



Elaboración de código en Matlab para el cálculo de zapatas rectangulares biaxiales con columnas excéntricas, centrales, medianeras y esquinera considerando comportamiento de cuerpo rígido basado en el artículo de (Bellos & Bakas. 2017)

Deibier Cadrazco Vergara
Omero Antonio Quintero Monsalve

Monografía presentada para optar al título de Especialista en Análisis y Diseño de Estructuras

Seleccione tipo de orientador(es)
Manuela Ochoa Soto, Especialista (Esp) en Análisis y Diseño de Estructuras

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería
Especialización en Análisis y Diseño de Estructuras
Medellín, Antioquia, Colombia

2024

Cita	(Muñoz Zapata & Martínez Naranjo, 2018)
Referencia	Muñoz Zapata, L., & Martínez Naranjo, J. A. (2018). <i>Archivo fotográfico de la Universidad de Antioquia: valoración histórica de las fotografías, 1997 - 2003</i> [Seleccione modalidad de grado]. Universidad de Antioquia, Seleccione ciudad UdeA (A-Z).
Estilo APA 7 (2020)	



Seleccione posgrado UdeA (A-Z), Cohorte Seleccione cohorte posgrado.

Grupo de Investigación Seleccione grupo de investigación UdeA (A-Z).

Seleccione centro de investigación UdeA (A-Z).



Seleccione biblioteca, CRAI o centro de documentación UdeA (A-Z)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Contenido

Resumen	5
Abstract	6
1. Planteamiento del problema	7
2. Objetivos	8
3. Marco teórico	9
4. Metodología	15
5. Resultados	16
5.1 Ejemplo 1 caso A	16
5.2 Ejemplo 2 caso B.....	17
5.3 Ejemplo 3 caso C.....	19
5.4 Ejemplo 4 caso D	21
5.5 Ejemplo 5 caso E.....	22
6. Conclusión.....	27
7. Recomendaciones	28
8. Referencias bibliográficas	29

Lista de tablas

Tabla 1 comparación de investigaciones sobre fórmulas para el diseño de zapatas biaxiales	12
---	----

Lista de figuras

Figura 1 Diagrama de excentricidad de una zapata rectangular rígida (Bello. & Bakas.2016)	10
Figura 2 Distribución lineal de la presión del suelo sobre una zapata rectangular rígida extendida. (Bello. & Bakas.2017).....	13
Figura 3 zona de compresión triangular (Bello. & Bakas.2017).....	14
Figura 4 ilustración primer caso en Excel (Fuente elaboración propia)	16
Figura 5 ilustración primer caso en Matlab (Fuente elaboración propia)	17
Figura 6 ilustración primer caso en rfem (Fuente elaboración propia)	17
Figura 7 comprobación caso 2 en Excel (Fuente elaboración propia)	18
Figura 8 comprobación caso 2 en Matlab (Fuente elaboración propia)	18
Figura 9 Comprobación caso 2 en rfem (Fuente elaboración propia).....	19
Figura 10 comprobación caso 3 en Excel (Fuente elaboración propia)	19
Figura 11 Comprobación caso 3 en Matlab (Fuente elaboración propia)	20
Figura 12 Comprobación caso 3 en rfem (Fuente elaboración propia).....	20
Figura 13 Comprobación de caso 4 en Excel (Fuente elaboración propia).....	21
Figura 14 Comprobación caso 4 en Matlab (Fuente elaboración propia)	21
Figura 15 Comprobación caso 4 en rfem (Fuente elaboración propia).....	22
Figura 16 comprobación caso 5 en Excel (Fuente elaboración propia)	23
Figura 17 Comprobación caso 5 en Matlab (Fuente elaboración propia)	23
Figura 18 Comprobación caso 5 en rfem (Fuente elaboración propia).....	24
Figura 19 Comprobación caso C en Matlab (Fuente elaboración propia)	26
Figura 20 tabla arrojada por Matlab (Fuente elaboración propia).....	26

Resumen

Este documento se presenta el análisis y desarrollo de un código en el software Matlab, para el cálculo de zapatas rectangulares biaxiales con columnas excéntricas, centrales, medianeras y de esquina considerando comportamiento de cuerpo rígido. Teniendo como base todas las fórmulas bases y casos ejemplos presentado en el artículo HIGH COMPUTATIONAL EFFICIENCY THROUGH GENERIC ANALYTICAL FORMULATION FOR LINEAR SOIL PRESSURE DISTRIBUTION OF RIGID SPREAD RECTANGULAR FOOTINGS de Bellos & Bakas, (2016). Se realizan los 5 caso ejemplos presentado en el artículo en nuestro propio código en el software Matlab llegando a la conclusión que la formulas bases se encuentran en un 70%, lo cual nos lleva a realizar un ajuste a nuestro código con el fin de poder llevar nuestro código hasta la instancia que se pueda utilizar en zapatas esquineras, medianeras centrales, además de poder realizar las comprobaciones de diseño basados en los datos de cargas y el estudio geotécnico. La idea es poder realizar, además se realizan comparaciones en otros métodos de programación como Excel y el software rfem con el fin de comprobar que nuestro código si este funcionado correctamente.

Palabras clave: código Matlab, zapatas rectangulares biaxiales, columnas excéntricas, columnas centrales, medianeras y de esquina.

Abstract

This document presents the analysis and development of a code in Matlab software for the calculation of biaxial rectangular footings with eccentric, central, edge, and corner columns, considering rigid body behavior. The basis of this work is the fundamental formulas and example cases presented in the article HIGH COMPUTATIONAL EFFICIENCY THROUGH GENERIC ANALYTICAL FORMULATION FOR LINEAR SOIL PRESSURE DISTRIBUTION OF RIGID SPREAD RECTANGULAR FOOTINGS by Bellos & Bakas (2016).

We implement the 5 example cases presented in the article using our own code in Matlab software and conclude that the fundamental formulas are approximately 70% accurate. This leads us to adjust our code to make it applicable to corner, edge, and central footings, and to perform design checks based on load data and the geotechnical study. Additionally, we compare our code with other programming methods, such as Excel and RFEM software, to verify that our code is functioning correctly.

Keywords: Matlab code, biaxial rectangular footings, eccentric columns, central columns, edge and corner columns.

1. Planteamiento del problema

En el ejercicio profesional del ingeniero estructural, se deben diseñar cimentaciones superficiales, de forma habitual, el diseño y análisis de zapatas es esencial para garantizar la estabilidad y seguridad de las estructuras. Las zapatas rectangulares biaxiales, en particular, presentan desafíos interesantes debido a su comportamiento bidireccional. Algunas razones para investigar este tema son:

Cargas Asimétricas: Las zapatas biaxiales a menudo experimentan cargas excéntricas o desequilibradas en ambas direcciones. Comprender cómo estas cargas afectan la distribución de esfuerzos es crucial.

Comportamiento del Suelo: El suelo tiene un papel fundamental en la respuesta de las zapatas. Investigar cómo se comporta el suelo bajo cargas biaxiales nos permite optimizar el diseño.

Economía y Eficiencia: Diseñar zapatas eficientes puede reducir costos y mejorar la sostenibilidad de las estructuras, sin comprometer la seguridad.

Aplicaciones Prácticas: Las zapatas biaxiales se utilizan en edificios, puentes, torres de comunicación y otras estructuras. Comprender su comportamiento beneficia a ingenieros y arquitectos.

Columnas Excéntricas: Las columnas excéntricas están sometidas a cargas axiales y momentos flexionantes, la excentricidad afecta significativamente su comportamiento es importante conocer ¿Cómo influye la excentricidad de las columnas en el diseño de la zapata? ¿Qué consideraciones debemos tener en cuenta al calcular los momentos flexionantes resultantes?

En resumen, explorar el diseño de zapatas rectangulares biaxiales es relevante, desafiante y tiene aplicaciones prácticas en la ingeniería civil. Las características de este tipo de cimentaciones están ampliamente comprobadas y tienen una formulación muy definida, basada en investigaciones y normativas, es por ello que tener automatizado e interiorizado este proceso ayuda a nuestra actividad profesional, estos precedentes aunados a la voluntad de compartir un código abierto en MATLAB, para el cálculo de zapatas rectangulares biaxiales con columnas excéntricas, centrales, medianeras y de esquina considerando comportamiento de cuerpo rígido, generan la motivación de los autores para el desarrollo de esta monografía.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Resolver y proporcionar con un caso ejemplo por medio de un código en el software Matlab, para el cálculo de zapatas rectangulares biaxiales con columnas excéntricas, centrales, medianeras y de esquina considerando comportamiento de cuerpo rígido.

2.2 Objetivos específicos

Realizar la búsqueda bibliográfica sobre el concepto de zapatas biaxiales estudiando los principios básicos de diseño y análisis, considerando las cargas aplicadas y las propiedades del suelo.

Analizar las referencias y evaluar la estabilidad y capacidad de carga determinando la capacidad portante de la zapata en ambas direcciones, considerando los momentos y fuerzas actuantes.

Elaborar cálculos para determinar las dimensiones de la zapata y determinar el ancho y la longitud de la zapata biaxial según las cargas y el tipo de columna.

Elaborar códigos para determinar la capacidad de carga y realizar un análisis de resistencia y estabilidad para asegurar que la zapata cumpla con los requisitos de seguridad.

Estudiar el comportamiento del suelo y analizar las propiedades del suelo (cohesión, fricción, capacidad de carga) para determinar la presión admisible. Concluir como afecta la excentricidad de las columnas en el diseño de las zapatas.

3. Marco teórico

Las zapatas biaxiales son elementos fundamentales en la cimentación de estructuras. Su diseño adecuado garantiza la seguridad y estabilidad de las edificaciones. Estas zapatas se caracterizan por tener dimensiones diferentes en dos direcciones (biaxiales), lo que permite distribuir las cargas de manera eficiente. Una zapata biaxial es una cimentación superficial que se utiliza para transmitir cargas puntuales al terreno. A diferencia de las zapatas uniaxiales, que tienen dimensiones iguales en ambas direcciones, las zapatas biaxiales tienen dimensiones diferentes en dos ejes perpendiculares. Esto permite distribuir las cargas de manera eficiente y adaptarse a las excentricidades de las columnas.

El análisis de zapatas biaxiales implica comprender cómo las cargas excéntricas afectan la distribución de esfuerzos y asentos. Además, debemos considerar el tipo de suelo y optimizar el diseño desde una perspectiva económica.

El dimensionamiento en planta de las zapatas suele realizarse admitiendo una distribución plana para las tensiones transmitidas al terreno. Esta hipótesis resulta bastante verosímil en terrenos rocosos o arcillosos y arenosos altamente consolidados, y no tanto para estos últimos cuando están normalmente consolidados; en tal caso, una distribución parabólica de tensiones puede resultar más próxima a la realidad. Admitida, no obstante, la hipótesis lineal, el cálculo de tensiones para una zapata y cargas dadas es directo e inmediato en los casos en que no existe despegue del terreno (es decir, cuando toda la base de la zapata comprime el terreno, con más o menos intensidad), ya que entonces las tensiones pueden calcularse fácilmente a partir del sistema de ecuaciones lineales que exige el equilibrio entre las acciones sobre la base de la zapata y la reacción del terreno (Irlés & Irlés. 1992)

Por lo tanto, asumiendo una rigidez de la zapata de una magnitud adecuadamente alta, es razonable considerar un asentamiento planar de la base de la zapata y una distribución lineal de la presión del suelo debido a una relación constante entre la presión y el asentamiento. La interacción zapata-suelo genera compresión debajo de toda o parte de la base de la zapata, dependiendo del área que esté en contacto con el suelo. Esta área, normalmente llamada área activa o área efectiva o zona de compresión, no debería ser inferior a un cierto porcentaje del área total de la base. (Bellos & Bakas. 2017)

A medida que las excentricidades efectivas, evaluadas mediante las ecuaciones barren la base rectangular de la zapata se producen ciertos tipos de deformaciones, generándose así un diagrama de excentricidades para cada zapata, tal y como se presenta en la Figura 1. Este diagrama, constituye una herramienta práctica muy potente para determinar la forma de distribución de presiones esperada bajo determinadas condiciones de carga. (Bellos & Bakas.2017).

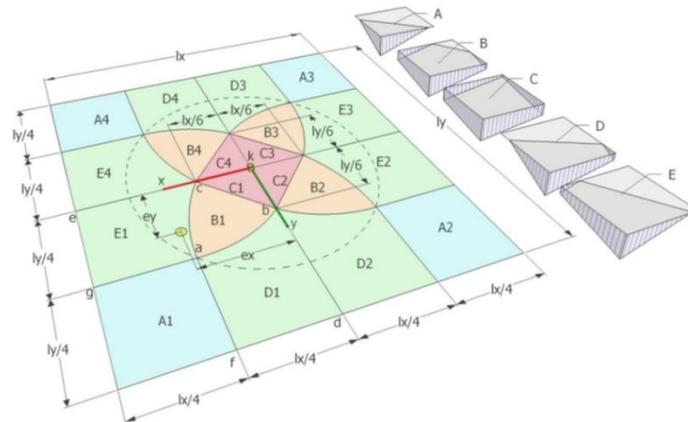


Figura 1 Diagrama de excentricidad de una zapata rectangular rígida (Bello. & Bakas.2016)

Las cimentaciones superficiales son un tipo de cimiento utilizado para distribuir cargas estructurales sobre un área mayor del terreno, mejorando así la capacidad de soporte del suelo y reduciendo los asentamientos diferenciales. Estas cimentaciones suelen estar formadas por una zapata rectangular de concreto reforzado que se extiende lateralmente más allá de la base de la columna o muro que soporta, aumentando así la superficie de contacto con el suelo. (Das.2010).

También tenemos que las cimentaciones superficiales se pueden definir generalmente cuando encontramos que el suelo competente está a profundidades relativamente bajas, donde la profundidad de desplante no supera un par el ancho del cimiento, hay que tener en cuenta que no existe un límite profundo de desplante que separe una cimentación poco profunda de una profunda. (Cervantes.2002).

Las zapatas de extensión rígida se emplean comúnmente en suelos que tienen una capacidad de carga moderada y donde los asentamientos diferenciales pueden ser un problema. Estas zapatas se diseñan para soportar cargas concentradas, como las de columnas y muros de carga, y son

esenciales en la construcción de edificios y otras estructuras donde la estabilidad y la distribución uniforme de cargas son críticas.

En el diseño de estas zapatas se centran en la mecánica de suelos, la resistencia de materiales y los enfoques de diseño estructural.

En la mecánica de suelo tenemos la teoría de la Capacidad de Carga es la máxima carga por unidad de área que el suelo puede soportar sin experimentar fallos. El Terzaghi desarrolló una ecuación básica para calcular esta capacidad en cimientos superficiales. Terzaghi (1943).

También tenemos la Teoría de Consolidación desarrollada también por Terzaghi, describe cómo los suelos saturados se compactan y expulsan agua bajo cargas aplicadas. Terzaghi (1943). Esta teoría se aplica para las zapatas de extensión rígida ya que se considera la consolidación del suelo es vital para prever asentamientos diferidos que pueden comprometer la estabilidad a largo plazo de la estructura (Holtz et al., 2011).

Teniendo en cuenta la resistencia de los materiales encontramos la teoría de esfuerzos y deformaciones, donde se analiza cómo los materiales responden a las cargas aplicadas en términos de esfuerzos internos y deformaciones esto se aplica al diseño ya que este debe asegurar que las tensiones inducidas en la zapata no excedan la resistencia del material, evitando fallos estructurales (Hibbeler, 2011).

Al momento de definir la utilización de este tipo de cimentación en nuestra estructura se tienen en cuenta varios principios al momento de diseñar como. Distribución de cargas, en poca palabra es la distribución uniforme de las cargas en una zapata con extensiones rígidas es crucial para evitar concentraciones de tensiones que podrían llevar a fallos. Utilizando métodos estáticos y dinámicos, se calcula la carga total que la zapata debe soportar, incluyendo cargas permanentes y variables (Coduto, 2001).

También se tiene principio el dimensionamiento de la Zapata y sus extensiones ancho y Largo, determinados en función de la carga a soportar y la capacidad de carga del suelo. La extensión rígida aumenta el área de contacto, distribuyendo mejor las cargas. Grosor de la Zapata y

Extensiones Debe ser suficiente para resistir las tensiones inducidas por las cargas y evitar el pandeo del material (Das, 2010).

Las zapatas rectangulares rígidas que descansan sobre suelos elásticos tienden a deformarse de forma linealmente elástica bajo la acción de carga vertical y la flexión biaxial, tales condiciones de cargas pueden ocurrir debido a cargas verticales excéntricas o altas excitaciones como las usadas para el diseño estructural en áreas de alto riesgo sísmico. Se asume una rigidez de la zapata de una magnitud adecuadamente alta, es razonable considerar un asentamiento planar de la base de la zapata y una distribución lineal de la presión del suelo debido a una relación constante entre la presión y el asentamiento. (Bellos & Bakas. 2016)

Estudios realizados en varios artículos muestran la implantación de fórmulas que facilitan el proceso de diseño ayudando a reducir el costo de cómputo que se emplea al momento de llevar a cabo un diseño de zapatas, véase la tabla a continuación.

Estudios	Descripción	Ventajas principales
Bellos & Bakas, (2017)	HIGH COMPUTATIONAL EFFICIENCY THROUGH GENERIC ANALYTICAL FORMULATION FOR LINEAR SOIL PRESSURE DISTRIBUTION OF RIGID SPREAD RECTANGULAR FOOTINGS.	presenta formulas genéricas que ayudan al diseño optimo y eficaz de zapatas rectangulares,
Irlles & Irlles, (1994)	ALTERNATIVA ANALÍTICA A LA DETERMINACIÓN DE TENSIONES BAJO ZAPATAS RECTANGULARES CON FLEXIÓN BIAXIL Y DESPEGUE PARCIAL,	plantean técnicas numéricas para la obtención de la distribución de presiones bajo una zapata rectangular con flexo compresión biaxial y presencia de despegues

Tabla 1 comparación de investigaciones sobre fórmulas para el diseño de zapatas biaxiales

Dichos artículos tenemos el artículo de Bellos, J & Bakas, N. (2016). HIGH COMPUTATIONAL EFFICIENCY THROUGH GENERIC ANALYTICAL FORMULATION FOR LINEAR SOIL

PRESSURE DISTRIBUTION OF RIGID SPREAD RECTANGULAR FOOTINGS. Este artículo presenta formulas genéricas que ayudan al diseño optimo y eficaz de zapatas rectangulares. Pero también presenta otra ventaja el uso de las fórmulas y es que relaciona las excentricidades con las condiciones de carga externas las expresan una clara relación de los momentos flectores biaxiales con la carga vertical para la zapata especifica. Donde su teoría general es que se espera que la zapata rectangular rígida se deforme de manera lineal por lo que se considera una distribución lineal de la presión del suelo bajo la base es decir donde la p_{max} será la presión máxima del suelo sobre la base donde se tendrán como X_n y Y_n que serán las intercepciones del eje neutro que determinan el área activa de la zapata (véase la figura 2). Bellos. & Bakas.2017)

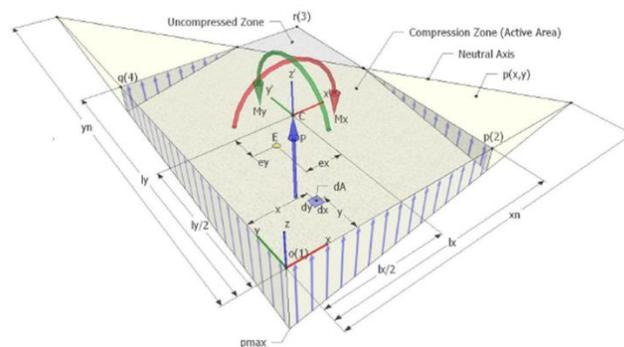


Figura 2 Distribución lineal de la presión del suelo sobre una zapata rectangular rígida extendida. (Bello. & Bakas.2017)

Además de las excentricidades efectivas, se evalúa mediante las ecuaciones barren la base rectangular de la zapata se producen ciertos tipos de deformaciones, generándose así un diagrama de excentricidades para cada zapata en las regiones como en la zona de compresión triangular, tal y como se presenta en la Figura 3. Este diagrama, constituye una herramienta práctica muy potente para determinar la forma de distribución de presiones esperada bajo determinadas condiciones de carga. (Bello. & Bakas.2016).

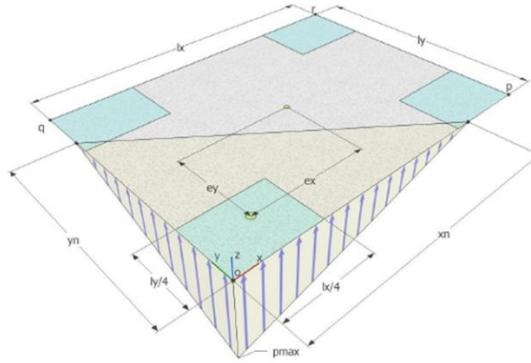


Figura 3 zona de compresión triangular (Bello. & Bakas.2017)

También está presente el artículo de Ramón Irles, Francisco Irles Más, de la universidad de alicante. España ALTERNATIVA ANALÍTICA A LA DETERMINACIÓN DE TENSIONES BAJO ZAPATAS RECTANGULARES CON FLEXIÓN BIAXIL Y DESPEGUE PARCIAL, donde se plantean técnicas numéricas para la obtención de la distribución de presiones bajo una zapata rectangular con flexo compresión biaxial y presencia de despegues, supuesta lineal, en este artículo se han obtenido fórmulas explícitas, excepto para el caso de despegue en un solo vértice.

Plantean el dimensionamiento en planta de las zapatas suele realizarse admitiendo una distribución plana para las tensiones transmitidas al terreno. Esta hipótesis resulta bastante verosímil en terrenos rocosos o arcillosos y arenosos altamente consolidados, y no tanto para estos últimos cuando están normalmente consolidados; en tal caso, una distribución parabólica de tensiones puede resultar más próxima a la realidad.

También plantean la hipótesis lineal, el cálculo de tensiones para una zapata y cargas dadas es directo e inmediato en los casos en que no existe despegue del terreno (es decir, cuando toda la base de la zapata comprime el terreno, con más o menos intensidad), ya que entonces las tensiones pueden calcularse fácilmente a partir del sistema de ecuaciones lineales que exige el equilibrio entre las acciones sobre la base de la zapata y la reacción del terreno

4. Metodología

Para llevar a cabo el objetivo principal de nuestra monografía el cual es resolver y proporcionar con un caso ejemplo por medio de un código en el software Matlab, para el cálculo de zapatas rectangulares biaxiales con columnas excéntricas, centrales, medianeras y de esquina considerando comportamiento de cuerpo rígido.

Iniciamos con desarrollar en nuestro propio código Matlab, utilizando todas las fórmulas bases y casos ejemplos presentado en el artículo HIGH COMPUTATIONAL EFFICIENCY THROUGH GENERIC ANALYTICAL FORMULATION FOR LINEAR SOIL PRESSURE DISTRIBUTION OF RIGID SPREAD RECTANGULAR FOOTINGS de Bellos & Bakas, (2016) que es esta monografía (caso de estudio) es la fuente guía a desarrollar.

Empezamos a programar cada uno de los casos presentados en el artículo anteriormente mencionado y realizando la comparación en con otros métodos de programación como Excel y el software rfem con el fin de comprobar que nuestro código este funcionado bien y así pasar al diseño de las zapatas rectangulares biaxiales con columnas excéntricas, centrales, medianeras y de esquina considerando comportamiento de cuerpo rígido.

Una vez iniciada la programación de las fórmulas bases tenemos que este Código esta desarrollado en un 70% de su potencial, lo queremos llevar hasta que se pueda utilizar en zapatas esquineras, medianeras centrales, además de poder realizar las comprobaciones de diseño basados en los datos de cargas y el estudio geotécnico. La idea es poder realizar:

➤ Dimensionamiento de la Zapata:

Comprobar las dimensiones de la zapata basándonos en la capacidad portante del suelo y las cargas aplicadas. Además de garantizar que las dimensiones cumplan con los requisitos de estabilidad y asentamiento.

➤ Verificación de Cortante y Flexión:

Verifica que la zapata pueda resistir el cortante por flexión y el punzonamiento.

➤ Cálculo del Acero de Refuerzo:

Determina la cantidad y disposición del acero de refuerzo necesario para resistir los momentos flectores, Asegurando de cumplir con los requisitos mínimos de refuerzo según las normas aplicables.

➤ Revisión de la Longitud de Desarrollo:

Verifica que las longitudes de desarrollo del acero de refuerzo sean adecuadas para garantizar una correcta transferencia de esfuerzos.

5. Resultados

Ejemplos y comprobaciones del código y hojas de Excel:

5.1 Ejemplo 1 caso A. Encuentre la presión máxima del suelo y el tamaño de la zona activa en el caso de una carga excéntrica cimentación rígida rectangular con la zapata de base de $LX=1.5\text{m}$ y $LY=1,7\text{m}$ sometidos a la acción de una fuerza de compresión $P=1200\text{ kN}$ y dos flexiones positivas momentos $Mx=500\text{ kNm}$ y $My=560\text{ kNm}$ con lineal distribución de la presión.

Usando el procedimiento descrito anteriormente, obtenemos un área de contacto de la Superficie = 1.022 m^2 , es decir, el 40.09% del total inicial Superficie total de $=2.550\text{ m}^2$.

CROMPROBACIÓN EN EXCEL

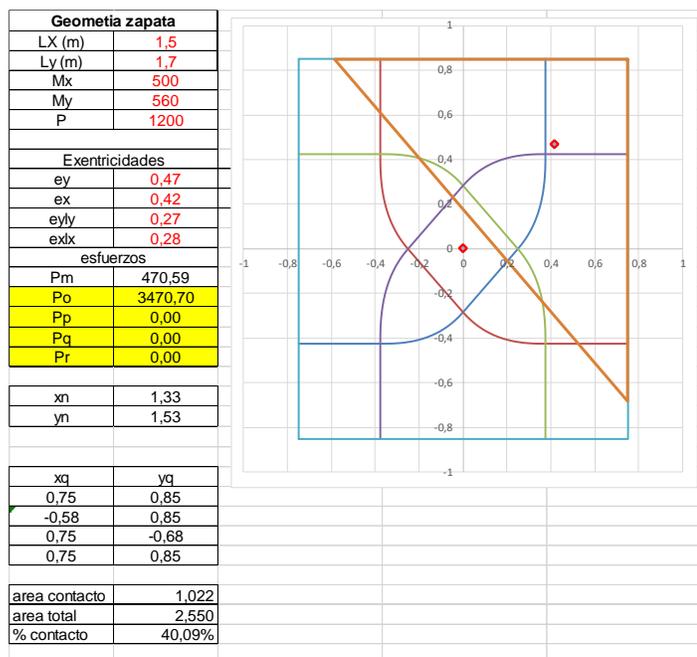


Figura 4 ilustración primer caso en Excel (Fuente elaboración propia)

Comprobación en el código de Matlab

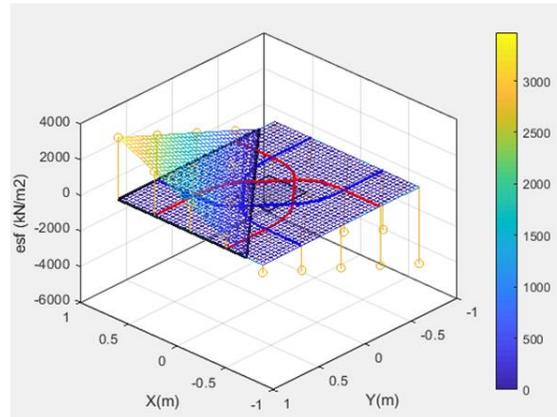


Figura 5 ilustración primer caso en Matlab (Fuente elaboración propia)

Comprobación en el software rfem

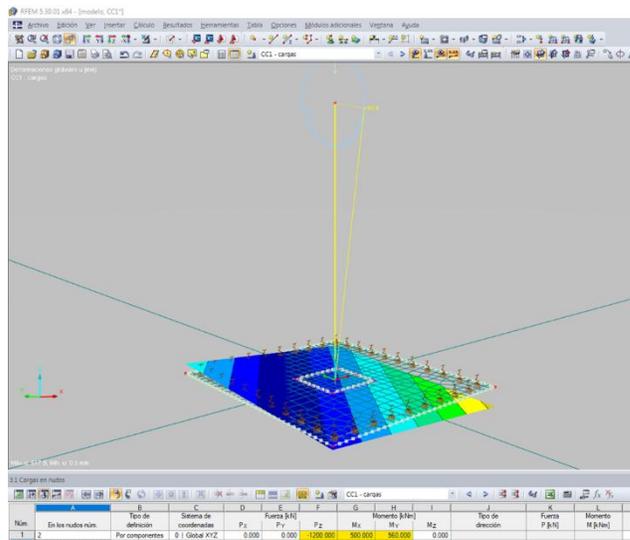


Figura 6 ilustración primer caso en rfem (Fuente elaboración propia)

5.2 Ejemplo 2 caso B. Encuentre la presión máxima del suelo y el tamaño de la zona activa en el caso de una carga excéntrica cimentación rígida rectangular con la zapata de base de $LX=1.5\text{m}$ y $LY=1,7\text{m}$ sometidos a la acción de una fuerza de compresión $P=1200\text{ kN}$ y dos flexiones positivas momentos $Mx=150\text{ kNm}$ y $My=200\text{ kNm}$ con lineal distribución de la presión.

Usando el procedimiento descrito anteriormente, obtenemos un área de contacto de la Superficie de $=2.541\text{ m}^2$, es decir, el 99.66% del total inicial Superficie total de $=2.550\text{ m}^2$.

Comprobación en Excel

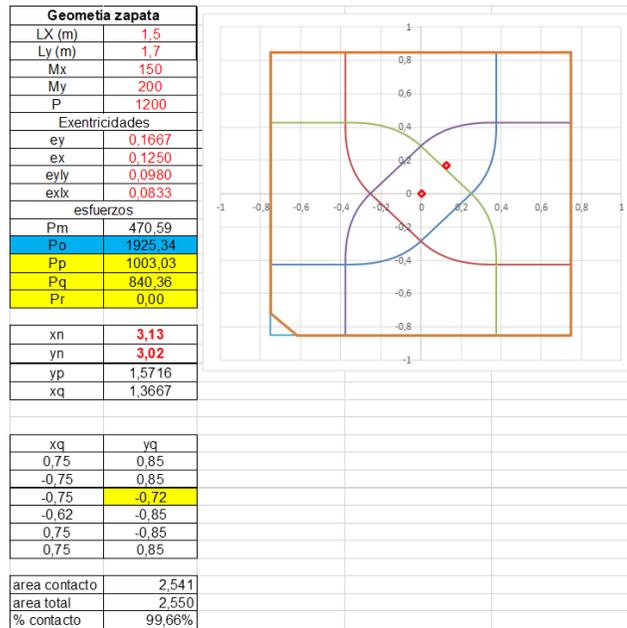


Figura 7 comprobación caso 2 en Excel (Fuente elaboración propia)

Comprobación en el código de Matlab

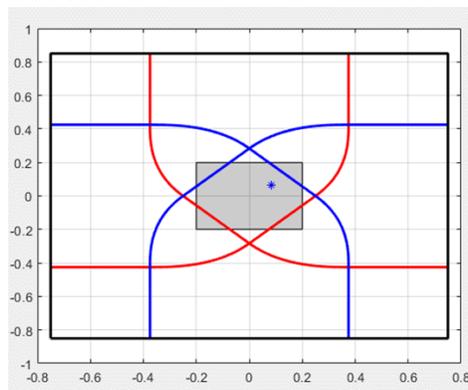


Figura 8 comprobación caso 2 en Matlab (Fuente elaboración propia)

Comprobación en el software rfem

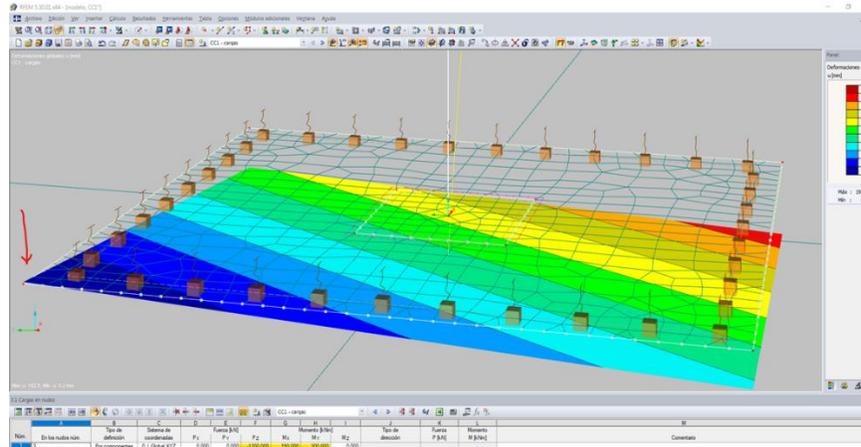


Figura 9 Comprobación caso 2 en rfem (Fuente elaboración propia)

5.3 Ejemplo 3 caso C. Encuentre la presión máxima del suelo y el tamaño de la zona activa en el caso de una carga excéntrica, con cimentación rígida rectangular con la zapata de base de $LX=1.5\text{m}$ y $LY=1,7\text{m}$ sometidos a la acción de una fuerza de compresión $P=1200\text{ kN}$ y dos flexiones positivas momentos $Mx=150\text{ kNm}$ y $My=200\text{ kNm}$ con lineal distribución de la presión.

Usando el procedimiento descrito anteriormente, obtenemos un área de contacto de la Superficie de $=2.550\text{ m}^2$, es decir, el 100.00% del total inicial Superficie total de $=2.550\text{ m}^2$.

Comprobación en Excel

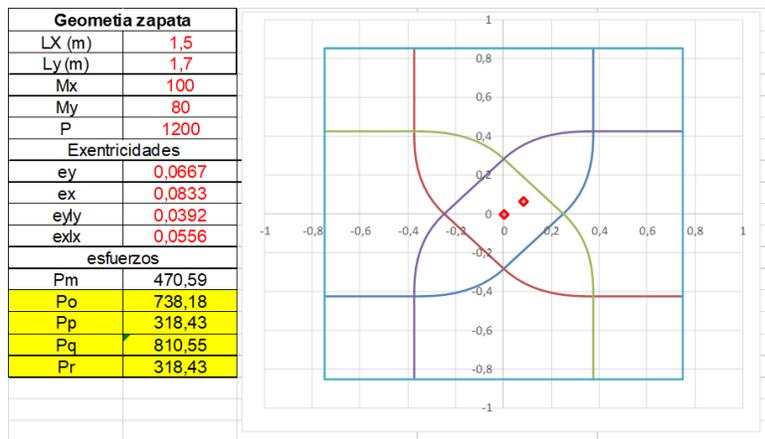


Figura 10 comprobación caso 3 en Excel (Fuente elaboración propia)

Comprobación en Matlab

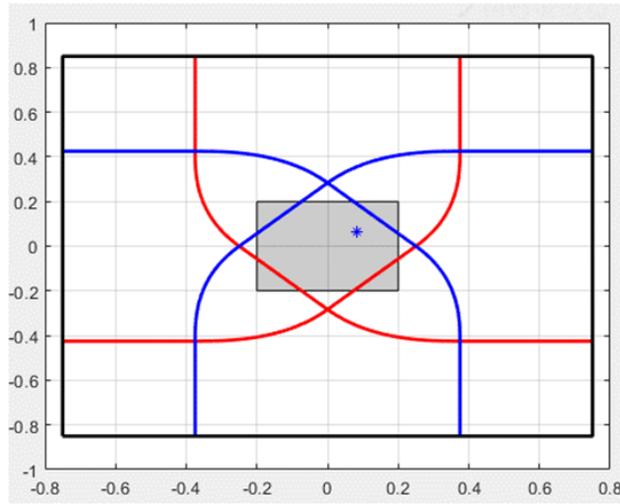


Figura 11 Comprobación caso 3 en Matlab (Fuente elaboración propia)

Comprobación en rfem

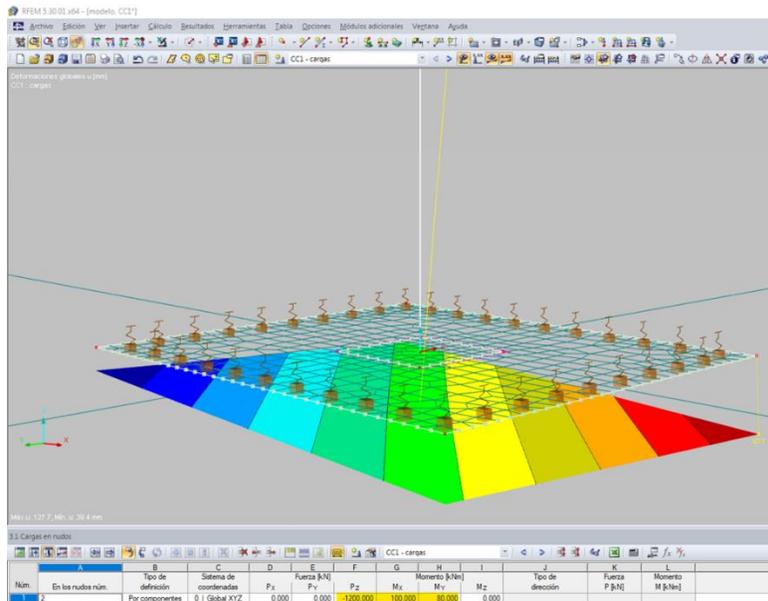


Figura 12 Comprobación caso 3 en rfem (Fuente elaboración propia)

5.4 Ejemplo 4 caso D. Encuentre la presión máxima del suelo y el tamaño de la zona activa en el caso de una carga excéntrica cimentación rígida rectangular con la zapata de base de $LX=1.5\text{m}$ y $LY=1.7\text{m}$ sometidos a la acción de una fuerza de compresión $P=1200\text{ kN}$ y dos flexiones positivas momentos $Mx=150\text{ kNm}$ y $My=200\text{ kNm}$ con lineal distribución de la presión.

Usando el procedimiento descrito anteriormente, obtenemos un área de contacto de la Superficie de $=1.669\text{ m}^2$, es decir, el 65.46% del total inicial Superficie total de $=2.550\text{ m}^2$.

Comprobación en Excel

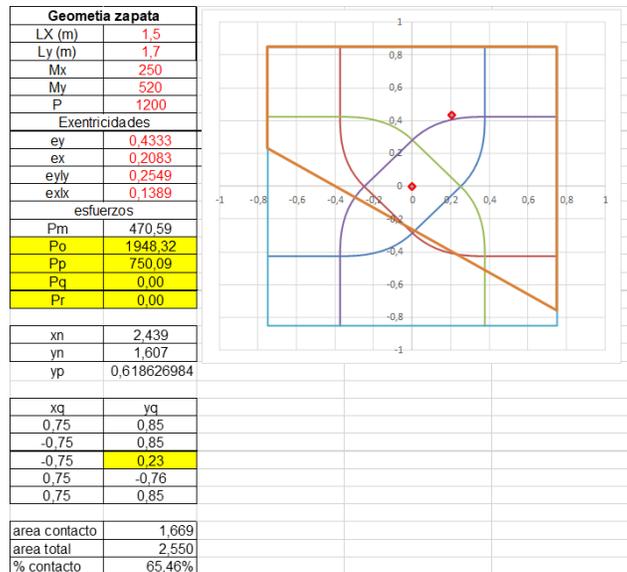


Figura 13 Comprobación de caso 4 en Excel (Fuente elaboración propia)

Comprobación en Matlab

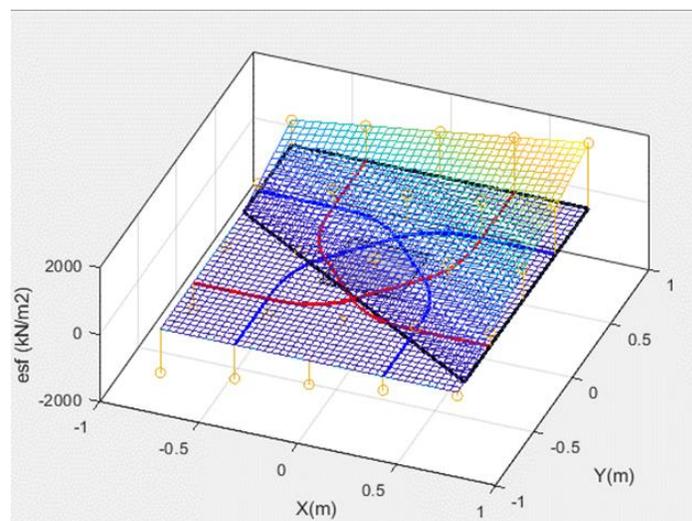


Figura 14 Comprobación caso 4 en Matlab (Fuente elaboración propia)

Comprobación en rfem

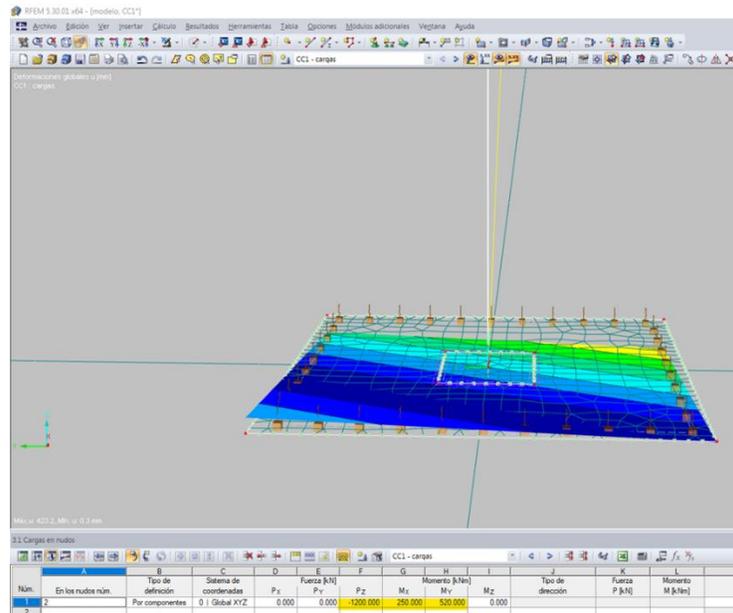


Figura 15 Comprobación caso 4 en rfem (Fuente elaboración propia)

5.5 Ejemplo 5 caso E. Encuentre la presión máxima del suelo y el tamaño de la zona activa en el caso de una carga excéntrica cimentación rígida rectangular con la zapata de base de $LX=1.5\text{m}$ y $LY=1,7\text{m}$ sometidos a la acción de una fuerza de compresión $P=1200\text{ kN}$ y dos flexiones positivas momentos $M_x=540\text{ kNm}$ y $M_y=250\text{ kNm}$ con lineal distribución de la presión.

Usando el procedimiento descrito anteriormente, obtenemos un área de contacto de la Superficie de 1.398 m^2 , es decir, el 54.82% del total inicial Superficie total de 2.550 m^2 .

Comprobación en Excel

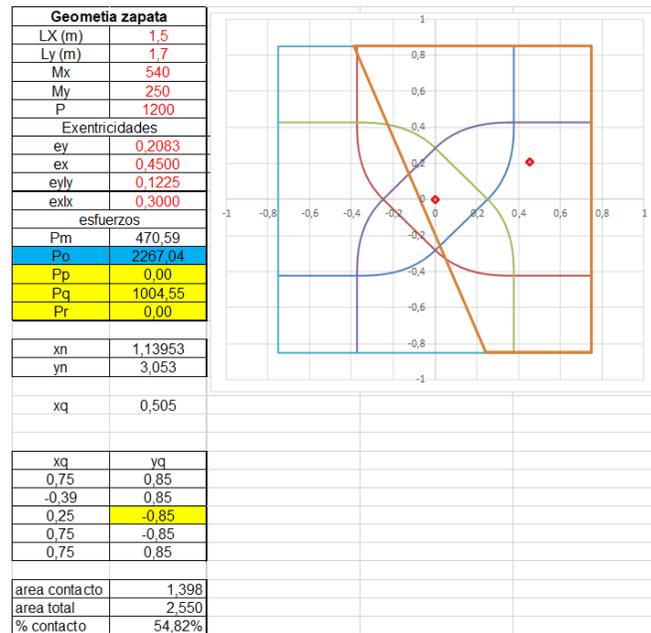


Figura 16 comprobación caso 5 en Excel (Fuente elaboración propia)

Comprobación en Matlab

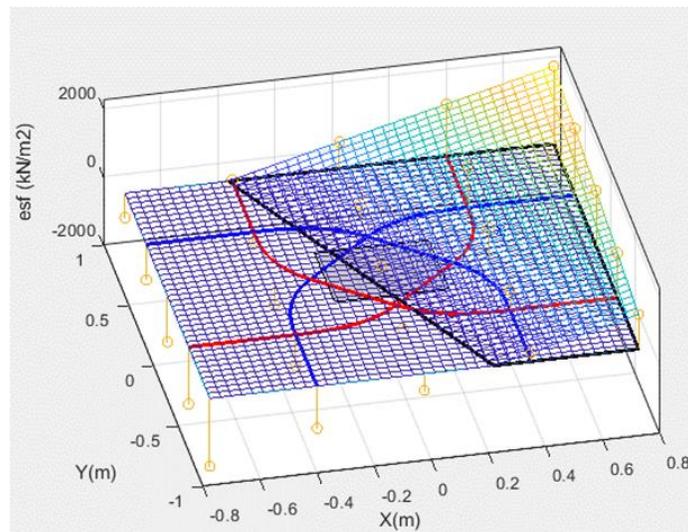


Figura 17 Comprobación caso 5 en Matlab (Fuente elaboración propia)

Comprobación en rfem

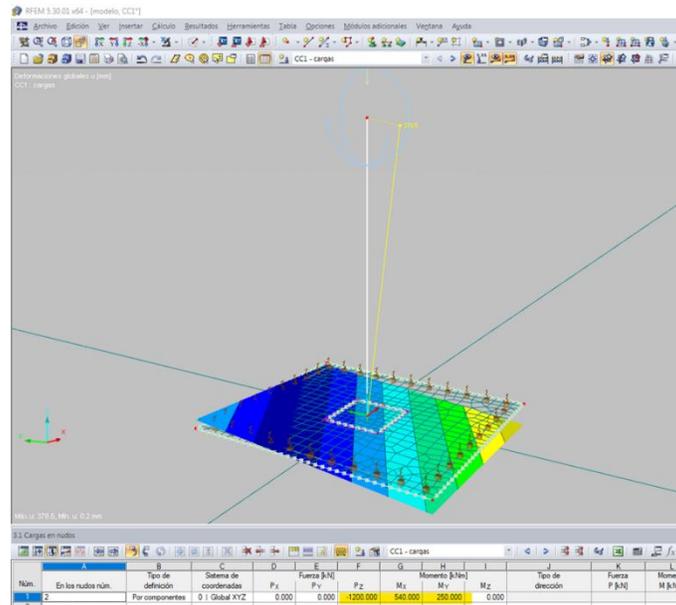


Figura 18 Comprobación caso 5 en rfem (Fuente elaboración propia)

Una vez analizados los casos y haber comprobado en los 3 diferentes métodos de programación procedemos a desarrollar el código en Matlab para llegar a los cálculos para entrar a la etapa de diseño.

Definimos los parámetros para las columnas definiendo el valor de alfa donde para columnas interiores el valor de alfa es de 40 para columnas de borde el valor de alfa es de 30 y para columnas esquinera el valor de alfa es de 20 como lo indica en la norma sismo resistente (NSR-10 C.11.11.2). Procedemos a ejecutar el código en el caso c donde se pudo evidenciar que la zapata tiene un área de contacto del 100%

Procedemos a presentar en el caso C cimentación rígida rectangular con la zapata de base de LX=1.5m y LY=1,7m sometidos a la acción de una fuerza de compresión P=1200 kN y dos flexiones positivas momentos Mx=100 kNm y My=80 kNm con una excentricidad de cero ubicando la columna en todo el centro de la zapata, la excentricidad se puede evidenciar en el código resaltado en amarillo al iniciar el código y los valores de momentos y carga son los siguientes valores también resaltados.

Código en Matlab

```
clear
close all
exad=0;
```

```

eyad=0;
P=1200;
%Mx=500;My=560;%%A3%
%Mx=150;My=200;%%B3
Mx=100;My=80;%%C3
%Mx=250;My=520;%%D3
%Mx=540;My=250;%%E3

lx=1.5;
ly=1.7;
Lxx=1;
Lyy=1;
d=0.43;
fpc= 21;
fy=420;
clx=0.40;
cly=0.40;
Lxx=lx/2-clx/2;
Lyy=ly/2-cly/2;
bo=(clx+d)*2+(cly+d)*2;
alfas=40;
beta=max([clx,cly])/min([clx,cly]);%(C.11-31)
[Po,Pp,Pr,Pq,xyarea,xyQ,AREA,Mxa,Mya,Vx,Vy,Asx,Asy,Vc1,Vc2,Vc3,pusuV]=zapatas(P,Mx,My
,lx,ly,Lxx,Lyy,d,fpc,fy,bo,beta,alfas);
%perimetro zapata
xy=[-lx/2,-ly/2;
    -lx/2,ly/2;
    lx/2,ly/2;
    lx/2,-ly/2;
    -lx/2,-ly/2];
% perimetro columna
cxy=[-clx/2+exad,-cly/2+eyad;
    -clx/2+exad,cly/2+eyad;
    clx/2+exad,cly/2+eyad;
    clx/2+exad,-cly/2+eyad;
    -clx/2+exad,-cly/2+eyad];
plot(xy(:,1),xy(:,2)), grid on, hold on;
plot(cxy(:,1),cxy(:,2)), grid on, hold on;
fill(cxy(:,1),cxy(:,2),'k'), grid on, hold on;
alpha(0.2)
[b1,c1,b2,c2,b3,c3,b4,c4]=limites_zapata(lx,ly);
plot(b1,c1,'-r',b2,c2,'-r',b3,c3,'-b',b4,c4,'-b','LineWidth',2),grid on;%,b1,c1,b,-
c,b1,-c1,c,b,c1,b1,c,-b,c1,-b1);
%plot(ex,ey,'*r')
%xlim([-lx/2 lx/2])
%ylim([-ly/2 ly/2])
ex=abs((Mx)./P);
ey=abs(My/P);
plot(ex,ey,'*b'), grid on, hold on;
plot(xyarea(:,1),xyarea(:,2),'k','LineWidth',2)

Q(1,:)=[Po,Pp,Pq];
xQ(1:)=xyQ(:,1)';
yQ(1:)=xyQ(:,2)';
[M,I] = max(Q,[],1);

```

```

x1=xQ(I(1),1);
x2=xQ(I(1),2);
x3=xQ(I(1),3);
y1=yQ(I(1),1);
y2=yQ(I(1),2);
y3=yQ(I(1),3);
z1=Q(I(1),1);
z2=Q(I(1),2);
z3=Q(I(1),3);
graficar(x1,y1,z1,x2,y2,z2,x3,y3,z3,lx,ly)
MVA(i,:)=[Mx,My,Vx,Vy,Asx,Asy,Vc1,Vc2,Vc3,pusuV];
%axis equal

```

Arrojando lo siguientes resultados.

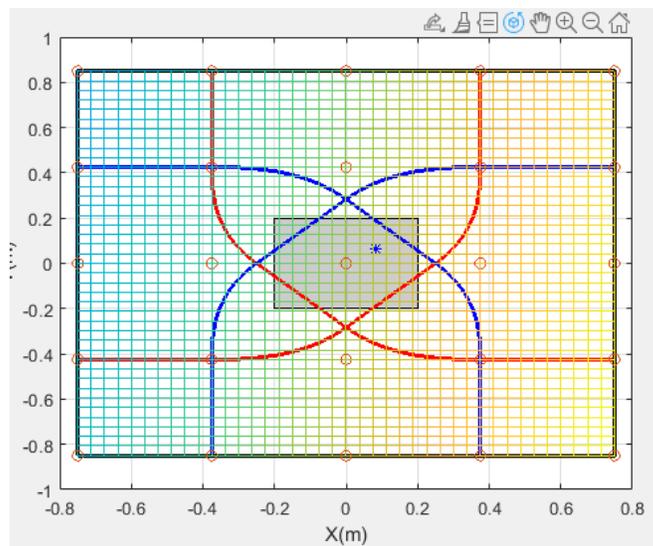


Figura 19 Comprobación caso C en Matlab (Fuente elaboración propia)

Evidenciado en la figura que la columna esta centrada en la zapata y mostrando el área del contacto con el suelo del 100% de la zapata. Teniendo como resultado del acero, acero en x de 13.09 cm² Y acero en y de 15.847 cm² y mostrando el valor el alfa de 40 para columnas centrada valores mostrados en la figura 20 a continuación

Name ▲	Value
alfas	40
AREA	2.5500
Asx	13.0983
Asy	15.8476

Figura 20 tabla arrojada por Matlab (Fuente elaboración propia)

6. Conclusión

Una vez se realizó el código en Matlab y haberse comparado con otros métodos de programación evidenciamos el correcto funcionamiento del código ya que, en cada uno de los casos estudiados, el código desarrollado arrojó el resultado esperado en la interacción suelo zapata mostrada en el artículo base del estudio de esta monografía.

Se evidencio como al ir variando los momentos en x, y va variando el área de contacto de la Superficie del suelo con la zapata en los 5 casos estudiados, dando como resultado el aumento de sección de la zapata para mejorar el área de contacto.

Se evidencio el correcto funcionamiento del código al arrojar las dimensiones y refuerzos adecuados ya que estos son aspectos fundamentales de la zapata. Un análisis adecuado de estos factores permite diseñar una zapata segura, que evita el sobreesfuerzo y posibles fallos como el punzonamiento.

Se determino para cada caso estudiado un diagrama de excentricidad por zapata, como una herramienta cualitativa muy practica para predeterminar la forma de distribución de la presión del suelo y la deformación de la zapata esperada.

El enfoque presentado en el código es aplicable a una variedad de zapatas rectangulares, independientemente de la excentricidad de las cargas. Esto incluye zapatas con columnas excéntricas, centrales, de esquina y medianeras, lo que lo convierte en un modelo flexible para diferentes escenarios estructurales.

El código desarrollado nos permite calcular la distribución de la presión del suelo de manera simple y directa, eliminando la necesidad de procedimientos iterativos o soluciones complejas. Esto facilita el análisis estructural de zapatas rígidas y mejora la precisión en la determinación de las fuerzas que actúan sobre el suelo.

7. Recomendaciones

Sería recomendable ampliar el número de casos prácticos utilizados para validar la formulación propuesta, considerando diferentes tipos de suelos (suelos cohesivos, granulares, etc.) y condiciones de carga. Además, la inclusión de estudios experimentales podría fortalecer la confianza en la precisión del código.

Aunque el código es aplicable a zapatas rectangulares rígidas, sería útil explorar su adaptabilidad para otros tipos de cimientos, como zapatas circulares o zapatas combinadas, y evaluar si la metodología puede generalizarse para estos casos sin perder eficiencia computacional.

Sería interesante desarrollar el método para abordar condiciones de carga más complejas, como cargas dinámicas o sísmicas, que no fueron directamente tratadas. La aplicabilidad a estas situaciones complejas permitiría que la formulación sea utilizada en un espectro más amplio de proyectos de ingeniería.

8. Referencias bibliográficas.

Cervantes, R. 2002. mecánica de suelos aplicada

Bellos, J & Bakas, N. (2016). HIGH COMPUTATIONAL EFFICIENCY THROUGH GENERIC ANALYTICAL FORMULATION FOR LINEAR SOIL PRESSURE DISTRIBUTION OF RIGID SPREAD RECTANGULAR FOOTINGS. ECCOMAS Congress 2016 VII European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering.

Terzaghi, K. (1943). Theoretical Soil Mechanics. John Wiley & Sons, Inc.

Bellos, J & Bakas, N. (2017) Complete Analytical Solution for Linear Soil Pressure Distribution under Rigid Rectangular Spread Footings.

Das, B. M. (2010). Principles of Foundation Engineering. Cengage Learning.

Holtz, R. D., Kovacs, W. D., & Sheahan, T. C. (2011). An Introduction to Geotechnical Engineering. Prentice Hall.

Hibbeler, R. C. (2011). Mechanics of Materials. Prentice Hall.

Coduto, D. P. (2001). Foundation Design: Principles and Practices. Prentice Hall.