

**DESARROLLO SOFTWARE PARA EL DISEÑO DE CIMENTACIONES
SUPERFICIALES
DISCI 1.0 (DISEÑO DE CIMENTACIONES)**

DANIEL GUERRERO NARANJO

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2011

**DESARROLLO SOFTWARE PARA EL DISEÑO DE CIMENTACIONES
SUPERFICIALES
DISCI 1.0 (DISEÑO DE CIMENTACIONES)**

DANIEL GUERRERO NARANJO

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
INGENIERO CIVIL

Director

ALVARO REY SOTO

Ingeniero Civil

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2011

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	11
1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	12
1.1. TITULO	12
1.2. OBJETIVOS	12
1.2.1. Objetivo General	12
1.2.2. Objetivos Específicos	12
1.3. JUSTIFICACIÓN	13
1.3.1. Descripción del Problema	13
1.3.2. Impacto	14
2. MARCO TEÓRICO	15
2.1. GENERALIDADES DE LAS CIMENTACIONES.	15
2.2. CIMENTACIONES SUPERFICIALES	16
2.2.1. Procedimiento Para El Diseño Y Construcción De Una Cimentación Superficial	16
3. ZAPATAS AISLADAS PARA COLUMNAS CENTRALES	18
3.1. ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA ZAPATA	20
3.1.1. Área de la Zapata	21
3.1.2. Espesor de la Zapata	22
3.2. EJEMPLO:	28
3.3. SOLUCIÓN DEL PROBLEMA UTILIZANDO DISCI 1.0	38
4. ZAPATAS AISLADAS PARA COLUMNAS PERIMETRALES	45
4.1. EJEMPLO:	46

4.1.1. Predimensionamiento del Cimiento:	47
4.1.2. Determinación de la Altura de la Losa	48
4.1.3. Refuerzo en Las Zapatas	52
4.1.4. Diseño Viga de Contrapeso:	54
4.2. SOLUCIÓN DEL PROBLEMA UTILIZANDO DISCI 1.0	55
5. ZAPATA COMBINADA	61
5.1. EJEMPLO ZAPATA COMBINADA UTILIZANDO DISCI 1.0	62
6. ZAPATAS SOMETIDAS A DOBLE EXCENTRICIDAD	68
7. ZAPATA RETRANQUEADA	70
8. ZAPATA CORRIDA CON VOLADIZOS	72
9. MANTENIMIENTO	74
10. REQUERIMIENTOS DE HARDWARE	75
11. CONCLUSIONES	76
12. BIBLIOGRAFÍA	77

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Zapata Céntrica	18
Figura 2. Alto y Vuelo de una Zapata	19
Figura 3. Zapata Rectangular	20
Figura 4. Sección Crítica por Punzonado	23
Figura 5. Sección crítica para cortante en una dirección	25
Figura 6. Sección crítica para diseño a flexión	26
Figura 7. Zapata céntrica sometida a momento alrededor de un eje.	29
Figura 8. Sección Crítica a Cortante de Zapata sometida a momento	31
Figura 9. Reacciones en la sección crítica a cortante en una dirección	32
Figura 10. Sección crítica por punzonamiento	33
Figura 11. Sección resistente al aplastamiento	34
Figura 12. Sección crítica a flexión	36
Figura 13. Detalle refuerzo zapata céntrica	38
Figura 14. Ventana principal de DISCI 1.0	39
Figura 15. Botones para ingreso de datos del programa	39
Figura 16. Ventana para ingreso de parámetros del suelo	40
Figura 17. Ventana para predimensionamiento y ventana de cargas	41
Figura 18. Ventana para ingreso de propiedades de materiales	42
Figura 19. Diagrama de momento y cortante zapata céntrica	43
Figura 20. Ventana de la altura efectiva de la zapata céntrica	43
Figura 21. Esquema del refuerzo inferior del programa	44
Figura 22. Esfuerzos y resistencia del suelo y el cimiento	44
Figura 23. Zapata Excéntrica	45
Figura 24. Dimensiones zapata excéntrica	46
Figura 25. Idealización de la zapata excéntrica y viga de contrapeso	47

Figura 26.Secciones críticas a cortante en las zapatas céntricas y excéntrica	49
Figura 27.Refuerzo en la zapata céntrica y excéntrica	52
Figura 28.Detalle refuerzo zapatas céntrica y excéntrica	54
Figura 29.Ingreso de parámetros del suelo de la zapata excéntrica	56
Figura 30.Ventana para el ingreso de cargas	56
Figura 31.Ventana de predimensionamiento de la zapata excéntrica	57
Figura 32.Diagrama de momento y cortate de la viga de contrapeso	58
Figura 33.Ventana de la altura efectiva de la zapata excéntrica	58
Figura 34.Cuadro de refuerzo inferior de la zapata excéntrica	59
Figura 35.Cuadro de refuerzo inferior de la zapata céntrica	59
Figura 36.Ventana de diseño de la viga de contrapeso	60
Figura 37.Zapata combinada rectangular	61
Figura 38.Cargas de la zapata combinada del ejemplo	62
Figura 39.Ventanas de ingreso de párametros del suelo y cargas	63
Figura 40.Ventana de predimensionamiento de la zapata combinada	64
Figura 41.Diagrama de momento y cortante de la zapata combinada	65
Figura 42.Ventana de la altura efectiva de la zapata combinada	65
Figura 43.Esquema del refuerzo inferior de la zapata combinada	66
Figura 44.Esquema del refuerzo superior	67
Figura 45. Zapata Sometida a Doble Excentricidad	68
Figura 46.Diagrama de cuerpo libre zapata de esquina	69
Figura 47. Zapata Retranqueada	70
Figura 48.Dimensiones de la zapata retranqueada	70
Figura 49.Diagrama de momento y cortante de la viga	71
Figura 50.Zapata corrida con voladizos	72
Figura 51.Cargas zapata corrida con voladizos	73

RESUMEN

Título: DESARROLLO SOFTWARE PARA EL DISEÑO DE CIMENTACIONES SUPERFICIALES - DISCI 1.0 (DISEÑO DE CIMENTACIONES)*

Autor: DANIEL GUERRERO NARANJO**

Palabras claves: zapata, cimentación superficial, viga de contrapeso, cimentación rígida.

Descripción:

DISCI 1.0 es una herramienta software que permite el diseño estructural de algunas cimentaciones superficiales de concreto reforzado según el REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE NSR-10, más usadas en la ciudad de Bucaramanga. Con la ayuda de este programa se pueden realizar el análisis y el diseño estructural bajo el método de cimentaciones rígidas, de zapatas céntricas, zapatas excéntricas con viga de contrapeso, zapatas sometidas a doble excentricidad con vigas de contrapeso, zapatas combinadas, zapatas retranqueadas, y zapatas corridas con voladizo.

Este programa es de fácil manejo y le permite al estudiante optimizar el diseño de estos tipos de cimentaciones, y que a su vez apoya el proceso de aprendizaje del diseño de estos elementos estructurales.

Este software se desarrolló en Visual C# 2008 Express, y le permite al usuario interactuar con el programa de una forma sencilla, en un proceso paso a paso, utilizando ventanas de dialogo, cuadros de mensajes y gráficas de los análisis realizados por el programa.

La herramienta software cumple con los objetivos trazados y los requisitos pactados en el inicio del proyecto, los cuales buscaban optimizar y sistematizar el diseño de estos tipos de elementos estructurales y así los usuarios pudieran tomar mejores decisiones.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ciencias Físico-Mecánicas, Ingeniería Civil, Director: Ing. Álvaro Rey Soto

ABSTRACT

Title: DEVELOPING OF SOFTWARE TO THE DESIGN OF SUPERFICIAL FOUNDATIONS – DISCI 1.0 (DESIGN OF FOUNDATIONS)*.

Author: DANIEL GUERRERO NARANJO**

Key words: foundation footing, superficial foundation, counterbalance rafter, hard foundation.

Description:

DISCI 1.0 is a software tool that let the structural design of some superficial foundations of strengthened cement according whit the REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE NSR – 10, more used in Bucaramanga city. The analysis and structural design can be done whit the help of this program by the hard foundations method, centric footing, excentric footings with counterbalance rafter, footings under press of double excentric with counterbalance rafter, combined footings, moved footings with projecting.

This program is easy to manage and let the student to optimizer the design of this kind of foundations, and in the same way support the learning process about the design of this structural elements.

The software was developed in visual C# 2008 Express, and let the user to interact in an easy way with the program in step by step process, using dialogue windows, messages squares and analysis graphs done by the program.

The software tool fulfill the set goals and the covenant requirements at the beginning of the project, they look for optimize and systematize the design of this kinds of structural elements and in this way the users can take the best decisions.

The software was developed in visual C# 2008 Express, and let the user to interact in an easy way with the program in step by step process, using dialogue windows, messages squares and analysis graphs done by the program.

* Degree work

** Faculty of engineering physical mechanics. School of civil engineering, director: Ing. Álvaro Rey Soto

INTRODUCCIÓN

Gracias a la tecnología nuestro mundo a alcanzado niveles de desarrollo en muy corto tiempo como nunca antes se había visto y tal tendencia continua en aumento, este trabajo surge de la idea de que la ingeniería es una profesión enfocada a resolver los problemas de la sociedad con ingenio apoyándose en la ciencia y la tecnología.

Pero cada problema tiene varias soluciones, y a los ingenieros se nos ha encomendado la tarea de proponer la solución más óptima, conveniente, fácil de ejecutar y económica. Disci 1.0 es un programa que busca encontrar la mejor solución a la hora de diseñar una cimentación superficial de una forma fácil y rápida.

Este programa es de fácil manejo, que pretende ser una herramienta para el diseño de cimentaciones superficiales que le permitan a los estudiantes de ingeniería civil y a profesionales dedicados al diseño estructural buscar la mejor solución, ahorrando tiempo, el cual se gastarían en procesos repetitivos, largos y tediosos.

Disci 1.0 permite el diseño de las cimentaciones superficiales más utilizadas en la ciudad de Bucaramanga basado en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10), y que pretende en el futuro abarcar el diseño de otros tipos de cimentaciones no contempladas en este proyecto inicial.

1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1.1. TITULO

DESARROLLO SOFTWARE PARA EL DISEÑO DE CIMENTACIONES SUPERFICIALES DISCI 1.0 (DISEÑO DE CIMENTACIONES)

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo General

Desarrollar un software que permita el análisis y el diseño de algunas cimentaciones superficiales en estructuras de concreto reforzado más utilizadas en el país teniendo en cuenta las especificaciones DEL REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE NSR-10.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Desarrollar una herramienta software que permita el análisis y posterior diseño de cimentaciones superficiales como lo son zapatas céntricas, zapatas excéntricas con viga de contrapeso, zapatas con doble excentricidad con vigas de contrapeso, zapatas combinadas, zapata retranqueada, zapata corrida con voladizos.
- Determinación automática de los aceros requeridos en las vigas de contrapeso teniendo en cuenta las especificaciones de la NSR-10.

- Reforzar los conocimientos y proporcionar una herramienta para la realización de proyectos en la materia de hormigón armado 2 así como también en proyectos diferentes al ámbito académico.
- Facilitar el análisis y el diseño de cimentaciones superficiales con mayor énfasis hacia la parte conceptual para obtener unos diseños más apropiados con el posterior ahorro de tiempo.

1.3. JUSTIFICACIÓN

1.3.1. Descripción del Problema

Antiguamente el ingeniero civil invertía más tiempo en la realización de procesos repetitivos muy tediosos para obtener un resultado final con el agravante de posibles errores en el procedimiento y no en el problema en sí, con el uso cada vez más frecuente de los computadores, estos procesos repetitivos se los dejaron a la maquina y con este ahorro de tiempo se empezó a buscar la solución más optima en los diseños variando los diferentes parámetros y buscando la solución más conveniente.

En la actualidad existen programas especializados en el cálculo de estructuras que permiten el diseño de los diferentes elementos que componen la estructura casi de forma automática, estos generalmente nos permiten diseñar las vigas, columnas y/o muros que conforman la estructura pero la mayoría de estos programas no permiten el cálculo de la estructura de cimentación, tal es el caso que empresas grandes dedicadas al diseño realizan los cálculos de las cimentaciones manualmente.

En el mercado se pueden encontrar software para el diseño de cimentaciones pero estos son muy costosos, generalmente de difícil manejo, y además están adaptados a las normativas de los países donde fueron desarrollados y tienen un alcance muy limitado y muchas veces no pueden darle solución a problemas muy específicos.

Es así como nace la idea de crear DISCI 1.0, que es un software para el análisis y diseño de cimentaciones superficiales (ya que son estas las más utilizadas en las cimentaciones de la ciudad de Bucaramanga y su área metropolitana) que está basado en las normas del REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCION SISMO RESISTENTE NSR-10, con lo cual se pretende mitigar estas deficiencias en el desarrollo tecnológico con respecto a una parte fundamental de la estructura como lo son la cimentación.

1.3.2. Impacto

El desarrollo de este software está encaminado al fortalecimiento de los conocimientos aprendidos en la asignatura de hormigón armado 2, y tiene una ventaja frente a otros programas existentes ya que está adaptado a la nueva norma NSR-10 que ha tenido cambios importantes de la forma como se diseñaban y construían las edificaciones en Colombia.

Este software es de uso académico y pedagógico con herramientas de bajo costo que pretende ser accesible a los estudiantes que no tiene la posibilidad de adquirir programas costosos que se encuentran en el mercado, y que no pretende que los estudiantes vean el diseño de cimentaciones como el manejo de un programa nada mas si no que vean este programa como una herramienta que les permitirá desarrollar sus proyecto en el menor tiempo posible aplicando los conocimientos aprendidos en clase.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. GENERALIDADES DE LAS CIMENTACIONES.

Se entiende por cimentación a todos los parámetros que el ingeniero tiene que tener en cuenta para proporcionarle un apoyo seguro y económico a la estructura, en otras palabras la cimentación hace referencia tanto al suelo sobre el cual se apoya la estructura como al elemento o elementos encargados de transmitir las cargas, este elemento es denominado cimiento.

El cimiento es la parte de la estructura encargada de transmitir todas las cargas actuantes de la estructura al terreno, generando en este un sistema de esfuerzos que puedan ser resistidos con seguridad sin producir asentamientos o con asentamientos tolerables, debido a la gran rigidez de la estructura en comparación con el terreno, el cimiento posee casi siempre una gran área en planta para poder distribuir y disminuir los esfuerzos que se le van a transmitir al terreno.

En todos los proyectos de cimentación el objetivo primordial es evitar que se presenten asentamientos excesivos, que pueden generar sobreesfuerzos en la estructura para los cuales no fue diseñada y que puedan dificultar sus funciones o dañarla parcial o totalmente. En la mayoría de los casos lo mas critico no es el asentamiento total, sino mas bien el asentamiento diferencial o movimiento relativo de dos partes diferentes de la estructura, estos asentamientos diferenciales además pueden lograr que la estructura rote alrededor de un plano horizontal llevando la estructura al colapso.

Las cimentaciones se clasifican dependiendo de la profundidad del suelo en el cual se apoyan, si el estrato de suelo se encuentra cerca a la superficie se

denominan cimentaciones superficiales y en caso contrario se llamaran cimentaciones profundas.

2.2. CIMENTACIONES SUPERFICIALES

Cuando el suelo en las zonas inmediatamente inferior a la estructura o muy cercana a ella presenta una capacidad portante relativamente buena, es posible cimentar en este suelo. Este tipo de cimentaciones las llamamos “cimentaciones superficiales” o “cimentaciones directas “. Las cimentaciones superficiales están constituidas por zapatas, vigas, muros y placas, ó por combinación de estos elementos; caso contrario que no se encuentre un suelo competente cerca a las proximidades de la estructura se recurre a cimentaciones profundas.

2.2.1. Procedimiento Para El Diseño Y Construcción De Una Cimentación Superficial

La NSR10 dice que toda edificación debe soportarse sobre el terreno en forma adecuada para sus fines de diseño, construcción y funcionamiento. En ningún caso puede apoyarse sobre la capa vegetal, rellenos sueltos, materiales degradables o inestables, susceptibles de erosión, socavación, licuación o arrastre por aguas subterráneas. La cimentación se debe colocar sobre materiales que presenten propiedades adecuadas en términos de resistencia y rigidez, o sobre rellenos artificiales, que no incluyan materiales degradables, debidamente compactados.

En el diseño de toda cimentación se deben considerar tanto los estados límite de falla, del suelo de soporte y de los elementos estructurales de la cimentación, como los estados límites de servicio. Los edificios se deben diseñar empotrados en su base para que los esfuerzos se transmitan en forma adecuada a la

cimentación En los cálculos se tendrá en cuenta la interacción entre los diferentes elementos de la cimentación de la estructura y de las edificaciones vecinas, como analizar si hay superposición de bulbos de carga, los efectos de los sótanos, las excentricidades de los centros de gravedad y de cargas que en conjunto se ocasionan.

Para el diseño de una cimentación superficial se sugieren los siguientes pasos:

- Calcular las cargas de servicio o reales que la estructura le transmitirá al suelo para el predimensionamiento de los cimientos.
- Determinar la profundidad mínima de cimentación en cada sector del lote de acuerdo a los estudios de suelos teniendo especial cuidado de la presencia del nivel freático y no solamente su posición si no también hay que tener en cuenta sus fluctuaciones en las diversas estaciones del clima, y así poder determinar los métodos para abatirlo.
- Determinar si es necesario proteger la excavación con algún muro o pantalla que eviten el desprendimiento del terreno.
- Determinar si hay peligro que las construcciones vecinas puedan presentar daños y determinar las medidas para mitigar tales efectos.
- Con base en la capacidad del suelo de soporte, determinar el tipo de cimentación y calcular el tamaño de cada cimentación.
- Calcular cuánto se asentaría el edificio terminado y determinar si los asentamientos serian uniformes o diferenciales.
- Verificar que los asentamientos no sobrepasen los máximos permitidos si es necesario redimensionar los cimientos para disminuir los asentamientos.
- Diseñar estructuralmente los cimientos.

3. ZAPATAS AISLADAS PARA COLUMNAS CENTRALES

Figura 1. Zapata Céntrica

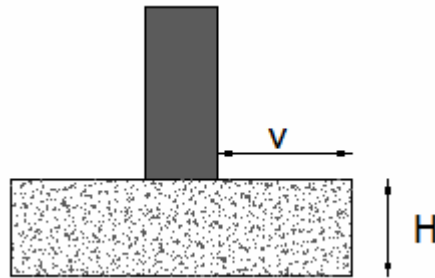


Fuente: Roberto Rochel Awad, Hormigón Reforzado Tomo II.

Para la cimentación de una estructura con una buena capacidad de soporte del suelo la mejor solución es la utilización de zapatas aisladas cuadradas. Desde el punto de vista estructural se analiza, como una placa con voladizos simples en dos direcciones sometidos a una carga uniforme hacia arriba que corresponde a la reacción del terreno, este análisis conduce a un refuerzo perpendicular entre sí, que se colocará paralelo a los bordes de la zapata.

Las cargas que transmiten las zapatas al suelo, generan una distribución de presiones muy compleja, que depende de muchas variables tales como la rigidez de la zapata y de las características tensión-deformación del suelo. Con el objetivo de darle suficiente rigidez al elemento de fundación y que prácticamente sea indeformable, se recomienda un valor máximo de $V/H = 3$.

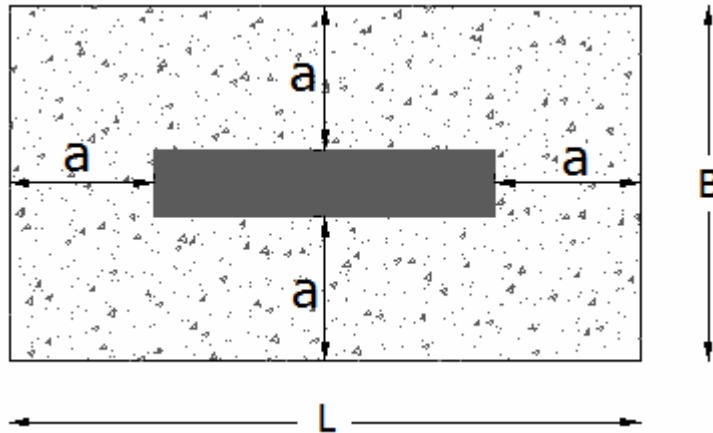
Figura 2. Alto y Vuelo de una Zapata



Cuando una zapata aislada esta cargada axialmente y el elemento es lo suficientemente rígido, se puede asumir que la distribución de presiones del suelo es uniforme, y si además de la carga axial, la zapata aislada esta sometida a momento, o la carga tiene una excentricidad, puede hacerse una aproximación suponiendo una distribución lineal de presiones, que resulta de aplicar la ley de Navier a la sección de contacto (esta ley es valida solo cuando la excentricidad $e = M/P$ es menor a un sexto).

Los diseños arquitectónicos tratan de disimular la presencia de las columnas haciéndolas rectangulares y escondiéndolas en los muros, en este caso la zapata debe ser rectangular y la más económica es aquella que tiene voladizos iguales.

Figura 3. Zapata Rectangular



3.1. ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA ZAPATA

Las zapatas son diseñadas para transmitir al suelo las cargas de las columnas satisfaciendo los requisitos mínimos de seguridad que exige la NSR-10.

En el diseño deben considerarse:

- El área de la zapata debe basarse en la capacidad de soporte del suelo.
- Cortante en dos direcciones (Punzonamiento).
- Cortante en una dirección (comportamiento como viga).
- Momentos flexionantes y requisitos del acero de refuerzo.
- Presión de contacto de la columna en su unión con la zapata.
- Refuerzo que debe pasar la unión columna-zapata.
- Longitudes de desarrollo de las barras longitudinales.

3.1.1. Área de la Zapata

El área de la zapata debe determinarse a partir de las fuerzas y momentos no mayorados transmitidos al suelo, cuidando de no sobrepasar la presión admisible del suelo, la cual debe determinarse mediante principios de mecánica de suelos. Teniendo en cuenta que una estructura se diseña para una combinación de cargas mayoradas generalmente utilizando software especializado, en donde la estructura se idealiza empotrada en su base.

Del programa podemos obtener la reacción axial P_U que cada columna le transmitirá al terreno y los momentos actuantes en las direcciones principales, debido a que la cimentación debe dimensionarse para cargas de servicio muchos ingenieros utilizan el siguiente procedimiento con el fin de simplificar los cálculos.

1. Determinar la relación promedio de cargas mayoradas sobre cargas de servicio llamado factor de carga (F_c).

$$F_c = \frac{\text{Cargas Mayoradas}}{\text{Cargas de Servicio}} \quad [1]$$

2. Obtener una capacidad de carga última del suelo, multiplicando la capacidad admisible del suelo q_a por F_c .

$$q_u = F_c * q_a \quad [2]$$

3. El área de la zapata debe dimensionarse de modo que el esfuerzo último en el suelo (σ_{u_suelo}), generado por las cargas mayoradas, como las transmitidas por la estructura al cimiento, el peso propio del cimiento, más la tierra u otras acciones sobre él, sean menores que q_u .

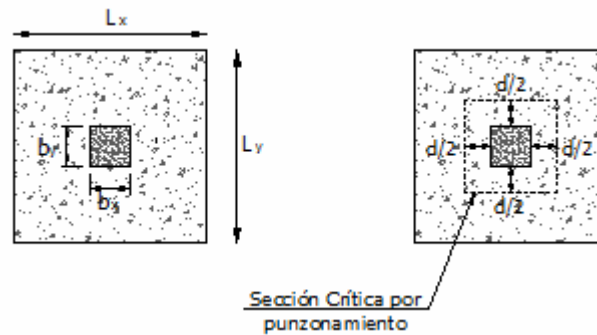
$$\sigma_{u_suelo} = \frac{1.05 * P_u}{L_x L_y} + 1.2\gamma D + \frac{6M_{ux}}{L_x L_y^2} + \frac{6M_{uy}}{L_y L_x^2} \quad [3]$$

Donde L_x y L_y son las dimensiones del cimiento, γ y D son el peso volumétrico promedio y la altura del suelo por encima de la zapata, y P_u , M_{ux} , M_{uy} son las carga y los momentos transmitidos por la estructura al cimiento.

3.1.2. Espesor de la Zapata

3.1.2.1. Revisión por Punzonamiento Una columna sostenida por una zapata tiende a punzonar la losa a causa de los esfuerzos cortantes que actúan en la zapata alrededor del perímetro de la columna. Al mismo tiempo los esfuerzos de compresión concentrados que provienen de la columna se distribuyen en la zapata de modo que el concreto adyacente en la columna queda sometido a una compresión vertical o ligeramente inclinada adicional al cortante. En consecuencia si la falla ocurre, la fractura toma la forma de una pirámide truncada (o de un cono si la columna es circular) con lados que se extienden hacia fuera con un ángulo de inclinación aproximadamente a 45° , el esfuerzo cortante promedio en el concreto que falla de esta manera puede tomarse equivalente al que actúa en planos verticales a través de la zapata y alrededor de la columna sobre un perímetro a una distancia $d/2$ desde las caras de la columna.

Figura 4. Sección Crítica por Punzonado



Fuente: Diseño de estructuras de concreto Arthur H. Nilson.

La fuerza cortante admisible por punzonamiento del concreto (V_c) debe ser el menor entre:

$$\text{a) } \phi V_c = 0.17 \phi \left(1 + \frac{2}{\beta} \right) \sqrt{f'_c} b_0 d \quad [4]$$

$$\text{b) } \phi V_c = 0.083 \phi \left(\frac{\alpha_s d}{b_0} + 2 \right) \sqrt{f'_c} b_0 d \quad [5]$$

$$\text{c) } \phi V_c = 0.33 \phi \sqrt{f'_c} b_0 d \quad [6]$$

b_0 = Perímetro de la sección crítica tomada a $d/2$ de las caras de la columna o pedestal en mm.

d = Altura efectiva de la zapata en mm.

$\phi = 0.75$

$\alpha_s = 40$ sección crítica con cuatro lados

$\alpha_s = 30$ sección crítica con tres lados

$\alpha_s = 20$ sección crítica con dos lados

V_c = Fuerza cortante admisible del concreto en [N].

$$\beta = \frac{\text{Lado largo columna o pedestal}}{\text{Lado corto columna o pedestal}}$$

El procedimiento para encontrar la altura efectiva (d) de la zapata en la que solamente actúa la carga axial es el siguiente:

Se asume un valor inicial de la altura efectiva

Con el valor de “d”, podemos determinar el perímetro de la sección crítica.

$$b_0 = 2(b_x + d) + 2(b_y + d) \quad [7]$$

El esfuerzo cortante promedio que actúa en la sección crítica (V_u) se calcula de la siguiente forma:

$$V_u = \sigma_u (L_x * L_y - (b_x + d)(b_y + d)); \text{ Donde } \sigma_u = \frac{P_u}{L_x * L_y} \quad [8]$$

P_u = Es la carga mayorada transmitida por la columna a la zapata.

Comprobar que:

$\phi V_c \geq V_u$; Si esto no se cumple aumentar el valor de “d” y realizar el proceso hasta que el concreto pueda soportar el cortante por punzonamiento.

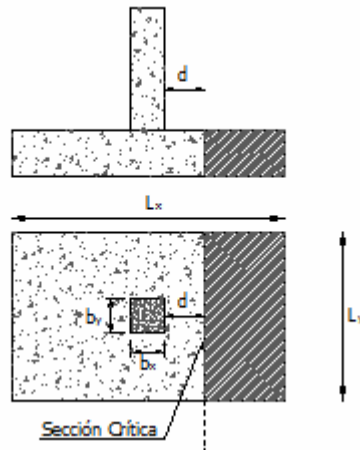
Se calcula el espesor de la zapata (h): $h = d + r + d_b/2$

La NSR-10 exige que se le suministre un recubrimiento mínimo de concreto de 75 mm, por lo tanto se puede asumir que:

$$h = d + 90 \text{ [mm]} \quad [9]$$

3.1.2.2. Revisión del Cortante en una Dirección (Comportamiento Como Viga)

Figura 5. Sección crítica para cortante en una dirección



Para la revisión del cortante en una dirección cada una de las secciones críticas que van a investigarse se extienden en un plano a través del ancho total y este procedimiento debe realizarse de acuerdo con C.11.1 a C.11.4. Para el cálculo de V_u este debe calcularse a una distancia d medida desde la cara de la columna.

Debido a que la resistencia a cortante debe ser resistida por el concreto debemos dimensionar la zapata de modo que se cumpla que $\phi V_c \geq V_u$. La máxima tensión cortante que puede absorber el hormigón (Elementos sometidos únicamente a cortante y flexión):

$$\phi V_c = 0.17 \sqrt{f'_c} b_w d \quad [10]$$

$$V_u = \left(\frac{L_x}{2} - d - \frac{b_x}{2} \right) * L_y * \sigma_u \quad [11]$$

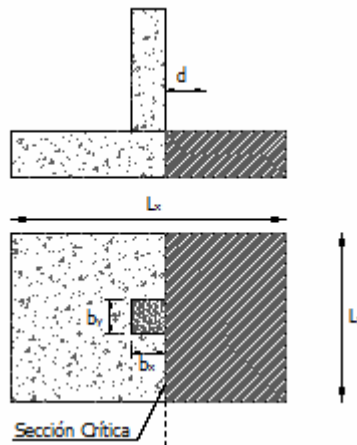
b_w = ancho de la sección en mm.

d = altura efectiva en mm.

$$\phi = 0.75$$

3.1.2.3. Diseño a Flexión El momento máximo mayorado, M_u , se calculará en la sección crítica, para una zapata aislada que soporte una columna, pedestal o muro la sección crítica está ubicada en la cara de la columna, pedestal o muro de concreto.

Figura 6. Sección crítica para diseño a flexión.



3.1.2.4. Acero Requerido por Flexión: Para el cálculo de la resistencia nominal del concreto a flexión, se utiliza la siguiente ecuación que está basada en las leyes de equilibrio y en información experimental (Valido para vigas con altura menor a un cuarto de la luz libre).

$$M_n = \rho f_y b d^2 \left(1 - 0.59 \rho \frac{f_y}{f'_c} \right) \quad [12]$$

$$\phi M_n \geq M_u ; \text{ Donde } M_u = \sigma_u (L_x - b_x) \frac{L_y}{8} \text{ (Según Figura 22.)} \quad [13]$$

$$\rho = \frac{A_s}{b d} \quad [14]$$

$$\frac{M_u}{\phi} = \rho f_y b d^2 - 0.59 \rho^2 f_y^2 \frac{b d^2}{f'_c} \quad [15]$$

$$\frac{M_u}{\phi} = \frac{A_s}{bd} f_y b d^2 - 0.59 \frac{A_s^2}{b^2 d^2} f_y^2 \frac{b d^2}{f'_c} \quad [16]$$

$$(A_s^2) 0.59 \frac{f_y^2}{b f'_c} - (A_s) f_y d + \frac{M_u}{\phi} = 0 \quad [17]$$

$$A_s = \frac{f_y d - \sqrt{f_y^2 d^2 - 4 * 0.59 * \frac{f_y^2}{b f'_c} \left(\frac{M_u}{\phi} \right)}}{2 \left(0.59 \frac{f_y^2}{b f'_c} \right)} \quad [18]$$

$$A_s \geq A_{smin} ; \quad A_{smin} = \frac{0.25 \sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d \geq \frac{1.4 b_w d}{f_y} \quad [19]$$

Para zapatas rectangulares el refuerzo en la dirección larga debe distribuirse uniformemente en el ancho total de la zapata. Para el refuerzo en la dirección corta una porción total, $\gamma_s A_s$, debe distribuirse en forma uniforme sobre una franja (centrada con respecto al eje de la columna o pedestal) cuyo ancho sea igual a la longitud del lado corto de la zapata. El resto del refuerzo requerido en la dirección corta, $(1 - \gamma_s) A_s$, debe distribuirse uniformemente en las zonas que quede fuera de la franja central de la zapata y este refuerzo no debe ser inferior que el acero requerido por retracción y temperatura.

$$\gamma_s = \frac{2}{(1 + \beta)} ; \text{ Donde } \beta = \frac{\text{Lado largo de la zapata}}{\text{Lado corto de la zapata}} \quad [20]$$

Para losas estructurales y zapatas de espesor uniforme, A_{smin} en la dirección de la luz, debe ser el mínimo acero para retracción y temperatura, que para losas donde se emplee barras corrugadas grado 420 o refuerzo electro soldado de alambre, será igual a 0.0018 y que según C.10.5.4 el espaciamiento máximo de este refuerzo no debe exceder 3 veces el espesor de la losa, ni 450mm.

Si el refuerzo solo se necesita por retracción y temperatura la separación del refuerzo no debe exceder de 5 veces el espesor de la losa ni 450mm.

3.1.2.5. Acero Mínimo por Retracción y Temperatura: Se requiere un refuerzo mínimo para retracción y temperatura perpendicular al refuerzo principal para minimizar la fisuración y evitar que el refuerzo principal pueda oxidarse. La cuantía de refuerzo de retracción y temperatura debe ser al menos los valores dados a continuación pero no menos que 0.0014.

a) En losas con barras corrugadas ($f_y \leq 350 MP_a$) $\rho_{min} = 0.0020$

b) Losas con barras corrugadas ($f_y = 420 MP_a$) $\rho_{min} = 0.0018$

c) Losas con acero ($f_y > 420 MP_a$) $\rho_{min} = 0.0018 * \frac{420}{f_y}$

Donde:

$$\rho = \frac{A_s}{bd}$$

A_s = Acero

b = Ancho de la sección

d = Altura efectiva de la sección

3.2. EJEMPLO:

Fuente: El Autor

Diseñar una zapata céntrica, que va a soportar una carga axial ultima de 290 Ton y un momento ultimo alrededor del eje x igual a 40 Ton-m, como muestra la figura 24. Por encima de la zapata habrá 2m de suelo con peso volumétrico promedio de 1.7 Ton/m², factor de carga $F_c = 1.45$, capacidad admisible del suelo 25 Ton/m².

Las barras de mayor diámetro de la columna que llegan a la zapata son barras No 6, y estas deberán estar totalmente desarrolladas por tracción en la interfaz columna-zapata. Para el refuerzo por flexión en la zapata se utilizarán barras No 5.

$$f'_c = 21 \text{ Mpa}$$

$$f_y = 420 \text{ Mpa}$$

$$b_x = 0.50 \text{ m}$$

$$b_y = 0.50 \text{ m}$$

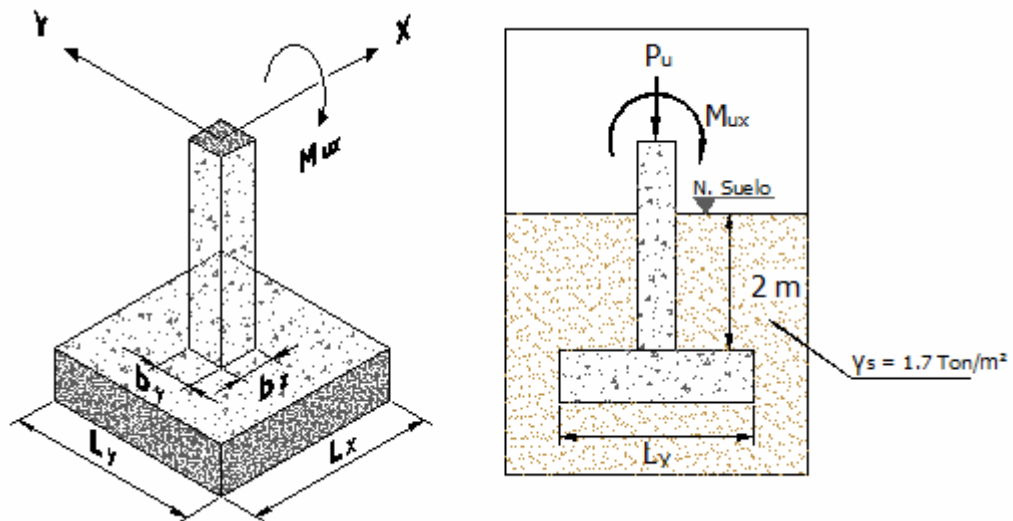
$$q_a = 25 \text{ Ton/m}^2$$

$$F_c = 1.45$$

$$P_u = 290 \text{ Ton/m}^2$$

$$M_{ux} = 40 \text{ Ton} - \text{m} \text{ (momento alrededor del eje x)}$$

Figura 7. Zapata céntrica sometida a momento alrededor de un eje.



$$q_u = F_c * q_a = 1.45 * 25 = 36.25 \text{ Ton/m}^2$$

$$\sigma_{\max_suelo} = \frac{P_{u_total}}{L_x L_y} + \frac{M_{ux} \cdot L_y / 2}{\frac{1}{12} L_x L_y^3} \quad [21]$$

$$P_{u_total} = P_u + \text{Peso Cimiento} + \text{Peso Suelo} \quad [22]$$

$$\text{Peso Cimiento} \approx 0.05 P_u \quad [23]$$

$$P_{u_total} = 290 + 0.05 \cdot 290 + 1.2(2) L_x L_y (1.7) \quad [24]$$

$$\sigma_{\max_suelo} = \frac{304.5}{L_x L_y} + 4.08 + \frac{6 \cdot 40}{L_x L_y^2} \leq 36.25 \text{ Ton/m}^2 \quad [25]$$

Se debe verificar que los esfuerzos producidos en el suelo por las cargas últimas sean menor a q_u .

Diseñaremos una cimentación cuadrada, suponemos unos valores iniciales para

$L_x = L_y$ y comprobamos que se cumpla la ecuación 53,

Para $L_x = L_y = 3 \text{ m}$; $\sigma_{\max_suelo} = 46.80 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}$ (*No cumple*).

Para $L_x = L_y = 3.4 \text{ m}$; $\sigma_{\max_suelo} = 36.53 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}$ por lo tanto las dimensiones serán de $L_x = L_y = 3.5 \text{ m}$.

Cuando se calcula los esfuerzos en el cimiento estos deben ser los que resultan de acciones transmitidas por la estructura al cimiento más las directamente actuantes sobre esta y que no sean uniformemente repartidas. No se deben considerar por tanto ni el peso propio del cimiento ni los rellenos y otras acciones uniformemente repartidas que puedan actuar sobre el cimiento. Ya que las

acciones están en equilibrio con las reacciones que provocan en el contacto suelo-cimiento y no producen por tanto esfuerzos en la pieza.

DETERMINACIÓN DE LA ALTURA ÚTIL DE LA ZAPATA:

La altura de la zapata está determinada por cortante, ya que generalmente no se utilizan estribos por ser antieconómico, no funcionan muy bien en este tipo de elementos y además de difícil armado.

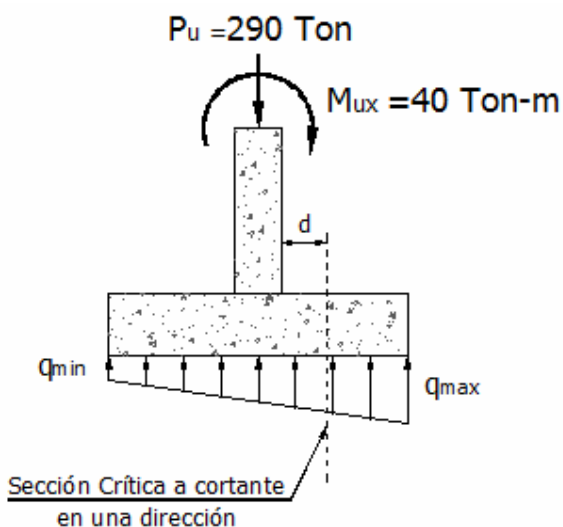
DISEÑO POR CORTANTE EN UNA DIRECCIÓN

Debido a que hay un momento actuando alrededor del eje x, los esfuerzos actuantes en la zapata tendrán una distribución lineal.

$$q_{max} = \frac{P_u}{L_x L_y} + \frac{6M_{ux}}{L_x L_y^2} \quad [26]$$

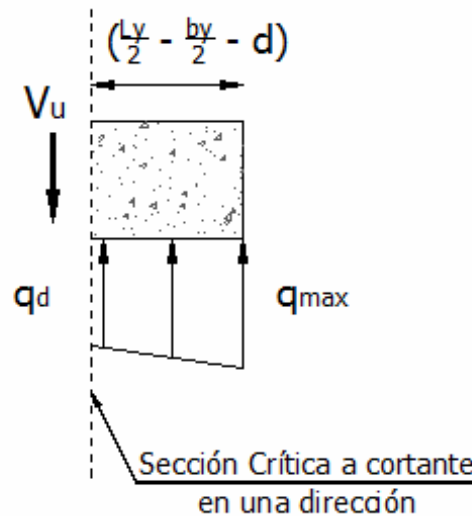
$$q_{max} = \frac{290}{3.5^2} + \frac{6(40)}{3.5^3} = 29.27 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} \quad ; \quad q_{min} = \frac{290}{3.5^2} - \frac{6(40)}{3.5^3} = 18.08 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}$$

Figura 8. Sección Crítica a Cortante de Zapata sometida a momento



Debido que las barras que llegan de las columnas deben estar desarrolladas por tracción, estas se anclaran por medio de gancho estándar para que no nos resulte una altura de zapata demasiado grande, por lo tanto la altura efectiva no podrá ser menor a $\left(\frac{0.24(420)}{\sqrt{21}}\right)0.019 = 0.42 \text{ m}$. Suponemos un valor inicial para $d = 0.44 \text{ m}$, y chequeamos si cumple el diseño o si debemos aumentar el valor de la altura efectiva.

Figura 9. Reacciones en la sección crítica a cortante en una dirección.



$$V_u = \left(\frac{L_y}{2} - \frac{b_y}{2} - d\right) \left(\frac{q_d + q_{max}}{2}\right) L_x \quad [27]$$

$$q_d = \frac{P_u}{L_x L_y} + \frac{M_{ux} \left(\frac{b_y}{2} + d\right)}{\frac{1}{12} L_x L_y^3} \quad [28]$$

$$q_d = \frac{290}{3.5^2} + \frac{40(0.25 + 0.44)}{\frac{1}{12} 3.5^4} = 25.88 \text{ Ton/m}^2$$

$$V_u = 1.06 \left(\frac{29.27 + 25.88}{2}\right) 3.5 = 102.3 \text{ Ton}$$

La resistencia del concreto sería (Ecuación [34]):

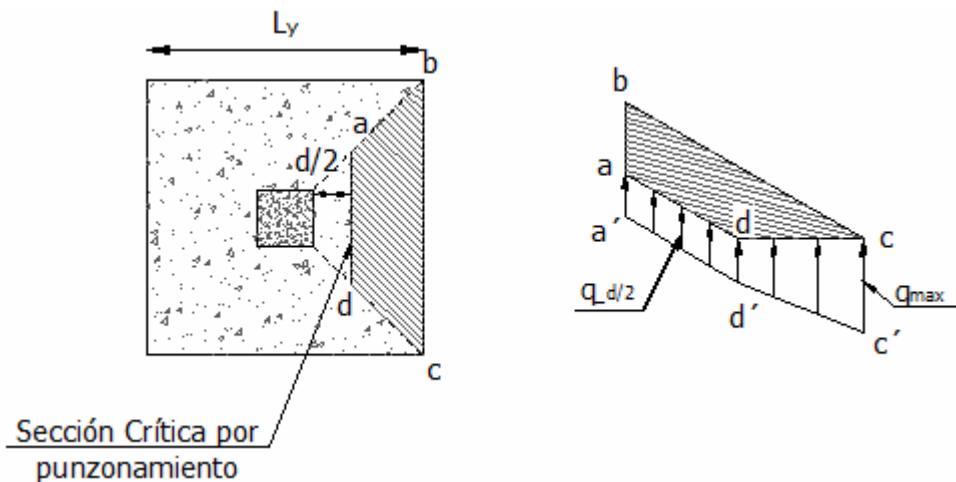
$$\phi V_c = 0.75 * 0.17 * \sqrt{21} * 3500 * 440 = 899.8 \text{ KN}$$

$$\phi V_c = 101.14 \text{ Ton} < 102.3 \text{ Ton} \text{ (Con } d = 0.45 \text{ cumplirá)}$$

DISEÑO POR CORTANTE EN DOS DIRECCIONES (PUNZONAMIENTO)

La sección crítica para cortante en dos direcciones está ubicada a $d/2$ del borde de la columna como muestra la figura 27.

Figura 10. Sección crítica por punzonamiento.



$$q_{d/2} = \frac{P_u}{L_x L_y} + \frac{M_{ux} \left(\frac{b_y}{2} + \frac{d}{2} \right)}{\frac{1}{12} L_x L_y^3} \quad [29]$$

$$q_{d/2} = \frac{290}{3.5^2} + \frac{40(0.25 + 0.225)}{\frac{1}{12} 3.5^4} = 25.19 \text{ Ton/m}^2$$

$$V_u = \frac{1}{2} (b_x + d + L_x) * \left(\frac{L_y}{2} - \frac{b_y}{2} - \frac{d}{2} \right) \left(\frac{q_{d/2} + q_{max}}{2} \right) \quad [30]$$

$$V_u = \frac{1}{2} (4.45) * (1.275) \left(\frac{25.19 + 29.27}{2} \right) = 77.25 \text{ Ton}$$

La resistencia del concreto sería (Ecuación [30]):

$$\phi V_c = 0.75 * 0.33 * \sqrt{21} * (450 * (450 + 500)) = 484.9 \text{ KN}$$

$$\phi V_c = 54.50 \text{ Ton} < 77.25 \text{ Ton (No cumple)}$$

Por lo tanto aumentamos d a 0.57 m, y verificamos nuevamente el cortante.

$$q_{d/2} = \frac{290}{3.5^2} + \frac{40(0.25 + 0.285)}{\frac{1}{12} 3.5^4} = 25.38 \text{ Ton/m}^2$$

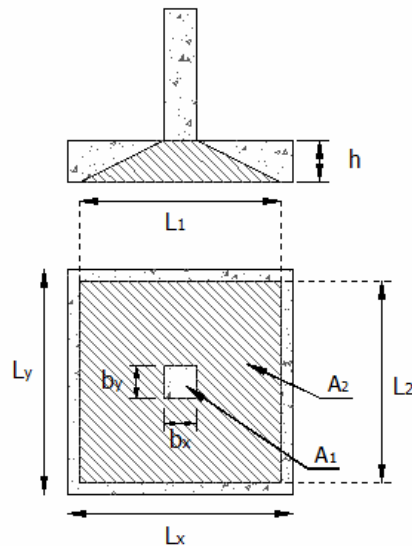
$$V_u = \frac{1}{2}(4.57) * (1.215) \left(\frac{25.38 + 29.27}{2} \right) = 75.86 \text{ Ton}$$

$$\phi V_c = 0.75 * 0.33 * \sqrt{21} * (570 * (500 + 570)) = 691.74 \text{ KN}$$

$$\phi V_c = 77.75 \text{ Ton} > 75.86 \text{ Ton (Cumple)}$$

DISEÑO POR APLASTAMIENTO DEL CONCRETO

Figura 11. Sección resistente al aplastamiento



$$A_1 = b_x b_y ; A_2 = L_1 L_2 \quad [31]$$

$$L_1 = 4h + b_x ; \text{ si } L_1 > L_x \rightarrow L_1 = L_x \quad [32]$$

$$L_2 = 4h + b_y ; \text{ si } L_2 > L_y \rightarrow L_2 = L_y \quad [33]$$

$$L_1 = L_2 = 4(d + 0.09) + b_x = 4 * (0.57 + 0.09) + 0.5 = 3.14 \text{ m}$$

$$A_1 = 500 * 500 = 250000 \text{ mm}^2 ; A_2 = 3140 * 3140 = 9859600 \text{ mm}^2$$

$$\sqrt{\frac{A_2}{A_1}} = \sqrt{\frac{9859600}{250000}} = 6.28 > 2; \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} = 2$$

La carga máxima que puede soportar la zapata se calcula con la formula [46]:

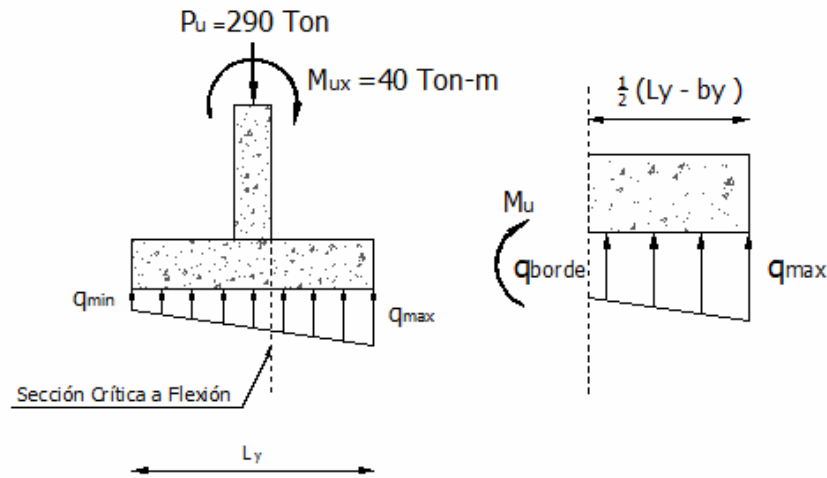
$$P_{max} = 0.65 * 0.85 * 21 * 250000 * 2 = 5801250 \text{ N} \approx 652 \text{ Ton}$$

Como podemos ver la resistencia por aplastamiento no es crítica en este caso ya que supera ampliamente las solicitaciones a las cuales está sometida.

DISEÑO POR FLEXIÓN

Conocida la altura útil, hay que determinar el momento ultimo de diseño (M_u), que para zapatas de concreto las cuales apoyan una columna de concreto, la sección crítica se encuentra en la cara de la columna.

Figura 12. Sección Crítica a flexión.



$$q_{borde} = \frac{P_u}{L_x L_y} + \frac{M_{ux} \left(\frac{b_y}{2}\right)}{\frac{1}{12} L_x L_y^3} \quad [34]$$

$$q_{borde} = \frac{290}{3.5^2} + \frac{40(0.25)}{\frac{1}{12} 3.5^3} = 24.47 \text{ Ton/m}^2$$

$$M_u = q_{borde} \left(\frac{L_x}{2} - \frac{b_y}{2}\right)^2 \frac{L_x}{2} + \frac{1}{3} \left(\frac{L_x - b_y}{2}\right)^2 (q_{max} - q_{borde}) L_x \quad [35]$$

$$M_u = 24.47 \left(\frac{3.5}{2} - 0.25\right)^2 \frac{3.5}{2} + \frac{1}{3} \left(\frac{3.5 - 0.5}{2}\right)^2 (29.27 - 24.47) * 3.5$$

$$= 93.21 \text{ Ton-m}$$

El acero por flexión colocado a lo largo de la dirección \$L_y\$ será:

$$A_{s1} = \frac{420 * 570 - \sqrt{(420 * 570)^2 - 4 * \left(0.59 * \frac{420^2}{3500 * 21}\right) \left(\frac{108.95 * 8896.44 * 1000}{0.9}\right)}}{2 * \left(0.59 * \frac{420^2}{3500 * 21}\right)}$$

$$A_{s1} = 4625 \text{ mm}^2 ; \rho = \frac{4625}{570 * 3500} = 0.0023 > \rho_{min} = 0.0018$$

Ya que no existe momento en la otra dirección podemos utilizar la ecuación [37]:

$$M_x = \left(\frac{290}{3.5^2}\right) * (3.5 - 0.5)^2 * \frac{3.5}{8} = 93.21 \text{ Ton} - m$$

$$A_{s2} = \frac{420 * 570 - \sqrt{(420 * 570)^2 - 4 * \left(0.59 * \frac{420^2}{3500 * 21}\right) \left(\frac{93.21 * 8896.44 * 1000}{0.9}\right)}}{2 * \left(0.59 * \frac{420^2}{3500 * 21}\right)}$$

$$A_{s2} = 3940 \text{ mm}^2 ; \rho = \frac{3940}{570 * 3500} = 0.00197 > \rho_{min} = 0.0018$$

DETALLE DEL REFUERZO

Hallamos el área de una barra No 5:

$$\text{Area de una barra} = \frac{\pi}{4} (\text{diamtro de la barra})^2 \quad [36]$$

Para una barra No 5:

$$\text{Area de una barra} = \frac{\pi}{4} (15.875)^2 = 198 \text{ mm}^2$$

$$N_{barras_a_utilizar} = \frac{A_{s_requerido}}{\text{Area de una barra}} \quad [37]$$

$$\text{Separacion del refuerzo} = \frac{\text{Ancho de la zapata} - 0.15 - db_{zapata}}{N_{barras_a_utilizar} - 1} \quad [38]$$

Para el acero colocado a lo largo de la dirección L_y será:

$$N_{barras_a_utilizar} = \frac{4625}{198} = 23.36$$

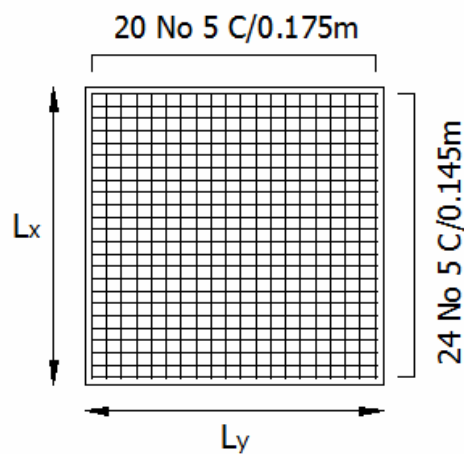
$$\text{Separacion del refuerzo} = \frac{3.5 - 0.15 - 0.016}{24 - 1} = 0.145 \text{ m}$$

Para el acero colocado a lo largo de la dirección L_x será:

$$N_{barras}_{\text{utilizar}} = \frac{3940}{198} = 19.89$$

$$\text{Separacion del refuerzo} = \frac{3.5 - 0.15 - 0.016}{20 - 1} = 0.175 \text{ m}$$

Figura 13. Detalle refuerzo zapata céntrica.



3.3. SOLUCIÓN DEL PROBLEMA UTILIZANDO DISCI 1.0

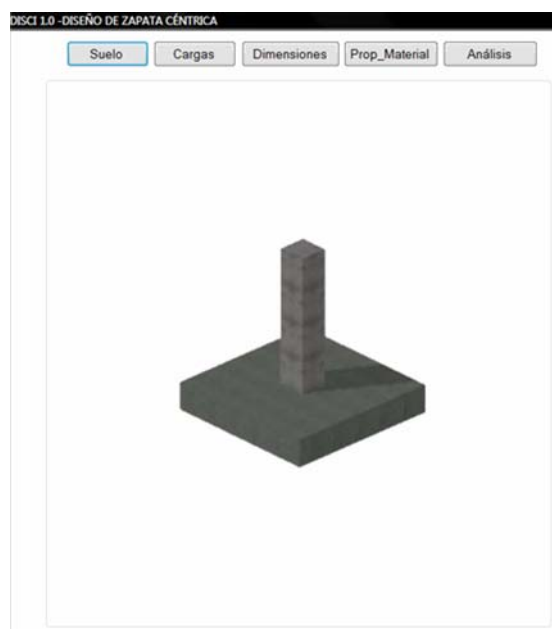
Al ejecutar el programa este abre una ventana principal, donde se muestran varias opciones de diseño (Céntrica, Excéntrica, Combinada, Con doble excentricidad, Retranqueada y Corrida con voladizos) las cuales se pueden visualizar por medio de dos botones de desplazamiento ubicados en la zona inferior derecha.

Figura 14. Ventana principal de DISCI 1.0



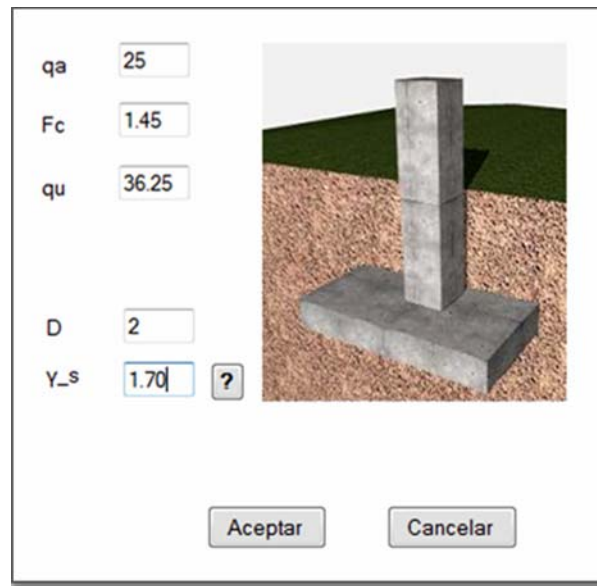
En este caso daremos click en el botón Zapata Céntrica, para que se despliegue la ventana llamada DISCI 1.0-DISEÑO DE ZAPATA CÉNTRICA, en ella podemos encontrar 5 botones en la parte superior izquierda (Suelo, Cargas, Dimensiones, Prop_Material y Análisis) los cuales nos permitirán realizar el ingreso de los datos del problema, el predimensionamiento del cimiento, el análisis y finalmente el diseño definitivo del cimiento.

Figura 15. Botones para ingreso de datos del programa.



Si damos click en el botón Suelo, se nos desplegará una ventana donde nos pedirá que ingresemos los parámetros del suelo como la capacidad admisible (q_a), el factor de carga (F_c), la capacidad admisible ultima estimada (q_u), la altura del suelo sobre la zapata y su peso volumétrico.

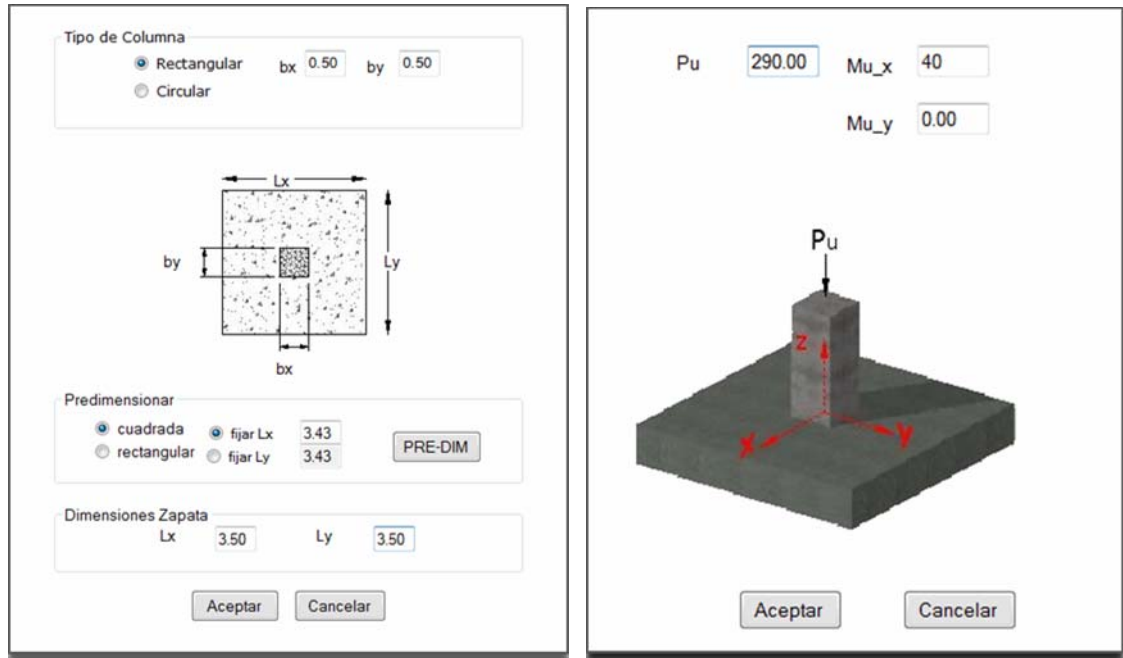
Figura 16. Ventana para ingreso de parámetros del suelo.



Para ingresar las solicitaciones a las cuales está sometida la zapata seleccionamos la opción cargas, donde se nos pedirá que ingresemos las carga mayorada, que le trasmite el pilar a la zapata y los momentos alrededor de los ejes x y y .

El siguiente paso es ir al botón Dimensiones, en donde inicialmente podremos predimensionar la zapata y escoger unas dimensiones iniciales, al final cuando se realice el diseño el programa nos informará si estas dimensiones no cumplen los requisitos de diseño, en tal caso tendremos que volver esta opción y modificar las dimensiones y repetir el proceso hasta que el diseño cumpla.

Figura 17. Ventana para predimensionamiento y ventana de cargas.



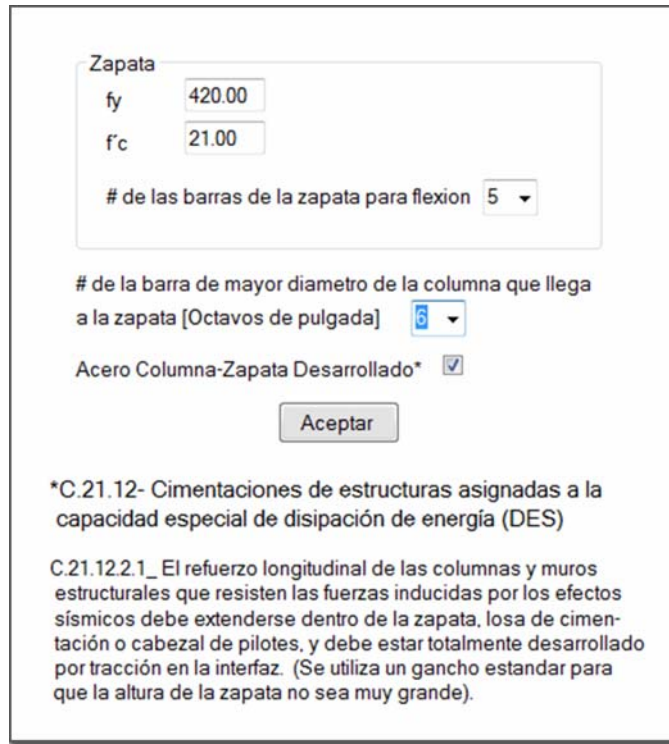
En esta ventana se nos preguntan las dimensiones de la columna, también si deseamos una zapata cuadrada o rectangular (Si escogiéramos la opción rectangular se nos pediría que fijáramos una dimensión), damos click en el botón PRE-DIM y el programa automáticamente nos realizará una estimación de las dimensiones de la zapata, y finalmente en la parte baja nos indica que ingresemos las dimensiones que deseamos que tenga la zapata.

Para nuestro ejercicio el programa calcula unas dimensiones de 3.43 m x 3.43 m, diseñaremos una zapata de 3.50 m x 3.50 m, escribiendo estos valores en la sección “Dimensiones Zapata” y finalmente damos aceptar.

Ahora vamos al botón Prop_Material, se abrirá un cuadro de dialogo donde nosotros podemos ingresar las propiedades de los materiales tales como la resistencia a fluencia del refuerzo y la resistencia especifica a compresión del concreto, el tipo de barra que se utilizará para resistir la flexión, también nos

pregunta el diámetro mayor de las barras de la columna que llegan a la zapata y si queremos que estas barras puedan desarrollarse en la interfaz zapata-columna.

Figura 18. Ventana para ingreso de propiedades de materiales.



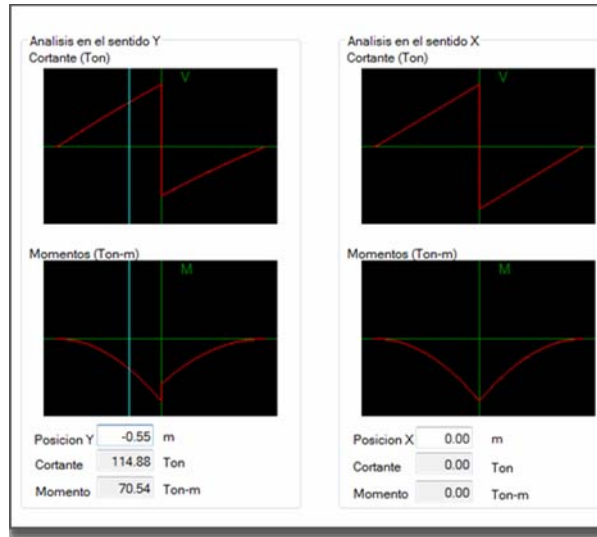
The image shows a software window titled "Zapata" with the following fields and controls:

- fy: 420.00
- f'c: 21.00
- # de las barras de la zapata para flexion: 5 (dropdown menu)
- # de la barra de mayor diametro de la columna que llega a la zapata [Octavos de pulgada]: 6 (dropdown menu)
- Acero Columna-Zapata Desarrollado*:

Below the fields is an "Aceptar" button. At the bottom, there is a note: "*C.21.12- Cimentaciones de estructuras asignadas a la capacidad especial de disipación de energía (DES) C.21.12.2.1_ El refuerzo longitudinal de las columnas y muros estructurales que resisten las fuerzas inducidas por los efectos sísmicos debe extenderse dentro de la zapata, losa de cimentación o cabezal de pilotes, y debe estar totalmente desarrollado por tracción en la interfaz. (Se utiliza un gancho estandar para que la altura de la zapata no sea muy grande)."

Después de ingresados los datos necesarios como lo son los parámetros del suelo, solicitaciones, dimensiones y propiedades de los materiales, daremos click en el botón análisis, el programa calcula los diagramas de momento y cortante a lo largo de las dimensiones principales x y y .

Figura 19. Diagramas de momento y cortante zapata céntrica.



Después realizado el análisis aparecerá un nuevo botón llamado d, este botón es el que nos permitirá calcular la altura efectiva de la zapata, haciendo verificación automática de los cortantes por comportamiento como viga y cortante por punzonado.

Figura 20. Ventana de la altura efectiva de la zapata céntrica.

Altura Efectiva

La altura efectiva mínima (d) será de 0.57 m

d m

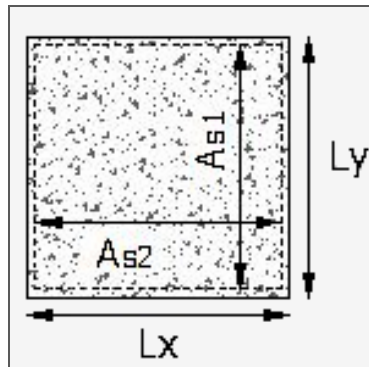
Recubrimiento cm

Dejaremos este valor mínimo de 0.57 m y le damos la opción Diseñar para que el programa haga el diseño automático del refuerzo.

Refuerzo inferior

As1	<input type="text" value="3940.71"/> mm ²	Utilizar 20 #	<input type="text" value="5"/>	Separadas	<input type="text" value="0.18"/> m	ρ ₁ (requerida)	<input type="text" value="0.00198"/>	ρ ₁ (Suministrada)	<input type="text" value="0.00198"/>
As2	<input type="text" value="4625.46"/> mm ²	Utilizar 24 #	<input type="text" value="5"/>	Separadas	<input type="text" value="0.14"/> m	ρ ₂ (requerida)	<input type="text" value="0.00232"/>	ρ ₂ (Suministrada)	<input type="text" value="0.00238"/>

Figura 21 Esquema del refuerzo inferior del programa.



El programa nos muestra el esfuerzo promedio y máximo que se puede presentar en el suelo, los resultados del diseño a cortante como viga y el diseño a cortante por punzonamiento.

Figura 22. Esfuerzos y resistencia del suelo y el cimiento.

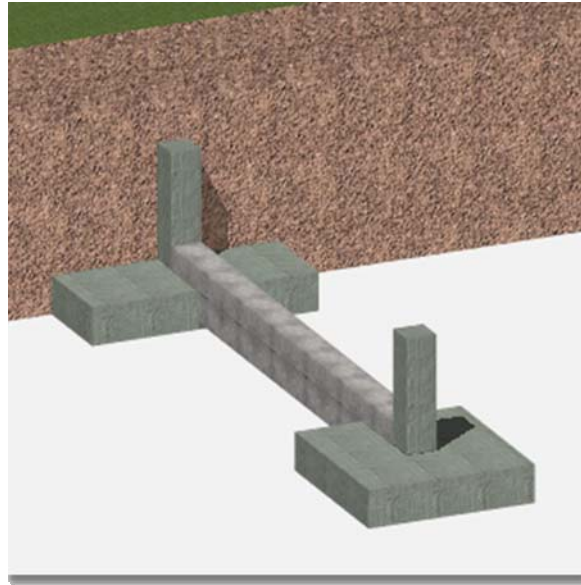
Punzonamiento (Comportamiento en 2 direcciones)					
Resistencia al Esfuerzo Cortante	1.13	Mpa			
Esfuerzo Cortante Mayorado Seccion Critica 1 (C.11.11.1.2)	0.96	Mpa			
Esfuerzo Cortante Mayorado Seccion Critica 2 (C.11.11.1.2)	1.11	Mpa			

Viga (Comportamiento en 1 direccion)					
Resistencia al Esfuerzo Cortante	0.58	Mpa			
Esfuerzo Cortante Mayorado Seccion Critica 1 (C.11.1.3.1)	0.34	Mpa			
Esfuerzo Cortante Mayorado Seccion Critica 2 (C.11.1.3.1)	0.40	Mpa			

Esfuerzos en el Suelo					
$\sigma_{ult_suelo(prom)}$	29.61	Ton/m ²	qa	25.00	Ton/m ² Fc 1.45
$\sigma_{ult_suelo(max)}$	35.21	Ton/m ²	qu	36.25	Ton/m ²

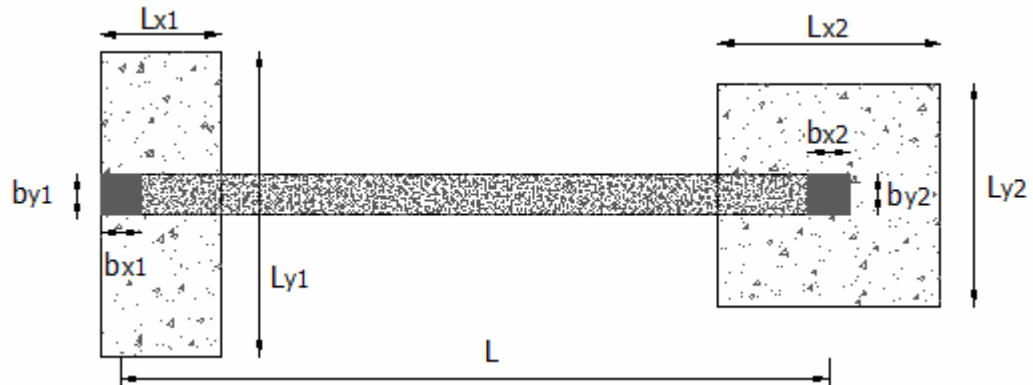
4. ZAPATAS AISLADAS PARA COLUMNAS PERIMETRALES

Figura 23. Zapata Excéntrica



Cuando en una edificación se disponen columnas en el límite de la propiedad se presenta el problema de cimentar las columnas de lindero, en este tipo de zapata no es posible cimentarla con una zapata centrada ya que la zapata se saldría por fuera del límite de la edificación. Si se empleara una zapata sencilla excéntrica, la carga que la columna le transmite a la zapata no estaría centrada, provocando un diagrama de presiones no uniforme sobre la zapata, esto acarrearía asientos diferenciales de un borde con respecto al otro y el giro del cimiento. Como el pilar se encuentra empotrado en el cimiento un giro de este sería transmitido a la columna generándole esfuerzos de flexión para los cuales muy seguramente no fue diseñada.

Figura 24. Dimensiones zapata excéntrica.



En estos casos la mejor solución es utilizar zapatas excéntricas con viga de contrapeso, este tipo de cimentación consiste en enlazar la zapata de medianería con una zapata interior, mediante una viga llamada viga de contrapeso o viga centradora ya que tiene la función de balancear la excentricidad de las cargas y obtener una presión uniforme del suelo bajo las zapatas. La viga de contrapeso se diseña como una viga en voladizo, esto quiere decir que esta viga no va a estar sometida a esfuerzos producidos por el suelo, por lo tanto esta no debe estar directamente apoyada sobre el suelo. Para la zapata céntrica lo más económico es utilizar una zapata cuadrada y para la zapata excéntrica una rectangular donde es conveniente que $L_{x1} < L_{y1}$, ya que con esto lo que se busca es disminuir la excentricidad y por siguiente el momento volcador.

4.1. EJEMPLO:

Fuente: El Autor

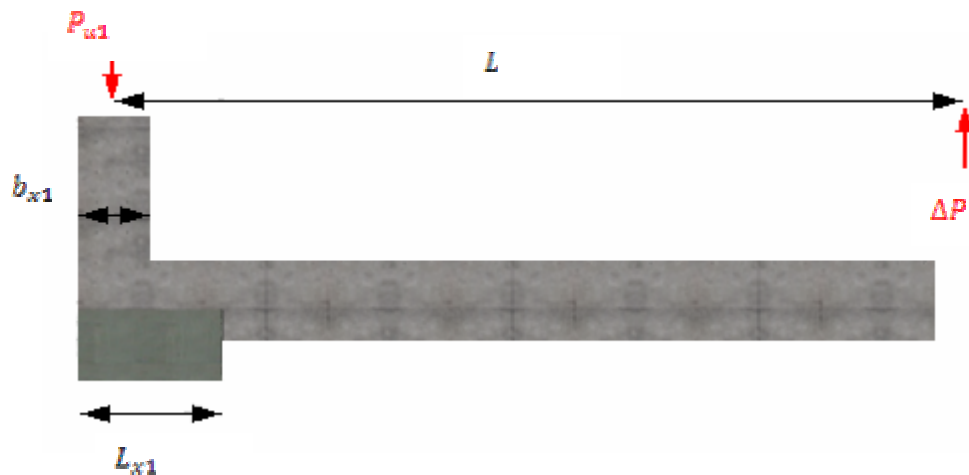
Diseñar la cimentación para una columna céntrica, que va a soportar una carga última de 310 Ton y una columna de linderio que va a soportar una carga de 120 Ton, la cimentación tendrá aproximadamente 2.3 metros de suelo sobre ella, con

un peso volumétrico promedio de 1.9 Ton/m², factor de carga $F_c = 1.47$, capacidad admisible del suelo es de 25 Ton/m². Las barras de mayor diámetro de la columna que llegan a la zapata son barras No 7 y No 6 en la columna excéntrica y céntrica respectivamente, y estas deberán estar totalmente desarrolladas por tracción en la interfaz columna-zapata. Para el refuerzo por flexión en las zapata se utilizarán barras No 6. La columna excéntrica será de 0.40x0.40 y la céntrica de 0.60x0.60 y la distancia entre ejes de las columnas es de 6.30 m. Utilizar $f'_c = 21 \text{ Mpa}$ y $f_y = 420 \text{ Mpa}$.

4.1.1. Predimensionamiento del Cimiento:

Este tipo de cimentación consiste en centrar la carga de la zapata excéntrica por medio de una viga de contrapeso que se apoya en la columna céntrica.

Figura 25. Idealización de la zapata excéntrica y viga de contrapeso.



$$\left(\frac{L_{x1}}{2} - \frac{b_{x1}}{2}\right) P_{u1} = \Delta P \left(L + \frac{b_{x1}}{2} - \frac{L_{x1}}{2}\right) \quad [39]$$

$$\Delta P = \frac{\left(\frac{L_{x1}}{2} - \frac{b_{x1}}{2}\right) P_{u1}}{\left(L + \frac{b_{x1}}{2} - \frac{L_{x1}}{2}\right)} \quad [40]$$

Es necesario fijar la dimensión L_{x1} , y tener en cuenta que $L_{x1} < L_{y1}$, para nuestro diseño fijaremos esta dimensión $L_{x1} = 1.40 \text{ m}$.

$$\Delta P = \frac{\left(\frac{1.40}{2} - \frac{0.40}{2}\right) 120}{\left(6.30 + \frac{0.40}{2} - \frac{1.40}{2}\right)} = 10.34 \text{ Ton}$$

Es importante resaltar que el efecto de la viga reduce la magnitud de la carga de la columna céntrica por lo tanto se debe verificar que la carga muerta no mayorada de esta columna sea mayor a ΔP .

$$q_u = F_c * q_a = 1.47 * 25 = 36.75 \text{ Ton/m}^2$$

$$L_{y1} = \frac{1.06P_{u1} + \Delta P}{(q_u - 1.2 * \gamma * D)L_{x1}} = \frac{1.06 * 120 + 10.34}{(36.75 - 1.2 * 1.9 * 2.3) * 1.40} = 3.12 \text{ m}$$

La zapata céntrica será cuadrada por ser la solución más económica y sus dimensiones se hallan con la siguiente fórmula:

$$L_{x2} = L_{y2} = \sqrt{\frac{1.06 * P_{u2} - \Delta P}{q_u - 1.2 * \gamma * D}} = \sqrt{\frac{1.06 * 310 - 10.34}{36.75 - 1.2 * 1.9 * 2.3}} = 3.18 \text{ m}$$

Por lo tanto las dimensiones de la zapata excéntrica serán de 1.40x3.20 y para las de la zapata céntrica serán de 3.20x3.20.

4.1.2. Determinación de la Altura de la Losa

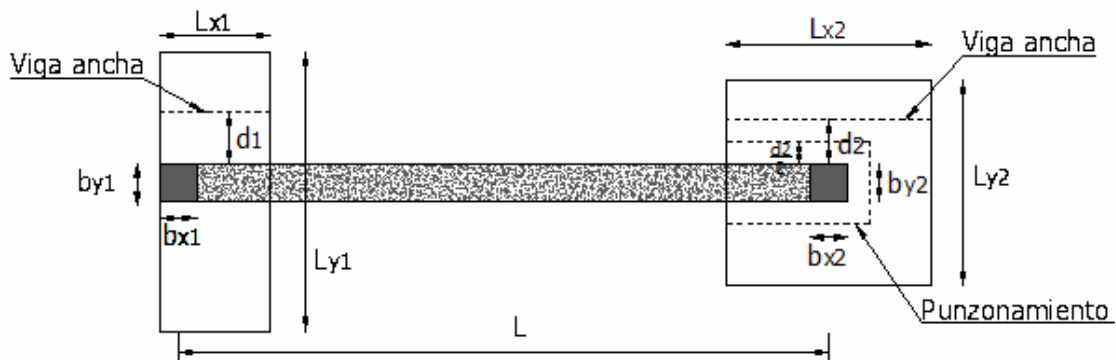
Ya que el acero que llega de la columna a la zapata debe estar desarrollado por tracción en la interfaz zapata-columna, la altura efectiva de la zapata deberá ser por lo menos la longitud de desarrollo de las barras de mayor diámetro que llegan de la columna, estas barras se anclaran con gancho en la zapata.

$$L_{dh_céntrica} = \frac{0.24 f_y}{\sqrt{f'_c}} * d_b = \frac{0.24 * 420}{\sqrt{21}} * 22.22 = 489 \text{ mm}$$

$$L_{dh_excéntrica} = \frac{0.24 f_y}{\sqrt{f'_c}} * d_b = \frac{0.24 * 420}{\sqrt{21}} * 19.05 = 419 \text{ mm}$$

Por lo tanto inicialmente asumiremos una altura efectiva de 0.49 m para la losa excéntrica y de 0.42 m para la excéntrica ($d_1 = 0.49m$, $d_2 = 0.42m$).

Figura 26. Secciones críticas a cortante en las zapatas céntrica y excéntrica.



Las reacciones en las losas serán las siguientes:

$$q_1 = \frac{P_{u1} + \Delta P}{L_{x1}L_{y1}} ; \quad q_2 = \frac{P_{u2} - \Delta P}{L_{x2}L_{y2}}$$

$$q_1 = \frac{120 + 10.34}{1.40 * 3.20} = 29.09 \text{ Ton/m}^2 ; \quad q_2 = \frac{310 - 10.34}{3.20 * 3.20} = 29.26$$

Corte por viga ancha en la zapata Excéntrica:

$$V_{u1} = q_1 * \left(\frac{L_{y1}}{2} - \frac{b_{y1}}{2} - d_1 \right) * L_{x1}$$

$$V_{u1} = 29.09 * \left(\frac{3.20}{2} - \frac{0.40}{2} - 0.49 \right) * 1.40 = 37.06 \text{ Ton}$$

Esfuerzo cortante por viga ancha:

$$\frac{V_{u1}}{0.75 * L_{x1} * d_1} \leq 0.17 \sqrt{f'_c}$$

$$\frac{37.06 * 8896.44}{0.75 * 1400 * 490} \leq 0.17 \sqrt{21}$$

$$0.64 \text{ Mpa} \leq 0.17 \sqrt{21} = 0.77 \text{ Mpa (OK)}$$

Revisión por rigidez: Para que la losa de la zapata se considere rígida y prácticamente indeformable la relación vuelo sobre altura debe permanecer por debajo de 3.

$$\frac{\frac{L_{y1}}{2} - \frac{b_{y1}}{2}}{d_1 + 0.09} \leq 3 ; \quad \frac{\frac{3.20}{2} - \frac{0.40}{2}}{0.49 + 0.09} = 2.41 \text{ (OK)}$$

Corte por viga ancha en la zapata Céntrica:

$$V_{u2} = q_2 * \left(\frac{L_{y2}}{2} - \frac{b_{y2}}{2} - d_2 \right) * L_{x2}$$

$$V_{u2} = 29.26 * \left(\frac{3.20}{2} - \frac{0.60}{2} - 0.42 \right) * 3.20 = 82.40 \text{ Ton}$$

Esfuerzo cortante por viga ancha en la zapata Céntrica:

$$\frac{82.40 * 8896.44}{3200 * 420} = 0.55 \text{ Mpa} \leq 0.75 * 0.17 \sqrt{21} = 0.58 \text{ Mpa (OK)}$$

Corte por punzonamiento en la zapata Céntrica:

$$V_u = P_{u2} - \Delta P - q_2 * (b_{y2} + d_2) * \left(\frac{L_{x2}}{2} + \frac{b_{x2}}{2} + \frac{d_2}{2} \right)$$

$$V_u = 310 - 10.34 - 29.21 * (0.60 + 0.42) * \left(\frac{3.20}{2} + \frac{0.60}{2} + \frac{0.42}{2} \right) = 236.79 \text{ Ton}$$

Resistencia a cortante del concreto:

$$\phi V_c = 0.75 * 0.33 * \sqrt{21} = 1.13 \text{ Mpa}$$

$$\phi V_c = 0.75 * 0.17 * \left(1 + \frac{2}{1} \right) * \sqrt{21} = 1.75 \text{ Mpa}$$

$$\phi V_c = 0.75 * 0.083 * \left(\frac{30 * 420}{2 * \left(\frac{3200}{2} + \frac{600}{2} + \frac{420}{2} \right) + (600 + 420)} + 2 \right) * \sqrt{21} = 1.25 \text{ Mpa}$$

La resistencia a cortante es el menor de los tres valores, $\phi V_c = 1.13 \text{ Mpa}$

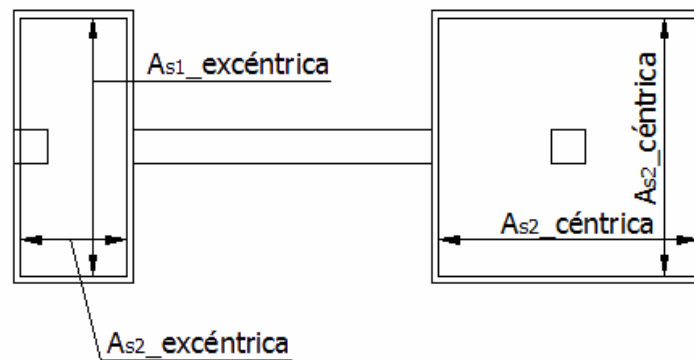
$$\frac{236.79 * 8896.44}{\left(2 * \left(\frac{3200}{2} + \frac{600}{2} + 420\right) + 600 + 420\right) * 420} = 0.89 < \phi V_c = 1.13 \text{ (OK)}$$

Revisión por rigidez:

$$\frac{\frac{L_{x2}}{2} - \frac{b_{x2}}{2}}{d_2 + 0.09} \leq 3 ; \quad \frac{\frac{3.20}{2} - \frac{0.60}{2}}{0.42 + 0.09} = 2.54 \text{ (OK)}$$

4.1.3. Refuerzo en Las Zapatas

Figura 27. Refuerzo en la zapata céntrica y excéntrica.



REFUERZO DE LA ZAPATA EXCÉNTRICA:

$$A_{s1_excéntrica} = \rho_{min} * L_{y1} * d_1$$

$$A_{s2_excéntrica} = \frac{f_y * d_1 - \sqrt{(f_y * d_1)^2 - 4 * 0.59 * f_y^2 * \frac{M_{uy1}}{\phi L_{x1} f_c}}}{2 * 0.59 * \frac{f_y^2}{L_{x1} * f_c}}$$

$$M_{y1} = \frac{P_{u1} + \Delta P}{2 * L_{x1}} * \left(\frac{L_{y1}}{2} - \frac{b_{y1}}{2}\right)^2$$

$$A_{s1_excéntrica} = 0.0018 * 3200 * 490 = 2822.4$$

Si utilizamos barras No. 5 (Área de una barra= 197.9 mm²) su separación sería:

$$\text{Número de barras a utilizar} = \frac{2822.4}{197.9} = 14.26 \approx 15 \text{ barras}$$

$$\text{Separación} = \frac{3.2}{15} = 0.21 \text{ m}$$

$$M_{uy1} = \frac{120 + 10.34}{2 * 3.20} * \left(\frac{3.20}{2} - \frac{0.4}{2}\right)^2 = 39.92 \text{ Ton} - \text{m}$$

$$A_{s2_excéntrica} = \frac{420 * 490 - \sqrt{(420 * 490)^2 - 4 * 0.59 * 420^2 * \frac{39.92 * 8896.44 * 1000}{0.9 * 1400 * 21}}}{2 * 0.59 * \frac{420^2}{1400 * 21}}$$

$$A_{s2_excéntrica} = 1985 \text{ mm}^2$$

$$\rho = \frac{A_{s2_excéntrica}}{d_1 * L_{x1}} = \frac{1985}{490 * 1400} = 0.0028 > \rho_{min} \text{ (OK)}$$

$$\text{Número de barras a utilizar} = \frac{1985}{197.9} = 10.03 \approx 11 \text{ barras}$$

$$\text{Separación} = \frac{1.40}{11} = 0.12 \text{ m}$$

REFUERZO DE LA ZAPATA CÉNTRICA:

$$M_{ux} = \frac{q_2 * L_{y2} * \left(\frac{L_{x2}}{2} - \frac{b_{x2}}{2}\right)^2}{2} = \frac{29.26 * 3.20 * \left(\frac{3.20}{2} - \frac{0.60}{2}\right)^2}{2} = 79.12 \text{ Ton} - \text{m}$$

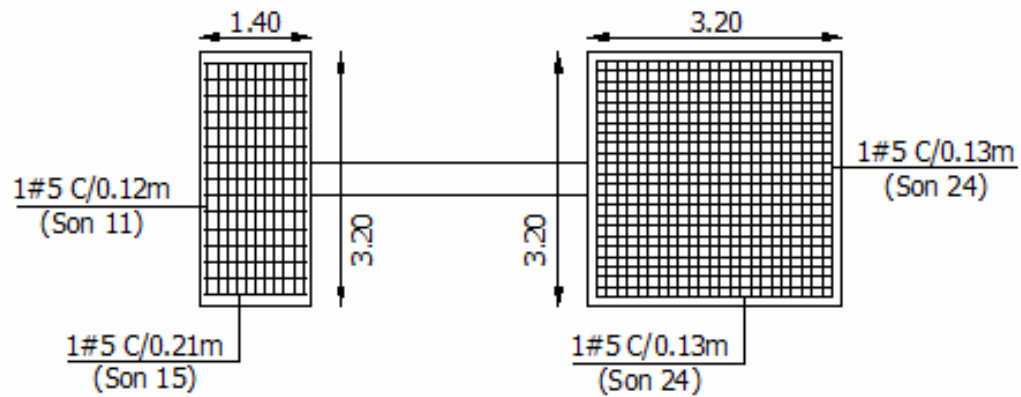
$$A_{s2_céntrica} = \frac{420 * 420 - \sqrt{(420 * 420)^2 - 4 * 0.59 * 420^2 * \frac{79.12 * 8896.44 * 1000}{0.9 * 3200 * 21}}}{2 * 0.59 * \frac{420^2}{3200 * 21}}$$

$$A_{s2_céntrica} = 4621 \text{ mm}^2$$

$$\text{Número de barras a utilizar} = \frac{4621}{197.9} = 23.35 \approx 24 \text{ barras}$$

$$\text{Separación} = \frac{3.2}{24} = 0.13 \text{ m}$$

Figura 28. Detalle refuerzo zapatas céntrica y excéntrica.



4.1.4. Diseño Viga de Contrapeso:

El momento máximo está ubicado en:

$$x = \frac{P_{u1}}{q_1 L_{y1}} = \frac{120}{29.09 * 3.20} = 1.28 \text{ m}$$

$$M_u = q * \frac{x^2}{2} * L_{y1} - P_{u1} * \left(x - \frac{b_{x1}}{2} \right) = 29.09 * \frac{1.28^2}{2} * 3.20 - 120 * \left(1.28 - \frac{0.40}{2} \right)$$

$$M_u = -53.34 \text{ Ton} - \text{m}$$

Para el diseño de la viga asumiremos un ancho de 0.40 m y una altura efectiva de 1 m.

$$A_{superior} = \frac{420 * 1000 - \sqrt{(420 * 1000)^2 - 4 * 0.59 * 420^2 * \frac{53.34 * 8896.44 * 1000}{0.9 * 400 * 21}}}{2 * 0.59 * \frac{420^2}{400 * 21}}$$

$$A_{superior} = 1305.68 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{min} = \frac{1.40}{420} = 0.0033 ; \rho = \frac{1305.68}{1000 * 400} = 0.00326$$

$$A_{superior} = 1000 * 400 * 0.0033 = 1333.33 \text{ mm}^2$$

Procedimiento de diseño del refuerzo a cortante de la viga A_v :

$$V_{st} = \frac{V_{u,d}}{\phi} - V_{cc} \quad ; \text{ donde } V_{u,d} \text{ es el cortante a } d \text{ del borde del apoyo}$$

$$V_{cc} = \sqrt{\frac{f'_c}{6}} * d * b_w$$

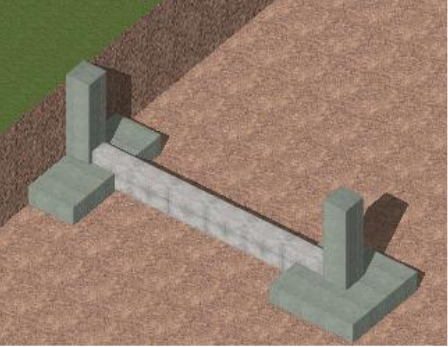
$$\frac{A_v}{S} = \frac{V_{st}}{f_{yt} * d} \geq \frac{A_{v,min}}{S} ; \text{ Donde } \frac{A_{v,min}}{S} = 0.062 \sqrt{\frac{f'_c}{f_{yt}}} \frac{b_w}{f_{yt}} \text{ pero no debe ser menor } \frac{0.35b_w}{f_{yt}}$$

4.2. SOLUCIÓN DEL PROBLEMA UTILIZANDO DISCI 1.0

En la página principal de DISCI 1.0 escogemos la opción Zapata Excéntrica, con lo cual se despliega la ventana DISCI 1.0-DISEÑO ZAPATA EXCENTRICA, donde se pueden ingresar los datos del suelo, cargas, propiedades de materiales y el predimensionamiento del cimiento.

Figura 29. Ingreso de parámetros del suelo de la zapata excéntrica.

qa	<input type="text" value="25"/>	D	<input type="text" value="2.3"/>
Fc	<input type="text" value="1.47"/>	Y _s	<input type="text" value="1.9"/> ?
qu	<input type="text" value="36.75"/>		




Aceptar Cancelar

Figura 30. Ventana para el ingreso de cargas.

Pu_1	<input type="text" value="120"/>	α	<input type="text" value="100.00"/>
Pu_2	<input type="text" value="310"/>		

Diseño 1 Diseño 2



A 2D cross-section diagram of a foundation with two columns. The left column has a load P_{u1} and the right column has a load P_{u2} . A coordinate system is shown with a vertical Z-axis and a horizontal X-axis.

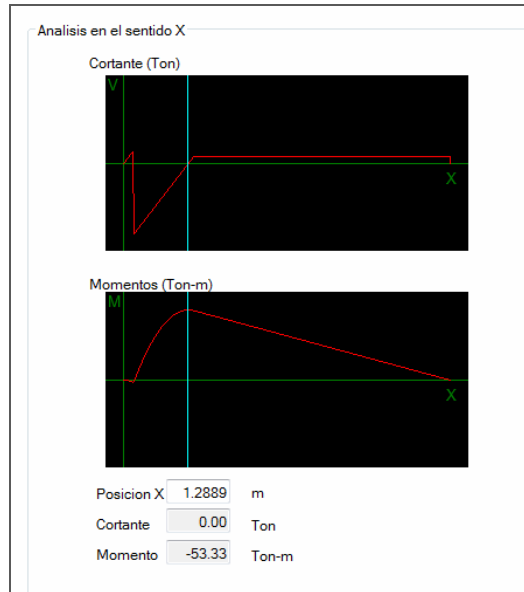
Para el predimensionamiento de las zapatas, damos click en el botón Dimensiones, allí se despliega una ventana donde nos piden ingresar unos datos como son: la distancia entre ejes de las columnas L y dimensiones de las columnas, para el predimensionamiento del cimiento el usuario debe fijar la

dimensión L_{x1} el cual nosotros escogimos igual a 1.40m, después de dar click en la opción PRE-DIM el programa nos calcula la dimensión L_{y1} y las dimensiones de la zapata céntrica, el usuario tiene la opción de ingresar unas dimensiones adecuadas en la parte Dimensiones Zapatas , es importante que el usuario ingrese los datos del suelo y cargas antes del predimensionamiento, ya que el programa trae unos valores por defecto y el usuario debe variar estos valores de acuerdo a los datos de su problema, finalmente damos click en aceptar.

Figura 31. Ventana de predimensionamiento de la zapata excéntrica.

Las propiedades de los materiales las ingresamos en la opción Prop_Material. Al hacer click en el botón análisis el programa nos dibuja el diagrama de momentos y cortantes a lo largo de la dirección x .

Figura 32. Diagrama de momento y cortante de la viga de contrapeso.



El diseño de las alturas de las losas se realiza dando click en el botón **d**, que aparecerá después de realizar el análisis.

Figura 33. Ventana de la altura efectiva de la zapata excéntrica.

Altura Efectiva

La altura efectiva mínima de la zapata excéntrica será de 0.49 m
La altura efectiva mínima de la zapata céntrica será de 0.42 m
Se sugiere que la altura efectiva de la viga sea de 1.03 m

d (Zapata Excéntrica) 0.49 m **Diseño Excéntrica**

d (Zapata Céntrica) 0.42 m **Diseño Céntrica**

Recubrimiento 7.5 cm

d (Viga) 1.03 m **Diseño Viga**

ancho (Viga) 0.40 m

Recubrimiento 7.5 cm

The figure shows a software window titled 'Altura Efectiva'. It contains text providing minimum effective heights for eccentric and centric footings, and a recommended effective height for the beam. Below this text are several input fields with numerical values and units, and three buttons labeled 'Diseño Excéntrica', 'Diseño Céntrica', and 'Diseño Viga'.

En esta ventana llamada Altura efectiva, el programa calcula las alturas mínimas requeridas para las losas de las zapatas, las cuales el usuario podrá aumentar mas no disminuir y recomienda una altura de la viga. En esta ventana aparecen 3 botones Diseño Excéntrica, Diseño Céntrica y Diseño Viga, que nos permitirán

validar si las dimensiones de los cimientos son adecuadas, así como el diseño del refuerzo.

DISEÑO DEL REFUERZO (Zapata Excéntrica)

Figura 34. Cuadro de refuerzo inferior de la zapata excéntrica.

Refuerzo inferior													
As1	2822.40	mm ²	Utilizar	15	#	5	Separadas	0.21	m	ρ_1 (requerida)	0.0018	ρ_1 (Suministrada)	0.00189
As2	1985.12	mm ²	Utilizar	11	#	5	Separadas	0.12	m	ρ_2 (requerida)	0.0029	ρ_2 (Suministrada)	0.00317

DISEÑO DEL REFUERZO (Zapata Céntrica)

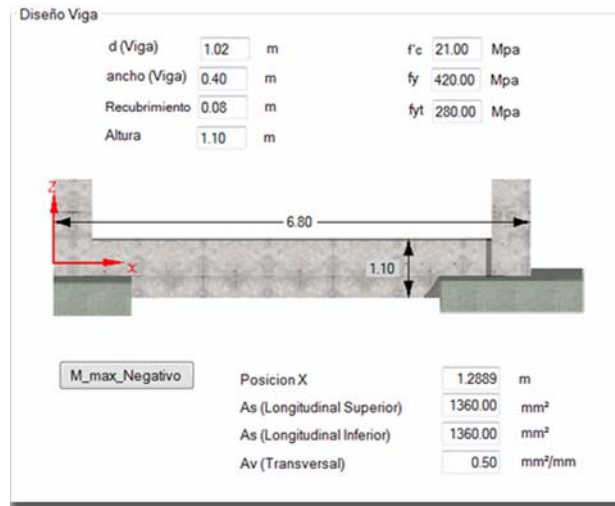
Figura 35. Cuadro de refuerzo inferior de la zapata céntrica.

Refuerzo inferior													
As1	4621.61	mm ²	Utilizar	24	#	5	Separadas	0.13	m	ρ_1 (requerida)	0.0034	ρ_1 (Suministrada)	0.00353
As2	4621.61	mm ²	Utilizar	24	#	5	Separadas	0.13	m	ρ_2 (requerida)	0.0034	ρ_2 (Suministrada)	0.00353

DISEÑO VIGA DE CONTRAPESO

El programa nos sugiere una altura de la viga de contrapeso, para nuestro diseño escogeremos una altura efectiva de 1.02 m de modo que la altura total de la viga sea de 1.10m, ingresamos estos valores y damos click en el botón diseñar viga.

Figura 36. Ventana de diseño de la viga de contrapeso.

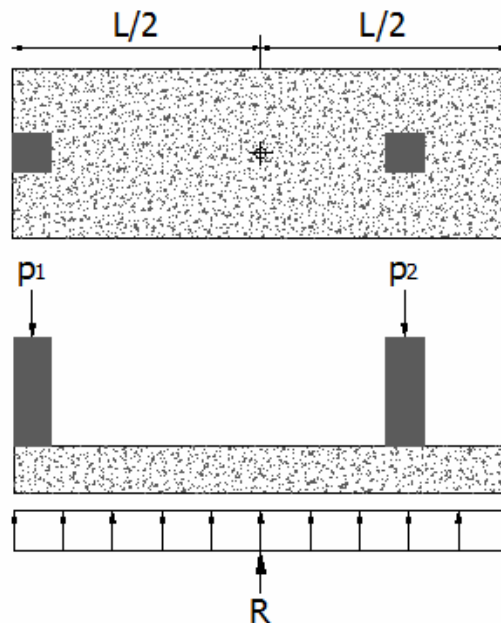


DISCI 1.0 nos permite el cálculo del acero transversal, el acero longitudinal superior e inferior requerido, en cualquier punto a lo largo de la viga; con el botón M_max_Negativo podemos calcular el momento máximo negativo y su ubicación.

5. ZAPATA COMBINADA

Se le llama zapata combinada a la que cimenta dos columnas. Este tipo de cimentación se utiliza cuando la capacidad de soporte del suelo es baja y/o la separación entre columnas es muy pequeña y al cimentar bajo zapatas aisladas estas podrían traslaparse o quedar muy cerca una de la otra de modo que las presiones en el suelo se superpondrían y la presión en el suelo podría ser mayor a la capacidad admisible del suelo.

Figura 37. Zapata combinada rectangular.



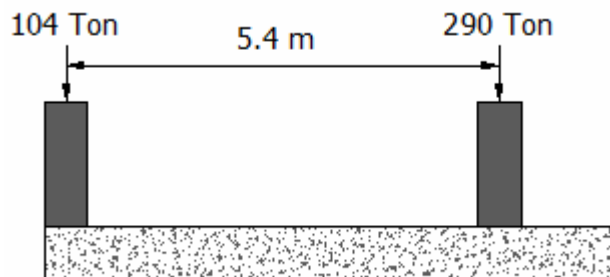
El dimensionamiento de este tipo de cimentaciones, se hace haciendo que el centro de gravedad de su superficie en planta, coincida con el de las cargas de las dos columnas, esto se hace con el objetivo de conseguir una distribución lineal de presiones en el suelo. La forma más sencilla de lograr esto es construir una zapata rectangular, de modo que el centro de gravedad del rectángulo coincida con la línea de acción de la resultante de los dos pilares. Por lo general las cargas en los

pilares de linderos o perimetrales son menores que las de una zapata céntrica, si se presenta el caso en que se vaya a cimentar una columna céntrica y una de linderos, en donde la carga de la columna de linderos es mayor que la céntrica, no es posible lograr una distribución uniforme de presiones utilizando una zapata combinada rectangular, para este tipo de cimentaciones una posible solución podría ser una zapata combinada trapezoidal.

5.1. EJEMPLO ZAPATA COMBINADA UTILIZANDO DISCI 1.0

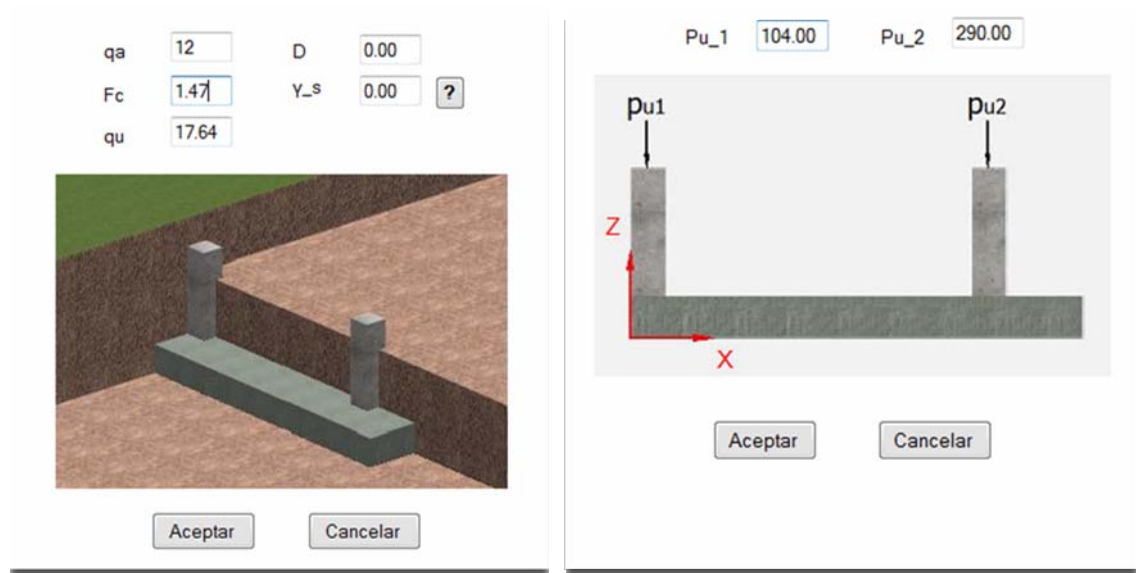
Diseñar una cimentación combinada, para una columna de linderos y una céntrica, la columna de linderos es de 0.30x0.30 m y soporta una carga mayorada de 104 Ton, y la céntrica es de 0.50x0.50 m y soporta una carga mayorada de 290 Ton, la distancia entre ejes de las columnas es de 5.4m, la relación entre carga mayorada y de servicio F_c tiene un promedio de 1.47, y la capacidad admisible del suelo $q_a = 12 \text{ Ton/m}^2$.

Figura 38. Cargas de la zapata combinada del ejemplo.



El ingreso de los datos de entrada del suelo, cargas, dimensiones y propiedades de los materiales se ingresarán de forma similar a los ejemplos anteriores.

Figura 39. Ventanas de ingreso de parámetros del suelo y cargas.



Ahora dimensionaremos la zapata combinada en planta, para eso vamos al botón Dimensiones, e ingresamos las dimensiones de las columnas y la separación entre ellas, damos click en el botón PRE-DIM para que el programa nos realice el predimensionamiento de la zapata combinada, de modo que la resultante de las cargas, pase por el centro de gravedad de la zapata, con ello garantizamos que la reacción en el suelo va a ser aproximadamente uniforme. Cuando escojamos las dimensiones de la zapata es importante que la dimensión L_x no difiera mucho en la calculada por el programa, ya que esta dimensión es la que nos condiciona que la distribución de presiones sea uniforme.

Figura 40. Ventana de predimensionamiento de la zapata combinada.

Dimensiones

L 5.4 bx1 0.30 bx2 0.50
by1 0.30 by2 0.50

Predimensionar

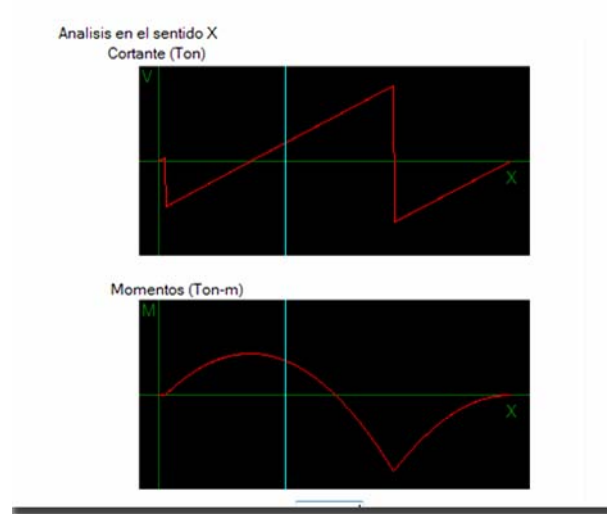
Lx 8.25 Ly 3.11 PRE-DIM

Lx 8.30 Ly 3.20

Diagrama de la zapata combinada con dimensiones L_x , L_y , b_{x1} , b_{x2} , b_{y1} y b_{y2} .

El programa nos calcula que L_x deberá ser igual a 8.25 m y L_y a 3.11 m, por lo tanto escogeremos unas dimensiones de 8.30 x 3.00 m, y damos aceptar. Posteriormente damos click en el botón Análisis, el programa nos dibuja el diagrama de momentos y cortantes, en la dirección principal, y así poder conocer como es la variación del cortante y el momento a lo largo de la cimentación.

Figura 41. Diagrama de momento y cortante de la zapata combinada.



Después en el botón **d**, damos click para que el programa nos calcule automáticamente la altura efectiva de la zapata.

Figura 42. Ventana de la altura efectiva de la zapata combinada.

Altura Efectiva

La altura efectiva mínima (d), será de 0.74 m

d	0.74	m
Recubrimiento	7.5	cm

Diseñar

The image shows a software window titled 'Altura Efectiva'. It displays the calculated minimum effective height (d) as 0.74 m. Below this, it shows the cover (Recubrimiento) as 7.5 cm. A 'Diseñar' button is visible on the right side of the window.

El programa calculó un valor para la altura efectiva, teniendo en cuenta que cumpliera los requisitos de resistencia como cortantes por punzonamiento en cada columna, y el comportamiento de la losa como viga ancha, así como también los requisitos de rigidez, los cuales hacen valida nuestra suposición de distribución uniforme de las cargas en el suelo.

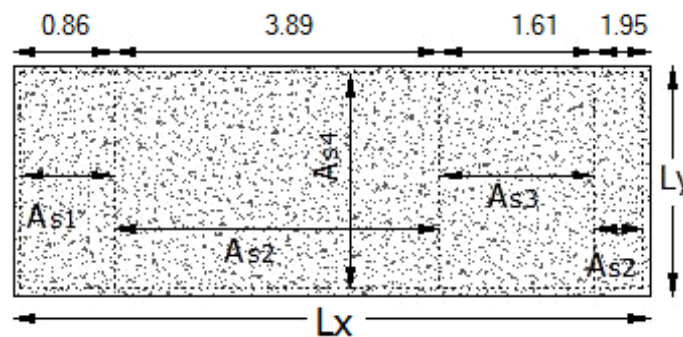
El botón Diseñar hace la verificación de que los esfuerzos transmitidos por la zapata al suelo no sobrepasen la capacidad de este, nos calcula el acero superior e inferior, la resistencia y los esfuerzos que se generan en la zapata.

Refuerzo inferior:

Fuente: Prof. Silvio Rojas, Universidad De los Andes, Mérida Venezuela.

El acero en el sentido más corto se estima considerando que las columnas están soportadas por vigas planas, es decir que se considera que cada columna esta soportado por una viga de ancho $0.75d$ a partir de la cara de la columna y con un largo igual a L_y , en este caso no existe ningún voladizo a la izquierda de la columna excéntrica. El acero en el sentido corto que no está considerado en las secciones antes mencionadas le suministraremos el acero mínimo.

Figura 43. Esquema del refuerzo inferior de la zapata combinada.

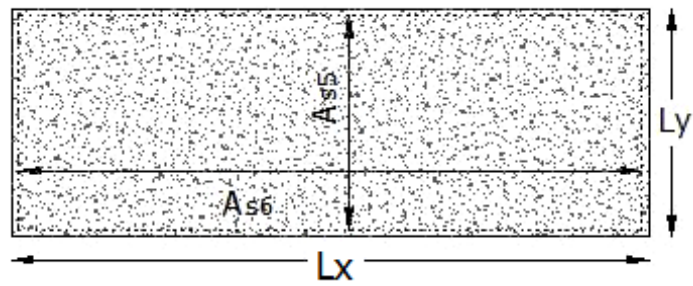


Refuerzo inferior							
As1	1138.86 mm ²	Utilizar 4 # 6	Separadas	0.21 m	ρ_1 (Requerida)	0.00180	ρ_1 (Suministrada) 0.00180
As2	5181.48 mm ²	Utilizar 19 # 6	Separadas	0.20 m	ρ_2 (Requerida)	0.00180	ρ_2 (Suministrada) 0.00188
As3	2144.52 mm ²	Utilizar 8 # 6	Separadas	0.20 m	ρ_3 (Requerida)	0.00180	ρ_3 (Suministrada) 0.00191
As4	4761.84 mm ²	Utilizar 17 # 6	Separadas	0.19 m	ρ_4 (Requerida)	0.00201	ρ_4 (Suministrada) 0.00205

Refuerzo Superior:

El acero en el sentido largo será el requerido por flexión (A_{s5}), mientras que el del sentido corto se le suministrará el acero mínimo.

Figura 44. Esquema del refuerzo superior.



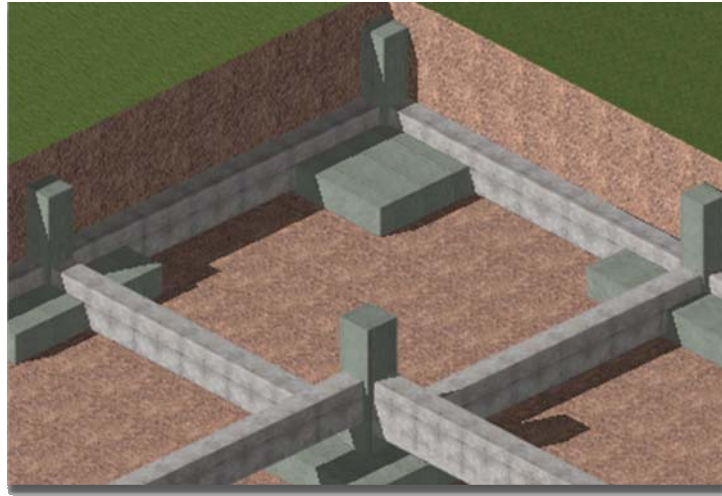
Refuerzo Superior

As5	4262.40 mm ²	Utilizar 15 # 6	Cada 0.21 m	ρ_5 (Requerida)	0.00180	ρ_5 (Suministrada)	0.00181
As6	11055.6 mm ²	Utilizar 39 # 6	Cada 0.21 m	ρ_6 (Requerida)	0.00180	ρ_6 (Suministrada)	0.00181

Utilizar Gancho estandar para As5

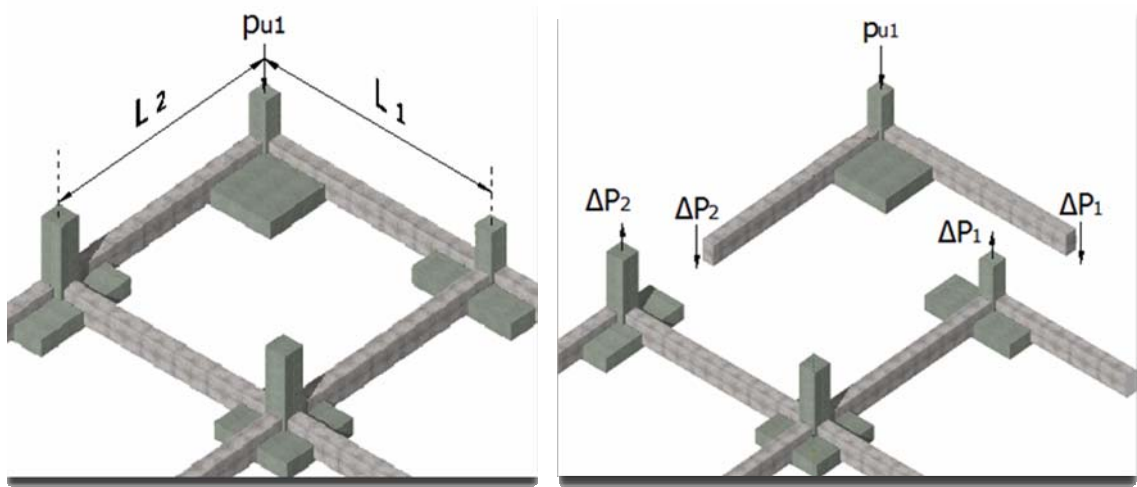
6. ZAPATAS SOMETIDAS A DOBLE EXCENTRICIDAD

Figura 45. Zapata Sometida a Doble Excentricidad



En este tipo de zapatas aparecen en las esquinas en las que concurren dos medianerías o bien en las que concurren una medianería y una fachada en límites de vía pública. En este tipo de cimentaciones están sometidas a una doble excentricidad y la forma de lograr que la reacción debajo de la zapata sea uniforme es utilizar dos vigas de contrapeso, las cuales harán una función de palanca que evitaren que la zapata rote en ambas direcciones. Es importante tener en cuenta que los empujes generados por las vigas centradoras o de contrapesos, no sean tan grandes que puedan levantar los cimientos de los cuales se apoyan.

Figura 46. Diagrama de cuerpo libre zapata de esquina.



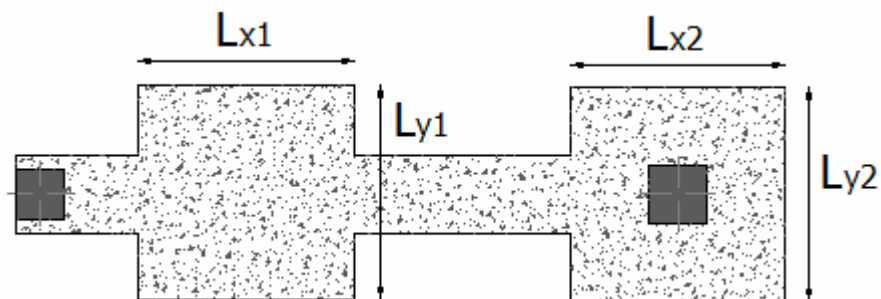
7. ZAPATA RETRANQUEADA

Figura 47. Zapata Retranqueada



Este tipo de cimentación no es muy común, y solo se utiliza en casos especiales. Suele adoptarse cuando existe algún elemento enterrado bajo el pilar de medianería, que impide situar una zapata excéntrica y por tanto soluciones como la viga combinada o zapata con viga de contrapeso no resultarían válidas.

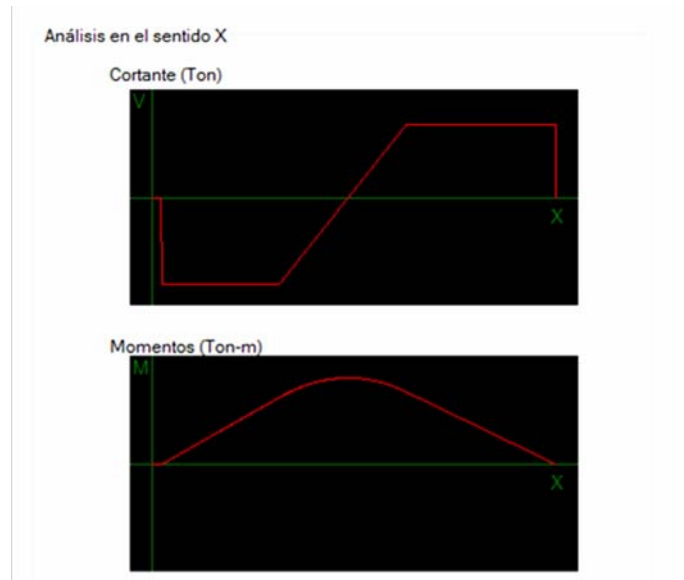
Figura 48. Dimensiones de la zapata retranqueada.



Este tipo de fundación consiste en disponer una zapata retranqueada y una viga, anclada por un lado en otra zapata interior (si la viga interior está muy alejada de la viga de medianería puede utilizarse un macizo que cumpliría la función de contrapeso) y saliendo en voladizo para recibir el pilar de medianería.

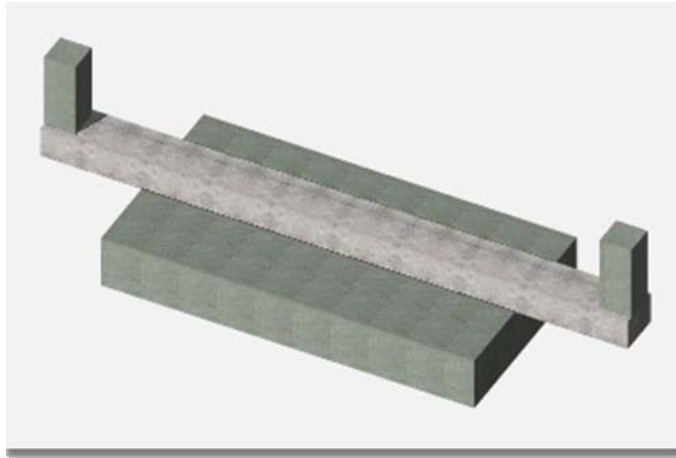
El diagrama de momento y cortante a la cual va a estar sometida la viga tendrá la siguiente forma:

Figura 49. Diagrama de momento y cortante de la viga.



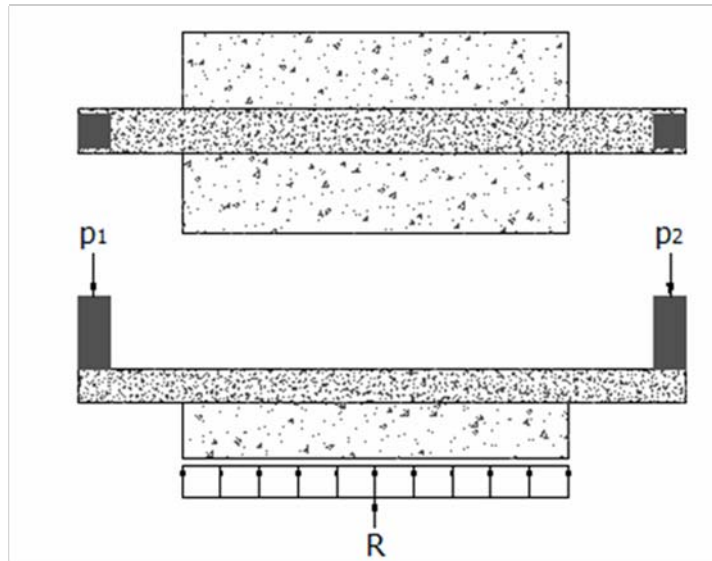
8. ZAPATA CORRIDA CON VOLADIZOS

Figura 50. Zapata corrida con voladizos.



Este es un tipo de fundación al igual que la zapata retranqueada no es de uso frecuente, y se utiliza para resolver el caso en donde dos columnas de medianería se encuentren bastante cerca una de la otra, en donde no se podrían utilizar zapatas aisladas por la posibilidad que se traslapen y con una zapata combinada rectangular no se podrían lograr que los esfuerzos debajo de la zapata sean uniformes, en tal caso se podría utilizar una zapata trapezoidal pero esta podría resultar muy costosa. La zapata corrida con voladizos consiste en la utilización de una viga sobre la que se apoyan ambas columnas y esta a su vez se apoya en una zapata alargada en el sentido de la viga.

Figura 51. Cargas zapata corrida con voladizos.



Para que los esfuerzos producidos por el suelo a la zapata sean uniformes se debe ubicar de modo que su centro de gravedad coincida con el de la resultante producida por la carga de los dos pilares el peso de la viga y de la zapata. La viga deberá ser lo suficientemente rígida y los voladizos no muy grandes para evitar deflexiones excesivas que puedan perjudicar la estructura, en cualquier caso debe calcularse la deflexión de la viga y esta deberán tenerse en cuenta en el diseño de todos los elementos de la edificación.

9. MANTENIMIENTO

Este software puede sufrir cambios después de que haya sido entregado, estos cambios pueden surgir debido a actualizaciones hechas por el autor, o errores que se hayan encontrado.

10. REQUERIMIENTOS DE HARDWARE

SISTEMA OPERATIVO	XP/2003/VISTA
PROCESADOR	1.6 GHz de Memoria
MEMORIA	192 MB
ESPACIO LIBRE EN DISCO	1.0 GB
RESOLUCIÓN DE PANTALLA	1024x768

11. CONCLUSIONES

- DISCI 1.0 (DISEÑO CIMENTACIONES) es una herramienta software que permite el análisis y diseño de cimentaciones superficiales tales como Zapata Céntrica, Excéntrica, Combinada, Zapata con Doble Excentricidad, Retranqueada y Zapata Corrida con Voladizos.
- DISCI 1.0 permite a sus usuarios determinar de forma automática, el acero longitudinal y transversal en cualquier sección de la viga de contrapeso, teniendo en cuenta que se cumplan los requisitos especificados en EL REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE NSR-10.
- DISCI 1.0 es un programa de fácil manejo, que refuerza los conocimientos de los estudiantes en el diseño de cimentaciones, permitiéndole realizar diseños de una forma más fácil y ágil, y así lograr diseños más óptimos.
- Este programa realiza el análisis de las cimentaciones mencionadas, mostrándole al usuario la variación de los momentos y cortantes a lo largo de sus elementos estructurales.
- Esta herramienta le permitirá a estudiantes, profesores y profesionales, diseñar y verificar los diseños de los cimientos, de una forma rápida, reduciendo la posibilidad que puedan presentarse errores en los cálculos, y aprovechar el ahorro de tiempo en la interpretación y la búsqueda de la mejor solución en cada caso.

BIBLIOGRAFÍA

- ARTHUR H. Nilson. Diseño de Estructuras de Concreto. Duodécima edición, Bogotá, 2001.
- BRAJA M. DAS, Principios de Ingeniería de Cimentaciones. Cuarta Edición, California, 1999
- CALAVERA R José, Cálculo de Estructuras de Cimentación. Cuarta edición, España, 1982
- CALAVERA R José, Manual de Detalles Constructivos en Obras de Hormigón Armado. España 1993.
- NSR-10 REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE. Bogotá D.C., Marzo de 2010.
- ROCHEL A Roberto, Hormigón Reforzado. Tomo I y II, Colombia.
- ROJAS Silvio, Material de Clases Universidad de los Andes, Mérida, 2007.