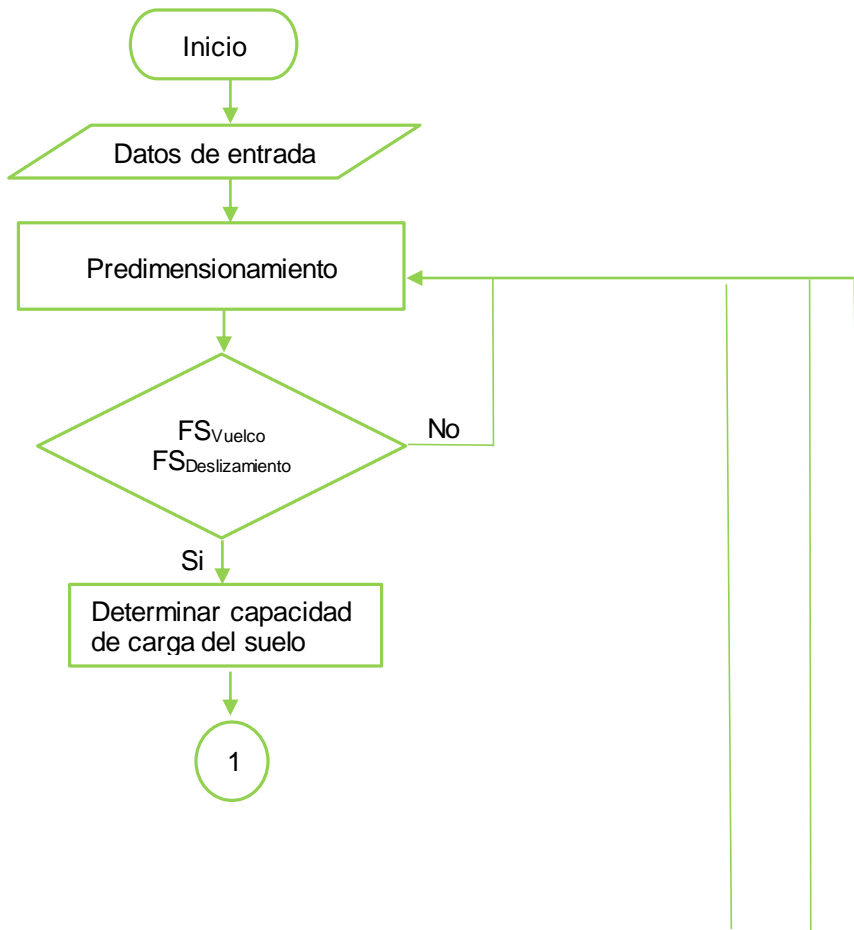
Realizando un análisis de lo antes visto, teniendo en cuenta los principios geotécnicos y estructurales que precisan los aspectos geométricos y funcionales de una cimentación superficial corrida de hormigón armado; se define el análisis externo de esta investigación mostrado en la Figura 1.

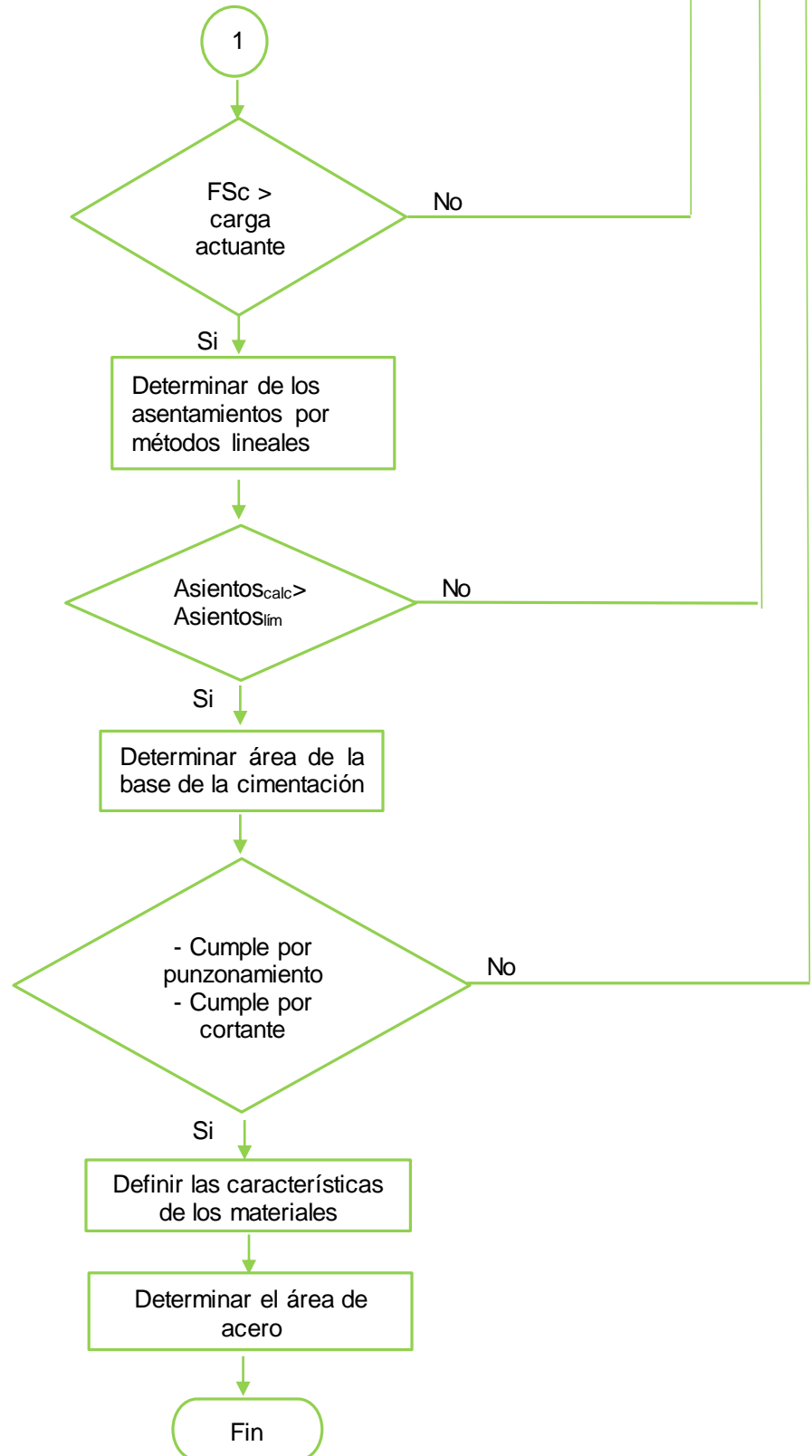


**Figura 1.** Análisis externo del proceso de diseño

En la Figura 2 se muestra un flujograma que resume el diseño de una cimentación superficial corrida de hormigón teniendo en cuenta la capacidad de carga, la estabilidad de la estructura al deslizamiento y al vuelco, así como las distintas consideraciones que influyen en el diseño estructural, específicamente en la determinación del peralte y el armado necesario del plato de la cimentación. Se puede concluir que el proceso de diseño de una cimentación superficial corrida resulta ser un proceso complejo; que dependiendo de las condiciones del terreno, las cargas actuantes, la tecnología constructiva a emplear, el lugar donde está ubicada la obra y los materiales disponibles puede definir la secuencia de pasos lógicos a seguir en la concepción de su diseño.

Con la verificación del primer análisis (Geotécnico), queda definida la base de la cimentación y el segundo análisis (Estructural) permite definir el peralte del plato y el área de acero a colocar. Si algunos de estos criterios no se cumplen se debe modificar el predimensionamiento al inicio del proceso y así sucesivamente para todo el proceso hasta obtener un adecuado diseño.





**Figura 2.** Flujograma general para el diseño de cimentaciones superficiales corridas de hormigón.

## **2.6 Modelo teórico a emplear para el diseño de cimentaciones superficiales corridas**

Teniendo en cuenta todo lo antes descrito y basándose en el flujograma general que se expuso para el diseño de cimentaciones superficiales corridas, se define un modelo teórico que tiene las siguientes características:

1. Cimentación superficial corrida con pedestal céntrico.
2. Material a utilizar hormigón armado.
3. Comportamiento estructural flexible del cimiento.
4. Modelo para la determinación de la capacidad de carga el propuesto por Brinch-Hansen.
5. Comportamiento tenso-deformacional lineal del suelo.
6. La cantidad máxima de estratos serán tres.
7. La influencia del nivel freático a diferentes profundidades.
8. La profundidad de desplante mínima de la cimentación será de dos veces el peralte del plato del cimiento.

## **3. CONCLUSIONES**

1. En el proceso de diseño de las cimentaciones se incurren en diversos errores de cálculo debido a la gran cantidad de ecuaciones, variables de diseño y metodologías, por tanto no siempre se logra una solución adecuada que concilie la seguridad y minimice el costo.
2. Existen herramientas computacionales específicas en el cálculo de cimentaciones, pero generalmente son muy costosas, de difícil manejo y adaptadas a las normativas específicas de los países donde fueron desarrolladas.
3. Se realizó un análisis del proceso de diseño de una cimentación superficial corrida de hormigón armado como tarea de preparación y toma de decisiones, teniendo en cuenta los principios geotécnicos y estructurales. Dentro de las variables de diseño influyentes se destacan: profundidad de cimentación, dimensiones de la cimentación, peralte del cimiento y propiedades físico-mecánicas de los suelos de la base.
4. Se elaboró un modelo conceptual para describir el proceso de diseño de una cimentación superficial corrida de hormigón armado, el cual tiene en cuenta la definición de los parámetros de entrada, el predimensionamiento, el chequeo de los aspectos geotécnicos y estructurales, la determinación de los factores de seguridad y la determinación del acero de refuerzo.

## **4. CONFLICTO DE INTERESES**

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

## **5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. CABRERA Palacios, Eduardo. Estudio comparativo de cimentaciones aisladas en la ciudad de Cuenca diseñadas por el método de la presión admisible con los obtenidos aplicando el método de los estados límites. Tesis para optar por el grado de Master en Geología Aplicada y Geotecnia. Profesor guía: PhD. Ing. Jaime Bojorque I. Cuenca, Ecuador. Universidad de Cuenca, Julio 2010.
2. RICO Cortes, Yinna Paola y VARGAS Caycedo, Juan David. Desarrollo de una herramienta computacional para el diseño de cimentaciones superficiales tipo zapatas. Tesis de Grado para optar



por el título de Ingeniero Civil. Profesor guía: Mag. Fernando Alberto Nieto Castañeda. Bogotá, Colombia. Universidad de La Salle, 2015.

3. Barnert Tapia, Germán Alberto. Programa Computacional, diseño estructural fundaciones superficiales F&D1.0, bajo plataforma MATHCAD. Tesis de Grado para optar al título de Ingeniero Civil en Obras Civiles. Profesor Titular: Sr. Alejandro Emilio Niño Solís. Valdivia, Chile. Universidad Austral de Chile, 2009.
4. Fernández-Rubio del Campo, Julio Manuel. Algoritmo para el diseño óptimo multiobjetivo de cimentaciones superficiales aisladas de hormigón armado integrado a un entorno CAD. Tesis presentada en opción al título académico de Máster en diseño y fabricación asistidos por computadoras CAD/CAM. Profesor Titular: Dr. C. Ing. Luís E. Acosta González. Holguín, Cuba. Universidad de Holguín, 2017.
5. Dao Duc, Thanh. Manual de Diseño Geotécnico de Cimentaciones Superficiales. Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Civil. Profesor Titular: Dr. C. Ing. Gilberto Quevedo Sotolongo. Villa Clara, Cuba. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, 2010.

## **SOBRE LOS AUTORES**

**Claudia Lucila Pino Hernández**, graduada de Ingeniera Civil (2016), por la Universidad de Holguín. Se desempeña actualmente como Especialista B en Proyecto e Ingeniería, en la Empresa de Inel, Holguín. Miembro de la UNAICC.

**L.W. Hernández González**, es profesor del Centro de Estudios CAD/CAM en la Universidad de Holguín, Cuba. Ingeniero Mecánico, Máster en Diseño y Fabricación Asistida por Computadoras y Doctor en Ciencias Técnicas (2012), por la misma Universidad. Tiene varias publicaciones y comunicaciones en Congresos.